Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

Association suisse des professionnels de la protection des eaux

Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Swiss Water Association

VSA

GESTION DES EAUX URBAINES PAR TEMPS DE PLUIE

ENVOI COMPLET

2019

ENVOI COMPLET

GESTION DES EAUX URBAINES PAR TEMPS DE PLUIE

Module de base	**Module B**
Module Analyse de la qualité de l'eau	**Module G**
Vérification des mesures selon STORM	**Module S**
Module Dimensionnement et conception Partie A : Gestion des eaux pluviales	**Module DA**
Module Dimensionnement et conception Partie B : Installations de traitement et de déversement des eaux unitaires	**Module DB**
Module Systèmes d'évacuation des eaux	**Module E**
Liste des abréviations et bibliographie	**Module L**
Aide-mémoire eaux pluviales pour les utilisateurs expérimentés	**Aide-mémoire**
Recommandation KBOB/VSA « Infiltration et rétention des eaux pluviales en milieu bâti »	**Recommandation KBOB/VSA**

Association suisse des professionnels
de la protection des eaux (VSA)
Europastrasse 3
Case postale, 8152 Glattbrugg
sekretariat@vsa.ch
www.vsa.ch
Tel. 043 343 70 70

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

Association suisse des professionnels de la protection des eaux

Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Swiss Water Association

GESTION DES EAUX URBAINES PAR TEMPS DE PLUIE

MODULE DE BASE

B

2019

Impressum

La présente publication a été élaborée avec le plus grand soin et en toute bonne foi. Nous déclinons toutefois toute responsabilité quant à son exactitude, son exhaustivité et son actualité. Toute prétention en responsabilité à l'encontre de la VSA pour des dommages matériels ou immatériels qui pourraient être causés par l'utilisation et l'application de la présente publication est totalement exclue.

Valeur juridique
Cette directive documente l'état de la technique et les bonnes pratiques suisses en matière de gestion des eaux urbaines par temps de pluie. Elle précise la législation relative à la protection des eaux et permet une mise en oeuvre uniforme. La directive s'adresse principalement aux autorités chargées de l'application et de l'autorisation et aux planificateurs de systèmes d'évacuation des eaux. Elle garantit à l'utilisateur un degré élevé de sécurité juridique. D'autres solutions sont toutefois possibles. Cependant dans le cadre de la pratique juridique ces solutions doivent être conformes au droit.

Auteurs
Daniel Baumgartner, Hunziker Betatech AG, Berne
Reto Flury, Holinger AG, Berne
Natalie Muff, Holinger AG, Berne
Silvia Oppliger, Hunziker Betatech AG, Berne
Elias Winz, Holinger AG, Berne

Membres du groupe de travail
Karlheinz Diethelm, AfU, Herisau
Patrick Fischer, OFEV, Berne
Stefan Hasler, VSA, Glattbrugg
Daniel Meister, AWEL, Zurich
Urs Reichmuth, Office des ponts et chaussées, Wangen SZ
Jörg Rieckermann, Eawag, Dübendorf
Luca Rossi, SINEF SA, Givisiez
Pierre Wyrsch, SENE, Neuchâtel
Alain Wyss, DGEau, Genève

Éditeur
Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Photo de titre
Ramboll Studio Dreiseitl, Arkadien Winnenden

Conception
SLS Nadler, Peter Nadler, 8610 Uster

Impression
Appenzeller Druckerei AG, 9100 Herisau

Source de référence
VSA, Europastrasse 3, Postfach, CH-8152 Glattbrugg,
téléphone 043 343 70 70, sekretariat@vsa.ch, www.vsa.ch

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Brève description du présent module et destinataires

Le présent module de base est le document principal de la nouvelle directive. Il décrit le déroulement de la planification pour la gestion des eaux pluviales et des eaux unitaires déversées. Il comprend tous les éléments nécessaires pour déterminer le mode de gestion approprié des eaux pluviales, par exemple dans le cadre d'une demande d'autorisation de construire. Il s'adresse aux autorités d'exécution (commune, canton), aux maîtres d'ouvrage et aux planificateurs (architectes, spécialiste en assainissement, architectes-paysagistes, urbanistes-aménagistes, ingénieurs civils).

Abréviations utilisées pour les renvois et désignations des tableaux / figures (voir aussi module de base, chap. 1.6 « Structure de la directive »)

Abréviation pour les renvois	Titre des différents modules
B	Module de base
G	Module Analyse de la qualité de l'eau
S	Module STORM
D	Module Dimensionnement et conception
	DA Partie A : Gestion des eaux pluviales / DB Partie B : Installations de traitement et de déversement des eaux unitaires
E	Module Systèmes d'évacuation des eaux
L	Index et listes de l'ensemble de la directive • Liste des abréviations • Bibliographie

Exemples de renvois :

- voir module G, chap. 3 = voir module « Analyse de la qualité de l'eau », chapitre 3
- voir chap. 3 (sans spécification d'un module) = voir chapitre 3 du module même
- voir également fig. B4 = voir la figure B4 dans le module de base

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 7
1.1 Objet de la directive 7
1.2 Cas typiques d'application et destinataires de la directive 7
1.3 Objectifs de la directive 8
1.4 Définitions principales 8
1.5 Champ d'application et limitations 9
1.5.1 Champ d'application 9
1.5.2 Limites d'application 12
1.6 Structure de la directive 13

2 DÉROULEMENT DE LA PLANIFICATION POUR LA GESTION DES EAUX PLUVIALES 15
2.1 Procédures de planification de la gestion des eaux pluviales 15
2.1.1 Planification et autorisation de nouveaux systèmes d'évacuation des eaux des biens-fonds 15
2.1.2 Planification et projets de routes 15
2.1.3 Planification de l'évacuation des eaux dans les plans d'affectation spéciaux 16
2.1.4 Plans généraux d'évacuation des eaux (PGEE) / Études sur l'assainissement urbain 16
2.1.5 Réceptions et contrôles de travaux 17
2.2 Démarche générale 17
2.3 Choix du mode d'évacuation des eaux 17
2.3.1 Priorités et démarche 17
2.3.2 Plans généraux d'évacuation des eaux (PGEE) 20
2.3.3 Indications sur l'évacuation des eaux dans les plans d'affectation spéciaux 21
2.4 Vérification de la faisabilité 22
2.5 Vérification de l'admissibilité 22
2.5.1 Déroulement 22
2.5.2 Examen simple de l'admissibilité pour les eaux de ruissellement 22
2.5.3 Analyse de la qualité des eaux 23
2.5.4 Vérification des mesures selon STORM 24
2.6 Comparaison des variantes 26
2.7 Contrôle des performances 26
2.7.1 Objectifs et types du contrôle des performances 26
2.7.2 Contrôle des performances recommandé pour les installations d'infiltration, de déversement ou de rétention des eaux de ruissellement 27

3 POLLUTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT 28
3.1 Généralités 28
3.1.1 Provenance des polluants dans les eaux de ruissellement 28
3.1.2 Dynamique et concentrations en polluants des eaux de ruissellement 29
3.2 Classification des eaux de ruissellement 30

4 INFILTRATION DES EAUX PLUVIALES 35
4.1 Dispositions légales et principes 35
4.1.1 Pollution du sol et accumulation de polluants dans le sol 35
4.1.2 Infiltration avec passage à travers le sol et délimitation par rapport aux installations d'infiltration et de traitement 35
4.1.3 Infiltration des eaux de chaussée sur le bas-côté 36
4.2 Examen de l'admissibilité de l'infiltration 37

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

5 REJET D'EAUX DE RUISSELLEMENT DANS DES EAUX SUPERFICIELLES 40
5.1 Dispositions légales et principes 40
5.2 Examen de l'admissibilité pour la charge en polluants 40
5.3 Examen de l'admissibilité pour la charge hydraulique 43
5.4 Remarques concernant le déversement dans la canalisation publique d'eaux de ruissellement 44
5.4.1 Traitement avant le déversement 44
5.4.2 Rétention avant le déversement 44

6 DÉVERSEMENT DES EAUX DE RUISSELLEMENT DANS LA CANALISATION PUBLIQUE D'EAUX UNITAIRES 45
6.1 Généralités 45
6.2 Évaluation des déversements dans la canalisation publique d'eaux unitaires 45
6.3 Traitement avant le déversement 45
6.4 Rétention avant le déversement 45

7 TRAITEMENT DES EAUX DE RUISSELLEMENT 46
7.1 Nécessité du traitement 46
7.2 Groupes de substances déterminants 46
7.3 Différence entre un sol et d'autres matériaux filtrants 46
7.4 Niveaux d'exigences 46
7.5 Sélection d'installations de traitement appropriées 47

8 DÉROULEMENT DE LA PLANIFICATION POUR LA GESTION DES EAUX UNITAIRES 48
8.1 Démarche générale 48
8.2 Détermination de la charge déversée 49
8.3 Analyse de la qualité des eaux 50
8.4 Vérification des mesures selon STORM 50
8.5 Vérification des exigences minimales 52
8.6 Décision prise par une équipe interdisciplinaire 53
8.7 Contrôle des performances 53

ANNEXE 1 – CONTRÔLE DES PERFORMANCES 55
I Contrôle des performances axé sur les émissions 55
II Contrôle des performances axé sur les immissions 56

ANNEXE 2 – ÉTUDES DE CAS 58

I Eaux de ruissellement de toiture et de place – Evaluation dans le cadre d'une demande de permis de construire pour une nouvelle zone à bâtir 58
II Eaux de chaussée dans les localités
Evaluation des types d'évacuation dans le cadre de l'élaboration du PGEE 62
III Eaux unitaires déversées 66

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1 INTRODUCTION

1.1 Objet de la directive

La présente directive porte sur la gestion des eaux pluviales dans les zones d'habitation. Elle décrit comment réduire le plus possible le débit de ruissellement et présente les possibilités d'infiltration et de déversement de l'écoulement résiduel dans des eaux superficielles et souterraines. La gestion des eaux unitaires déversées est également traitée. La directive donne aussi des pistes sur la façon dont il est possible d'intégrer les eaux pluviales dans l'urbanisme comme élément de conception et de régulation du climat.

Conformément à la loi fédérale sur la protection des eaux du 24 janvier 1991 (RS 814.20, LEaux), les eaux polluées doivent être traitées et leur déversement dans une eau ou leur infiltration sont soumis à une autorisation cantonale. Les eaux non polluées doivent être évacuées par infiltration conformément aux règlements cantonaux (art. 7, al. 1 et 2, LEaux).

La directive fournit des outils permettant d'apprécier dans quels cas les eaux de ruissellement sont à considérer comme non polluées et peuvent être infiltrées dans les eaux souterraines ou déversées dans des eaux superficielles. Il faut chercher à obtenir un cycle de l'eau le plus naturel possible.

Pour les eaux de ruissellement considérées comme polluées, la directive précise les traitements requis avant que ces eaux ne puissent être infiltrées ou rejetées.

Les eaux unitaires ne peuvent être déversées que dans des eaux superficielles. La directive fournit des outils d'évaluation de la charge polluante et de la charge hydraulique résultant de déversements d'eaux unitaires dans les milieux récepteurs et présente l'éventail des mesures possibles.

1.2 Cas typiques d'application et destinataires de la directive

Selon le cas d'application, la directive s'adresse à des destinataires différents parmi les maîtres d'ouvrage, les planificateurs et les autorités d'exécution. Ceux-ci sont regroupés dans le Tableau B1 ci-dessous. Les cas typiques d'application et la démarche correspondante sont expliqués au chapitre 2.1 (voir les renvois correspondants dans le tableau).

Cas d'application de la directive	Destinataires			Renvoi chap.
	Maître d'ouvrage	Planificateur	Autorité d'exécution	
Évacuation des eaux des biens-fonds de la maison individuelle au terrain industriel, bâtiments publics	Particulier (commune)	Architecte, spécialiste en assainissement	Commune (év. canton)	2.1.1
Évacuation des eaux de chaussée	Commune, canton	Ingénieur civil (ingénieur ponts et chaussée)	Canton (év. commune)	2.1.2
Planification de l'évacuation des eaux dans les plans d'affectation spéciaux	Particuliers (év. communes, institutions)	Architectes, architectes-paysagistes, urbanistes-aménagistes	Commune (év. canton)	2.1.3
Rejet d'eau de ruissellement (système séparatif) et d'eaux unitaires (système unitaire) communales dans des eaux superficielles dans le cadre de **plans généraux d'évacuation des eaux et d'études générales sur l'assainissement urbain** ou de la **planification d'ouvrages spécifiques** pour la rétention, le traitement et le déversement	Commune	Ingénieur PGEE	Canton (seul ou dans le cadre du PGEE)	2.1.4

Tableau B1
Cas typiques d'application et destinataires de la directive.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1.3 Objectifs de la directive

L'objectif global de la présente directive et d'assurer une protection des eaux optimale en suivant le principe de la proportionnalité des coûts. Les objectifs pour y parvenir sont les suivants :

- concrétiser les exigences formulées dans la législation fédérale (avant tout LEaux et OEaux), et en particulier l'état actuel de la technique ;

- mettre à disposition un outil convivial pour évaluer l'évacuation des eaux de biens-fonds ou de routes dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire ;

- créer une base uniforme pour l'évaluation et le choix de systèmes d'évacuation des eaux, dans le cadre de l'élaboration des plans généraux d'évacuation des eaux (PGEE) et de la planification de grandes installations de traitement des eaux (bassins d'eaux pluviales, systèmes d'évacuation et de traitement des eaux de chaussée (SETEC), etc.) ;

- documenter une « bonne pratique » de gestion des eaux urbaines par temps de pluie.

1.4 Définitions principales

- L'**eau pluviale** est le nom donné à l'eau qui tombe sur une surface à l'occasion d'un épisode de précipitations. On parle d'eaux pluviales tant qu'elle ne s'écoule pas et est directement infiltrée. Dès qu'elle n'est pas directement infiltrée mais qu'elle s'écoule d'abord sur une surface, elle est considérée comme **eaux de ruissellement** selon la définition ci-dessous.

- **Eaux usées** est un terme générique pour lequel, d'après la définition de l'art. 4, let. e, LEaux, on peut distinguer différents termes subordonnés :

  – **Eaux polluées :** Eaux transformées par son utilisation (domestique, artisanale ou industrielle) qui sont rejetées dans un système d'évacuation et qui doivent être conduites à un système de traitement des eaux.

  – **Eaux claires parasites :** Eaux non polluées qui s'écoulent dans la canalisation avec les eaux polluées (eaux souterraines par exemple). Les eaux de ruissellement ne font pas partie des eaux claires parasites.

  – **Eaux de ruissellement :** Eaux pluviales qui s'écoulent de surfaces bâties ou imperméabilisées.

  – **Eaux unitaires :** Eaux polluées mélangées avec des eaux de ruissellement

- **Traitement (des eaux usées) :** Modification ciblée de la qualité des eaux usées. Le traitement sert à réduire la charge polluante indésirable. Le traitement peut comprendre plusieurs étapes.

- **Sol :** Couche supérieur meuble de l'écorce terrestre. Elle est composée d'éléments minéraux, d'humus, d'eau, d'air et d'êtres vivants. Un sol sain est clairement structuré. La structure des particules de sol conditionne la répartition de pores qui contiennent de l'eau et dans lesquels de l'air circule. Les pores peuvent représenter jusqu'à 50 % du volume total. Le sol est constitué de plusieurs couches. Voir définition détaillée au chap. 1.3 du module DA.

- **Couche de sol biologiquement active :** Pour une installation d'infiltration, on ne parle pas de sol mais de couche de sol biologiquement active ou filtrante qui assure l'épuration des eaux de ruissellement.

- **Sous-sol :** Couches situées sous la couche de sol en surface. Il est constitué de substrats minéraux peu ou pas altérés, avec peu d'êtres vivants et peu colonisés par les racines. Sa densité est plus élevée que celle du sol en surface et il ne contient pas de substances organiques.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

- **Infiltration :** Passage de l'eau de la surface dans les eaux souterraines. Elle peut être réalisée aussi bien à la surface, c'est-à-dire avec un passage à travers le sol ou une couche de sol biologiquement active (ci-après **passage à travers le sol**) que directement sous terre dans le sous-sol (c'est-à-dire sans passage à travers le sol).

- **Surface d'infiltration (A_V) :** Surface au travers de laquelle les eaux de ruissellement s'infiltrent dans le sous-sol.

- **Surface d'évacuation des eaux (A_E) :** Surface réceptrice d'où s'écoulent les eaux de ruissellement.

- **Installation d'infiltration :** Une installation d'infiltration est une installation de surface ou souterraine conçue pour l'infiltration artificielle des eaux de ruissellement. Sont également considérées comme des installations d'infiltration les surfaces de sol réservées délibérément à l'infiltration, dans lesquelles l'accumulation de polluants à long terme est acceptable. C'est le cas généralement lorsque le rapport entre la surface d'évacuation des eaux et la surface d'infiltration (A_E/A_V) est supérieur à 5 : 1. L'infiltration des eaux de chaussée sur le bas-côté est également considérée comme une installation d'infiltration (→ Chap. 4.1.3). Voir le chapitre 4.1.2 pour des informations plus détaillées concernant les installations de traitement.

- **Installation de traitement :** Une installation de traitement sert à réduire la charge polluante indésirable dans les eaux de ruissellement avant leur infiltration ou leur déversement dans des eaux superficielles. Les installations de traitement se distinguent, entre autres, des installations d'infiltration par le fait que les eaux de ruissellement de l'installation ne sont pas directement infiltrées. Elles sont d'abord recueillies avant d'être traitées et dirigées vers une installation d'infiltration ou le cas échéant dans des eaux superficielles. Les installations de traitement comprennent plusieurs étapes et un filtre (voir définition suivante). Voir le chapitre 4.1.2 pour des informations plus détaillées concernant la délimitation par rapport aux installations d'infiltration.

- **Filtre :** Le filtre est un composant de l'installation de traitement destiné à retenir des substances polluées (particules et/ou matières dissoutes). Un filtre peut être constitué d'un matériau terreux adapté (sol filtrant) ou d'autres matériaux naturels (sable, gravier, granulé) ou artificiels (adsorbant) ou être de nature purement mécanique. Le choix du filtre adapté dépend notamment de la composition des polluants et du degré de pollution des eaux à traiter.

- **Prétraitement :** Dans le domaine des biens-fonds, le prétraitement sert à réduire le volume des boues dans des eaux de ruissellement fortement chargées en particules fines. Un prétraitement en amont de l'installation d'infiltration ou de traitement facilite l'entretien des autres installations. Les dépotoirs à boue ou les filtres de gravier sont des exemples de prétraitement. Dans les installations de traitement des eaux de chaussée, on parle au contraire de prétraitement afin de réduire les particules en suspension avant le traitement proprement dit.

Pour d'autres définitions voir le glossaire disponible sur le site Internet du VSA[1].

1.5 Champ d'application et limitations

1.5.1 Champ d'application

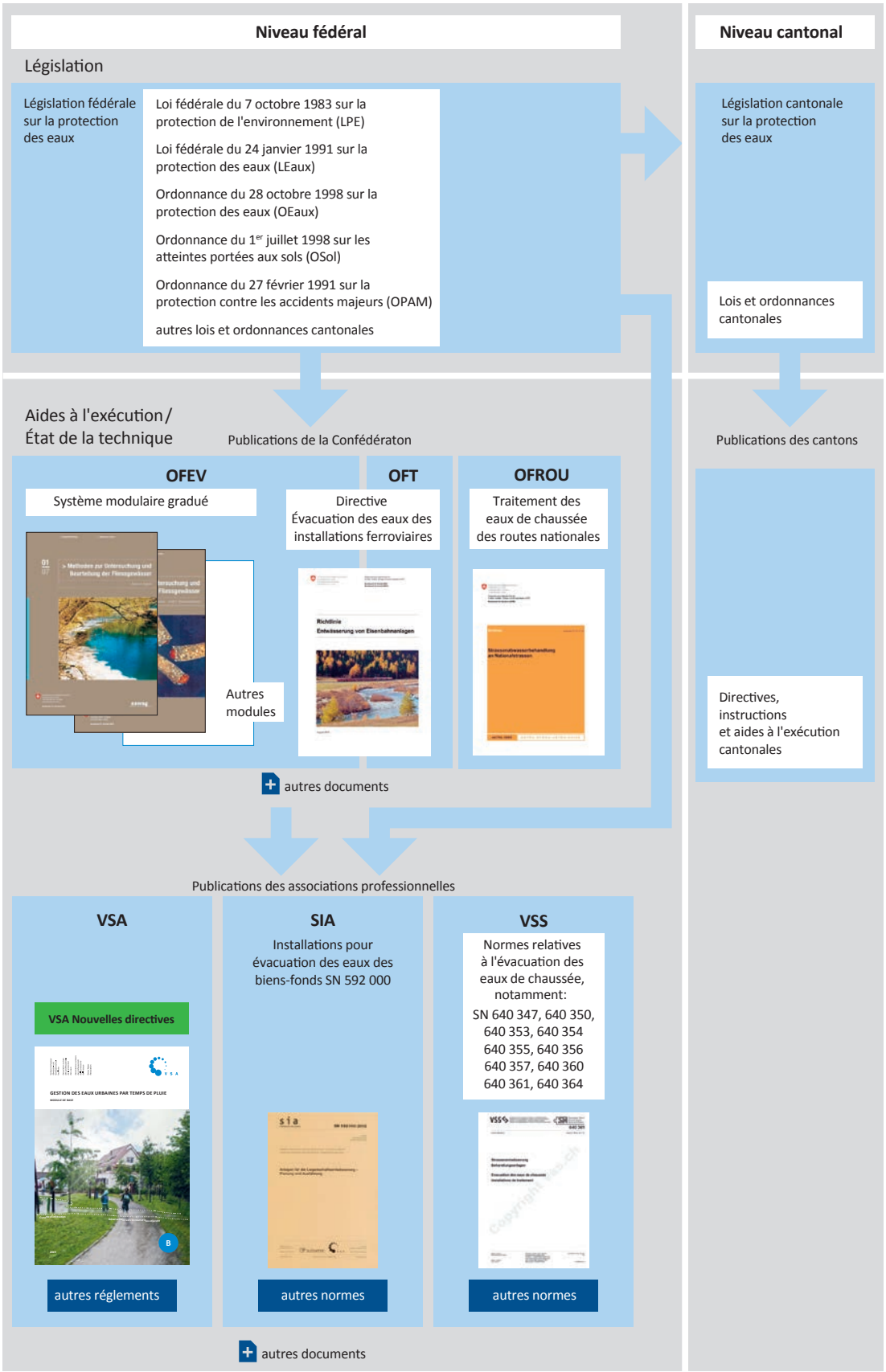
La place de la directive par rapport à la législation et à d'autres publications est illustrée dans la Figure B1.

La présente directive s'applique pour l'examen de l'admissibilité de toutes les infiltrations et de tous les déversements dans des eaux superficielles.

[1] www.vsa.ch

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Figure B1
Place de la directive par rapport à la législation et à d'autres publications. Pour la structure de la nouvelle directive (encadrée en vert dans la figure), voir le chapitre 1.5.



Elle est applicable en particulier pour la planification de l'évacuation des eaux de nouvelles surfaces imperméables (toitures, places et surfaces de circulation…) ainsi qu'en cas de modification (importante) de ces évacuations et dans le cadre du PGEE (voir à ce propos le chapitre 1.2 du présent module). Elle s'applique aussi bien aux installations publiques que privées.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

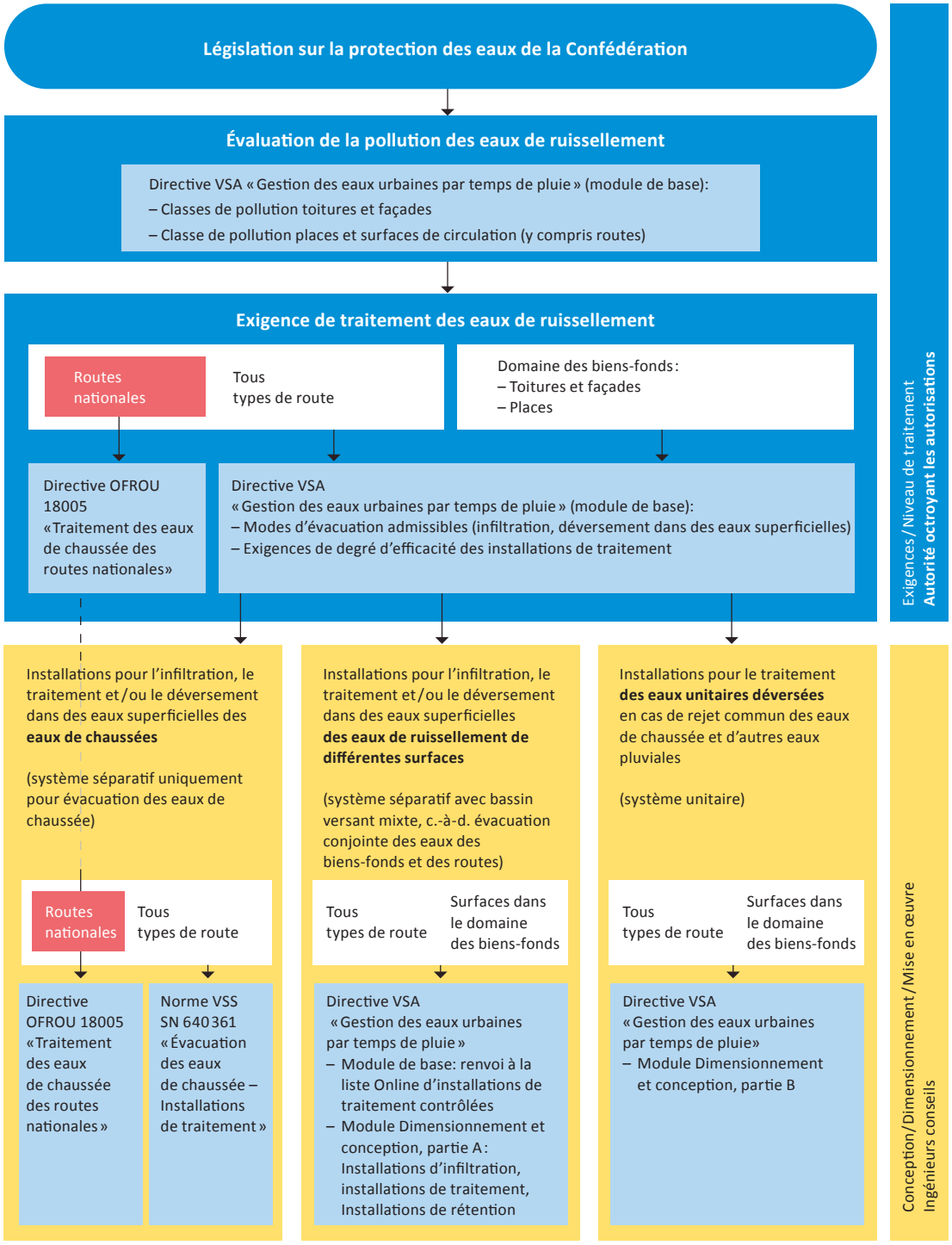


Figure B2
Interface/Délimitation évacuation des eaux des biens-fonds/des eaux de chaussée.

Pour l'application et la mise en œuvre, il s'agit de prendre en considération les prescriptions cantonales et communales et leurs bases de planification, tout comme les normes et les directives émises par les associations professionnelles au sujet de l'évacuation des eaux urbaines et des eaux de chaussée. Les différentes exigences doivent enfin être intégrées dans la planification de l'évacuation des eaux d'une commune ou d'une région ainsi que dans les projets individuels d'évacuation des eaux.

Il convient en particulier de prêter attention à la coordination des liens suivants:

Lien avec les planifications d'ordre supérieur
Il faut tenir compte des exigences issues de planifications d'ordre supérieur telles que plans d'affectation spéciaux, plans généraux d'évacuation des eaux (PGEE/PGEE intercommunaux), plans régionaux d'évacuation des eaux (PREE) ainsi que plans directeurs et plans sectoriels. Il peut en effet arriver que les exigences qui y sont formulées pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie s'écartent de celles qui sont

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

énoncées dans la présente publication, en raison de circonstances spécifiques. Les autorités compétentes peuvent être amenées à renforcer les exigences afin d'éviter une pollution inadmissible des milieux récepteurs.

Lien avec les bases technico-constructives et avec l'évacuation des eaux de chaussée
La planification et la conception technique détaillée des différents ouvrages d'un système d'évacuation des eaux requièrent la prise en compte des bases technico-constructives émises par les autorités compétentes et les associations professionnelles concernées. Cela vaut en particulier pour les installations destinées exclusivement à l'évacuation des eaux de chaussée ; voir à ce propos les normes de l'Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS). Le domaine d'application des publications de référence est présenté dans la Figure B2.

1.5.2 Limites d'application

Les installations et les situations décrites ci-après ne sont pas traitées dans la présente directive :

- **Eaux usées polluées et eaux usées épurées :** la présente directive ne concerne pas les eaux usées domestiques et industrielles qui doivent être acheminées vers une station d'épuration (STEP). Les rejets d'eaux usées épurées par les STEP et les stations d'épuration de faible capacité ne sont pas non plus traités ici.

- **Places servant régulièrement au transbordement de marchandises dangereuses :** Les entreprises où sont manipulés des liquides de nature à polluer les eaux sont soumises aux dispositions des art. 22 à 25 de la LEaux (section 5 : Exigences concernant les liquides de nature à polluer les eaux) et aux obligations et interdictions correspondantes de l'annexe 4, chiffre 2, de l'OEaux (Mesures de protection des eaux) ainsi qu'aux dispositions pertinentes en matière de protection de l'environnement au sein de l'entreprise et de prévention des accidents majeurs.

  Les eaux de ruissellement s'écoulant de surfaces où sont régulièrement manipulées (transbordement, transformation, stockage) des substances potentiellement dangereuses pour l'eau, telles que stations-service, stations de lavage de voitures, centres de transbordement, dépôts de carburants, etc., doivent dans la plupart des cas être amenés à la STEP après un éventuel prétraitement. Les prescriptions suivantes sont applicables à cet égard :
  – SN 592 000, chapitre 6.4 [101]
  – Directive des cantons « Sécurisation et évacuation des eaux des places de transbordement de marchandises » [200]
  – Guide des cantons « Entreposage des matières dangereuses » [201]
  – Aide à l'exécution pour la branche automobile et les entreprises assimilées [202]
  – Aide-mémoire Industrie automobile et transports [203]
  – Autres directives cantonales

- **Accidents majeurs :** lorsque les voies de communication et les entreprises entrent dans le champ d'application de l'ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM), il convient de prendre des mesures de sécurité supplémentaires, en plus de celles qui sont prévues dans la présente directive.
  Les prescriptions suivantes sont applicables à cet égard :
  – OPAM, annexe 2.4 [5]
  – Office fédéral de l'environnement, Manuel de l'ordonnance sur les accidents majeurs, partie générale et module Routes de grand transit, L'environnement pratique, OFEV, Berne 2017 [52]
  – Pour les routes nationales : directives de l'OFROU 19001 [57] et 19002 [58]
  – Pour les installations ferroviaires : directives de l'OFT « État de la technique de sécurité pour l'infrastructure ferroviaire » [60] et « Exigences de sécurité pour les tunnels ferroviaires existants » [61]

- **Routes nationales :** l'évacuation des eaux des routes nationales relève de l'Office fédéral des routes : directive de l'OFROU 18005 [56].

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

- **Installations ferroviaires :** l'évacuation des eaux des installations ferroviaires doit se faire selon la directive de l'Office fédéral des transports [55]. En revanche, l'évacuation des eaux provenant des voies ferrées situées en zone urbaine (p. ex. trams) se fera selon la présente directive.

- **Aéroports :** ces installations sont traitées au cas par cas.

- **Évacuation des eaux de chantier :** la norme SIA SN 509 431 « Évacuation et traitement des eaux de chantier » [100] s'applique dans ce cas.

- **Eaux usées des ouvrages souterrains :** les « Instructions pour l'application de la protection des eaux souterraines aux ouvrages souterrains » [51] s'appliquent dans ce cas.

- **Eaux usées provenant des décharges :** exigences de l'OEaux, annexe 3.3, chiffre 25. L'aide à l'exécution de l'OFEV « Exigences applicables au déversement du lixiviat de décharge » [59] s'applique dans ce cas.

1.6 Structure de la directive

La directive est divisée en plusieurs modules qui traitent chacun d'un aspect différent de la gestion des eaux urbaines par temps de pluie :

Abréviation pour les renvois	Bref descriptif du contenu	Destinataires
B	Le présent **module de base** est le document principal de la nouvelle directive. Il décrit le déroulement de la planification pour la gestion des eaux pluviales et des eaux unitaires déversées. Il comprend tous les éléments nécessaires pour déterminer le mode de gestion approprié des eaux pluviales, par exemple dans le cadre d'une demande d'autorisation de construire.	Maîtres d'ouvrage Planificateurs (architectes, spécialiste en assainissement, architectes-paysagistes, urbanistes-aménagistes, ingénieurs civils) Autorités d'exécution (commune, canton)
G	Le **module Analyse de la qualité des eaux** décrit les différents niveaux de l'analyse de la qualité des eaux. Il définit les méthodes de réalisation des relevés dans les eaux ainsi que la façon dont ces relevés permettent de déterminer l'influence d'un point de rejet sur les eaux et les actions requises.	Planificateurs (ingénieur PGEE, hydrobiologiste) Autorités d'exécution (commune, canton)
S	Le **module STORM** traite de la planification de la vérification des mesures selon STORM, applicable pour des problèmes complexes, spécialement dans le cadre du traitement du PGEE.	Planificateurs (ingénieur PGEE) Autorités d'exécution (commune, canton)
D	Le **module Dimensionnement et conception** comprend des conseils et des exemples pour dimensionner et concevoir correctement des installations d'évacuation des eaux. Il est divisé en deux parties :	
DA	**Partie A :** surfaces d'infiltrations et installations pour eaux de ruissellement	Planificateurs (architectes, spécialistes en assainissement, …)
DB	**Partie B :** ouvrages de déversement et installations de traitement des eaux unitaires	Planificateurs (ingénieur PGEE)
E	Le **module Systèmes d'évacuation des eaux** est une aide au choix du système d'évacuation le mieux adapté, sur la base d'une liste de critères. Il est utilisé surtout dans le cadre du traitement du PGEE.	Planificateurs (ingénieur PGEE) Autorités d'exécution (commune, canton)
L	Liste des abréviations et bibliographie de tous les modules	Tous les utilisateurs

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Pour plus de clarté dans la description des tableaux, figures, équations et exemples, les numérotations suivent le schéma suivant :

Abréviation du module + numération continue

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2 DÉROULEMENT DE LA PLANIFICATION POUR LA GESTION DES EAUX PLUVIALES

2.1 Procédures de planification de la gestion des eaux pluviales

2.1.1 Planification et autorisation de nouveaux systèmes d'évacuation des eaux des biens-fonds

Ce cas de figure très fréquent porte en particulier sur des installations d'infiltration individuelles ou des rejets d'eaux pluviales, lesquels sont parfois aménagés en combinaison avec des installations de rétention.

Lorsqu'il s'agit de planifier de nouveaux raccordements d'eaux usées, le mode d'évacuation doit avant tout correspondre aux exigences du PGEE. Il convient toutefois de s'assurer que ces dernières sont encore adaptées à la situation actuelle. Si tel n'est pas le cas, un mode d'évacuation approprié devra être déterminé, d'entente avec la commune et le service spécialisé cantonal. Ce faisant, il convient de prendre en compte, outre la présente directive, les exigences de l'autorité d'exécution communale et les conditions cadres définies dans les documents d'ordre supérieur, par exemple PREE ou PGEE intercommunal.

Le processus de planification et de prise de décision décrit ci-après aux chapitres 2.2 à 2.7 s'applique en premier lieu à des projets de construction concrets pour lesquels se pose la question de la gestion des eaux de ruissellement tombant sur des toits et des surfaces imperméabilisées (voies et places). Cette question doit être résolue dans le cadre de la procédure de demande d'autorisation de construire.

Des investigations plus poussées ne sont requises que si l'on est en présence de conditions particulières (p. ex. nouveau rejet non pris en compte dans le PGEE). Dans ce cas, les répercussions pour les canalisations et le milieu récepteur doivent être étudiées dans le sens du sous-chapitre 2.1.4.

2.1.2 Planification et projets de routes

En règle générale, la planification de l'évacuation des eaux des routes communales et cantonales ne fait partie de la procédure de demande d'autorisation de construire mais, dans la plupart des cantons, elle est intégrée dans une procédure de consultation interne. Cependant, tout comme des projets privés, les installations d'infiltration des eaux de chaussée, les systèmes d'évacuation et de traitement des eaux de chaussée (SETEC) et le déversement des eaux de chaussée dans des eaux superficielles requièrent une autorisation légale en vertu de l'art. 7, al. 2, LEaux ou, au minimum, l'accord correspondant des services cantonaux de protection des eaux.

Le processus de planification et de prise de décision décrit ci-après aux chapitres 2.2 à 2.7 sert également de fil conducteur pour la planification de l'évacuation des eaux de chaussée.

En ce qui concerne la réalisation des installations d'assainissement, il faut faire une distinction claire entre les installations purement destinées à l'évacuation des eaux de chaussée d'une part et celles purement destinées à l'évacuation des eaux des biens-fonds ou pour des bassins versants mixtes d'autre part (voir aussi les indications relatives au champ d'application de la directive au chapitre 1.5.1) :

- La présente directive ne contient aucune indication relative à la réalisation des installations d'évacuation des eaux de chaussée mais renvoie à la norme SN 640 361 du VSS.

- Pour les installations d'évacuation des eaux des biens-fonds, le module « Dimensionnement et conception », partie A (DA), montre comment les réaliser pour qu'elles soient efficaces, peu coûteuses et compactes.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2.1.3 Planification de l'évacuation des eaux dans les plans d'affectation spéciaux

Les plans d'affectation spéciaux précisent le régime des affectations figurant dans les plans d'affectation généraux (ou plans de zones). Si la terminologie varie d'un canton à l'autre (les termes « plan d'aménagement » et « plan de quartier » sont couramment utilisés), leur contenu et leurs objectifs sont comparables.

De nombreuses constructions figurent comme complexes immobiliers dans ces plans d'affectations spéciaux sans que ceux-ci détaillent l'évacuation des eaux prévue.

Pourtant, ces plans peuvent et doivent poser les jalons pour une évacuation des eaux conforme aux exigences de la protection de l'environnement et des eaux, par exemple en veillant à libérer les surfaces prévues pour l'infiltration à l'intérieur des parcelles à bâtir. Les plans d'affectation spéciaux sont généralement approuvés par la commune et/ou le canton.

Le chapitre 2.3.3 fournit des indications sur les mesures à prendre et à encourager en matière d'évacuation des eaux lors de l'approbation des plans d'aménagement et des plans de quartier.

2.1.4 Plans généraux d'évacuation des eaux (PGEE) / Études sur l'assainissement urbain

Le PGEE est l'outil de planification central de l'assainissement urbain d'une commune (PGEE communal) ou d'un syndicat des eaux usées (PGEE intercommunal). Le contenu minimal du PGEE communal est défini à l'art. 5, al. 2, OEaux : le PGEE définit explicitement les zones dans lesquelles il faut prévoir un système séparatif (art. 5, al. 2, let. b, OEaux) et les zones dans lesquelles les eaux non polluées doivent être évacuées par infiltration (art. 5, al. 2, let. c, OEaux) ou déversées dans des eaux superficielles (art. 5, al. 2, let. d, OEaux). Les communes peuvent formuler des obligations différentes dans le cadre de plans d'affectation spéciaux et de la procédure d'autorisation de construire.

Les systèmes d'évacuation des eaux sont définis dans le PGEE au niveau communal, avec prise en compte des éventuelles exigences issues de planifications d'ordre supérieur (PGEE intercommunal ou PREE par exemple). Le PGEE intercommunal détermine le concept régional d'évacuation des eaux et assure la coordination entre les PGEE communaux. Un PGEE approuvé et adopté est un instrument de planification, accompagné d'un catalogue de mesures, contraignant pour les autorités et, dans certains cantons, pour les propriétaires fonciers.

La révision du PGEE communal ou intercommunal doit obéir au cahier des charges type du PGEE émis par la VSA [150]. La présente directive est alors applicable pour les rapports suivants :

Rapport sur l'état des cours d'eau

- **Analyse de la biologie aquatique :** la biologie aquatique aux points de rejet importants doit faire l'objet d'analyses périodiques. Le présent module de base contient des recommandations pour déterminer quand de telles analyses sont indiquées ; voir chapitre 2.5.3 pour les déversements d'eaux de ruissellement et chapitre 8.3 pour les déversements d'eaux unitaires. La méthodologie de ces analyses est décrite dans le module Analyse de la qualité des eaux (G) de la présente directive.

Concept d'évacuation des eaux

- **Choix / vérification du système d'évacuation des eaux :** la décision concernant le système d'évacuation des eaux approprié pour un bassin versant donné doit toujours être prise au niveau conceptuel et en tenant compte des spécificités régionales ; il s'agit d'une analyse de situation particulière. Le module Systèmes d'évacuation des eaux fournit aux personnes chargées d'élaborer le PGEE une aide pour prendre une décision fondée concernant le système adéquat.

- **Assainissement d'installations non conformes pour l'infiltration ou le rejet d'eaux de ruissellement :** il faut remédier d'une manière générale, et indépendamment d'une mise à jour du PGEE, aux manquements constatés lors de contrôles périodiques, d'analyse de la qualité des eaux ou de relevés

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

d'état des installations. L'actualisation du PGEE fournit toutefois l'occasion de définir les mesures d'assainissement nécessaires en partant d'une perspective plus générale et de fixer ainsi un ordre de priorité. La démarche à suivre pour planifier les mesures est, dans un premier temps, la même que celle qui est décrite aux chapitres 2.1.1 et 2.1.2. Si le problème constaté ne peut pas être résolu à l'aide de mesures simples ou si la pollution des eaux observée est le fait de plusieurs rejets, une vérification des mesures selon STORM s'impose. Celle-ci est décrite dans le module STORM (S) de la présente directive.

- **Évaluation des déversements d'eaux unitaires :** la démarche à suivre est expliquée au chapitre 8 du présent module.

- **Planification d'ouvrages pour la rétention, le traitement et le déversement d'eaux unitaires :** ici aussi, la démarche à suivre est expliquée au chapitre 8 du présent module.

2.1.5 Réceptions et contrôles de travaux

Une fois l'autorisation accordée pour des installations d'évacuation des eaux, il faut contrôler explicitement si elles ont été correctement réalisées conformément aux plans approuvés. On vérifie en particulier l'absence de mauvais raccordements.

2.2 Démarche générale

Le déroulement de la planification décrit ci-dessous vaut aussi bien pour la conception de nouvelles installations d'évacuation des eaux pluviales que pour le contrôle d'installations existantes. La démarche est divisée en quatre étapes : « choix du mode d'évacuation des eaux », « vérification de la faisabilité », « vérification de l'admissibilité » et, au besoin, « comparaison des variantes » → Figure B3.

Les quatre étapes de planification sont brièvement expliquées dans les chapitres qui suivent.

Vous trouverez les informations détaillées ici :

Mode d'évacuation des eaux	→ Module « Systèmes d'évacuation des eaux » et informations générales dans le chapitre 2.3 du présent module
Faisabilité	→ Informations générales dans le chapitre 2.4 du présent module
Admissibilité	→ Chapitres 2.5 et 3 à 7 du présent module
Comparaison des variantes	→ Informations générales dans le chapitre 2.6 du présent module

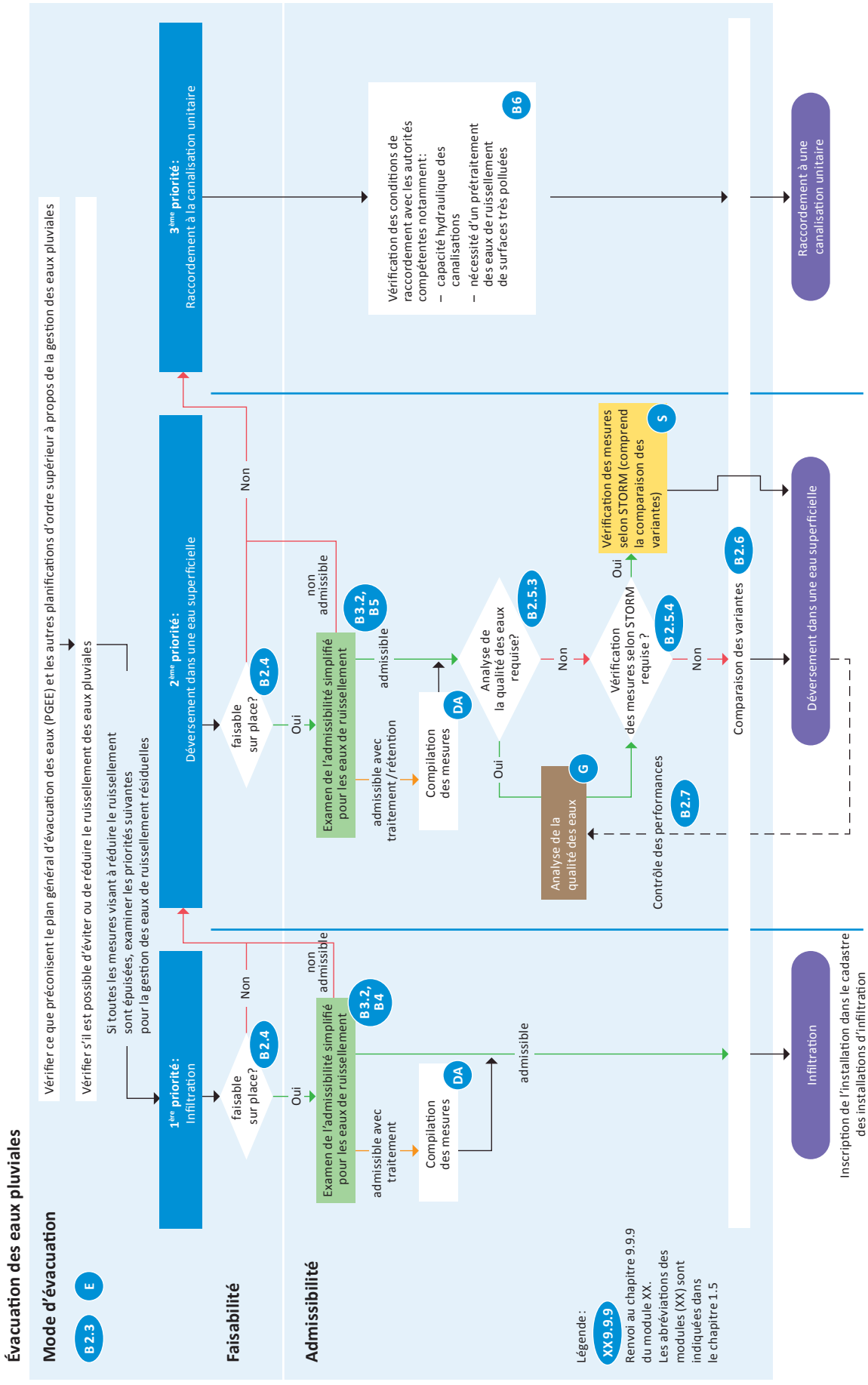
2.3 Choix du mode d'évacuation des eaux

2.3.1 Priorités et démarche

L'art. 7, al. 2, LEaux stipule que les « eaux non polluées » doivent être évacuées par infiltration lorsque les conditions locales le permettent et que ce mode d'évacuation est admissible selon les prescriptions légales. Il convient donc, lors du choix du mode d'évacuation, de favoriser un cycle de l'eau proche du cycle naturel en tenant compte des conditions locales. C'est pourquoi l'évacuation des eaux doit être prise en considération le plus tôt possible pour des complexes immobiliers. Les surfaces requises pour l'infiltration doivent déjà être réservées dans les plans d'affectation spéciaux (ou les instruments de planification similaires) comme cela se passe pour les places de parc, les aires de jeux, etc. → Chapitre 2.3.3.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Figure B3
Schéma du déroulement de la planification pour la gestion des eaux pluviales.



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Il découle des dispositions légales l'ordre de priorité suivant pour la gestion des eaux pluviales :

1. **Infiltration** → Chap. 4
   Il faut viser en premier lieu une infiltration la plus décentralisée possible directement sur place afin d'éviter ou de réduire autant que possible le ruissellement des eaux pluviales. En outre, pour des raisons de protection des eaux souterraines, en cas d'infiltration centralisée une installation d'infiltration en surface avec passage à travers le sol est à privilégier, même si une infiltration directe dans le sous-sol (p. ex. par le biais d'un puits d'infiltration) serait admissible.

2. **Déversement dans des eaux superficielles** → Chap. 5
   Déversement direct sans recourir à une canalisation publique (à savoir en surface, dans des cuvettes/rigoles ou à l'aide d'une conduite) ou déversement via la canalisation publique d'eaux pluviales (généralement dans des conduites souterraines).

3. **Évacuation dans la canalisation d'eaux unitaire**s → Chap. 6
   Évacuation des eaux de ruissellement avec les eaux polluées : dans le même système de canalisations (système unitaire) aboutissant à la STEP.

La démarche recommandée découlant de cette liste de priorités, du point de vue de la protection des eaux et des sols, est présentée à la **Figure B3.**

Sur la base des priorités légales, la première étape consiste à répondre aux questions suivantes concernant la gestion des eaux pluviales :

1. **Quels sont les renseignements fournis par le plan général d'évacuation des eaux (PGEE) à propos de la gestion des eaux pluviales** ? Quelle est la signification des systèmes unitaires et séparatifs pour la gestion des eaux pluviales et comment faut-il interpréter les renseignements fournis par la carte d'infiltration ?
   → Chapitre 2.3.2 Plan général d'évacuation des eaux (PGEE)

2. **Est-il possible d'éviter ou de réduire le ruissellement des eaux pluviales** ? Le ruissellement des eaux pluviales peut être réduit ou même évité à l'aide d'aménagements appropriés. Les aménagements possibles sont les suivants :

   – **Toits plats végétalisés :** ils servent à diminuer le ruissellement (évapotranspiration) et à réduire les débits de pointe (rétention) → Voir à ce propos les indications de dimensionnement dans le module Dimensionnement et conception, partie A (DA), chapitre 2.2.1.

   – **Surfaces perméables :** elles permettent une infiltration décentralisée sur place et sont à privilégier lorsque l'étanchéité n'est pas indispensable (places et chemins) → Module DA, chap. 1.6.

   – Évacuation par **le bas-côté :** si l'étanchéité des routes et des places est requise, leurs eaux doivent dans la mesure du possible être évacuées par le bas-côté → Module DA, chap. 1.7.1.

L'utilisation de matériaux de construction qui ne polluent pas les eaux de ruissellement peut éviter leur traitement ultérieur – avec une efficacité naturellement limitée – (principe de précaution). Des dispositifs constructifs adaptés sont également possibles : par exemple, un avant-toit au lieu d'utiliser des peintures pour façades contenant des pesticides.

Lorsque toutes les mesures visant à réduire le ruissellement sont épuisées, il faut déterminer la quantité d'eau qui provient des surfaces bâties et imperméabilisée (→ Annexe 2 du module DA). Ces données permettent ensuite d'étudier la faisabilité et l'admissibilité des modes d'évacuation selon les chapitres 2.4 et 2.5. Il faut pour cela répondre aux questions suivantes :

3. **Quelle est, d'après l'expérience, le degré de pollution des eaux de ruissellement ?** → Chapitre 3 Pollution des eaux de ruissellement

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

4. **L'infiltration totale ou partielle des eaux de ruissellement est-elle possible et autorisée,** le cas échéant avec quelles mesures ?
   → Chapitre 4 Infiltration des eaux de ruissellement et, si nécessaire,
   → Chapitre 7 Traitement des eaux de ruissellement

5. **Le déversement des eaux de ruissellement dans des eaux superficielles**, directement ou via la canalisation d'eaux pluviales, **est-il possible et autorisé,** le cas échéant avec quelle solution technique ?
   → Chapitre 5 Déversement d'eaux de ruissellement dans des eaux superficielles et, si nécessaire,
   → Chapitre 7 Traitement des eaux de ruissellement

6. **Le déversement des eaux de ruissellement** (excédentaires) **dans la canalisation d'eaux unitaires est-il possible et autorisé**, le cas échéant avec quelle solution technique ?
   → Chapitre 6 Déversement dans une canalisation d'eaux unitaires

Pour répondre aux questions 3 à 6, il convient de suivre d'une manière générale les principes de base suivants :

- Des mesures de rétention décentralisées sont préférables à des mesures centralisées.

- Si une infiltration complète est impossible, par exemple en raison de la capacité d'infiltration insuffisante du sol, une infiltration partielle est préférable à aucune infiltration du tout. Dans de tels cas, il est utile de la combiner l'infiltration avec des mesures de rétention (→ module DA, chap. 2) ainsi que de prévoir un déversoir de sécurité (→ module DA, chap. 1.10.4) en surface vers la canalisation d'eaux pluviales ou d'eaux unitaires (pour autant que les conditions locales et la capacité des canalisations le permettent). Ce faisant, il faut toutefois s'assurer qu'un retour en surface d'eaux unitaires est exclu, même en cas de refoulement dans la canalisation.

- Les eaux de ruissellement fortement polluées nécessitant un traitement doivent être traitées dans un état aussi concentré que possible, avant d'être mélangées à des eaux moins polluées.

Une fois le choix du mode d'évacuation effectué, la solution doit être élaborée sur le plan technique et dimensionnée correctement. Les principes de cette planification figurent dans le module « Dimensionnement et conception », partie A (DA).

2.3.2 Plans généraux d'évacuation des eaux (PGEE)

Renseignements fournis par le PGEE sur les systèmes d'évacuation des eaux
Du fait que les surfaces urbaines sont définies dans le PGEE comme bassin versant à système séparatif et bassin versant à système unitaire, on en déduit souvent, à tort, que les eaux non polluées peuvent être rejetées d'emblée dans la canalisation d'eaux pluviales ou la canalisation d'eaux unitaires. Or cela n'est pas le cas. L'obligation d'infiltration selon l'art. 7, al. 2, LEaux, s'applique de manière générale, et donc aussi pour les bassins versants dont les eaux sont évacuées dans le système unitaire ou séparatif. Cela figure également dans la norme SN 592 000 au chiffre 2.4.7.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Le tableau B2 récapitule la description des différents systèmes.

Tableau B2
Description des systèmes d'évacuation des eaux définis dans le PGEE pour la planification de l'évacuation des eaux de biens-fonds et de routes.

Système	Conséquence pour la planification de l'évacuation des eaux
Système unitaire	Les eaux de ruissellement dont, en raison des conditions locales, l'infiltration n'est pas possible ou n'est possible que partiellement, n'est pas admissible pour des raisons de protection des eaux souterraines, n'est pas proportionnée ou n'est pas opportune pour des raisons particulières peuvent être déversées dans la canalisation d'eaux unitaires.
Système séparatif	Les eaux de ruissellement dont, en raison des conditions locales, l'infiltration n'est pas possible ou n'est possible que partiellement, n'est pas admissible pour des raisons de protection des eaux souterraines, n'est pas proportionnée ou n'est pas opportune pour des raisons particulières peuvent être déversées dans des eaux superficielles, soit directement soit par la canalisation d'eaux pluviales communale. On fait souvent la distinction suivante : • secteur doté de canalisations communales (construites en parallèles) pour les eaux polluées et les eaux pluviales (= système séparatif strict) • secteur avec déversement direct dans des eaux superficielles (sans canalisation d'eaux pluviales communale)
Système modifié	Un système modifié n'est pas à strictement parler un véritable système. Il s'agit essentiellement d'un système unitaire ou séparatif dans lequel les aspects suivants ont également été pris en considération : • Au lieu d'être évacuées par infiltration ou déversées dans des eaux superficielles, les eaux de ruissellement provenant de surfaces de biens fonds présentant un risque de pollution potentiellement élevé (nécessitant un traitement) sont déversées dans la canalisation d'eaux unitaires. • L'évacuation des eaux des surfaces présentant un risque de pollution potentiellement élevé (eaux de ruissellement nécessitant un traitement) doit être séparée de celle des surfaces sans risque de pollution (eaux ne nécessitant pas de traitement). • Des prescriptions d'évacuation des eaux spéciales restent applicables sur les lieux de travail, de stockage et de transbordement industriels. Ces prescriptions ne sont pas un élément du système modifié.

Renseignement fournis par le PGEE sur les possibilités d'infiltration
La carte d'infiltration évalue les « possibilités d'infiltration » sur la base de la capacité d'infiltration du sous-sol et de la profondeur de la nappe phréatique. Ces deux critères restreignent les possibilités d'infiltration centralisée, en particulier dans des installations souterraines.

« Infiltration mauvaise à impossible » ne signifie pas pour autant que l'infiltration dans des cuvettes et rigoles en surface, combinées avec des installations de rétention, n'est pas possible. Dans de tels cas, la faisabilité d'une infiltration (partielle) doit également être vérifiée lors de la planification d'un projet concret d'évacuation des eaux.

2.3.3 Indications sur l'évacuation des eaux dans les plans d'affectation spéciaux

Définition des instruments de planification
Dans les plans d'affectation spéciaux liés à un secteur ne sont définis, selon le niveau, que le parcellement et la viabilisation avec les infrastructures nécessaires (y compris l'évacuation des eaux usées) pour les futurs lotissements ou, dans le cadre des prescriptions de construction, le type d'affectation de chaque secteur. Le plan d'affectation spécial public peut s'écarter des dispositions du règlement sur les constructions et les zones mais doit être approuvé par les autorités. Le plan d'affectation spécial privé offre moins de liberté de manœuvre que le plan public en ce qui concerne les dérogations et requiert l'accord de tous les propriétaires fonciers concernés.

Prise en compte de l'évacuation des eaux dans les instruments de planification
Dans le cadre de la planification de complexes immobiliers, il convient de déterminer le plus tôt possible l'espace nécessaire pour l'évacuation des eaux et de délimiter les surfaces requises à cet effet dans les plans d'affectations spéciaux correspondants. Lorsque cela est possible, la priorité sera donnée à l'infiltration avec passage à travers le sol au moyen de surfaces perméables, à l'évacuation par le bas-côté et aux cuvettes et rigoles d'infiltration en surface.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

C'est pourquoi, dans le cadre des plans de quartier et de projets d'urbanisation, il faut déjà réaliser des essais d'infiltration simples et mener assez tôt une réflexion sur la réduction de l'écoulement des eaux de ruissellement. Des toits plats végétalisés peuvent être utilisés à la fois pour réduire les eaux de ruissellement (évapotranspiration et rétention) et servir d'habitat (augmentation de la biodiversité). Ils sont amenés à prendre une place de plus en plus importante à l'avenir comme éléments d'aménagement contribuant à réduire la température dans des zones à forte densité de population (→ module DA, chap. 2.2.1). Si les eaux pluviales sont prises en compte dès le début d'un projet, elles peuvent intégrées comme élément attractif dans les aménagements extérieurs et figurer dans les plans d'affectations spéciaux.

2.4 Vérification de la faisabilité

Un premier niveau de vérification de la faisabilité intervient déjà dans le cadre du PGEE (→ 2.3.2) ou des plans d'affectations spéciaux (→ 2.3.3). Cependant, dans la plupart des cas, elle n'est pas définitive. Il s'agit juste d'un premier examen des possibilités d'infiltration (carte d'infiltration du PGEE) ou de déversement dans des eaux superficielles (délimitation du système séparatif dans le PGEE).

Dans le cadre de la planification d'un projet d'évacuation des eaux concret, la faisabilité technique doit être analysée de manière exhaustive à l'aide des facteurs suivants :

- quantité d'eaux de ruissellement à évacuer → Annexe 2 du module DA ;
- capacité d'infiltration du sol et du sous-sol et profondeur de la nappe phréatique (distance entre la surface du sol et le niveau de la nappe phréatique) ou capacité des eaux superficielles considérées ;
- conditions spatiales et aspects liés au droit de voisinage ;
- possibilités techniques et constructives ;
- rapport impact/bénéfice et coût/bénéfice.

Si un mode d'évacuation n'est pas réalisable localement ou s'il est disproportionné, on se rabattra sur le suivant dans l'ordre de priorité et on déterminera la solution la plus adaptée dans une comparaison des variantes → Chapitre 2.6.

2.5 Vérification de l'admissibilité

2.5.1 Déroulement

La possibilité d'infiltrer ou de déverser les eaux de ruissellement est appréciée en premier lieu dans le cadre d'un **examen simple de l'admissibilité.** Cette procédure est appliquée dans tous les cas étudiés et elle est généralement suffisante. Le but et la méthodologie sont brièvement décrits au chapitre 2.5.2. La procédure est expliquée en détail aux chapitres 3 à 6.

Dans certains des cas spécifiés ci-après, le déversement dans des eaux superficielles requiert en outre une **analyse de la qualité des eaux** (chapitre 2.5.3) et une **vérification des mesures selon STORM** (chapitre 2.5.4).

2.5.2 Examen simple de l'admissibilité pour les eaux de ruissellement

But
L'examen simple de l'admissibilité pour les eaux de ruissellement (infiltration ou déversement dans des eaux superficielles) est un instrument simple, qui peut être appliqué d'une manière générale.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Méthodologie
Une classe de pollution est attribuée à la surface à drainer, en fonction de son utilisation → chapitre 3.2. L'infiltration des eaux de ruissellement est classée sur la base du besoin de protection des eaux souterraines → chapitre 4. Les eaux superficielles dans lesquelles les eaux de ruissellement doivent être déversées sont classées par type et taille → chapitre 5. La confrontation de ces deux classements détermine si l'infiltration ou le déversement est admissible, admissible avec des mesures de traitement ou de rétention ou n'est pas admissible.

Application
L'examen simple de l'admissibilité pour les eaux de ruissellement est appliqué systématiquement. Les exigences relatives à la charge polluante doivent toujours être respectées. À la différence des exigences concernant la charge hydraulique, elles ne peuvent pas être allégées par les résultats d'une analyse de la qualité des eaux ni par la vérification des mesures selon STORM.

Limites d'application
La classification simplifiée des eaux superficielles ne permet pas de refléter entièrement les conditions spécifiques qui y règnent. En outre, l'examen simplifié de l'admissibilité pour les eaux de ruissellement ne porte à chaque fois que sur une seule d'infiltration ou un seul rejet. L'effet conjugué de plusieurs déversements consécutifs sur le même milieu récepteur n'est pas pris en compte. Lorsque cette simplification n'est pas admissible, il faut procéder à des analyses de la qualité des eaux et/ou vérifier les mesures selon STORM (pour les critères, voir les sections « Application » dans les chapitres 2.5.3 et 2.5.4 ci-après).

2.5.3 Analyse de la qualité des eaux

But
L'analyse de la qualité des eaux a pour but d'identifier les actions requises pour le milieu récepteur et de vérifier l'efficacité des mesures mises en œuvre, en particulier pour les déversements existants et prévus. Elle a l'avantage de mesurer directement l'état du milieu récepteur. Elle permet de constater si les exigences en matière de qualité des eaux selon l'annexe 2, chiffre 1, OEaux ou les objectifs écologiques selon l'annexe 1, chiffre 1, OEaux sont bien respectés.

Méthodologie
La méthodologie est décrite en détail dans le module Analyse de la qualité des eaux. Elle comporte deux niveaux : un monitoring du point de rejet (niveau 1) et une analyse de la qualité des eaux au point de rejet (niveau 2). Ces deux niveaux sont destinés à évaluer l'impact des rejets émis par l'assainissement urbain sur les eaux superficielles et ne doivent pas être confondus avec l'appréciation de l'état général des eaux selon le système modulaire gradué (SMG) :

	Fonction et utilité
Evaluation du point de rejet	
Niveau 1 : **Monitoring du point de rejet**	• Identification grossière des lacunes évidentes par l'exploitation • Vérification simplifiée de l'efficacité des mesures
	• Étude préliminaire dans le cadre du PGEE
Niveau 2 : **Analyse de la qualité des eaux au point de rejet**	• Planification de mesures techniques • Priorisation des mesures, par exemple dans le cadre d'un PGEE • Vérification de l'efficacité des mesures
Evaluation de l'état du milieu récepteur (Ne fait pas partie du module sur l'analyse de la qualité des eaux)	
Méthodes selon SMG	Appréciation de l'état des milieux récepteurs par les cantons et les autorités fédérales

Tableau B3
Aperçu des niveaux de l'analyse de la qualité des eaux pour l'évaluation d'un point de rejet de l'assainissement urbain comparés aux analyses pour l'appréciation de l'état des eaux (extrait du tableau 1 du module Analyse de la qualité des eaux).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Application
La nécessité de réaliser une **analyse de la qualité des eaux** afin d'évaluer un déversement d'eaux de ruissellement existant ou nouveau est décidée d'entente avec le service cantonal de la protection des eaux. En général, un monitoring du point de rejet dans le milieu récepteur (niveau 1) est d'abord effectué afin d'identifier grossièrement les lacunes évidentes. Il est suivi d'une analyse approfondie de la qualité des eaux (niveau 2) aux points de rejet problématiques.

Une application peut être pertinente dans les cas suivants :

- s'il y a des indices donnant à penser qu'un déversement existant pollue les eaux
- comme base pour le contrôle des performances lors de la construction ou de la transformation d'installations de traitement importantes
- lors d'un déversement important compte tenu de la taille du cours d'eau récepteur (par exemple : quotient hydraulique de déversement $V = Q_{347}/Q_E < 0{,}2$ selon le Tableau B12) ;
- pour le déversement dans un cours d'eau de taille petite ou moyenne d'eaux de chaussée atteignant plus de dix points de pollution.

Exemple Déversement des eaux d'une route cantonale dans un petit ruisseau du Plateau :

Les eaux évacuées d'une route présentent une charge de plus de dix points de pollution (Tableau B8) et le déversement se fait dans un petit cours d'eau. Étant donné que la construction d'une installation de traitement est prévue pour les eaux de chaussée, au moins deux des critères indiqués ci-dessus sont remplis ; une analyse de la qualité des eaux sera par conséquent effectuée

Limites d'application
S'il y a une importante pollution préexistante (p. ex. due à l'agriculture ou aux rejets continus d'une STEP) ou une mauvaise écomorphologie du cours d'eau, il arrive souvent que la détérioration locale de la qualité des eaux résultant de déversements excessifs d'eaux unitaires ne soit pas décelable comme telle. Parfois, c'est uniquement la somme de plusieurs déversements qui nuit à l'état des eaux. Dans de tels cas, les analyses de la qualité des eaux ne permettent généralement pas de déterminer de manière univoque dans quelle mesure chacun des déversements contribue à la dégradation de la qualité des eaux.

2.5.4 Vérification des mesures selon STORM

But
Lors de la vérification des mesures selon STORM, les conditions spécifiques régnant dans les eaux réceptrices sont étudiées bien plus en détail et elles sont mieux prises en compte que dans le cas de l'examen simple de l'admissibilité pour les eaux de ruissellement. STORM évalue les immissions d'un déversement et en déduit les valeurs limites d'émissions admissibles. Différentes mesures techniques envisageables sont comparées quant à leur rapport coût / bénéfice afin de déterminer l'option la plus favorable.

Méthodologie
Les investigations et les calculs réalisés dans le cadre de la vérification des mesures techniques selon STORM doivent être adaptés aux questions spécifiques qui se posent et au type de pollution pour le cas concret considéré. Le déroulement conseillé pour la planification, les paramètres de pollution à prendre en compte ainsi que les conseils pour les différentes étapes du processus sont traités dans les chapitres 1 à 4 du module STORM. L'élément central de la vérification des mesures selon STORM est l'équipe de travail interdisciplinaire dans laquelle tous les points de vue s'expriment et qui prend en considération les conditions cadres et les facteurs d'influence définis dans les documents d'ordre supérieur (approche systémique). Le service de protection des eaux, l'ingénieur PGEE et l'hydrobiologiste doivent donc être représentés dans l'équipe ainsi que, suivant les questions abordées, l'exploitant de la STEP ou d'autres spécialistes.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

La vérification des mesures selon STORM repose en règle générale sur les résultats d'une analyse de la qualité des eaux. Ces résultats peuvent par la suite être utilisés également pour contrôler l'efficacité des mesures mises en œuvre.

Application

La décision de déclencher une vérification des mesures selon STORM afin d'évaluer un déversement d'eaux de ruissellement, existant ou nouveau, est prise généralement par une équipe interdisciplinaire composée de spécialistes. Elle est pertinente dans les cas suivants :

- Du point de vue de la **pollution** :
  - S'il y a des indices que les exigences de l'examen simple de l'admissibilité pour les eaux de ruissellement en matière de pollution (Tableau B13) sont insuffisantes pour garantir une bonne qualité des eaux.
  - Si l'on soupçonne que la somme de plusieurs déversements aboutit à une pollution.

- Du point de vue **hydraulique** :
  - Lorsqu'il subsiste des incertitudes quant à la nécessité, à l'efficacité ou à la proportionnalité d'un ouvrage de rétention :La classification simplifiée des eaux peut parfois déboucher sur une surestimation de la charge hydraulique résultant d'un nouveau déversement. Dans un tel cas, une vérification des mesures selon STORM, dans laquelle les eaux réceptrices sont prises en compte de façon plus détaillée, permet d'étudier plus précisément la charge hydraulique des eaux afin de déterminer de manière plus pointue le volume de rétention nécessaire et la mesure technique la plus appropriée. Elle peut aussi déboucher sur un allégement des exigences en matière de rétention. Elle ne doit toutefois pas aboutir à un assouplissement des exigences en matière de pollution découlant de l'examen simple de l'admissibilité pour les eaux de ruissellement.
  - Lorsqu'il y a des indices que les exigences de l'examen simple de l'admissibilité pour les eaux de ruissellement en matière de charge hydraulique (Tableau B14) sont insuffisantes pour garantir une bonne qualité des eaux.
  - Si les deux conditions suivantes sont remplies cumulativement pour le déversement isolé considéré : $V < 1$ et $Q_E > 50$ l/s (définition des paramètres, voir Tableau B12).

Exemple Vérification du déversement des eaux d'une route cantonale dans un petit ruisseau du Plateau dans le cadre du PGEE :

La charge hydraulique est jugée faible à l'issue de l'inspection que l'ingénieur PGEE et l'hydrobiologiste ont effectuée ensemble sur les tronçons du ruisseau situés en zone urbaine au début du processus PGEE. Du point de vue de la pollution par contre, une surcharge ne peut être exclue. La décision est par conséquent prise, d'entente avec le service spécialisé compétent, d'examiner plus précisément ce facteur (p. ex. en procédant à une évaluation simplifiée de la charge polluante ou à des analyses des sédiments).

Limites d'application

La modélisation des processus se déroulant dans les eaux est complexe, difficile et entachée d'incertitudes, surtout pour les grands cours d'eau, en présence d'une pollution préexistante importante ou d'une écomorphologie médiocre. Qui plus est, les bases scientifiques concernant les effets des immissions, par exemple de métaux ou de micropolluants organiques, sont en partie assez succinctes.

L'étude de la proportionnalité des mesures techniques lors de la vérification selon STORM est un élément central pour décider des solutions à mettre en œuvre. C'est pourquoi les détenteurs des installations et les services spécialisés cantonaux ont un pouvoir de décision plus étendu que lorsqu'il s'agit d'appliquer l'examen simple de l'admissibilité pour les eaux de ruissellement, lequel fixe des limites très claires pour l'admissibilité.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2.6 Comparaison des variantes

Le mode d'évacuation des eaux à privilégier est celui dont la priorité est la plus élevée et qui est à la fois faisable et admissible. S'il y a des doutes fondés concernant la proportionnalité de cette solution, d'autres variantes seront étudiées. Une attention particulière doit être alors accordée à la technique de construction, à l'exploitation, à l'entretien ainsi qu'aux rapports impact / bénéfice et coût / bénéfice des variantes possibles.

La décision concernant l'option retenue sera prise d'entente avec le service spécialisé cantonal. Ce faisant, il convient de prendre en compte les conditions cadres définies dans les documents d'ordre supérieur, par exemple au niveau du PGEE ou du PGEE intercommunal. Une vérification des mesures selon STORM inclut déjà une comparaison des variantes, qui ne doit donc plus être réalisée séparément.

2.7 Contrôle des performances

2.7.1 Objectifs et types du contrôle des performances

Ce contrôle de performance permet de vérifier, après la mise en œuvre d'une mesure définie, si le tronçon du cours d'eau concerné présente l'état visé.

Le contrôle des performances poursuit les objectifs suivants :
- vérification des effets d'une mesure ;
- évaluation de l'efficience d'une mesure (rapport coût-efficacité) ;
- optimisation d'une mesure par le biais de propositions de modifications ;
- communication des résultats à l'intention des autorités, du mandant et du public ;
- effet didactique pour répondre à des problèmes et projets similaires.

Le contrôle des performances s'inscrit dans le processus global de la planification (voir flèche en pointillés à la Figure B3) et incombe à l'exploitant de l'installation. Dans l'idéal, les coûts du contrôle des performances sont déjà pris en compte dans les coûts du projet pour la mise en œuvre de la mesure technique.

On distingue le contrôle des performances **axé sur les émissions, se rapportant aux installations,** et le **contrôle des performances axé sur les immissions, se rapportant au milieu récepteur** ainsi qu'un examen **simple** (niveau 1) et un examen **approfondi** (niveau 2) :

Tableau B4
Types et niveaux de contrôle des performances.

	Objectif	Axé sur les émissions	Axé sur les immissions
Examen simple, contrôle d'exploitation (niveau 1)	Permet une première estimation des effets de l'installation sur le milieu récepteur ainsi que du bon fonctionnement, du dimensionnement et du réglage de l'installation. Il s'agit enfin de sensibiliser le personnel d'exploitation à l'importance des impacts sur les eaux.	Surveillance périodique du bon fonctionnement des installations directement par l'exploitant.	Relevés de paramètres simples dans le milieu récepteur, qui peuvent être le plus souvent effectués directement par l'exploitant de l'installation (monitoring du point de rejet – niveau 1 selon le module Analyse de la qualité des eaux)
Examen approfondi (niveau 2)	Vérification ciblée d'une mesure particulière après sa mise en œuvre. Cette vérification peut porter aussi bien sur une installation isolée que sur un sous-système, voire le système complet de l'assainissement urbain considéré. La vérification s'appuie sur une analyse de la qualité des eaux effectuée avant la mise en œuvre de la mesure afin de définir un état de référence.	Évaluation de la mesure prise, par exemple en mesurant le débit rejeté ou la charge déversée dans le milieu récepteur.	Évaluation de l'effet de la mesure prise sur le milieu récepteur à l'aide d'une analyse de la qualité des eaux pour l'évaluation des points de rejet effectuée par un hydrobiologiste (niveau 2 selon le module Analyse de la qualité des eaux).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Les deux niveaux sont à considérés comme des éléments complémentaires. Un seul contrôle ne permet pas de garantir sur le long terme l'effet visé par la mesure. Ainsi, un accident peut entraîner une pollution du milieu récepteur et une modification du système d'assainissement urbain peut engendrer des rejets plus fréquents ou plus importants que les quantités envisagées. Par ailleurs, des modifications peuvent également se produire dans le milieu récepteur, conduisant à une pollution plus importante sans que rien ne change dans le système d'assainissement urbain. Par exemple, la modification des débits, l'aménagement du cours d'eau (réduction du pouvoir auto-épurateur) ou la suppression des plantations riveraines (déficience d'ombrage) peuvent avoir une influence sur les résultats préalablement attendus. Au vu de ces considérations, il est également nécessaire, en plus des examens approfondis, d'effectuer des contrôles périodiques simples. Les examens périodiques doivent être coordonnés avec les analyses réalisées par le service cantonal de la protection des eaux.

Voir l'annexe 1 pour plus d'informations sur le contrôle des performances.

2.7.2 Contrôle des performances recommandé pour les installations d'infiltration, de déversement ou de rétention des eaux de ruissellement

Pour toutes les installations destinées à l'infiltration, au déversement ou à la rétention des eaux ruissellement, un contrôle d'exploitation simple doit être réalisé à titre de surveillance périodique du bon fonctionnement des installations (niveau 1 → Tableau B17 en annexe 1). Le personnel d'exploitation procède à un contrôle de l'installation à l'aide d'une checklist établie spécifiquement. Idéalement, pour les déversements dans des eaux superficielles, le contrôle d'exploitation simple axé sur les émissions est combiné avec le monitoring du point de rejet axé sur les immissions (niveau 1 → Tableau B18 en annexe 1 et module Analyse de la qualité des eaux).

Pour des installations importantes avec déversement dans des eaux superficielles, une analyse de la qualité des eaux approfondie pour l'évaluation du point de rejet est recommandé (niveau 2 → Tableau B18 en annexe 1 et module Analyse de la qualité des eaux). Pour déterminer si un contrôle des performances est indiqué, il faut procéder à une évaluation selon les mêmes critères que ceux qui sont appliqués pour l'analyse de la qualité des eaux → chapitre 2.5.3. L'analyse de la qualité des eaux approfondie pour l'évaluation du point de rejet, effectuée avant l'application de la mesure (niveau 2), constituera la référence pour le contrôle des performances approfondi axé sur les immissions.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

3 POLLUTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT

3.1 Généralités

Les eaux de ruissellement des surfaces imperméabilisées sont parfois fortement chargées en substances telles que des métaux lourds, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des produits phytosanitaires, etc. Il convient de tenir compte également du fait que la concentration de ces polluants peut varier au cours du temps.

3.1.1 Provenance des polluants dans les eaux de ruissellement

En principe, les polluants présents dans le ruissellement de surfaces imperméabilisées peuvent provenir des eaux pluviales elles-mêmes, s'être déposés par temps sec sur les surfaces ou résulter d'interactions physiques, chimiques et biologiques entre les eaux pluviales et les matériaux de la surface exposée.

Tableau B5
Surfaces et polluants produits par ces surfaces.

Surface réceptrice	Polluants	Provenance
Toitures ou façades comprenant des parties métalliques (p. ex. lucarnes, chéneaux, tuyaux de descente, bordures de velux, cheminée d'aération)	Métaux lourds, en particulier plomb, cuivre, zinc, étain, qui ont des taux de lessivage plus élevés que, p. ex., les aciers au chrome-nickel. Présents principalement sous forme **dissoute** dans les eaux de ruissellement.	Lessivage des métaux lourds, dépend fortement du taux de dissolution. Voir aussi à ce propos la recommandation de la KBOB Construction durable [308].
Toitures ou façades comprenant des matériaux contenant des pesticides	Pesticides et autres micropolluants organiques	Matériaux d'étanchéité, bandes bitumineuses, produits phytosanitaires, peintures, etc.
Routes	Surtout métaux lourds (principalement sous forme **particulaire**, adsorbée par les MES) et MES (particules qui agissent comme traceurs des autres substances ou sont elles-mêmes problématiques [p. ex. abrasion]), ainsi que HAP, substances organiques, azote, calcium, chlorure	Pièces d'usure (abrasion des pneus et des freins), résidus de combustion de carburant, érosion de la chaussée, service hivernal (sel de déverglaçage, etc.), entretien des routes, etc.
Avant-places, voies d'accès, places de parc avec faible passage, etc.	Métaux lourds (sous forme dissoute et particulaire), HAP, substances organiques	Pertes de fluides, nettoyage de voitures, produits phytosanitaires, etc.
Places de transbordement et de stockage	Métaux lourds (sous forme dissoute et particulaire), MES, HAP, substances organiques	Pertes de fluides, nettoyage de véhicules, pertes lors du transbordement de marchandises, produits phytosanitaires, etc.
Terrasses de toit, balcons, etc.	Substances diverses, en fonction de leur utilisation	Utilisation d'engrais, produits phytosanitaires, produits de nettoyage et autres produits, dépôts de matériel/déchets, etc.
Places de parc avec passage important, places de parcs urbaines, etc.	Métaux lourds (sous forme dissoute et particulaire), HAP, substances organiques, MES	Pièces d'usure (abrasion des pneus et des freins), érosion de la chaussée, service hivernal, pertes de fluide, déchets de marchés et autres (p. ex. confettis), etc.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

3.1.2 Dynamique et concentrations en polluants des eaux de ruissellement

Les eaux de ruissellement présentent naturellement une très forte dynamique en ce qui concerne la quantité d'eau et les concentrations de substances. Cette dynamique est influencée notamment par les facteurs suivants :

- **Intensité de la pluie :** elle peut être soumise en quelques minutes à de grandes fluctuations et influence également sur le taux de lessivage.

- **Période sèche entre deux épisodes pluvieux :** plus elle est longue, plus le dépôt sec sur les surfaces est important.

- **Pente :** ruissellement direct pour des toitures inclinées et des routes en pente, rétention pour des toitures plates et dans des dépressions pour les routes plates.

- **Mouvements de l'air et projections d'eau :** Une part importante des particules les plus fines présentes sur les routes est transportée au bord de la chaussée ou au-delà par les mouvements de l'air et les projections d'eau. La hauteur du bord de la chaussée joue un rôle essentiel dans la rétention des particules à l'intérieur du périmètre de la route. Selon l'intensité du transport latéral, les particules des surfaces routières ne parviennent pas dans le ruissellement des eaux de chaussée, mais contaminent directement les bas-côtés.

Les concentrations et l'état (dissous, en suspension) des polluants diffèrent selon le type de surface. La capacité d'une substance à se fixer à des particules, et donc d'être déplacée avec l'eau, est déterminante pour sa persistance dans la phase aqueuse et la distance de transport. Les substances hydrosolubles qui se trouvent dans les eaux de ruissellement sont diluées dans les cours d'eau, la pollution qu'elles engendrent est de courte durée. Par contre, les substances qui se dégradent lentement ou pas du tout ainsi que celles qui sont adsorbées sur les particules s'accumulent dans les phases solides (boues, sédiments, couches d'infiltration, sol).

De nombreux micropolluants ne sont pas ou difficilement dégradables et s'accumulent par conséquent dans les sédiments ou dans les organismes aquatiques. La toxicité de différents micropolluants pour les organismes vivants a été démontrée en laboratoire au cours des dernières années. Les processus complexes qui se déroulent dans les eaux (bioaccumulation dans les organismes, transport dans les eaux, toxicité des mélanges, …) ne peuvent par contre être reproduits que partiellement jusqu'à présent et la recherche dans ce domaine se poursuit.

Eaux des toitures et des façades

Il faut d'une manière générale faire une distinction entre les eaux s'écoulant de toits inclinés et de toits plats ainsi que de façades où ruissellent de faibles quantités d'eau. La filtration, l'adsorption et la biodégradation favorisent la rétention des polluants sur les toits plats. De plus, lorsque la toiture est composée de gravier, il y a neutralisation des eaux de ruissellement plutôt acides, ce qui favorise la fixation des métaux lourds dissous. Les toits plats végétalisés assurent une rétention des substances particulièrement efficace.

Dans le cas des toits, inclinés ou plats, et des installations d'évacuation, la proportion de surfaces métalliques et en matériaux contenant des pesticides est déterminante pour la concentration et les charges en métaux lourds et en polluants organiques, surtout si des métaux sans revêtement sont utilisés. Les concentrations en métaux dans les eaux de ruissellement s'écoulant des toits sont déjà considérablement augmentées par les seules gouttières et descentes en métal par rapport aux eaux pluviales incidentes. Les métaux se retrouvent en majeure partie (70 – 80 %) sous forme dissoute. La quantité des eaux de ruissellement des façades dépend de l'exposition et elle est faible en comparaison de celle des toitures ; cependant, les concentrations en polluants sont parfois élevées (métaux, pesticides).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Eaux de chaussée
Les particules résultant de l'abrasion, de l'usure et de la combustion, spécialement les particules fines (< 20 µm), présentent de grandes surfaces spécifiques, sur lesquelles peuvent se fixer des substances facilement sorbables telles que les HAP, les composés organiques halogénés adsorbables (AOX) et les métaux lourds. Les substances dissoutes au départ se retrouvent donc souvent dans les eaux de chaussée sous forme particulaire.

Zones industrielles et artisanales
La pollution des eaux de surface provenant des aires industrielles et artisanales ne peut pas être caractérisée de façon globale. Elle dépend largement des émissions atmosphériques, du trafic local, du transport et du transbordement des marchandises et du matériau des toits, souvent utilisé sur de grandes surfaces, et nécessite des investigations spécifiques.

Eaux d'autres surfaces
Sur les places de parc et les aires de repos il faut s'attendre à une augmentation des fuites d'huile et de carburants. Les eaux provenant des grandes places où se déroulent des activités et des manifestations spéciales (marchés, fêtes) peuvent présenter de fortes pollutions caractérisées par des charges organiques et particulaires importantes.

3.2 Classification des eaux de ruissellement

Les eaux de ruissellement peuvent être classées en fonction des surfaces d'où elles proviennent et de leur pollution potentielle, en vue de définir leur mode d'évacuation. La classification permet une systématisation et une simplification de la démarche visant à sélectionner les mesures techniques, de façon à n'avoir à analyser les eaux de ruissellement concernées que dans des cas exceptionnels. Si, par exemple, il est notoire que les eaux pluviales entrent en contact avec des matériaux spéciaux ou qu'il existe des émissions particulières, il faudra en tenir compte et procéder à une modification du classement afin d'éviter des impacts sur l'environnement.

La classification est décrite dans les tableaux suivants en fonction du type de surface :
- Toitures et façades → Tableau B6
- Places et surfaces de circulation → Tableau B7
- Chaussées → Tableau B8

Tableau B6
Évaluation de la pollution des eaux de ruissellement sur les toitures et les façades.

Provenance	Classe de pollution	Remarques
Toits végétalisés/recouverts de gravier sans matériaux contenant des pesticides et toits ou façades[2] faits essentiellement de matériaux inertes avec une faible part de dispositifs en plomb, cuivre, zinc et étain	**faible**	Le degré de pollution des eaux de ruissellement est similaire à celui de la pluie elle-même. En cas d'infiltration dans des installations (rapport surface de ruissellement/surface d'infiltration A_E/A_V > 5 : 1), l'accumulation de polluants joue un rôle mineur, vu la faible classe de pollution. Le rejet dans des eaux superficielles ne pose en général aucun problème. Pour qu'il soit possible d'attribuer la classe de pollution « faible », il faut renoncer à l'utilisation de tout matériau contenant des pesticides. La part des dispositifs en plomb, cuivre, zinc ou étain ne doit pas excéder 5 % de la surface de contact totale de la pluie. Partout où cela est possible, il convient de préférer des alliages ayant un taux de lessivage faible (acier nickel-chrome, par exemple ; voir la recommandation de la KBOB Construction durable [308]). Les toits végétalisés réduisent en outre la quantité d'eau de ruissellement et atténuent les débits de pointe. Ils déchargent donc les canalisations et favorisent un cycle de l'eau naturel.

Suite Tableau B6 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau B6

Provenance	Classe de pollution	Remarques
Toits ou façades[2] faits essentiellement de matériaux inertes avec des parts légèrement plus importantes de dispositifs en plomb, cuivre, zinc et étain **sans revêtement**	**moyenne**	Les parts « légèrement plus importantes » d'installations en plomb, cuivre, zinc et étain sans revêtement se situent entre 5 % et 10 % de la surface de contact totale de la pluie. En cas d'infiltration dans des installations (rapport surface de ruissellement / surface d'infiltration $A_E/A_V > 5:1$), il faut s'attendre à une accumulation de polluants.
Toits ou façades[2] avec des parts plus importantes de surfaces métalliques **avec revêtement**	**moyenne**	Le classement dépend de la surface totale des dispositifs en plomb, cuivre, zinc et étain avec revêtements entrant en contact avec la pluie. Le fabricant doit attester de façon crédible la stabilité du revêtement pendant toute la durée de vie de l'installation.[1] Sont considérées comme des parts plus élevées par installation/rejet : • Pour l'infiltration : > 50 m^2 • Pour le rejet dans des eaux superficielles : > 500 m^2
Toits ou façades[2] avec des parts plus importantes de surfaces métalliques **sans revêtement**	**élevée**	Le classement dépend de la surface totale des dispositifs en plomb, cuivre, zinc et étain entrant en contact avec la pluie. Sont considérées comme des parts plus élevées par installation/rejet : • Pour l'infiltration : >50 m^2 • Pour le rejet dans des eaux superficielles : >500 m^2
Toits ou façades comprenant des matériaux contenant des pesticides	**moyenne (faible, élevée)**	Les matériaux visés sont les revêtements (p. ex. films, bandes bitumineuses, peintures, crépis) qui contiennent des pesticides lessivables (biocides, produits phytosanitaires). D'une manière générale, ces matériaux sont à considérer dans la classe de pollution « moyenne ». Il est possible de leur attribuer la classe de pollution « faible » si celle-ci peut être attestée de façon crédible par le fabricant.[1] S'il existe pour certains matériaux des indications complémentaires concernant la classification du produit (voir liste à jour sur le site Internet de la VSA www.vsa.ch/regenwetter), celles-ci sont déterminantes pour la classification. Ces matériaux comprennent par exemple les bandes bitumineuses dont la résistance aux racines est obtenue à l'aide de produits de protection chimiques. La charge en polluants des eaux de ruissellement s'écoulant sur de telles bandes est faible à élevée. Des indications concernant la classification se trouvent dans la publication de l'OFEV.[3]
Terrasses, balcons, toitures-terrasses	**élevé**	L'expérience a montré que les terrasses, balcons et toitures-terrasses sont nettoyés régulièrement. Les eaux polluées, qui sont mélangées à des produits de nettoyage et à de la saleté, sont évacuées par la canalisation pluviale. Les surfaces couvertes en particulier sont utilisées pour le stockage. Par mesure de précaution, ces zones sont donc affectées à la classe de pollution « élevé ». Elles peuvent être affectés à la classe d'exposition « moyenne » uniquement si l'accumulation de contamination causée par l'utilisation ou le nettoyage générant des eaux usées peuvent être exclues définitivement.

[1] La preuve de la classification peut reposer sur les normes d'essai SNR CEN/TS 16637-2 :2014 fr ou EN 16105, EN ISO 12944 (revêtement en usine) ou DIN 55634 (revêtement sur place) ; le taux de lessivage déterminé devrait être évalué en tenant compte de la durée d'utilisation habituelle selon un concept d'évaluation largement reconnu, par exemple pour les bandes bitumineuses.[3]

[2] Les façades et les autres surfaces verticales doivent être multipliées par un facteur 0.2, car leurs taux de lessivage sont nettement inférieurs à ceux des surfaces plutôt horizontales

[3] « Information über chemische Durchwurzelungsschutzmittel in Bitumenbahnen – Stand 2017 » (Information sur les produits antiracinaires dans les couches bitumeuses des toitures végétalisées) , OFEV (www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/chemikalien/publikationen-studien/studien.html)

«Indications» Tableau B6 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Indications (en lien avec le Tableau B6)
Les surfaces dont les eaux sont évacuées par infiltration ou vers des eaux superficielles ne doivent pas produire d'eaux polluées. Pour les travaux de nettoyage ou d'entretien (notamment de terrasses balcons et de toitures terrasses accessibles), il faut par conséquent prévoir des systèmes pouvant recueillir les eaux usées produites.

Verrière, installations photovoltaïques et capteurs solaires: les surfaces de ces installations qui entrent en contact avec la pluie sont constituées essentiellement de matériaux inertes et peuvent dès lors être classées dans la classe de pollution «faible», tant que la remarque ci-dessus concernant le nettoyage est respectée. Pour les grandes installations de capteurs solaires, il est recommandé de prévoir en plus une sécurité technique pour le cas d'une fuite dans le circuit eau-glycol.

Tableau B7
Évaluation de la pollution des eaux de ruissellement sur les places et les surfaces de circulation.

Provenance	Classe de pollution	Remarques
Voies d'accès, avant-places, places de parc avec faible passage, y compris les surfaces de manœuvre et de circulation associées : p. ex. places de parc privées, places de parc réservées aux visiteurs dans les lotissements, places de parc d'entreprise pour les employés. Chemins pédestres, cyclables, forestiers et ruraux, quais	**faible**	Pollution faible des sols et des eaux souterraines en cas d'utilisation normale. Sur les places perméables, les polluants sont dégradés au moins partiellement dans les couches supérieures du sol (substances organiques) ou retenus.
Places de transbordement et de stockage ainsi que surfaces de travail sans substances dangereuses pour les eaux ou l'environnement	**moyenne**	Les pertes de fluides par les véhicules et les polluants libérés lors de travaux d'entretien et du transbordement de marchandises peuvent entraîner des pollutions diffuses du sol ou des eaux souterraines.
Places de transbordement et de stockage pour des substances dangereuses pour les eaux ou l'environnement	**ne font pas l'objet de la présente directive**	Le transbordement et le stockage de substances dangereuses pour les eaux ou l'environnement sont soumis aux prescriptions correspondantes de la Confédération et des cantons. Il convient de prendre en compte notamment la directive des cantons suisses « Sécurisation et évacuation des eaux des places de transbordement de marchandises » [200].
Places de parc avec passage important, y compris les surfaces de manœuvre et de circulation associées : p. ex. places de parc de centres commerciaux, d'équipements sportifs et de loisirs, de gares ferroviaires, de services publics, d'hôpitaux, etc. Surfaces de parc urbaines : p. ex. places de marché, places où se déroulent de nombreuses fêtes, avec un public fréquent mais un faible trafic de véhicules à moteur	**moyenne à élevée (selon la charge**	Pollution plus importante des sols et des eaux souterraines. Sur les places perméables, les substances organiques sont dégradées au moins partiellement dans les couches supérieures du sol. La classification sera déterminée d'entente avec le service spécialisé cantonal.
Routes	**fonction du trafic (cf Tableau B8)**	Les émissions de la circulation dépendent de la fréquence et du régime du trafic et des caractéristiques de l'espace routier. Perpendiculairement à la chaussée, on observe généralement des pollutions du sol par des métaux lourds et des HAP diminuant exponentiellement (bande contaminée).

Suite Tableau B7 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau B7

Provenance	Classe de pollution	Remarques
Terrains de sport	**faible à moyenne**	Les terrains de sport en gazon naturel sont considérés comme faiblement pollués à condition qu'aucun pesticide ne soit utilisé comme anti-algues, anti-mousses ou herbicide. Pour l'évacuation des eaux de terrains en matière synthétique et en gazon synthétique, il faut par ailleurs veiller à ce qu'aucune matière solide, comme des granulés de caoutchouc ou des produits chimiques de nettoyage, ne puissent atteindre le milieu récepteur avec l'eau de drainage. Il convient à cet égard de respecter les exigences des matériaux selon l'état de la technique conformément à la brochure 112 de l'Office fédéral du sport (OFSPO) [63].
Installations ferroviaires, gares de triage, pistes d'atterrissage, etc.	**ne font pas l'objet de la présente directive**	L'évacuation des eaux de ruissellement de telles installations doit être étudiée et planifiée au cas par cas → Directive OFT sur l'évacuation des eaux des installations ferroviaires [55].

Indication
Les surfaces dont les eaux sont évacuées par infiltration ou vers des eaux superficielles ne doivent pas produire d'eaux polluées. Pour les travaux de nettoyage ou d'entretien, il faut par conséquent prévoir des systèmes pouvant recueillir les eaux usées produites. À défaut, les surfaces seront classées dans la classe de pollution « élevée ».

Tableau B8
Évaluation de la pollution des eaux de ruissellement de chaussées.

Classification	Somme des points	Classe de pollution
Pour les routes, le nombre de points de pollution est traduit par les classes de pollution suivantes	<5 points	faible
	5–14 points	moyenne
	>14 points	élevée
Pollution des eaux de ruissellement de chaussées		
Se compose des éléments suivants	Pollution de base + ∑ (PP critères)	Points de pollution [PP]
1. Pollution de base	**Points de pollution (PP)**	**Remarques**
Fréquence du trafic	Pollution de base = DTV/1000	Pour l'horizon de planification (TJM = trafic journalier moyen)
2. Critères	**Points de pollution (PP)**	**Remarques**
Part de trafic lourd	1 pour part 4–8% 2 pour part >8%	Pour l'horizon de planification
Pente	1, si pente >8%	Pour l'horizon de planification
Tronçon de route à l'intérieur d'une localité	1	
Nettoyage des routes	Nombre de nettoyages mécaniques par mois	

Les eaux de chaussée sont classées à l'aide de points de pollution. L'intensité de la charge polluante des eaux de chaussée dépend d'une multitude de facteurs, dont l'influence sur la pollution peut fortement varier. La classification proposée dans le Tableau B8 repose sur une pollution de base, qui est fonction de la fréquence du trafic et de divers autres facteurs susceptibles d'augmenter ou de réduire cette pollution de base. Le tableau ne présente qu'un nombre restreint de facteurs avec une évaluation simplifiée de la pollution effective. L'influence des facteurs considérés sur la charge polluante sont décrites ci-après.

Fréquence du trafic
Différentes études (p. ex. [302], [303], [304]) ont mis en lumière la corrélation entre le volume du trafic et la pollution des eaux de chaussée. En effet, le volume du trafic est le principal critère pour estimer la quantité de substances émises dans l'environnement par les véhicules. Le calcul des points de pollution selon le Tableau B8 se base sur le trafic journalier moyen (TJM) par tronçon de voie de communication.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Composition du trafic
Dans une moindre mesure, le degré de pollution des eaux de chaussées dépend également du comportement des conducteurs et de la composition du trafic. Le trafic des poids lourds et le trafic local surtout entraînent des charges polluantes plus importantes dans les eaux de chaussée. Si le trafic des poids lourds augmente, il en ira de même des émissions de polluants et des pertes de fluides polluants pour les eaux. Du fait des trajets relativement courts, les émissions de polluants et les pertes éventuelles de fluide augmentent aussi lorsque la part du trafic local est importante. L'importance de l'usure du matériel roulant, des freins et des surfaces de la chaussée dépend en outre directement des conditions locales d'accélération et de freinage. Ces dernières doivent par conséquent être évaluées pour chaque tronçon. La part du trafic lourd, la localisation à l'intérieur ou à l'extérieur d'une localité et la pente servent alors de critères d'évaluation.

Entretien des voies de communication
Si les routes sont régulièrement nettoyées et les déchets de balayage éliminés, la charge polluante des eaux de chaussée diminue. Pour des routes bénéficiant d'un tel entretien, cette diminution de la charge peut être prise en compte pour l'évaluation. Le nombre de points correspondra alors au nombre de nettoyages mécaniques par mois.

L'utilisation de sels pour la lutte contre le verglas n'est pas prise en considération dans le cadre de l'évaluation sommaire. Même si ceux-ci représentent une pollution, on peut considérer qu'une grande partie de ces sels atteint de toute façon directement le sol et les eaux souterraines du fait des déneigements ou du ruissellement.

La vidange des dépotoirs n'est pas non plus prise en compte dans l'évaluation sommaire. Conformément à leur destination première, les dépotoirs sont surtout efficaces pour des matières solides grossières facilement décantables. Les polluants principaux se fixent plutôt sur les fractions fines et ne sont pas retenus par les dépotoirs.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

4 INFILTRATION DES EAUX PLUVIALES

4.1 Dispositions légales et principes

En cas d'infiltration des eaux pluviales, outre la qualité et la quantité des eaux à évacuer, la qualité du sol à travers lequel les eaux sont infiltrées et les zones de protection des eaux souterraines sont aussi à prendre en compte (art. 3, al. 2, et art. 8, OEaux). À cet égard, l'infiltration avec passage à travers le sol n'est admissible que si les valeurs indicatives fixées dans l'ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol) peuvent être respectées à long terme.

4.1.1 Pollution du sol et accumulation de polluants dans le sol

Le sol est soumis à de multiples immissions qui se traduisent par les teneurs en polluant correspondantes dans le sol. En plus des dépositions sèches sous forme de poussières, les eaux pluviales qui tombent directement sur le sol ou qui sont infiltrées de façon ciblée à travers le sol servant de filtre contribuent à cette pollution dans une proportion non négligeable.

Les sols ont une teneur géogène naturelle en métaux lourds, provenant des types de roches désagrégées qui servent de substrat à la formation du sol. Les types de roches à teneur extraordinairement élevée en métaux lourds (roches ultrabasiques, ferrifères et bitumineuses) constituent au maximum 5 % de la surface géologique de la Suisse. La pollution de base d'origine géogène atteint normalement au maximum 20–50 % des valeurs indicatives de l'OSol. La pollution de base générale du sous-sol, relevée dans le cadre d'études du NABO (Réseau national d'observation du sol) sur des sites qui n'étaient pas exposés à une pollution anthropogène spéciale (industrie, circulation, etc.), se situe dans un ordre de grandeur comparable.

En ce qui concerne les eaux de ruissellement polluées, une infiltration avec passage à travers le sol pose des problèmes car la valeur indicative de l'OSol est rapidement atteinte, en particulier en cas d'infiltration concentrée sur de petites surfaces. C'est la raison pour laquelle une installation d'infiltration est à exclure en cas d'infiltration avec passage à travers le sol où il faut s'attendre à un dépassement de la valeur indicative de l'OSol à court ou à moyen terme. Un tel système doit être correctement exploité, surveillé et ensuite assaini (art. 13–17 OEaux). Pour l'entretien des systèmes d'infiltration, voir la directive VSA « Entretien des installations d'évacuation des eaux » [151].

4.1.2 Infiltration avec passage à travers le sol et délimitation par rapport aux installations d'infiltration et de traitement

Infiltration avec passage à travers le sol
Pour respecter la condition de l'art. 3, al. 2, let. c, OEaux selon laquelle la valeur indicative de l'Osol ne doit pas être dépassée et donc les taux d'accumulation doivent rester relativement faibles (à attester par des analyses des polluants du sol existantes ou à effectuer sur des échantillons), il est possible d'utiliser dans les agglomérations les gazons et les surfaces herbeuses entourant les maisons comme surfaces d'infiltration des eaux pluviales. Le rapport entre surface d'évacuation des eaux et surface d'infiltration $A_E : A_I$ doit être inférieur à 5 : 1 et une pollution des eaux de ruissellement par les métaux lourds (p. ex. par les surfaces en cuivre ou les surfaces galvanisées des toits) doit pouvoir être exclue.

Infiltration avec une installation d'infiltration
L'OSol ne s'applique pas à une installation technique[2]. C'est pourquoi en cas de dépassement de la valeur indicative de l'Osol, si le rapport entre la surface d'évacuation des eaux et la surface d'infiltration $A_E : A_V \geq 5$ et/ou si les eaux de ruissellement sont fortement polluées, la surface d'infiltration doit être aménagée,

[2] Conformément aux commentaires sur l'OSol [10], chapitre III, Art. 1 But et champ d'application

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

traitée, surveillée et, le cas échéant, démantelée ultérieurement comme une installation. L'élimination du matériau du sol et éventuellement du sous-sol enrichis en polluants doit dans tous les cas être effectuée selon les dispositions pertinentes de la législation sur les déchets (OLED, etc.).

Installation de traitement

Une installation de traitement n'est pas une installation d'infiltration. Selon le type d'installation, les eaux de ruissellement peuvent être infiltrées dans l'installation à travers un filtre mais normalement elles sont ensuite de nouveau captées avant d'être soit infiltrées dans le sous-sol via une installation d'infiltration en aval (qui peut être aussi souterraine, c'est-à-dire sans passage à travers le sol) soit déversées dans des eaux superficielles. Une infiltration directe (par exemple avec des SETEC) sans drainage par une étanchéité sous le filtre n'est autorisée que dans certains cas et d'entente avec le service spécialisé cantonal compétent. L'installation de traitement doit être traitée, surveillée, entretenue et, le cas échéant, démantelée ultérieurement. Le matériau filtrant enrichi en polluants doit dans tous les cas être éliminé selon les dispositions pertinentes de la législation sur les déchets (OLED, etc.).

Le Tableau B9 récapitule les explications précédentes et donne des exemples concrets de types d'infiltration, de traitement et d'installation.

Tableau B9
Délimitation de l'infiltration à travers le sol par rapport aux installations d'infiltration et de traitement avec des exemples concrets.

Type	Bref descriptif	Exemples
Infiltration avec passage à travers le sol	• N'est PAS une installation d'infiltration ($A_E : A_V < 5:1$) • Est un traitement naturel (adsorption des polluants par une couche de sol biologiquement active) mais n'est PAS une installation de traitement	• Surfaces perméables, p. ex. pavés gazon
Infiltration avec passage à travers le sol dans une installation d'infiltration	• Est une installation d'infiltration ($A_E : A_V \geq 5:1$) • Est un traitement naturel (adsorption des polluants par une couche de sol biologiquement active) mais n'est PAS une installation de traitement	• Infiltration par l'accotement / les bas-côtés • Bassin d'infiltration
Infiltration sans passage à travers le sol dans une installation d'infiltration	• Est une installation d'infiltration • N'est PAS une installation de traitement	• Massif filtrant en gravier • Puits d'infiltration • Conduite d'infiltration
Traitement avec passage à travers le sol dans une installation de traitement	• N'est PAS une installation d'infiltration mais celle-ci peut être placée en aval (ou rejet dans des eaux superficielles) • Est une installation de traitement naturelle car elle comporte un passage à travers une couche de sol biologiquement active comme matériau filtrant	• Bassin de rétention filtrant avec filtration à travers le sol • Cuvettes-rigoles
Traitement sans passage à travers le sol dans une installation de traitement	• N'est PAS une installation d'infiltration mais celle-ci peut être placée en aval (ou rejet dans des eaux superficielles) • Est une installation de traitement mais avec un autre matériau filtrant qu'une couche de sol biologiquement active	• Bassin de rétention filtrant avec sable, gravier-granulés et / ou adsorbant • Filtre technique

4.1.3 Infiltration des eaux de chaussée sur le bas-côté

Les eaux de chaussée des routes à grand trafic sont fortement polluées. Mais, pour leur évacuation, l'infiltration dans les talus et les bandes de verdure est expressément admise en vertu de l'art. 3, al. 2, let. c, OEaux. Le long des routes, les valeurs indicatives et certains des seuils d'investigation de l'Osol sont dépassés.

Selon les commentaires relatifs à l'ordonnance sur l'assainissement des sites pollués (OSites), le sol pollué par l'apport de polluants de la circulation routière n'est pas considéré comme un « site pollué par des déchets » au sens de l'OSites, mais comme un « sol pollué ». C'est pourquoi il serait plus judicieux, partout où cela est possible et surtout pour de nouvelles installations, de considérer les bandes contaminées

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

comme des constituants de l'installation incluses dans le périmètre des routes. Sur la base des résultats des mesures de polluants dans le sol le long des autoroutes et des routes cantonales et communales [302, 414, 420], il faut délimiter des deux côtés des bandes de la largeur indiquée dans le Tableau B10 (1 à 6 mètres selon le type de route). Les surfaces qui se trouvent derrière un obstacle qui arrête efficacement les projections d'eau ne sont pas des bandes contaminées. Parmi ces obstacles, on peut citer les parois antibruit, les murs ou les talus d'une hauteur supérieure à 2 m.

Tableau B10
Largeur de la bande contaminée (utilisable pour l'infiltration).

Type de route	Largeur à partir du bord de la chaussée
Autoroutes	6 m
Routes > 20 000 véhicules/24h	3 m
Routes > 10 000 véhicules/24h	1.5 m
Routes > 2000 véhicules/24h	1 m
Routes < 2000 véhicules/24h et routes communales	aucune bande n'est définie (seuil minimal)

4.2 Examen de l'admissibilité de l'infiltration

L'examen de l'admissibilité de l'infiltration des eaux de ruissellement se fait selon le Tableau B11. Les données de départ sont le classement des eaux à infiltrer, selon les Tableaux B6 à B8, ainsi que la localisation de l'infiltration par rapport aux secteurs de protection des eaux et aux zones et périmètres de protection des eaux souterraines.

Une protection adéquate des eaux souterraines est assurée par un passage à travers un sol présentant une structure propice et une épaisseur suffisante ; voir le module dimensionnement et conception, partie A (DA), chap. 1.3. Pour cette raison, une infiltration en surface avec passage à travers le sol est toujours préférable à l'infiltration souterraine et devrait toujours avoir la priorité lors de toute réflexion.

Une installation d'infiltration souterraine ne profite pas de l'effet épurateur de la couche de sol biologiquement active et ne peut pas être utilisée. En outre, les couches de couverture qui protègent les aquifères sont traversées. En conséquence, comme il ressort du Tableau B11, les installations souterraines ne sont admissibles que pour les eaux de ruissellement des classes de pollution faible ou tout au plus moyenne. Pour des eaux d'une classe de pollution supérieure, de telles installations peuvent éventuellement être admises avec un prétraitement. Selon le degré de pollution des eaux de ruissellement et le secteur de protection des eaux, les installations de traitement doivent répondre au niveau « standard » ou « élevé ». Pour plus d'explications à ce sujet, voir le chapitre 7.

Exemple B1

Exemple Infiltration des eaux de toiture d'un bien-fonds présentant une classe de pollution moyenne :

Les eaux de ruissellement s'écoulant des toitures et des façades présentent ici une pollution moyenne. Selon le Tableau B11, il est toujours permis d'infiltrer de telles eaux dans les autres secteurs (üB), aussi bien en surface que de manière souterraine. Dans les secteurs de protection des eaux A_u en revanche, une infiltration souterraine (sans passage à travers le sol) requiert un traitement répondant au niveau d'exigence « standard » (si une pollution des eaux souterraines ne peut pas être exclue).

Les informations nécessaires pour choisir et dimensionner l'infiltration ou l'installation de traitement se trouvent dans les modules suivants :

- Infiltration :
  Module dimensionnement et conception, partie A (DA), chapitre 1 « Installations destinées à l'infiltration des eaux pluviales »
  – Avec passage à travers le sol : chapitre 1.7
  – Sans passage à travers le sol : chapitre 1.8
- Traitement :
  Le chapitre 7 du présent module de base contient des remarques et des liens au sujet des installations de traitement recommandées par la VSA.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Tableau B11
Admissibilité de l'infiltration des eaux de ruissellement.

Infiltration

Secteur de protection des eaux A_U, S1–S3, S_h, S_m, üB selon carte de protection des eaux	**Passage à travers le sol** (structure selon module DA, chap. 1.3)	**Type de surface à drainer**					
		Toitures et façades			Places et surfaces de circulation		
		Classe de pollution des eaux de ruissellement					
		selon tableau B6			selon tableaux B7+B8		
		faible	moyenne	élevée	faible	moyenne	élevée
autres secteurs üB	avec	+	+	+[2]	+	+	+[2]
	sans	+	+	$B_{élevé}$	$B_{standard}$[3]	$B_{standard}$	$B_{élevé}$
Secteur A_U	avec	+	+	+[2]	+	+	+[2]
	sans	+	$B_{standard}$[1]	$B_{élevé}$	$B_{standard}$[4]	$B_{standard}$	$B_{élevé}$
S3, S_h, S_m	avec	+	–	–	+	–	–
	sans	–	–	–	–	–	–
Périmètre prot./S2/S1	non pertinent	–	–	–	–	–	–

Légende

+	Infiltration admissible
$B_{standard}$	Infiltration admissible dans une installation du niveau d'exigences «standard» ou «élevé»
$B_{élevé}$	Infiltration admissible dans une installation du niveau d'exigences «élevé»
–	Infiltration n'est pas admissible

Pour les informations concernant les installations de traitement et les niveaux d'exigences, voir le chapitre 7 du présent module.

[1] Pour des toitures ou des façades composées essentiellement de matériaux inertes, avec des parts légèrement accrues de dispositifs en plomb, cuivre, zinc et étain (5 à 10% de la surface de contact), il est possible, d'entente avec le service spécialisé cantonal, de renoncer à un traitement, pour autant qu'une pollution des eaux souterraines puisse être exclue.

[2] En cas d'infiltration d'eaux de ruissellement très polluées, l'autorité cantonale peut exiger qu'elles soient collectées après le passage dans sol afin de pouvoir contrôler les performances de traitement. Dans ce cas, il ne s'agit plus d'une installation d'infiltration mais d'une installation de traitement. Voir les explications au chapitre 4.1.2 sur ce point.

[3] Une infiltration sur place par des pavés gazon, des pavés drainants, des pavés composites, du gazon-gravier, des chemins sans revêtement et d'autres surfaces de remblais (→ Module DA, chapitre 1.6) est admissible sans autre mesure de traitement. En cas d'espace restreint, un déversement dans une infiltration souterraine est admissible, d'entente avec le service spécialisé cantonal. La fréquence de déversement admissible est fixée par le service spécialisé cantonal.

[4] Une infiltration sur place via par des pavés gazon, des pavés drainants, des pavés composites, du gazon-gravier, des chemins sans revêtement et d'autres surfaces de remblais (→ Module DA, chapitre 1.6) est admissible sans autre mesure de traitement tant que la part de surfaces imperméables (p. ex. bandes de roulement sur les places de parc) ne domine pas. Si la profondeur de la nappe phréatique est suffisante, il est possible, d'entente avec le service spécialisé cantonal, de renoncer au traitement pour autant qu'une pollution des eaux souterraines puisse être exclue.

Structure du sol

La structure du sol dépend du type d'infiltration et des surfaces qui y sont raccordées. Le module DA, chap. 1.3 fournit des indications concernant la structure du sol. Pour l'infiltration des eaux de chaussée, la structure du sol selon dans la norme SN 640 361 est applicable.

Attention : l'infiltration avec passage à travers le sol est considérée comme une infiltration directe et non pas comme une infiltration avec installation de traitement en aval. Voir à ce propos la délimitation définie au chapitre 4.1.2.

Dispositions à respecter

- Une pollution des eaux souterraines par des liquides de nature à polluer les eaux (p. ex. fuites d'huile ou d'essence sur des places de parc ou installations frigorifiques sur toitures) doit absolument être exclue. Cela signifie que dans tous les cas il faut assurer une protection suffisante contre les avaries, notamment en cas d'infiltration sans passage à travers le sol et sans installation de traitement.
- Si des évaluations de la charge polluante indiquent que des effets néfastes pour les eaux souterraines ne peuvent pas être exclus, l'autorité compétente peut renforcer les conditions d'admissibilité susmentionnées.
- Si une installation d'infiltration reçoit les eaux aussi bien de toits/façades que de places/surfaces de circulation, ce sont les exigences les plus strictes pour ces dernières qui sont applicables. Dans la mesure du possible, il convient d'éviter de mélanger des eaux de ruissellement d'une classe de pollution plus élevée, nécessitant un traitement, avec des eaux de ruissellement de la classe de pollution « faible » afin d'éviter une utilisation disproportionnée des surfaces pour une installation d'infiltration et/ou de traitement.

Suite Tableau B11 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau B11

Infiltration

Suite « Dispositions à respecter »

- Une surface d'infiltration est considérée comme une installation lorsque :
  - les valeurs indicatives selon l'OSol seront dépassées
  - les taux d'accumulation des polluants lors de l'infiltration sont importants (éventuelle interdiction d'utiliser la matière végétale comme aliment ou fourrage
  - le rapport entre la surface drainée et la surface d'infiltration est $A_E : A_V > 5 : 1$
- En cas d'infiltration des eaux de chaussée sur le bas-côté, il faut prévoir les points suivants :
  - Si possible, la surface d'infiltration doit être limitée à la bande contaminée, en respectant un rapport entre surface drainée et surface d'infiltratio $A_E : A_V \leq 5 : 1$.
  - On évitera l'infiltration avec accumulation de polluants sur des terres agricoles privées. La bande contaminée et la surface d'infiltration doivent si possible appartenir à la parcelle routière. À défaut, les responsabilités entre le propriétaire de la route et le propriétaire privé de la bande d'infiltration doivent être réglées de façon contraignante.

Remarques

- Lorsque des eaux de ruissellement moyennement à fortement polluées sont infiltrées avec passage à travers le sol, il peut être judicieux d'ajouter un adsorbant artificiel pour protéger la couche de sol biologiquement active et en prolonger la durée de vie.
- Lors de la construction/rénovation de toitures, il faut veiller à choisir des matériaux qui ne dégagent pas de substances qui puissent polluer davantage les eaux souterraines (matériaux à faibles taux d'émissions).
- Les aires d'alimentation Z_U se trouvent dans leur grande majorité à l'intérieur du secteur A_U et s'évaluent donc de la même façon que celui-ci.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

5 REJET D'EAUX DE RUISSELLEMENT DANS DES EAUX SUPERFICIELLES

5.1 Dispositions légales et principes

Les rejets dans des eaux superficielles doivent répondre aux exigences de qualité énoncées à l'annexe 2 de l'OEaux. Celles-ci sont applicables quel que doit le débit du cours d'eau lorsque les eaux déversées et les eaux réceptrices forment un mélange homogène. Les pointes de crue inhabituelles et les étiages inhabituels sont exceptés.

Il convient de retenir d'une manière générale que les effets des rejets sur les eaux superficielles devraient autant que possible être évalués dans le cadre d'une considération globale, de préférence à l'occasion de la mise à jour du rapport d'état PGEE et du concept d'évacuation des eaux. Il faut prêter une attention toute particulière au risque de pollutions des eaux dû à des mauvais raccordements d'eaux polluées à des canalisations d'eaux de ruissellement.

5.2 Examen de l'admissibilité pour la charge en polluants

La charge en polluants est évaluée sur la base d'une comparaison de la classe de pollution des eaux de ruissellement déversées (selon Tableau B6 à Tableau B8) et du quotient hydraulique de déversement (selon le Tableau B12). Le Tableau B13 permet d'évaluer l'admissibilité d'un déversement et la nécessité de prévoir des mesures de prétraitement pour réduire la charge en polluants.

Les éventuelles installations de traitement nécessaires doivent répondre à différentes exigences, selon la charge en polluants des eaux de ruissellement et la sensibilité des eaux réceptrices. Pour plus d'explications à ce sujet, voir le chapitre 7.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Tableau B12
Paramètres pour le Tableau B13 et le Tableau B14 servant à évaluer le quotient de déversement dans des eaux superficielles.

Analyse individuelle en un point de rejet			
Symbole	**Description**	**Formule**	**Remarque**
	Classe de pollution des eaux de ruissellement		Selon Tableaux B6 à B8
Q_E	Quantité d'eaux de ruissellement déversée, avec un temps de retour z = 1 au point de rejet considéré. Voir calcul à l'annexe 2 du module DA.		Sans prise en compte des mesures de rétention
Q_{347}	Débit d'étiage : débit du cours d'eau à l'endroit du déversement qui est atteint ou dépassé pendant 347 jours dans l'année. Si le Q_{347} n'est pas connu, une mesure du débit après une période sèche de trois semaines fournit une valeur d'approximation suffisamment précise.		Pour les cours d'eau qui sont à sec pendant certaines périodes (p. ex. régions karstiques du Jura), les conditions de déversement doivent être définies d'entente avec l'autorité compétente.
V	Quotient hydraulique de déversement	$V = Q_{347}/Q_E$	
V_S	Quotient de déversement spécifique du cours d'eau servant à évaluer la charge en polluants	$V_S = V \cdot f_G$	Tableau B13
V_G	Quotient de déversement spécifique du cours d'eau servant à évaluer la charge hydraulique	$V_G = V \cdot f_S \cdot f_G$	Tableau B14
f_S et f_G	Facteurs de correction pour la nature du lit et le type de cours d'eau, pour V < 1 (pour V ≥ 1, $f_S = f_G = 1.0$)		Voir ci-dessous pour les valeurs

Facteurs de correction spécifiques du cours d'eau, f_s et f_G (pour V < 1)				
Nature du lit		**Facteur du lit f_S**		
Surtout des sédiments fins		0.5		
Surtout graviers (< taille du poing)		1.0		
Surtout pierres (> taille du poing)		1.5		
Surtout blocs (> 0,5 m)		2.0		
Type de cours d'eau	**Débit Q_{347}**	**Largeur moyenne du lit mouillé**	**Vitesse moyenne d'écoulement [1]**	**Facteur du cours d'eau f_G**
Petit ruisseau du Plateau	< 0.1 m^3/s	< 1 m	< 0.5 m/s	0.5
Grand ruisseau du Plateau	0.1–1.0 m^3/s	1–5 m		1.0
Petit ruisseau des Préalpes	< 0.1 m^3/s	< 1 m	> 0.5 m/s	1.0
Grand ruisseau des Préalpes	0.1–1.0 m^3/s	1–5 m		2.0
Grand cours d'eau	> 1.0 m^3/s	> 5 m		2.0

Pour V ≥ 1, $f_S = f_G = 1.0$

[1] La vitesse d'écoulement fournit un indice pour déterminer le type de cours d'eau. Les ruisseaux s'écoulant lentement (Plateau) ont généralement un régime d'écoulement plus régulier que les cours d'eau rapides, qu'il faut plutôt classer dans le type Préalpes.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Tableau B13
Admissibilité du déversement d'eaux de ruissellement dans des eaux superficielles compte tenu de la charge en polluants.

Déversement dans des eaux superficielles – charge en polluants (traitement)

Type de milieu récepteur	Quotient de déversement spécifique $V_S = V \cdot f_G$ selon tab. B12	Type de surface à drainer: Toitures et façades – Classe de pollution des eaux de ruissellement selon tableau B6: faible	moyenne	élevée	Places et surfaces de circulation – selon tableaux B7+B8: faible	moyenne	élevée
Cours d'eau	$V_S > 1$	+	+	$B_{standard}$	+	+	$B_{standard}$ [1]
	$V_S \leq 1$	+	+	$B_{élevé}$	+	$B_{standard}$ [2]	$B_{élevé}$
Eaux stagnantes	non défini	+	+	$B_{standard}$	+	+	$B_{standard}$

Legende

+	Déversement admissible
$B_{standard}$	Déversement admissible avec traitement dans une installation du niveau d'exigences «standard» ou «élevé»
$B_{élevé}$	Déversement admissible avec traitement dans une installation du niveau d'exigences «élevé»

Pour les informations concernant les installations de traitement et les niveaux d'exigences, voir le chapitre 7 du présent module.

[1] Si le respect du niveau d'exigences « standard » conduit à des mesures disproportionnées, des mesures de traitement du niveau d'exigence « réduit » peuvent être examinées/approuvées d'entente avec les autorités compétentes.

[2] Le traitement est destiné à protéger des milieux récepteurs sensibles et/ou écologiquement de grande valeur. Si cela conduit à des mesures disproportionnées, des mesures de traitement du niveau d'exigence plus faible peuvent être examinées/approuvées d'entente avec les autorités compétentes ou le traitement peut être supprimé si nécessaire.

Dispositions

- Une pollution des eaux par des liquides de nature à polluer les eaux (p. ex. fuites d'huile ou d'essence sur des places de parc ou installations frigorifiques sur toitures) doit absolument être exclue. Cela signifie que dans tous les cas il faut assurer une protection suffisante contre les avaries, notamment en cas de déversements sans installation de traitement.
- Si des évaluations de la charge polluante indiquent que des effets néfastes pour les eaux ne peuvent pas être exclus, l'autorité compétente peut renforcer les conditions d'admissibilité susmentionnées.
- Si un déversement reçoit les eaux aussi bien de toits/façades que de places/surfaces de circulation, ce sont les exigences plus strictes pour ces dernières qui sont applicables. Dans la mesure du possible, il convient d'éviter de mélanger des eaux de ruissellement d'une classe de pollution plus élevée, nécessitant un traitement, avec des eaux de ruissellement de la classe de pollution « faible » afin d'éviter une utilisation disproportionnée des surfaces pour une installation de traitement

Remarques

- **Secteur de protection des eaux A_0:**
  Les secteurs de protection des eaux A_0 sont délimités par les cantons. Différents critères sont déterminants pour ce faire. Selon le motif de la délimitation, les exigences énoncées ci-dessous seront renforcées au cas par cas par les autorités cantonales compétentes.
- **Secteur $V_S \sim 1$:**
  Si le quotient de déversement est proche de 1, les facteurs spécifiques du cours d'eau doivent être examinés de plus près et devront, au besoin, être déterminés de façon plus précise.
- Lors de la construction/rénovation de toitures, il faut veiller à choisir des matériaux qui ne dégagent pas de substances qui puissent polluer davantage les eaux (matériaux à faibles taux d'émissions).

Exemple B2

Exemple : Déversement des eaux de chaussée d'une route principale (10 m de large sur 1 km de long → 10000 m²) présentant une classe de pollution moyenne dans un petit ruisseau du Plateau :

- Quotient hydraulique de déversement de la route, Q_E env. 170 l/s, Q_{347} env. 350 l/s : $V = Q_{347}/Q_E$ = env. 2.1
- Quotient de déversement spécifique du cours d'eau servant à évaluer la charge en polluants, $f_G = 1$ selon Tableau B12 : $V_S = V \cdot f_G$ = env. 2.1

Les eaux de chaussée ne nécessitent aucun traitement avant d'être déversées dans le ruisseau.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

5.3 Examen de l'admissibilité pour la charge hydraulique

Pour évaluer la charge hydraulique, on utilise le quotient de déversement spécifique du cours d'eau V_G (selon le Tableau B12) situé entre le débit d'étiage Q_{347} et le débit de crue (pour un temps de retour z = 1, calcul selon l'annexe 2 du module DA) des eaux de ruissellement. Par rapport au quotient de déversement hydraulique, le quotient de déversement spécifique du cours d'eau tient compte aussi de la nature du lit et du type de cours d'eau (taille et régime d'écoulement). Le Tableau B14 permet d'évaluer l'admissibilité d'un déversement et la nécessité de prévoir des mesures de rétention préalables pour réduire la charge hydraulique.

L'examen de d'admissibilité pour la charge hydraulique décrit ici repose sur une classification simplifiée des eaux superficielles. Celle-ci ne prend en compte que de manière grossière la sensibilité des organismes et la biocénose à la charge hydraulique dans les petits cours d'eau. C'est pourquoi il est recommandé, lorsque cela est possible, de faire déterminer par des spécialistes cette sensibilité à la charge hydraulique dans le cadre des planifications d'ordre supérieur.

Si les planifications d'ordre supérieur comportent des exigences en la matière, celles-ci sont déterminantes. À défaut, il est possible d'utiliser le Tableau B14 comme aide pour l'évaluation.

Des indications concernant le dimensionnement des installations de rétention figurent dans le module DA, chapitre 2.3.

Tableau B14
Admissibilité du déversement d'eaux de ruissellement dans des eaux superficielles compte tenu de la charge hydraulique.

Déversement dans des eaux superficielles – charge hydraulique (rétention)		
Type de milieu récepteur	**Quotient de déversement spécifique** $V_G = V \cdot f_S \cdot f_G$ selon tableau B12	**Rétention requise**
Cours d'eau	$V_G \geq 0.1$	Non
	$V_G < 0.1$	Oui
Eaux stagnantes	non défini	Non

Remarques

- **Installations de rétention :**
  Pour planifier et réaliser des installations de rétention, voir le module « Dimensionnement et conception » de la présente publication.
- **Lits bétonnés :**
  Dans le cas des cours d'eau présentant un lit bétonné, il n'y a pas lieu d'exiger une rétention pour des raisons de protection des eaux, à moins que des tronçons en aval ayant un lit naturel ne puissent être menacés.
- **Seuil minimal :**
  Lorsque la quantité d'eaux de ruissellement déversées est $Q_E \leq 20$ l/s, la rétention peut être omise.
- **Protection contre les crues :**
  Les mesures de rétention destinées à prévenir les crues ne sont pas l'objet de la présente directive ; elles seront au besoin étudiées indépendamment.
- **Valeur V_G proche de 0.1 :**
  Si le quotient de déversement est proche de 0.1, les facteurs spécifiques du cours doivent être examinés de plus près et devront, au besoin, être déterminés de façon plus précise.
- **Exigences issues des planifications d'ordre supérieur :**
  Si les planifications d'ordre supérieur telles que PGEE, PGGE intercommunal ou PREE comportent des exigences en matière de rétention reposant sur une étude plus poussée de la sensibilité des eaux à la charge hydraulique ou pour des canalisations d'eaux de ruissellement déjà à capacité maximale, ces exigences sont déterminantes.

Exemple B3

Exemple Déversement des eaux du toit d'une habitation collective (400 m²) dans un petit ruisseau du Plateau, dont le lit est essentiellement formé de graviers :

- Quotient hydraulique de déversement du bien-fonds, Q_E env. 6,8 l/s, Q_{347} env. 3 l/s : $V = Q_{347}/Q_E$ = env. 0.44
- Quotient de déversement spécifique du cours d'eau servant à évaluer la charge hydraulique, $f_S = 1$, $f_G = 0{,}5$ selon Tableau B12 : $V_G = V \cdot f_S \cdot f_G$ = env. 0.22

La rétention n'est pas requise, vu que le quotient spécifique $V_G \geq 0{,}1$ et que la quantité d'eaux de ruissellement déversée se situe en dessous du seuil minimal (Q_E = 6,8 soit ≤ 20 l/s)

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

5.4 Remarques concernant le déversement dans la canalisation publique d'eaux de ruissellement

À la différence de la planification et de l'autorisation d'un nouveau déversement direct dans des eaux superficielles, en cas de raccordement à une canalisation d'eaux de ruissellement existante, certaines études déjà menées antérieurement sont caduques dans le cadre de l'autorisation ou doivent être placées dans un contexte plus large.

5.4.1 Traitement avant le déversement

D'après le Tableau B13, les eaux de ruissellement fortement polluées doivent être traitées avant d'être déversées dans des eaux superficielles. La même exigence s'applique à des eaux de ruissellement moyennement polluées pour des milieux récepteurs fragiles ($V_S \leq 1$).

Si les surfaces imperméables sont raccordées à la canalisation d'eaux de ruissellement, il convient d'examiner si une installation de traitement décentralisée placée en amont ou une installation centralisée directement avant le déversement existe ou si elle serait plus raisonnable et plus judicieuse. Le type de surface raccordée est particulièrement important dans le choix de l'installation. Certains types d'installation, par exemple, conviennent uniquement pour des eaux de chaussée ou des eaux de toiture mais pas pour des eaux de ruissellement mélangées (→ chapitre 7).

5.4.2 Rétention avant le déversement

D'après le Tableau B14, une rétention peut être nécessaire en particulier pour des milieux récepteurs sensibles ($V_G < 0{,}1$). En cas de déversement indirect via la canalisation publique d'eaux de ruissellement, la nécessité de la rétention devrait être étudiée au niveau supérieur dans le cadre du renouvellement du PGEE ou d'autres études sur l'assainissement urbain. En cas de raccordement à la canalisation publique d'eaux de ruissellement, une planification de mesures de rétention décentralisées en amont n'est pertinente que dans des cas très spécifiques et pour des restrictions avérées de la capacité de la canalisation d'eaux de ruissellement.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

6 DÉVERSEMENT DES EAUX DE RUISSELLEMENT DANS LA CANALISATION PUBLIQUE D'EAUX UNITAIRES

6.1 Généralités

Les eaux non polluées (au sens de l'art. 3, al. 3, OEaux) ne doivent être déversées que si leur infiltration n'est pas possible (art. 7, LEaux). Par conséquent, les eaux de ruissellement doivent être déversées quand :

- une infiltration est impossible, non admissible ou disproportionnée ;
- les eaux de ruissellement sont fortement polluées et ne peuvent pas être prétraitées de façon à pouvoir être infiltrées sans danger pour les eaux souterraines.

Le déversement d'eaux de ruissellement non polluées se fait par l'intermédiaire d'une canalisation d'eaux de ruissellement ou directement dans des eaux superficielles. Un rejet dans la canalisation publique d'eaux unitaires n'est donc admissible que si les autres modes d'évacuation sont impossibles, disproportionnés ou peu judicieux (voir Figure B3).

Les eaux de ruissellement polluées doivent être déversées dans la canalisation d'eaux unitaires ou être traitées avant leur déversement dans des eaux superficielles ou dans la canalisation d'eaux de ruissellement.

Le mode d'évacuation à mettre en œuvre est généralement arrêté dans le PGEE. Il est recommandé de se référer au module Systèmes d'évacuation des eaux (E) à titre d'outil supplémentaire.

6.2 Évaluation des déversements dans la canalisation publique d'eaux unitaires

En principe, le PGEE indique si un déversement des eaux de ruissellement dans la canalisation d'eaux unitaire est admissible. Les déversements d'eaux de ruissellement dans la canalisation d'eaux unitaire qui ne sont pas inscrits dans le PGEE doivent être examinés au cas par cas et obtenir le feu vert du détenteur du réseau concerné et de l'autorité cantonale. Il faut évidemment dans tous les cas prouver que la capacité hydraulique du réseau est suffisante pour accueillir le volume additionnel.

6.3 Traitement avant le déversement

Si des eaux de ruissellement fortement polluées (selon le chapitre 3.2) doivent être déversées dans la canalisation d'eaux unitaires, il faut étudier la nécessité d'un prétraitement, d'entente avec le service spécialisé cantonal et la STEP. Il s'agit en l'occurrence de s'assurer que les charges polluantes évacuées par le réseau unitaire ne finiront pas par être supérieures à ce qu'elles seraient si les eaux de ruissellement étaient déversées dans des eaux superficielles après un prétraitement.

6.4 Rétention avant le déversement

Lorsque des tronçons de canalisation unitaires sont surchargés sur le plan hydraulique, il convient de prendre des mesures de rétention. Celles-ci sont en partie déjà prescrites dans le PGEE sous forme de restrictions d'écoulement.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7 TRAITEMENT DES EAUX DE RUISSELLEMENT

7.1 Nécessité du traitement

Les eaux de ruissellement doivent être prétraitées avant leur infiltration ou leur déversement dans des eaux superficielles si cette nécessité ressort de l'examen de l'admissibilité effectué selon les chapitres 4 et 5.

Pour les installations d'infiltration avec passage à travers le sol, un prétraitement peut être judicieux afin de ralentir l'accumulation de polluants dans le sol et prolonger ainsi sa durée de vie.

Le traitement peut également se révéler nécessaire avant le déversement dans des eaux superficielles, sur la base des conclusions tirées de la vérification des mesures selon STORM.

7.2 Groupes de substances déterminants

Toutes les installations de traitement ne conviennent pas pour traiter tous les types d'eaux de ruissellement. C'est pourquoi il convient de porter une attention particulière lors du choix de l'installation de traitement à la provenance des eaux de ruissellement, déterminante pour les polluants qu'elles contiennent et leur état (particulaire ou dissous) : Voir à ce propos le Tableau B5 : Surfaces et polluants produits par ces surfaces au chapitre 3.1.1.

7.3 Différence entre un sol et d'autres matériaux filtrants

Une couche de sol biologiquement active convient en principe dans tous les cas car lorsque sa structure le permet. Elle permet à la fois une action filtrante sur les substances particulaires et une action d'adsorption sur les substances dissoutes (métaux comme pesticides). En revanche les autres matériaux filtrants ne couvrent pas tout le spectre des actions filtrantes. Par exemple, les filtres en sable conviennent particulièrement bien pour des eaux de chaussée, car la majeure partie des métaux lourds qu'elles contiennent sont présents sous forme particulaire, mais pas pour des eaux de toitures dans lesquelles les métaux lourds sont à l'état dissous.

7.4 Niveaux d'exigences

Conformément à la norme SN 640 361 [102] et la directive de l'OFROU sur le traitement des eaux de chaussée des routes nationales [56], il faut distinguer 3 niveaux d'exigences : standard, élevé, réduit.

Tableau B15
Degrés d'efficacité exigés pour les différents niveaux d'exigences.

Exigence	Degrés d'efficacité exigés			
	Charge hydraulique	MES	Métaux (cuivre, zinc)	Pesticides (Mecoprop, Diuron)
Standard	≥ 90 %	≥ 80 %	≥ 70 %	≥ 70 %
Élevé	≥ 90 %	≥ 90 %	≥ 90 %	≥ 90 %
Réduit*	≥ 90 %	≥ 70 %	–	–

* Ce niveau d'exigences n'est admissible que pour des eaux de chaussée non mélangée et uniquement dans certains cas (voir Tableau B13). C'est pourquoi seules les exigences de la norme SN 640 361 ont été reprises.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7.5 Sélection d'installations de traitement appropriées

Comme de nouvelles installations de traitement ne cessent d'apparaître sur le marché, la VSA met à disposition en ligne deux listes d'installations de traitement contrôlées et recommandées, listes qui sont actualisées régulièrement sur la base de nouveaux résultats de contrôle.

En fonction de la provenance des eaux de ruissellement à traiter, tous les groupes de substances ne sont pas pertinents pour la sélection des installations. Par exemple, pour les installations qui servent exclusivement à traiter les eaux de chaussée, le degré d'efficacité pour les pesticides est négligeable.

Tableau B16
Listes des installations de traitement contrôlées.

Type d'installation	Bref descriptif	Listes avec installations $B_{standard}$ et $B_{élevé}$
Installations compactes décentralisées	Ces installations se caractérisent par un mode de construction standardisé ; les fabricants les proposent et les livrent sous la forme de systèmes complets préfabriqués. La surface raccordée à un module d'installation est en règle générale inférieure à 2000 m^2 [395]. Des installations typiques sont des systèmes de chambres ou de rigoles destinés à retenir les substances particulaires et dissoutes dans les eaux de ruissellement des classes de pollution faible à moyenne.	→ Liste A: www.vsa.ch/adsorber Les installations figurant dans cette liste ont été contrôlées conformément à l'essai de performances « Adsorbants » du VSA [156].
Installations centralisées	Ces installations sont dimensionnées en fonction de l'application. Il s'agit, par exemple, des cuvettes-rigoles, des bassins de rétention filtrants avec une couche de sol filtrante ou d'autres matériaux filtrants, des grandes installations techniques telles que bassins de décantation avec filtre en tissu.	→ Liste B: www.vsa.ch/adsorber Pour des eaux de chaussée uniquement, le choix de l'installation repose sur la norme S 640 361 (ou la directive de l'OFROU [56] pour les routes nationales).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

8 DÉROULEMENT DE LA PLANIFICATION POUR LA GESTION DES EAUX UNITAIRES

8.1 Démarche générale

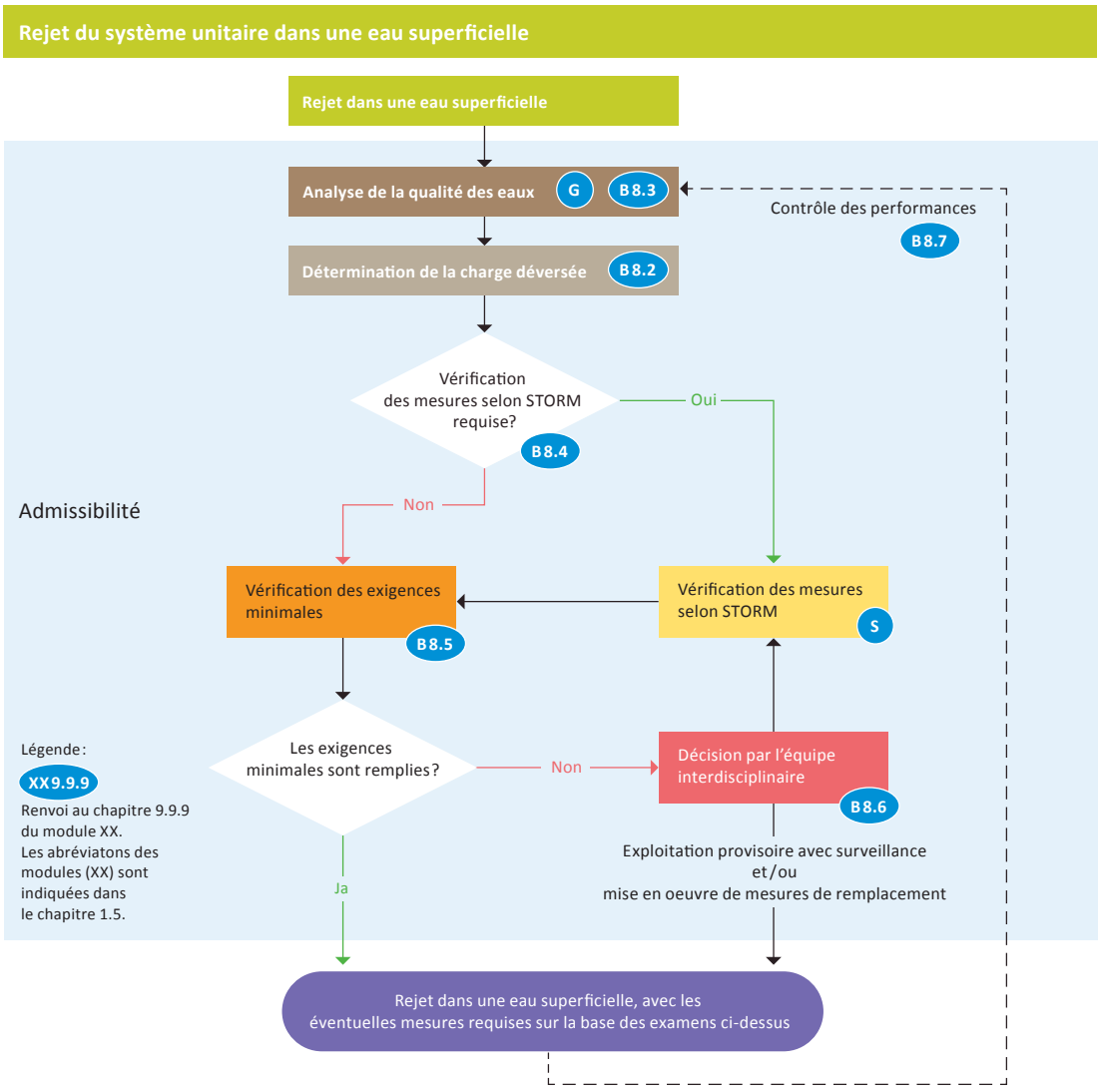
Les ouvrages de déversement d'eaux unitaires, telles que déversoirs d'orage et bassins d'eaux pluviales, s'influencent réciproquement par leur action de déversement. Ces dépendances doivent être prises en considération. L'évaluation des charges polluantes et hydrauliques résultant d'un déversement d'eaux unitaires dans les milieux récepteurs couvre idéalement le bassin versant complet de la STEP dans le cadre du PGEE intercommunal ou éventuellement une commune entière dans le cadre du PGEE communal.

Les éventuelles actions à réaliser et mesures à prendre pour éliminer ces charges doivent cependant être appliquées aux installations d'évacuation individuelles et à leurs exutoires.

Le déroulement de la planification décrit ci-dessous vaut aussi bien pour la conception de nouveaux ouvrages de déversement que pour le contrôle d'ouvrages existants. Il est illustré dans la Figure B4.

Les eaux unitaires ne peuvent être rejetées que dans les eaux de surface. L'infiltration n'est pas autorisée.

Figure B4
Démarche pour l'évaluation des rejets des systèmes unitaires dans des eaux superficielles.



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Pour l'examen de l'admissibilité, deux instruments sont combinés : la **détermination de la charge déversée** et l'**analyse de la qualité des eaux.** Le but est de vérifier la nécessité de procéder à une **vérification des mesures selon STORM** et, au besoin, de déclencher cette dernière. L'examen de l'admissibilité se termine par l'**examen des exigences minimales.**

La vérification des mesures selon STORM englobe également la vérification de la faisabilité et une comparaison des variantes ; c'est pourquoi ces étapes ne sont pas traitées séparément ici.

8.2 Détermination de la charge déversée

But
La détermination de la charge déversée donne une idée de l'ordre de grandeur des charges de polluants issus de l'assainissement urbain et permet de les comparer avec les charges issues d'autres sources. C'est sur cette base que la décision est prise concernant la nécessité d'investigations plus poussées sous la forme d'une vérification des mesures selon STORM.

Méthodologie
Une simulation à long terme du réseau unitaire est effectuée pour chaque ouvrage de déversement à l'aide de l'historique des précipitations afin de déterminer la charge déversée pour l'ammonium.

Pour cette simulation à long terme, seule la fraction de la charge des eaux usées polluées est prise en compte. Les polluants contenus dans les eaux de ruissellement ne sont pas pris en considération car leur modélisation est plus complexe. Pour obtenir des résultats significatifs, il faudrait agrandir le périmètre considéré (par exemple intégration des réseaux d'eaux pluviales du système séparatif). On peut considérer que l'ammonium, qui est une substance dissoute, est complètement mélangé aux eaux unitaires. Il ne se dépose pas dans les canalisations ou les bassins d'eaux pluviales. L'ammonium rejeté est donc représentatif d'une manière générale des eaux polluées déversées.

Remarques concernant la simulation à long terme :

- Les modèles de simulation à long terme regroupent le débit et le déversement dans les réseaux de canalisations (et éventuellement les cours d'eau) à l'aide de paramètres statistiques. Les paramètres types sont par exemple les charges déversées annuelles ou la fréquence de dépassement de certains débits ou certaines concentrations. Le choix du logiciel approprié et la modélisation adéquate du réseau de canalisations supposent de bien comprendre les modèles de simulation utilisés ainsi que les conditions hydrologiques, pollutives et hydrauliques réelles régnant dans le réseau de canalisations. Il s'agit donc d'un travail de spécialistes.

- Les données de base utilisées dans le modèle de calcul doivent être validées par des mesures, en particulier par l'analyse des données d'exploitation de la STEP et des ouvrages de déversement. Cela s'applique en particulier à la quantité d'eaux polluées (débit et charge en ammonium) et à la quantité d'eaux claires parasites.

- Les surfaces contribuant à l'écoulement doivent être reproduites avec un modèle hydrologique approprié qui génère un ruissellement réaliste quelle que soit l'intensité des pluies (sans application directe de coefficients de débit de pointe). Les données d'entrée peuvent être vérifiées par exemple en comparant les durées de déversement simulées et mesurées pour les bassins d'eaux pluviales et les déversoirs d'orage.

- Pour des questions spécifiques, il peut être judicieux de simuler également d'autres substances contenues dans les eaux usées. Les paramètres suivants sont à considérer en priorité :
  – Demande chimique en oxygène (DCO) : Les producteurs d'eaux usées industriels rejettent souvent des charges en DCO supérieures à la moyenne qui peuvent être pertinentes pour les déversements. Ce paramètre est généralement bien documenté par des mesures en entrée de STEP.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

– Matières en suspension (MES) : Plusieurs polluants transportés sous forme particulaires (métaux lourds et polluants organiques) peuvent être adsorbés par la fraction fine des MES. La prise en compte des MES permet avant tout d'avoir une idée de la charge polluante du milieu récepteur résultant des eaux de ruissellement déversées (notamment les eaux de chaussée).

Selon les questions étudiées, il peut être bon d'affiner davantage le modèle, par exemple en prenant en compte l'action de décantation des substances sous forme particulaire dans les bassins d'eaux pluviales ou en intégrant les polluants contenus dans les eaux de ruissellement. Cela implique cependant une charge de travail supplémentaire pour obtenir des résultats fiables.

Application
La détermination de la charge déversée est appliquée pour tous les déversements d'eaux unitaires.

Limites d'application
La charge déversée seule ne renseigne pas encore sur les concentrations de substances présentes dans le milieu récepteur et sur leur évolution dans le temps. Elle ne permet pas non plus d'évaluer directement l'impact effectif des déversements sur les organismes aquatiques.

8.3 Analyse de la qualité des eaux

Le **but,** la **méthodologie** et les **limites d'application** de l'analyse de la qualité des eaux sont expliqués au chapitre 2.5.3.

Application
L'**analyse de la qualité des eau**x doit être réalisée pour tous les exutoires d'eaux unitaires, existants ou en projet.

Il convient alors de distinguer si l'analyse de la qualité des eaux est réalisée dans le cadre d'une approche système d'ordre supérieur (PGEE par exemple) ou pour vérifier ou planifier un ouvrage particulier :

- **Approche système** – Démarche à deux niveaux selon le module Analyse de la qualité des eaux :
  - Évaluation sommaire de tous les exutoires de l'assainissement urbain dans le bassin versant considéré au moyen d'un monitoring des points de rejet dans le milieu récepteur (niveau 1) afin d'identifier les exutoires qui posent des problèmes du point de vue du cours d'eau.
  - Analyse de la qualité des eaux pour évaluer les exutoires problématiques (niveau 2) afin de planifier et prioriser les mesures.

- **Approche individuelle :** Ici, l'analyse de la qualité des eaux est toujours appliquée pour évaluer les exutoires (niveau 2).

8.4 Vérification des mesures selon STORM

Le **but** et la **méthodologie** de la vérification des mesures selon STORM sont expliqués au chapitre 2.5.4.

Application
La première étape avant un contrôle des mesures selon STORM est toujours l'optimisation du système en place dans le but d'éliminer les déficits de protection des eaux identifiés. Il s'agit notamment de mesures faciles à mettre en œuvre, telles que le nouveau réglage des restrictions d'écoulement, la coordination de la vidange des bassins d'eaux pluviales ou l'optimisation d'un système de contrôle global existant.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Ce n'est que lorsqu'il est prévisible que l'optimisation opérationnelle ne suffira pas à combler les déficits de protection des eaux identifiés que d'autres mesures seront examinées en utilisant la méthodologie STORM. La décision d'y recourir est prise par une équipe interdisciplinaire d'experts, comme indiqué au chapitre 2.5.4.

Un contrôle d'action selon STORM est indiqué si au moins l'un des points suivants est rempli :

- L'analyse de la qualité des eaux du milieu récepteur montre une influence majeure des rejets d'eaux unitaires.

- Les exigences minimales selon le chapitre 8.5 ne sont pas remplies pour une structure individuelle ou dans l'ensemble du système.

- La charge spécifique de rejet pour le milieu récepteur (comme indicateur de type immission) au point de déversement est supérieure à une valeur critique pour ce milieu. L'ordre de grandeur de 500 (kg/a)/(m^3/s) sert de valeur indicative. La charge spécifique de rejet est déterminée par une simulation à long terme de la masse rejetée (→ Section 8.2) divisée par le débit annuel moyen du cours d'eau. Les déversements d'eaux unitaires rejetées en amont du point de déversement considéré doivent être prises en compte si elles sont situées dans le même bassin versant de STEP. Les cours d'eau ne sont pas principalement impactés par des immissions moyennes. Les pics d'immissions récurrents, aigus, sont marquants. Néanmoins, si la valeur indicative ci-dessus est respectée on peut supposer que les concentrations maximales pour le milieu récepteur seront également non problématiques. La charge spécifique de rejet est un critère naturellement non pertinent pour les plans d'eau.

- Un nouveau point de rejet est prévu ou une augmentation significative de la quantité rejetée ou de la charge est prévue à un point de déversement existant, par exemple parce que le débit en aval est considérablement réduit.

Une vérification des mesures selon STORM est également recommandée si au moins deux des points suivants sont remplis :

- L'analyse de la qualité des eaux montre une influence moyenne des déversements

- Le déversoir d'orage ne répond pas à l'état de la technique selon le module DB.

- Un déversoir d'orage rejette trop souvent ou trop longtemps. Les déversements qui surviennent plus de 30 jours par an (plusieurs déversements par jour correspondent à 1 jour de déversement) ou d'une durée totale de plus de 12 heures par année servent de valeur indicative.

Si le cours d'eau est fortement pollué par des rejets urbains en amont du périmètre considéré ou par d'autres sources de pollution (agriculture, déficit structurel du cours d'eau), l'influence des déversements dans le milieu est souvent à peine perceptible. Dans ce cas, la procédure appropriée doit être discutée au sein de l'équipe interdisciplinaire. Le périmètre d'observation peut devoir être étendu géographiquement et/ou thématiquement et les clarifications nécessaires peuvent devoir être effectuées dans un autre niveau de planification, par exemple au niveau d'un plan régional d'évacuation des eaux (PREE).

Si aucun des éléments déclencheurs ci-dessus ne s'applique et en l'absence d'autre exigence imposée par une autorité ou une planification d'ordre supérieur, le déversement est admissible et aucune mesure contraignante n'est exigible. Si des mesures simples permettent de réduire les déversements d'eaux unitaires, il est évidemment recommandé de les mettre en œuvre malgré tout.

Si des investigations approfondies sont nécessaires, la STEP doit toujours être prise en compte (capacité hydraulique, charges rejetées, etc.). L'efficacité des mesures doit être vérifiée au moyen d'un contrôle de performance → Chapitre 8.7.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Limites d'application
La vérification des mesures selon STORM prend en compte le système dans son ensemble, complexe, formé par le milieu récepteur, le réseau de canalisations et la STEP. Elle permet de mettre en œuvre les mesures offrant le meilleur rapport coût / bénéfice. Cependant, compte tenu des connaissances limitées de ce système, elle ne peut le garantir que d'une façon générale et non pas pour un cas particulier. Toutefois, elle peut garantir que, d'une manière générale, la protection des eaux est adaptée aux conditions spécifiques.

La vérification des mesures selon STORM peut donc toujours être appliquée en tenant compte des exigences minimales indiquées au chapitre suivant.

8.5 Vérification des exigences minimales

But
Les exigences minimales se veulent un outil pour empêcher de « remplir » les milieux récepteurs de substances pour lesquelles l'état actuel des connaissances ne permet pas d'évaluer l'effet des immissions sur le milieu (p. ex. métaux ou micropolluants organiques).

Ces exigences minimales se fondent sur deux principes de la législation sur la protection de l'environnement : le principe de précaution et la mise en œuvre de mesures correspondant à l'état de la technique. Elles complètent la vérification des mesures selon STORM, qui, elle, repose sur le principe des immissions formulé dans la loi sur la protection des eaux. Ces exigences sont appliquées après la vérification des mesures selon STORM afin de garantir une protection minimale des eaux même là où l'état actuel des connaissances ne fournit pas de preuve directe de l'effet des immissions et où il n'est pas possible d'exclure qu'un déversement d'eaux unitaires ne finira pas par avoir des conséquences négatives sur le long terme (p. ex. écotoxicité à long terme d'éléments traces difficilement biodégradables). Elles sont dérivées du standard actuel en matière de protection des eaux.

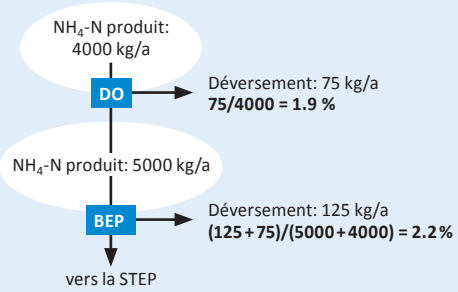
Méthodologie
Les exigences minimales limitent la charge en polluants pouvant être déversées dans les eaux par des ouvrages de déversement (bassins d'eaux pluviales et déversoirs d'orage). Le **déversement maximal** est défini à l'aide du paramètre « **ammonium** » et s'élève à **2 %** de la charge annuelle introduite par les eaux polluées.

Cette quantité doit être déterminée par une simulation à long terme du réseau d'eaux unitaires, en utilisant les données de l'historique des précipitations. Les exigences et remarques concernant la détermination de la charge déversée selon le chapitre 8.2 sont applicables. Si d'autres ouvrages de déversement se trouvent dans le bassin versant de l'installation de déversement considérée, les charges déversées de ces installations situées en amont doivent être additionnées à celles de l'installation étudiée.

Le système complet (bassin versant complet raccordé à une STEP) doit généralement présenter un déversement nettement inférieur à 2 %.

Exemple B4

Exemple Vérification des exigences minimales de deux ouvrages de déversement d'eaux unitaires.



Pour déterminer le déversement du bassin d'eaux pluviales (BEP), il faut additionner la charge déversée du BEP à celle du déversoir d'orage (DO) situé dans son bassin versant. La charge déversée totale est ensuite divisée par la charge totale produite dans le bassin versant.

Comme le déversement du BEP est supérieur à 2 %, des mesures doivent être prise au niveau du BEP ou dans le système complet en amont du BEP afin de réduire le déversement.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Limites d'application :
Les exigences minimales doivent être respectées, pour autant qu'elles soient compatibles avec le principe de la proportionnalité inscrit dans la loi. Elles ne constituent cependant en aucun cas un outil de dimensionnement. En raison des exigences spécifiques des milieux récepteurs (à définir dans une vérification des mesures selon STORM), la charge déversée des nouvelles installations pourra être inférieure à celle autorisée par les exigences minimales.

8.6 Décision prise par une équipe interdisciplinaire

Si les exigences minimales ne sont pas respectées, une équipe interdisciplinaire doit décider de la suite à donner ; il s'agit de l'équipe qui accompagne également la vérification des mesures selon STORM. Il existe en principe deux options pour la procédure à suivre :

- Procéder à une **nouvelle vérification des mesures selon STORM** pour optimiser les mesures prévues.

- **Autoriser l'exploitation provisoire de l'installation concernée, en procédant à une surveillance** (p. ex. mesure de la durée du déversement) **et / ou en mettant en œuvre des mesures de remplacement** qui ne permettent pas non plus de respecter les exigences minimales, mais qui ont d'autres effets positifs sur l'état des cours d'eau.

8.7 Contrôle des performances

Le contrôle des performances fait partie du déroulement de la planification d'ensemble (voir flèche en pointillés à la Figure B4). Il sert à vérifier le succès d'une mesure et incombe à l'exploitant de l'installation. Dans l'idéal, les coûts du contrôle des performances sont déjà pris en compte dans les coûts du projet pour la mise en œuvre de la mesure. Les différents types de contrôle des performances sont décrits au chapitre 2.7.1 et à l'annexe 1.

Pour les installations de déversement d'eaux unitaires, un examen approfondi est recommandé (niveau 2, → chapitre 2.7.1). Il comprend une analyse de la qualité des eaux axée sur les immissions pour évaluer les exutoires (→ Tableau B18 à l'annexe 1 et module Analyse de la qualité des eaux) et une analyse axée sur les émissions des déversements (→ Tableau B17 à l'annexe 1). Un contrôle effectué avant l'application de la mesure constituera la référence pour le contrôle des performances complet (axé sur les émissions et les immissions).

Outre le contrôle des performances unique d'une mesure, l'exploitant de l'installation est tenu d'effectuer régulièrement un monitoring simple / contrôle de l'exploitation afin de surveiller périodiquement le bon fonctionnement de l'installation et de vérifier les conséquences de l'installation sur le milieu récepteur (niveau 1 : contrôle d'exploitation de l'installation → Tableau B17 et monitoring du point de rejet dans le milieu récepteur → Tableau B18 à l'annexe 1 et module Analyse de la qualité des eaux).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

ANNEXE 1 – CONTRÔLE DES PERFORMANCES

Une distinction est faite entre le **contrôle des performances axé sur les émissions, se rapportant aux installations,** et le **contrôle des performances axé sur les immissions, se rapportant au milieu récepteur.**

Il est utile de connaître les évolutions des émissions (p. ex. nombre de déversements, volumes déversés) pour pouvoir interpréter des modifications des immissions et en tirer des conclusions sur l'efficacité des mesures réalisées. C'est pour cette raison que l'échange des informations obtenues lors des différents contrôles des performances au sein de l'équipe interdisciplinaire est d'une importance primordiale.

I Contrôle des performances axé sur les émissions

Le contrôle des performances axé sur les émissions a pour objectif de vérifier le fonctionnement de l'installation, la quantité (charge) de polluants déversés dans le milieu récepteur ainsi que les atteintes induites. L'intérêt spécifique de cette évaluation réside dans les aspects non seulement locaux mais encore régionaux et suprarégionaux. L'évaluation des charges est particulièrement importante pour les eaux stagnantes, étant donné que les apports en substances influent sur l'évolution du milieu récepteur pendant une longue période.

Ce contrôle comporte deux niveaux (Tableau B17) :

1. **Contrôle d'exploitation simple,** à titre de surveillance périodique.
2. **Examen approfondi** de l'action d'une mesure mise en œuvre lors d'un ou plusieurs épisodes pluvieux choisis.

	Contrôle d'exploitation simple	Examen approfondi
Objectif	Surveillance périodique du bon fonctionnement de l'installation	Évaluation de la mesure prévue ou entreprise, c'est-à-dire des installations sur lesquelles une modification est prévue ou a déjà été apportée.
Quoi ?	Examen régulier conformément à une checklist (p. ex. vérification des vannes, des dégrilleurs, des réglages, etc.)	Choix des paramètres en fonction de la mesure prise. Paramètres les plus simples et les plus significatifs possible. Des informations concernant les quantités déversées, la durée, la fréquence et, le cas échéant, la charge et la concentration de certains polluants devraient être acquises.
Comment ?	Conformément à la checklist à définir (par exemple, le dégrilleur fonctionne-t-il pendant les épisodes pluvieux ou est-il obstrué ou régulièrement submergé)	Mesures de débit (éventuellement de façon permanente au moyen d'un logger ou d'un dispositif de mesure fixe), détermination des constituants par une mesure permanente (p. ex. sonde de turbidité, de conductivité ou de pH) ou ponctuelle (prélèvement d'échantillons et analyse)
Où ?	Conformément à la checklist à définir (normalement, à l'emplacement du composant de l'ouvrage à vérifier, par exemple dans le bassin d'eaux pluviales ou avant la sortie)	Selon la situation, avant le déversement dans le milieu récepteur et / ou au plus près du déversement, avant un mélange éventuel avec d'autres eaux.
Quand ?	En fonction de l'importance et de la sensibilité aux pannes de l'installation (à peu près chaque mois) et notamment après des précipitations avec déversements de l'installation dans le milieu naturel	Avant et après la mise en place de la mesure.
Qui ?	Personnel d'exploitation	Ingénieur PGEE

Suite Tableau B17 voir page suivante

Tableau B17
Résumé des divers examens pour le contrôle des performances axé sur les émissions dans l'assainissement urbain.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau B17

	Contrôle d'exploitation simple	Examen approfondi
Évaluation	Comparaison des exigences selon la checklist avec l'état effectif	• Respect des conditions de déversement selon les dispositions légales, le module de base, le module STORM • Respect des émissions acceptables • Comparaison avant/après
Actions à réaliser	• Si en ordre : aucune action à réaliser • En cas de défauts : éliminer immédiatement le défaut ou procéder à la réparation	• Si en ordre : aucune action à réaliser • En cas de défauts : évaluation de l'urgence des éventuelles mesures ou autres investigations
Étapes suivantes	• Classement de la checklist conformément aux exigences de la commune, du syndicat, etc. • Vérification des checklists pour identifier des problèmes récurrents et planification éventuelle de mesures	• Classement des résultats de l'analyse conformément aux exigences de la commune, du syndicat, etc. • En cas de défauts : information à tous les participants (exploitant, service de la protection des eaux, ingénieur PGEE, hydrobiologistes) et planification de nouvelles mesures selon le module de base

II Contrôle des performances axé sur les immissions

Le contrôle des performances axé sur les immissions vise à évaluer, dans les eaux réceptrices mêmes, les effets des mesures réalisées et de la modification des émissions en découlant.

Il comporte également deux niveaux (Tableau B18) :

1. **Contrôle de fonctionnement dans le milieu récepteur** (monitoring des effets d'une installation sur le milieu récepteur)
2. **Analyse de la qualité des eaux pour évaluation des points de rejet** à titre de vérification ciblée des effets d'une ou de plusieurs mesures réalisées sur le milieu récepteur. Il peut porter aussi bien sur une installation en particulier que sur un sous-système, voire le système complet, de l'assainissement urbain considéré.

Les études sont conduites conformément à la méthodologie décrite dans le module Analyse de la qualité des eaux.

Tableau B18
Résumé des divers examens pour le contrôle des performances axé sur les immissions dans l'assainissement urbain.

	Monitoring du point de rejet dans le milieu récepteur (niveau 1)	Analyse de la qualité des eaux au point de rejet (niveau 2)
Objectif	Surveillance périodique du bon fonctionnement de l'installation afin d'identifier les problèmes évidents.	Évaluation de la mesure prévue ou entreprise, c'est-à-dire de l'installation sur laquelle une modification est prévue ou a déjà été apportée ainsi que des endroits pouvant en subir des répercussions (p. ex. zones de sédimentation).
Quoi ?	Paramètres selon module Analyse de la qualité des eaux, niveau 1	Paramètres selon module Analyse de la qualité des eaux, niveau 2
Comment ?	Selon module Analyse de la qualité des eaux, niveau 1	Selon module Analyse de la qualité des eaux, niveau 2
Où ?	Aux exutoires de l'assainissement urbain, conformément aux exigences des chapitres 2.7 et 8.7 du module de base.	Aux exutoires des installations sur lesquelles des mesures sont prévues ou entreprises ainsi qu'aux endroits critiques (p. ex. sites de sédimentation)

Suite Tableau B18 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau B18

	Monitoring du point de rejet dans le milieu récepteur (niveau 1)	Analyse de la qualité des eaux au point de rejet (niveau 2)
Quand ?	En même temps que le contrôle normal de l'exploitation de l'installation et spécialement après des précipitations avec déversements de l'installation dans le milieu récepteur	Une fois avant et après la mise en œuvre de la mesure. Période de l'année selon le module Analyse de la qualité des eaux, niveau 2 Dans certains cas, l'analyse avant la mise en œuvre de la mesure peut être déjà couverte par les investigations menées dans le cadre d'une planification de niveau supérieur (p. ex. PGEE).
Qui ?	En général, le personnel d'exploitation (si possible toujours la même personne), à l'exception des contrôles nécessitant des interventions spéciales (p. ex. plongées). Dans de tels cas, le contrôle est effectué par l'hydrobiologiste.	Spécialiste ayant de l'expérience en écologie des eaux
Évaluation	Selon module Analyse de la qualité des eaux, niveau 1	Selon module Analyse de la qualité des eaux, niveau 2
Actions à réaliser	Selon module Analyse de la qualité des eaux, niveau 1	Selon module Analyse de la qualité des eaux, niveau 2
Étapes suivantes	• Classement des résultats des études conformément aux exigences de la commune, du syndicat, etc. • En cas de défauts : réalisation d'une analyse approfondie et éventuellement planification de mesures	• Classement des résultats des études conformément aux exigences de la commune, du syndicat, etc. • Information du service de protection des eaux, de l'exploitant et de l'ingénieur PGEE • En cas de défauts : planification de nouvelles mesures selon le module de base

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

ANNEXE 2 – ÉTUDES DE CAS

I Eaux de ruissellement de toiture et de place – Evaluation dans le cadre d'une demande de permis de construire pour une nouvelle zone à bâtir

1. Situation initiale

Une demande préliminaire de permis de construire a été déposée pour la construction de deux maisons en rangées de quatre unités chacune. L'autorité compétente vérifie le projet du maitre d'ouvrage sur la base du déroulement de la planification en figure B3.

2. Que disent le PGEE et les planifications d'ordre supérieur ?

D'après le PGEE en vigueur, ces bâtiments se situent dans une zone pourvue d'un système séparatif. Les eaux pluviales peuvent donc être déversées dans des eaux de surface, soit directement, soit via une canalisation d'eaux pluviales, pour autant qu'elles n'aient pas pu être entièrement retenues sur le bien-fonds pour s'y infiltrer, s'y évaporer ou y être absorbées par des plantes malgré la réalisation de toutes les mesures proportionnées. Par contre, un déversement dans la canalisation d'eaux usées ou d'eaux unitaire n'est pas admissible.

Dans le cas présent, il n'y a pas de réseau public d'eaux pluviales. Les éventuelles eaux de ruissellement à déverser doivent donc l'être directement dans le ruisseau du village, un ruisseau du Plateau qui s'écoule au bord du terrain. Il n'y a aucune autre prescription provenant de planifications d'ordre supérieur.

Selon la carte d'infiltration, le sous-sol est peu perméable. La profondeur du niveau piézométrique est supérieure à 3 m. Le terrain se trouve dans la zone de protection des eaux souterraines A_U.

3. Est-il possible d'éviter/de réduire l'écoulement et la pollution des eaux pluviales ?

Des toits plats végétalisés sont prévus sur une des maisons en rangée. Une toiture en pente (tuiles) avec huit lucarnes est prévu pour la deuxième maison en rangée. Le maître d'ouvrage veut déverser les eaux de ruissellement de ces surfaces dans le ruisseau du village.

Les surfaces d'accès et celles des chemins sont aménagées en partie de sorte à être perméables et en partie de sorte que les eaux de ruissellement s'infiltrent par l'accotement. Seules les eaux de ruissellement de l'accès asphalté doivent être recueillies dans une rigole et déversées conjointement avec les eaux de toiture.

En ce qui concerne les matériaux au contact de l'eau sur les toits et façades, la maîtrise d'ouvrage ne veut utiliser aucune substance contenant des pesticides, à l'exception d'une couche bitumineuse résistante aux racines pour le toit plat végétalisé.

Récapitulation de la surface raccordée :

- Accès , asphalte 70 m^2
- Toit plat végétalisé, épaisseur de couche 20 cm 480 m^2
- Surfaces de toit en tuiles 560 m^2

4. 1re priorité : infiltration – faisable sur place ?

Capacité d'infiltration du sous-sol :

Une infiltration des eaux de ruissellement n'est pas exclue a priori, malgré les mauvaises possibilités d'infiltration indiquées par la carte d'infiltration.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

L'autorité ordonne l'exécution d'un essai d'infiltration qui donne comme résultat une capacité d'infiltration spécifique du sous-sol $S_{spécif}$ de 1 l/min·m². Cette capacité d'infiltration est du même ordre de grandeur que la capacité d'infiltration spécifique d'un sol superficiel pour lequel on peut supposer une $S_{spécif}$ de 2 l/min·m². Le maitre d'oeuvre doit donc envisager une infiltration de surface dans une dépression d'infiltration.

Détermination de la surface réduite d'évacuation des eaux :
Cette étape n'est pas exposée de manière explicite dans la présente publication. Le chapitre 1.10 du module DA fait toutefois référence à diverses publications exposant les méthodes correspondantes.

Le présent exemple utilise les coefficients d'écoulement mentionnés au chapitre 7.3 de la SN 592 000 [101] :

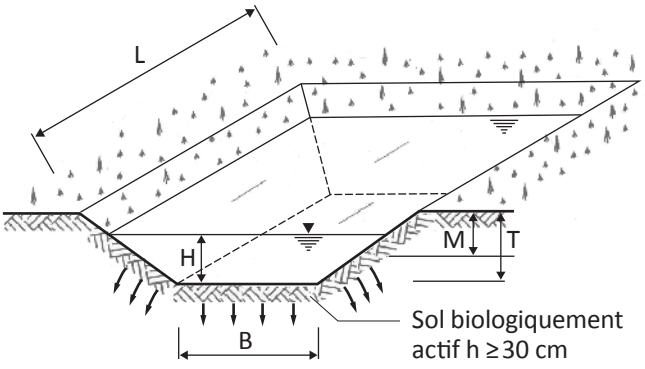
Surface réduite d'évacuation des eaux $A_{E\ réd} = A \cdot C$

- **Toit plat végétalisé**
  Surface effective exposée à la pluie A = 0.048 ha
  Coefficient d'écoulement selon SN 592 000, chapitre 7.3 C = 0.4
  Surface réduite d'évacuation des eau **$A_{E\ réd}$ = 0.019 $ha_{réd}$**
- **Toit en tuiles**
  Surface effective exposée à la pluie A = 0.056 ha
  Coefficient d'écoulement selon SN 592 000, chapitre 7.3 C = 1
  Surface réduite d'évacuation des eau **$A_{E\ réd}$ = 0.056 $ha_{réd}$**
- **Accès au garage souterrain**
  Surface effective exposée à la pluie A = 0.007 ha
  Coefficient d'écoulement selon SN 592 000, chapitre 7.3 C = 1
  Surface réduite d'évacuation des eaux **$A_{E\ réd}$ = 0.007 $ha_{réd}$**
- **Surface réduite totale d'évacuation des eaux** **$A_{E\ réd}$ = 0.082 $ha_{réd}$**

Dimensionnement de la dépression d'infiltration :
Le dimensionnement de la dépression d'infiltration est réalisé selon le **chapitre 1.10** et le diagramme de dimensionnement en **annexe 2 du module DA.**

Le but de l'installation selon le **tableau DA2** est de refermer le cycle de l'eau. L'installation d'infiltration doit être dimensionnée pour un temps de retour z de 10 ans si la situation le permet. Le but ci-dessus peut toutefois aussi être atteint avec des temps de retour nettement inférieurs à un an, auquel cas un déversoir de sécurité (nécessaire dans tous les cas) doit être dimensionnée plus largement.

L'espace disponible est restreint en raison de l'urbanisation dense, mais une dépression d'infiltration peut être réalisée sur une surface d'environ 10×5 m. Pour des raisons de sécurité et pour une bonne intégration dans l'environnement, la profondeur utile H de la dépression est limitée à 25 cm avec une revanche M de 25 cm, voir la figure B5.



Légende
L Longueur du fond
B Largeur du fond
H Profondeur utile
M Revanche
T Profondeur totale

Figure B5
Schéma de la dépression d'infiltration.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

- **Données initiales**

Localité / région	Plateau
Surface réduite d'évacuation des eaux $A_{E\,réd}$	0.082 $ha_{réd}$
Temps de retour z (valeur cible)	10 a
$S_{spécif}$ du sous-sol (déterminant)	1 l/min · m^2 = 0.017 l/s · m^2
$S_{spécif}$ sol superficiel (ici non déterminant)	2 l/min · m^2
Facteur de sécurité SF pour $S_{spécif}$	2
Surface dépression d'infiltration à hauteur du terrain : 10 × 5 m	50 m^2
Profondeur de la dépression T = H + M : 0.25 m + 0.25 m	0.50 m
Angle du talus	1 : 1

- **Capacité d'infiltration existante**

Longueur L de la dépression d'infiltration au fond	9 m
Largeur B de la dépression d'infiltration au fond	4 m
Surface de la dépression d'infiltration au fond (L × B) :	36 m^2
Surface de talus imputable : ½ · 2 · (L + B) · H · √2	4.6 m^2
Surface d'infiltration AV (somme des surfaces du fond et du talus)	41 m^2
Capacité d'infiltration $Q_s = A_V \cdot S_{spécif}$	0.70 l/s
Écoulement spécifique $q_{éc}$ avec facteur de sécurité : $q_{éc} = Q_s / A_{E\,réd} / S_F$	4.3 l/s · $ha_{réd}$

- **Vérification de la dépression d'infiltration avec le diagramme de dimensionnement de la figure DA21 d**

Volume de rétention (avec angle de talus 1 : 1) : $I = [L \cdot B + (L + 2 \cdot H) \cdot (B + 2 \cdot H)] / 2 \cdot H$	9.8 m^3
Volume de rétention spécifique (9.8 m^3/0.082 $ha_{réd}$)	120 $m^3/ha_{réd}$
Temps de retour résultant	**près de 0.5 a**

Appréciation :
Les calculs ci-dessus montrent que le temps de retour souhaité de 10 ans ne peut pas être atteint avec la taille choisie pour la dépression d'infiltration. Néanmoins, le but de l'installation, qui est de refermer le cycle de l'eau, est atteint. C'est pourquoi l'autorité donne son accord à la construction d'une dépression d'infiltration de la taille proposée. L'**infiltration des eaux de ruissellement** est donc **faisable.**

En raison des calculs ci-dessus, il faut s'attendre à ce que la dépression d'infiltration déborde quelques fois par an. Ce rejet doit être déversé dans le ruisseau du village. Le ruisseau du village ne reçoit pas de charge en polluants importante par ces rejets, car ils ne représentent que quelques pour cent des eaux de ruissellement totales. De même, une charge hydraulique excessive du cours d'eau peut être exclue a priori, car les pointes d'écoulement sont déjà amorties par la dépression d'infiltration. Un examen d'admissibilité pour le déversoir de crue dans le ruisseau du village n'est donc pas nécessaire.

5. 1re priorité : infiltration – examen d'admissibilité simple

Classification des charges :
Selon le tableau B6, le **toit plat végétalisé** est affecté à la **classe de pollution moyenne** par l'autorité en raison de la couche bitumineuse résistant aux racines et contenant des pesticides, sans connaissance du produit spécifique utilisé. Pour une classe de pollution faible, le maitre d'ouvrage devrait prouver qu'il utilise un produit classifié en conséquence. Des précisions à ce sujet sont données sur le site web du VSA.

Dans le cas du **toit en tuiles,** on peut supposer que le pourcentage d'installations en plomb, cuivre ou zinc non revêtus ne dépasse pas 10 %, s'il n'est pas prévu qu'elles soient utilisées sur une grande surface. La **classe de pollution** est alors **moyenne selon le tableau B6.** Dans le présent cas d'une surface de toiture de 560 m^2, un pourcentage de 10 % signifie toutefois déjà une **surface métallique >50 m^2,** ce qui implique une classification dans la **classe de pollution élevée.** Dans sa lettre-réponse, l'autorité recommande au

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

maitre d'ouvrage de réduire autant que possible l'emploi d'installations en plomb, cuivre ou zinc pour atteindre une classe de pollution moyenne, voire faible (pourcentage de métal ≤ 5 %).

L'**accès** se voit attribuer la **classe de pollution faible, selon le tableau B7.**

Appréciation de l'admissibilité :
Selon le tableau B11, l'**infiltration avec passage à travers le sol** des eaux de ruissellement chargées des pollutions susmentionnées est **admissible,** même si les eaux de la toiture en tuiles devaient être classifiées avec une pollution élevée.

6. Analyse de la qualité des eaux ou vérification des mesures selon STORM
Dans le cadre d'un projet de construction isolé, une analyse de la qualité des eaux ou une vérification des mesures selon STORM ne sont indiquées qu'en cas de situation exceptionnelle ; voir à ce sujet les observations dans les chapitres 2.5.3 et 2.5.4 du module de base.

Elles ne sont pas indiquées dans la présente étude de cas.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

II Eaux de chaussée dans les localités
Evaluation des types d'évacuation dans le cadre de l'élaboration du PGEE

1. Situation initiale

La surface de la route de traversée d'une agglomération est rénovée sur une longueur de 400 m. Dans ce contexte, on examine aussi le renouvellement des conduites et du drainage routier. Actuellement, les eaux de chaussée sont déversées dans le ruisseau du village. La surface de chaussée raccordée s'élève à 3400 m^2, la densité du trafic (TJM) pour l'horizon de planification est de 8000 véh./j.

Le déroulement de la planification pour le drainage routier s'appuie sur le diagramme de la figure B3.

2. Que disent le PGEE et les planifications d'ordre supérieur ?

Selon le PGEE en vigueur, le tronçon de route se trouve dans le système séparatif. Le déversement dans le ruisseau du village est aussi prévu pour l'état de planification. Toutefois, le PGEE a été élaboré avant la publication de la présente directive, selon les prescriptions alors en vigueur. Il faut par conséquent vérifier à nouveau le mode d'évacuation des eaux.

Selon la carte d'infiltration, le sous-sol est bien perméable. La profondeur du niveau piézométrique est supérieur à 3 m. La route se trouve dans la zone de protection des eaux souterraines A_U.

Est-il possible d'éviter / de réduire l'écoulement et la pollution des eaux de ruissellement ? En raison de l'utilisation de la route et de sa position à l'intérieur de la localité, il n'y a aucune possibilité de retenir les eaux de ruissellement ni de les laisser s'infiltrer sur le bas-côté.

4. 1re priorité : infiltration – faisable sur place ?

Capacité d'infiltration du sous-sol :
En raison de la bonne perméabilité du sous-sol et de la profondeur suffisante du niveau piézométrique, on peut supposer que l'infiltration des eaux de chaussée est possible. Il faudrait favoriser une infiltration avec passage à travers le sol, toutefois l'espace nécessaire manque. Une installation d'infiltration souterraine semble être réalisable a priori.

5. 1re priorité : infiltration – examen d'admissibilité simple

Classification des charges :
La classe de pollution est déterminée selon le tableau B8.

- **Données initiales**

Trafic journalier moyen (TJM)	
Horizon de planification	8000 véh./j
Part de trafic lourd	6 %
Tronçon de route	à l'intérieur d'une localité
Pente	< 8 %
Fréquence du nettoyage des routes	1 fois par mois

- Points de pollution (PP)

Fréquence du trafic = TJM/1000	8 PP
Part de trafic lourd	1 PP
Tronçon de route à l'intérieur d'une localité	1 PP
Pente	0 PP
Nettoyage des routes	–1 PP
Total des points de pollution	**9 PP**

Les eaux de chaussée correspondent donc à la **classe de pollution moyenne**.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Appréciation de l'admissibilité :
Selon le tableau B11, l'**infiltration sans passage à travers le sol** des eaux de chaussée de classe de pollution moyenne dans la zone de protection des eaux souterraines A_U exige un **traitement préalable de niveau d'exigences «standard».**

Récapitulation des mesures :
Il n'y a pas assez de place pour une installation de traitement en surface. Des installations souterraines centralisées ou décentralisées entrent toutefois en ligne de compte. Des types d'installation appropriés peuvent être trouvés dans la norme VSS SN 640 361 et dans la liste des installations compactes décentralisées recommandées sur le site web de VSA ; voir à ce sujet le chapitre 7.5. Les deux types d'installation sont toutefois affectés de coûts d'investissement et d'exploitation. Il faut de plus créer un volume de rétention, tant pour le traitement que pour l'infiltration, afin de n'être pas contraint de dimensionner les installations concernées pour un débit excessivement important.

Il convient donc tout d'abord de vérifier si le déversement dans un cours d'eau présente un meilleur rapport coûts/avantages.

6. 2e priorité : déversement dans un cours d'eau – faisable sur place ?
De manière générale, le déversement existant dans le ruisseau du village peut être conservé avec le même tracé.

7. 2e priorité : déversement dans un cours d'eau de surface – examen d'admissibilité simple

Classification des charges :
Selon le point 5, les eaux de chaussée correspondent à la **classe de pollution moyenne**.

Détermination du quotient de déversement :
Dans le cas du petit ruisseau du Plateau à écoulement lent (Q_{347} = 3 l/s) avec fond couvert de sédiments fins, le quotient de déversement est déterminée selon le tableau B12 :

- **Données initiales**

Surface de chaussée raccordée A_E	0.34 ha
Coefficient d'écoulement Ψ du béton/ asphalte (selon la norme VSS SN 640 353)	0.9
Surface réduite d'évacuation des eaux $A_{E\,réd} = A_E \cdot \Psi$	0.31 $ha_{réd}$
Intensité de pluie i pour la région du Plateau avec T = 1, t = 10 min selon SN 640 350 [102]	140 l/s/ha
Débit des eaux de ruissellement $Q_E = A_{E\,réd} \cdot i$	43 l/s
Débit d'étiage du cours d'eau Q_{347}	3 l/s
Nature du lit du cours d'eau	Sédiment fin
Facteur de correction pour la nature du lit f_S	0.5
Facteur de correction pour le type de cours d'eau f_G	0.5

- **Résultats**

Quotient hydraulique de déversement $V = Q_{347}/Q_E$	0.070
Quotient de déversement spécifique du cours d'eau pour appréciation de la **charge en polluants $V_S = V \cdot f_G$**	**0.035**
Quotient de déversement spécifique du cours d'eau pour Appréciation de la **charge hydraulique $V_G = V \cdot f_S \cdot f_G$**	**0.017**

Appréciation de l'admissibilité pour la charge en polluants :
Selon le tableau B13, le déversement d'eaux de chaussée avec une pollution moyenne et un quotient de déversement V_S de 0.035, exige un **traitement du niveau d'exigences «standard».**

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Selon la note 2 du tableau B13, dans le cas de milieu récepteur peu sensibles, il est éventuellement possible de renoncer à un traitement, en accord avec l'autorité cantonale. Dans le cas présent, l'autorité estime qu'un traitement est nécessaire en raison de la valeur écologique du ruisseau du village et du faible quotient de déversement.

Appréciation de l'admissibilité pour la charge hydraulique :
Selon le tableau B14, une **rétention est nécessaire** pour le **déversement** des eaux de chaussée en raison du quotient de déversement V_G de 0.017 et du fait que le seuil minimal pour Q_E de 20 l/s est dépassé.

Récapitulation des mesures :
Un traitement des eaux de chaussée est donc également nécessaire pour le déversement dans le ruisseau du village.

Un volume de rétention est de plus nécessaire ; celui-ci peut être estimé en fonction du diagramme de dimensionnement en **annexe 2 du module DA.** L'objectif de la rétention est la réduction du stress hydraulique créé par le déversement dans le cours d'eau. Le temps de retour servant de base au dimensionnement de la rétention est donc fixé à 1 an selon le tableau DA2.

- **Données initiales**

Surface réduite d'évacuation des eaux $A_{E\,réd} = A_E \cdot \Psi$	0.31 $ha_{réd}$
Débit des eaux de ruissellement $Q_E = A_{E\,réd} \cdot i$	43 l/s
Débit d'étiage du cours d'eau Q_{347}	3 l/s
Nature du lit du cours d'eau	Sédiment fin
Facteur de correction pour la nature du lit f_S	0.5
Facteur de correction pour le type de cours d'eau f_G	0.5
Quotient de déversement spécifique du cours d'eau minimal admissible selon le tableau B14 $V_{G\,min} = V \cdot f_S \cdot f_G = Q_{347}/Q_E \cdot f_S \cdot fG$	0.1
Temps de retour pour dimensionnement de la rétention	1 an

- **Volume de rétention nécessaire avec le diagramme de dimensionnement de la figure DA21 d**

Débit de déversement maximal admissible : $Q_{E\,max} = Q_{347} \cdot f_S \cdot f_G / V_{G\,min}$	8 l/s
Écoulement spécifique : $q_{ab} = Q_{E\,max}/A_{E\,réd}$	24 l/s·$ha_{réd}$
Volume de rétention spécifique nécessaire $l_{spéc}$ selon diagramme de dimensionnement	120 $m^3/ha_{réd}$
Volume de rétention nécessaire $I = I_{spéc} \cdot A_{E\,réd}$	37 m^3

L'espace et les coûts relatifs aux mesures nécessaires pour le déversement dans le ruisseau du village sont donc d'un ordre de grandeur similaire à ceux pour l'infiltration souterraine.

C'est pourquoi il convient d'examiner encore le déversement des eaux de chaussée dans la canalisation d'eaux unitaire en troisième priorité.

8. 3e priorité : déversement dans la canalisation d'eaux unitaires

L'évacuation des eaux de chaussée pourrait être raccordée de façon relativement simple à la canalisation d'eaux unitaires. Cela n'est toutefois pas prévu dans le PGEE, c'est pourquoi la charge hydraulique de la canalisation concernée doit être vérifiée.

Selon le chapitre 6.3, il faut aussi assurer que les charges polluantes rejetées par la canalisation d'eaux unitaires qui sont causées en supplément par le déversement ne soient pas supérieures à celles qui seraient déversées dans les eaux dans le cas d'un déversement dans le ruisseau du village avec un traitement de la classe d'exigences «standard». Cela peut être réalisé p. ex. par modification du modèle de simulation à long terme qui est en général disponible suite à l'élaboration du PGEE. Des paramètres de charges appropriés pour la comparaison sont p. ex. les MES et la DCO qui se présentent tant dans les eaux usées domestiques que de chaussée.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

9. Vérification des mesures selon STORM

Dans le présent cas, la détermination du mode d'évacuation le plus approprié des eaux de chaussée n'est pas évidente. Pour trouver la meilleure solution, il faut donc évaluer les solutions possibles d'évacuation des eaux sur la base de divers critères dans le cadre d'une comparaison des variantes. La procédure peut s'orienter sur le déroulement de la planification du module STORM. L'éventail des variantes examinées peut alors être étendu en fonction des besoins.

Lors du choix de la meilleure variante, il faut veiller à respecter les priorités du mode d'évacuation des eaux selon le déroulement de la planification en figure B3. Cela signifie qu'un mode d'évacuation des eaux de priorité plus basse ne doit être choisi que si les modes d'évacuation des eaux de priorité supérieure obtiennent un résultat significativement plus mauvais lors de l'analyse coûts/avantages.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

III Eaux unitaires déversées

Auteur : Hans Balmer, AWEL, Zurich

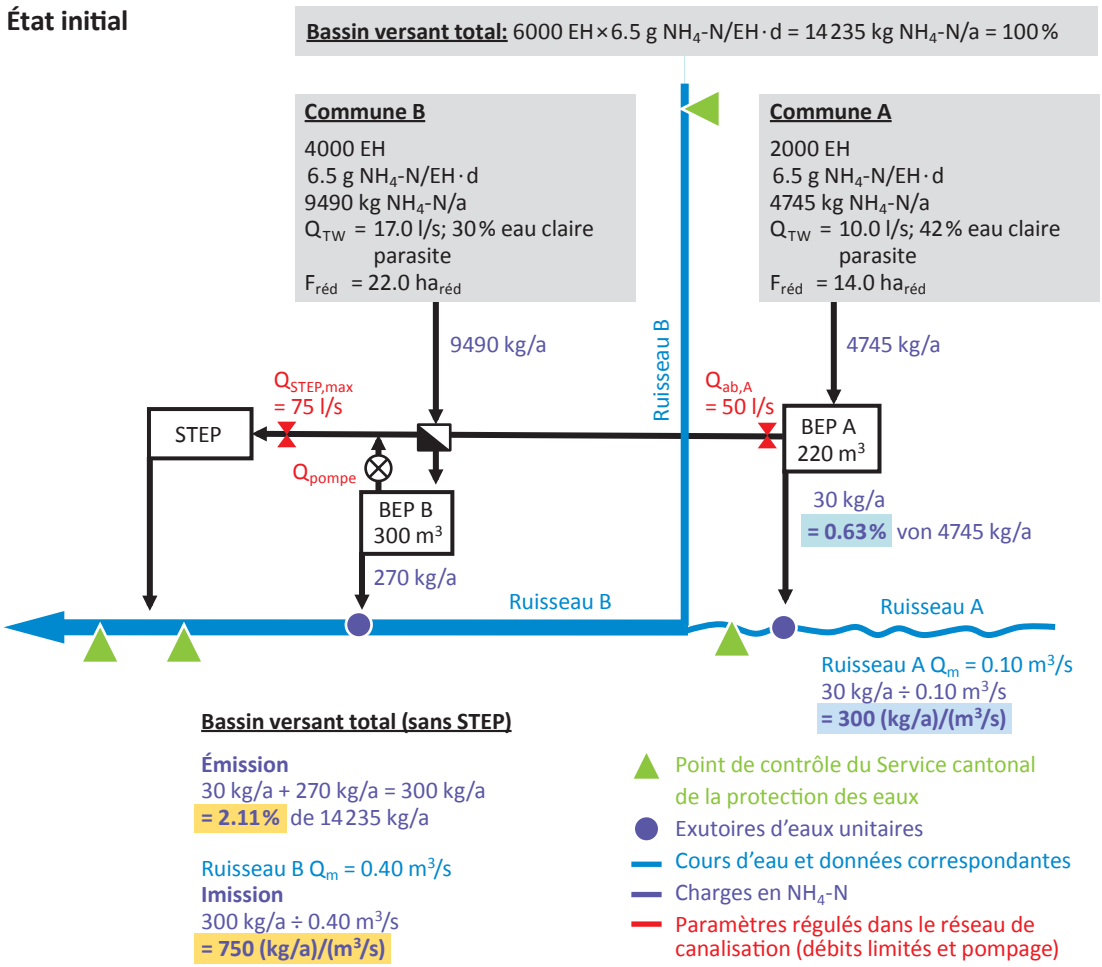
1. Description du système

Dans la région du Plateau, la commune A avec 2000 équivalents-habitant (EH) et la commune B avec 4000 EH exploitent en commun une station d'épuration (STEP) dans la commune B.

Le bassin d'eaux pluviales A avec un volume de 220 m³ se trouve sur la canalisation principale, à la limite de la commune A. Selon le PGEE communal de la commune A, en cas de pluie, un débit $Q_{ab,A}$ = 50 l/s est déversé dans le système d'évacuation des eaux de la commune B.

Le bassin d'eaux pluviales B est placé en parallèle en amont de la STEP, à la limite de la commune B. En cas de pluie, un débit maximal $Q_{STEP,max}$ = 75 l/s est déversé dans la STEP. Selon le PGEE communal de la commune B, le volume du bassin d'eaux pluviales doit être porté de 300 m³ (13.6 m³/$ha_{réd}$) à 500 m³ (22.7 m³/$ha_{réd}$).

Figure B6
État initial du système d'évacuation des eaux.



2. Analyse de la qualité des eaux

Le service cantonal de la protection des eaux analyse régulièrement le ruisseau A en aval de la commune A, juste avant son embouchure dans le ruisseau B. Le ruisseau B est analysé en amont de la zone urbanisée de la commune B, ainsi qu'en amont et en aval de la STEP.

Il n'y a en amont des communes A et B aucun milieu bâti déversant dans le ruisseau A ou dans le ruisseau B. L'influence du déversement continu d'eaux usées provenant de la STEP se fait nettement sentir, tant pour les paramètres chimiques que pour la diversité des organismes aquatiques (macrozoobenthos).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Des examens d'échantillons selon le module «Analyse de la qualité des eaux» en amont et en aval des exutoires d'eaux unitaires pour les bassins d'eaux pluviales A et B ne montrent toutefois aucune influence des déversements d'eaux unitaires.

D'autre part, en termes de macroinvertébrés, il est indéniable que la diversité et le nombre d'individus dans le ruisseau A se sont notablement améliorés depuis la revitalisation réalisée trois ans auparavant !

3. Détermination et appréciation des charges déversées à l'état initial

Les communes A et B élaborent un PGEE intercommunal pour l'ensemble du bassin versant de la STEP. Pour l'appréciation du système et l'évaluation des mesures d'optimisation possibles, on détermine les charges déversées absolues moyennes d'ammonium (kg NH_4-N/a), la proportion d'eaux usées déversées (%) et les charges déversées spécifiques du cours d'eau (kg NH_4-N/a)/(m^3/s), qui servent de substances représentatives de toutes les substances contenues dans les eaux usées. Ces valeurs sont déterminées selon le chapitre 8 du module de base.

6.5 g d'azote ammoniacal (NH_4-N) par EH et par jour parviennent dans les eaux usées. Cette valeur tirée de la documentation a été confirmée par les charges d'entrée dans la STEP. Il en ressort que les eaux usées de la commune A contiennent 4745 kg de NH_4-N/a et celles de la commune B 9490 kg de NH_4-N/a, soit au total 14 235 kg de NH_4-N/a (= 100 %).

Un modèle hydrodynamique des charges polluantes des eaux pluviales est créé pour l'ensemble du système. Comme tous les modèles, celui-ci est entaché d'incertitudes.

- Selon la simulation à long terme, le bassin d'eaux pluviales A déverse chaque année en moyenne 30 kg de NH_4-N dans le ruisseau A qui présente un débit moyen Q_m = 0.10 m^3/s au niveau de l'exutoire.

- Les 30 kg de NH_4-N/a correspondent à 0.63 % de l'ammonium contenu dans les eaux usées. Les exigences minimales de 2 % maximum sont donc bien satisfaites.

- En divisant par le débit moyen du ruisseau A de 0.10 m^3/s, on obtient une charge déversée spécifique du cours d'eau de 300 (kg NH_4-N/a)/(m^3/s). Cette valeur est inférieure à la valeur indicative de 500 (kg NH_4-N/a)/(m^3/s).

- Selon la simulation à long terme, le bassin d'eaux pluviales B déverse chaque année en moyenne 270 kg de NH_4-N dans le ruisseau B qui est de plus grande taille et présente un débit moyen Q_m = 0.40 m^3/s au niveau de l'exutoire.

- La charge déversée totale dans le système vaut 30 + 270 = 300 kg de NH_4-N/a et correspond à 2.11 % de l'ammonium total contenu dans les eaux usées.

- Avec un pourcentage de déversement des eaux usées de 2.11 %, le système d'évacuation des eaux ne satisfait pas aux exigences minimales correspondant à l'état actuel de la technique (moins de 2 %).

- En divisant par le débit moyen du ruisseau B de 0.40 m^3/s, on obtient une charge déversée spécifique du cours d'eau de 750 (kg NH_4-N/a)/(m^3/s). Cette valeur est légèrement supérieure à la valeur indicative de 500 (kg NH_4-N/a)/(m^3/s). Cela signifie qu'il faut vérifier les concentrations de pointe extrêmes au cours de l'année selon le module STORM pour le ruisseau B.

Mais il faut tout d'abord évaluer des mesures d'adaptation à l'état actuel de la technique.

4. Évaluation de mesures d'adaptation à l'état actuel de la technique

Optimisation de la vidange du bassin d'eaux pluviales : à l'heure actuelle, le bassin d'eaux pluviales B en amont de la STEP n'est vidangé que lorsque le débit entrant dans la STEP a atteint de nouveau le niveau de temps sec d'environ 30 l/s. Étant donné que l'eau des drainages et des conduites de drainage s'écoule encore longtemps après les précipitations, la vidange du bassin d'eaux pluviales n'est démarrée que tar-

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

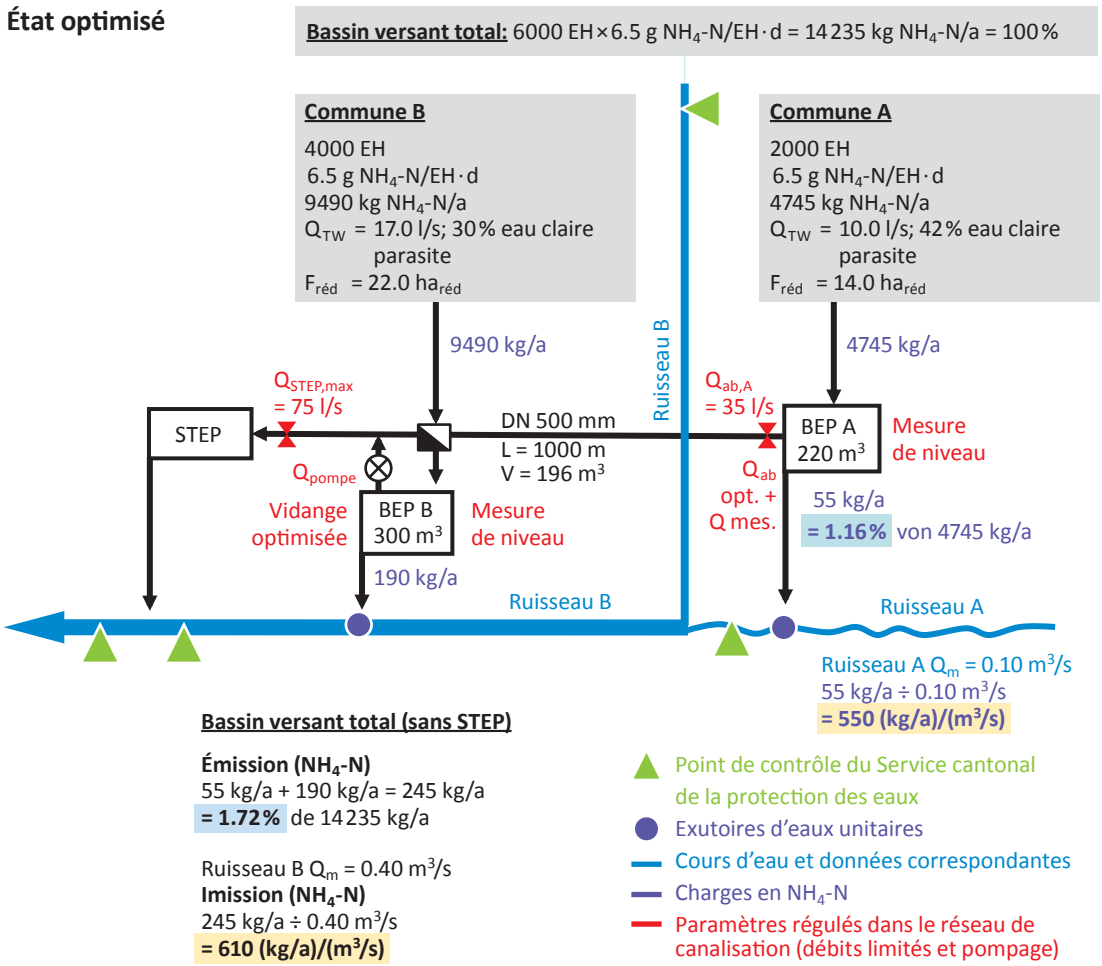
divement. Dans certains cas, l'épisode pluvieux suivant intervient déjà alors que le volume total du bassin d'eaux pluviales n'est pas encore disponible. Il faut donc désormais toujours enclencher la pompe de vidange dès que la capacité de la STEP le permet.

Selon la simulation à long terme, cela réduit ainsi la charge déversée du bassin d'eaux pluviales B de 15 kg/a pour atteindre 255 kg NH_4-N/a. Avec une charge déversée totale de 30+255 = 285 kg de NH_4-N/a, le pourcentage de déversement est alors réduit à exactement 2.00%. D'autres mesures proportionnées vont toutefois être encore examinées.

Optimiser le débit transmis par le bassin d'eaux pluviales A : le volume du bassin d'eaux pluviales A est mal exploité. Le volume du bassin est nettement mieux exploité quand le débit transmis par le bassin d'eaux pluviales A est réduit de 50 l/s à 35 l/s. La charge déversée du bassin d'eaux pluviales A augmente certes de 25 kg/a, la faisant passer de 30 kg/a à 55 kg de NH_4-N/a, mais en même temps, la charge déversée du bassin d'eaux pluviales B qui s'élevait à 255 kg/a est réduite de 65 kg/a pour atteindre 190 kg de NH_4-N/a. Ainsi, la charge déversée totale dans le système ne vaut plus que 55+190 = 245 kg de NH_4-N/a, c'est-à-dire 1.72% de l'ammonium contenu dans les eaux usées. Les exigences minimales pour la limitation préventive des émissions selon l'état actuel de la technique sont ainsi remplies dans un premier temps. Des simulations à long terme avec divers débits transmis par le bassin d'eaux pluviales A permettent de trouver un optimum pour le système global.

Actualisation de la technique de mesure, commande et régulation : des mesures de niveau en continu doivent être installées dans les deux bassins d'eaux pluviales dans le cadre des adaptations techniques. Une mesure de débit du bassin d'eaux pluviales A ne présente pas seulement un intérêt pour la vérification et l'étalonnage du modèle, mais aussi pour l'observation de la proportion d'eau claire parasite et pour la répartition des coûts entre les communes A et B. La STEP possède déjà une mesure de débit.

Figure B7
État optimisé du système d'évacuation des eaux.



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

5. Appréciation des charges déversées spécifiques du cours d'eau (immissions)

Après la réduction à 35 l/s du débit transmis du bassin d'eaux pluviales A, la charge déversée spécifique du cours d'eau dans le ruisseau B au niveau de l'exutoire provenant du bassin d'eaux pluviales B est réduite de 750 à 610 (kg NH_4-N/a)/(m^3/s). Par contre, la charge déversée spécifique du cours d'eau dans le ruisseau A au niveau de l'exutoire provenant du bassin d'eaux pluviales A augmente de 300 à 550 (kg NH_4-N/a)/(m^3/s).

Il résulte de la vérification selon le module STORM que les concentrations extrêmes modélisées restent dans les limites admissibles au cours de l'année dans les deux ruisseaux. Le système peut donc être considéré comme optimisé selon l'état actuel de la technique.

6. Évaluation de mesures supplémentaires selon STORM

Les mesures supplémentaires suivantes seront évaluées selon STORM dans le présent cas :

Système global bassin versant – STEP – cours d'eau : on renonce dans un premier temps à une extension du bassin d'eaux pluviales B en amont de la STEP. Le rapport coûts/avantages de cette mesure est défavorable. Il faut bien plus vérifier si la STEP actuelle doit être modernisée dans dix ans, après expiration de son autorisation d'exploitation, ou bien être raccordée à la STEP à proximité de taille supérieure, qui déverse dans un cours d'eau nettement plus grand. Une légère augmentation des débits d'eaux traités dans la STEP par temps de pluie, ou une commande dynamique du système global composé de la STEP et des bassins d'eaux pluviales dans le bassin versant, permettraient d'optimiser les charges déversées totales et les charges contenues dans les eaux usées traitées en tenant compte des exigences des cours d'eau. La prise en compte et l'optimisation du système global présente un fort potentiel de réduction de la pollution des eaux. De telles considérations globales devraient par conséquent devenir la norme à l'avenir. Le VSA travaille en ce moment (2019) sur les bases de décision nécessaires à cet effet.

Utilisation du volume de la canalisation : la canalisation de transport de la commune A vers la commune B a une longueur de 1 km et un diamètre de 500 mm. La canalisation a donc un volume de près de 200 m^3. Étant donné que le débit transmis de A vers B est fortement réduit, ce volume n'est pas utilisé. Selon la topographie et si les problèmes de refoulement dans les canalisations de raccordement peuvent être exclus, la canalisation de transport peut être utilisée comme canalisation de rétention, éventuellement en plusieurs cascades. Cela permet ainsi de réduire la charge déversée, même si ce n'est que dans une faible mesure.

Réduction de la quantité d'eau claire parasite : dans le présent cas, il apparaît qu'une réduction de 42 % à 30 % de la quantité d'eau claire parasite dans la commune A ne permettrait qu'une diminution minime des déversements d'eaux unitaires. La quantité d'eau claire parasite devrait être réduite successivement par des mesures proportionnées.

Construction a posteriori d'un système séparatif : l'introduction a posteriori par endroits d'un système séparatif permettrait de réduire nettement les charges déversées. Toutefois, la pollution dans le cours d'eau peut augmenter par des déversements supplémentaires d'eaux de ruissellement. Dans le présent cas, une évaluation avec le module «Système d'évacuation des eaux» montre qu'un changement de système serait désavantageux.

Favoriser l'infiltration : chaque fois que l'occasion se présente, il faut retenir sur le bien-fonds sur lequel elles tombent les eaux de ruissellement non polluées afin qu'elles s'infiltrent, s'évaporent ou soient absorbées par des plantes et ne soient pas déversées dans la canalisation unitaire. Ainsi notamment, l'infiltration des eaux pluviales non polluées provenant de grandes surfaces individuelles imperméabilisées (p. ex. les toits de zones industrielles) réduit les déversements d'eaux unitaires. Ce sont les mesures les plus durables à moyen terme, car l'infiltration/l'évaporation des eaux pluviales a de nombreux autres effets positifs (cycle naturel de l'eau, bilan de l'eau dans le sol, microclimat etc.).

Revitalisation des cours d'eau dégradés : dans le cas des cours d'eau ayant subi une dégradation écomorphologique, la diversité des habitats, et donc des espèces, peut être encouragée de manière bien plus efficace par des revitalisations que par une réduction plus poussée des déversements d'eaux unitaires.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7. Décisions en équipe pluridisciplinaire

L'équipe pluridisciplinaire composée de représentantes et de représentants des communes A et B ou du syndicat des eaux usées, du service cantonal de la protection des eaux, du bureau d'ingénierie du PGEE intercommunal et d'un bureau d'écologie des eaux, prend des décisions sur les points suivants :

Comparaison entre limitation des émissions et limitation des immissions : si le débit transmis par le bassin d'eaux pluviales A pouvait être davantage réduit, la charge déversée totale du système pourrait être davantage réduite.

La charge déversée spécifique du cours d'eau dans le ruisseau A augmenterait alors toutefois à plus de 1000 (kg NH_4-N/a)/(m^3/s). Une vérification avec le module STORM montrerait certes qu'il n'en résulterait pas de concentrations extrêmes non conformes. Mais, par égard pour la colonisation positive du ruisseau A, la charge déversée spécifique du cours d'eau dans le ruisseau A, et donc aussi dans le ruisseau B jusqu'à la STEP, ne devrait pas être augmentée davantage.

Proportionnalité et rentabilité des mesures : l'optimisation de la vidange du bassin d'eaux pluviales B par une programmation correspondante sur le système de supervision et l'optimisation purement statique du débit transmis par le bassin d'eaux pluviales A obtenue par le montage d'un nouvel organe de régulation des débits présentent un rapport coûts/avantages exceptionnellement bon.

D'autres mesures, comme la construction a posteriori d'un système séparatif, présentent à l'heure actuelle un rapport coûts/avantages non justifiable. Les charges déversées restantes spécifiques du cours d'eau de 500 à 600 (kg NH_4-N/a)/(m^3/s) sont acceptables, car le modèle montre qu'il ne faut s'attendre à aucune charge de pointe extrême non admissible. La situation globale est notablement améliorée par rapport à l'état initial grâce à des mesures proportionnées.

8. Contrôle des performances

Il faudra vérifier, et éventuellement adapter, le modèle hydrodynamique sur la base de mesures dans les prochaines années. Une observation du comportement de déversement effectif des deux bassins d'eaux pluviales devra être réalisée. Le débit transmis par le bassin d'eaux pluviales A devra éventuellement être encore optimisé.

Des visites périodiques des cours d'eau, notamment au niveau des points de déversement des eaux unitaires, devront être réalisées avec les personnes concernées. Il faudra continuer à observer l'état général des cours d'eau au niveau des points précédents dans le cadre de la surveillance cantonale.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Objectifs de la prise en compte combinée des émissions et des immissions

Limitation préventive des émissions : les exigences minimales autorisent un rejet dans les cours d'eau d'au maximum 2 % des eaux usées contenues dans les eaux unitaires (en se référant à l'azote ammoniacal comme substance trace pour les eaux usées). Cela assure ainsi que les divers ouvrages de déversement et le système d'évacuation des eaux dans son ensemble correspondent à **l'état actuel de la technique.** La limitation des charges déversées absolues (émissions) est une **mesure préventive,** indépendamment du fait que les charges polluantes soient rejetées dans un grand ou un petit cours d'eau. Dans de nombreux cas, il est aussi possible d'obtenir de meilleurs résultats que les exigences minimales grâce à des mesures d'optimisation proportionnées ! **L'art. 13 alinéa 1 let. c de l'ordonnance sur la protection des eaux** exige que les détenteurs d'installations servant à l'évacuation des eaux prennent **toutes les mesures proportionnées** qui contribuent à réduire la quantité de substances à évacuer. Des mesures proportionnées peuvent être réalisées pour faire mieux que les exigences minimales.

Limitations des immissions spécifiques du cours d'eau : dans de très petits cours d'eau, même les 2 % d'eaux usées déversées peuvent toutefois signifier une charge trop importante (immission). C'est pourquoi l'on détermine aussi la **charge déversée spécifique du cours d'eau** en divisant la charge déversée annuelle moyenne (kg/a) par le débit moyen du cours d'eau (m^3/s).

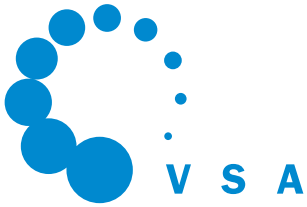
Dans le cas des cours d'eau, le point qui pose problème en premier lieu ne découle pas des immissions moyennes, mais bien plus des **charges de pointe extrêmes en polluants.** Comme **valeur indicative,** on peut considérer que jusqu'à une charge déversée spécifique du cours d'eau de **500 à 1000 (kg NH_4-N/a)/(m^3/s)** dans les bassins versants typiques du Plateau, il n'y aura pratiquement pas de concentrations de pointe problématiques dans le courant de l'année. Pour des charges déversées spécifiques du cours d'eau supérieures à 500 (kg NH_4-N/a)/(m^3/s), il faut en règle générale effectuer une vérification différenciée des concentrations de pointe extrêmes probables selon le module STORM. La valeur indicative sera précisée au niveau régional par le service cantonal de la protection des eaux, le cas échéant.

Pour la détermination de la charge déversée spécifique du cours d'eau au niveau d'un exutoire, il faut ajouter les charges déversées des ouvrages en amont dans le même cours d'eau si elles se trouvent dans le même bassin versant de la STEP. Les ouvrages de déversement à l'extérieur du bassin versant de la STEP dans lequel se trouve l'ouvrage de déversement considéré ne doivent en général pas être pris en compte, car ils n'ont pas d'influence directe sur le déversement de l'ouvrage considéré. En cas de nécessité, il faut faire une planification au niveau supérieur en prenant en compte tous les acteurs concernés.

Prise en compte d'autres matières polluantes : la prise en compte pratique de l'ammonium décrite ici s'applique aussi aux substances particulaires entièrement mélangées et aux substances dissoutes dans les **eaux usées.** La modélisation de l'apport de polluants par les **eaux pluviales** et celle de la retenue de substances particulaires dans les bassins d'eaux pluviales sont complexes. L'expérience montre que, lors de la prise en compte des substances dissoutes dans des situations typiques, les substances particulaires sont aussi prises en compte sous un angle favorable.

Dans certains cas particuliers toutefois, des examens et des modélisations spécifiques sont indiqués pour des substances particulaires ou des substances ou groupes de substances particuliers, p. ex. pour la DCO.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020



Association suisse des professionnels
de la protection des eaux (VSA)
Europastrasse 3
Case postale, 8152 Glattbrugg
sekretariat@vsa.ch
www.vsa.ch
Tel. 043 343 70 70

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

Association suisse des professionnels de la protection des eaux

Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Swiss Water Association

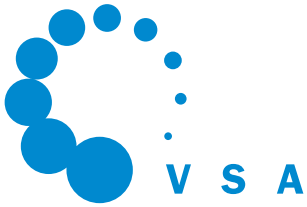
ANALYSE DE LA QUALITÉ DE L'EAU

Le module sur l'analyse de la qualité de l'eau est toujours en préparation et devrait être publié à l'automne 2019.

Après la publication, le VSA enverra gratuitement les documents à toutes les personnes ayant commandé le forfait complet de la directive.

Pour les personnes ayant commandé l'offre de base de la directive : Le Module G sera disponible gratuitement sous format électronique sur le site du Système Modulaire Gradué.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020



Association suisse des professionnels
de la protection des eaux (VSA)
Europastrasse 3
Case postale, 8152 Glattbrugg
sekretariat@vsa.ch
www.vsa.ch
Tel. 043 343 70 70

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

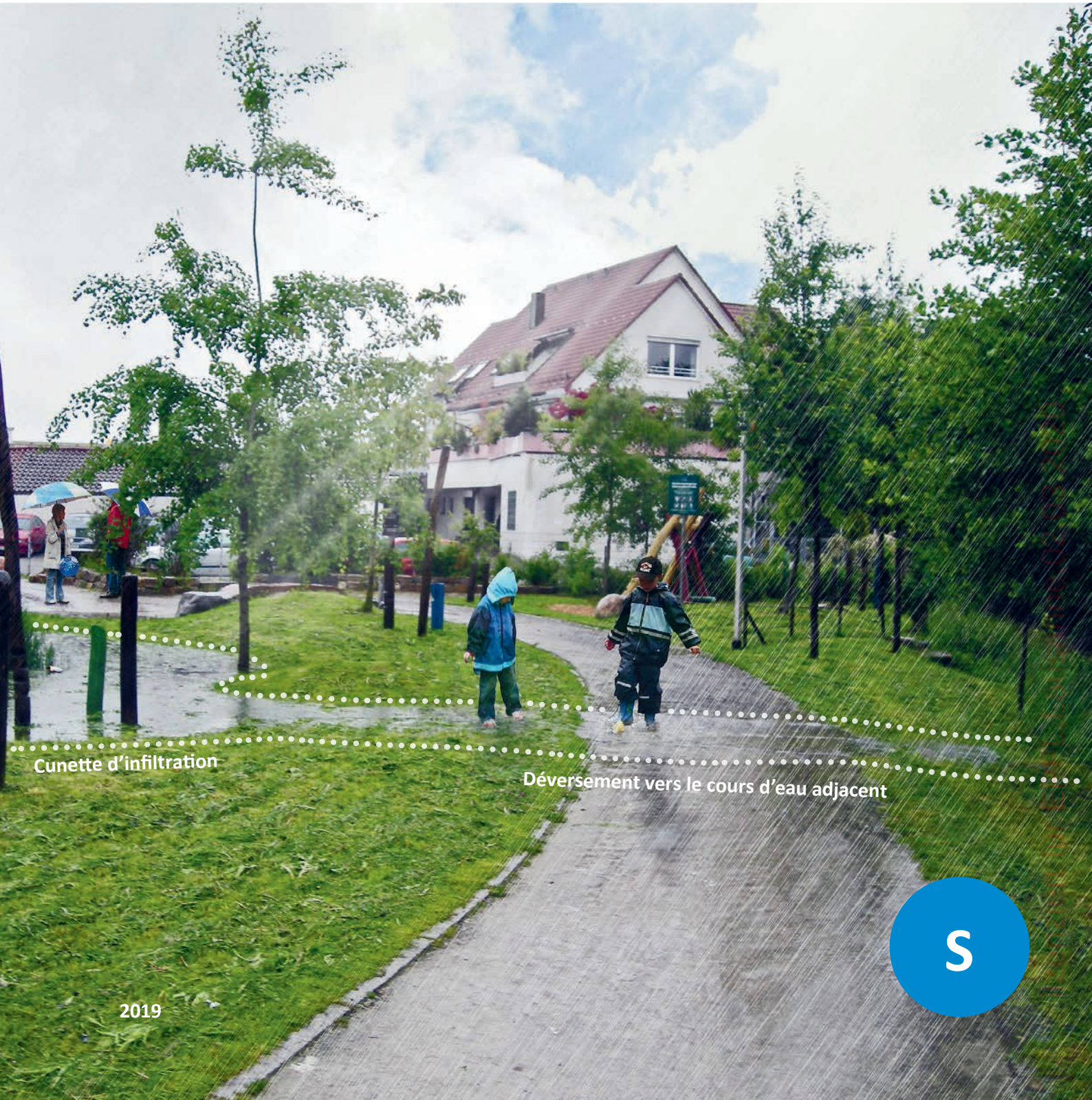
Association suisse des professionnels de la protection des eaux

Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Swiss Water Association

GESTION DES EAUX URBAINES PAR TEMPS DE PLUIE

MODULE STORM : VÉRIFICATION DES MESURES SELON STORM



2019

Impressum

La présente publication a été élaborée avec le plus grand soin et en toute bonne foi. Nous déclinons toutefois toute responsabilité quant à son exactitude, son exhaustivité et son actualité. Toute prétention en responsabilité à l'encontre de la VSA pour des dommages matériels ou immatériels qui pourraient être causés par l'utilisation et l'application de la présente publication est totalement exclue.

Valeur juridique
Cette directive documente l'état de la technique et les bonnes pratiques suisses en matière de gestion des eaux urbaines par temps de pluie. Elle précise la législation relative à la protection des eaux et permet une mise en oeuvre uniforme. La directive s'adresse principalement aux autorités chargées de l'application et de l'autorisation et aux planificateurs de systèmes d'évacuation des eaux. Elle garantit à l'utilisateur un degré élevé de sécurité juridique. D'autres solutions sont toutefois possibles. Cependant dans le cadre de la pratique juridique ces solutions doivent être conformes au droit.

Auteurs
Daniel Baumgartner, Hunziker Betatech AG, Berne
Reto Flury, Holinger AG, Berne
Natalie Muff, Holinger AG, Berne
Silvia Oppliger, Hunziker Betatech AG, Berne
Elias Winz, Holinger AG, Berne

Membres du groupe de travail
Karlheinz Diethelm, AfU, Herisau
Patrick Fischer, OFEV, Berne
Stefan Hasler, VSA, Glattbrugg
Daniel Meister, AWEL, Zurich
Urs Reichmuth, Office des ponts et chaussées, Wangen SZ
Jörg Rieckermann, Eawag, Dübendorf
Luca Rossi, SINEF SA, Givisiez
Pierre Wyrsch, SENE, Neuchâtel
Alain Wyss, DGEau, Genève

Membres de la commission Plan général d'évacuation des eaux PGEE (2013)
Renzo Brenni, Gewässerschutzfachstelle Kt. TI, Bellinzona / Fredy Elber, AquaPlus, Zug / Werner Federer, Fischer Ingenieure AG, Arbon / Patrick Fischer, BAFU, Bern / Markus Flückiger, Holinger AG, Bern / Vladimir Krejci, Hydroconsult Krejci, Weesen SG / Roland Krummenacher, Gewässerschutzfachstelle Kt. LU, Luzern (Urs Reichmuth, Bauamt Wangen SZ, Wangen SZ (Vorsitz) / Jörg Rieckermann, Eawag, Dübendorf / Luca Rossi, EPF, Lausanne / Kurt Suter, Gewässerschutzfachstelle Kt. AG, Aarau

Éditeur
Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Photo de titre
Ramboll Studio Dreiseitl, Arkadien Winnenden

Conception
SLS Nadler, Peter Nadler, 8610 Uster

Impression
Appenzeller Druckerei AG, 9100 Herisau

Source de référence
VSA, Europastrasse 3, Postfach, CH-8152 Glattbrugg,
téléphone 043 343 70 70, sekretariat@vsa.ch, www.vsa.ch

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Brève description du présent module et destinataires

Le module STORM traite du processus de planification de la vérification des mesures selon STORM, qui est utilisé pour des problèmes complexes, en particulier dans le cadre du suivi PGEE. Il s'adresse principalement aux planificateurs (ingénieurs PGEE) et aux autorités de contrôle (communes, cantons).

Abréviations utilisées pour les renvois et désignations des tableaux / figures (voir aussi module de base, chap. 1.6 « Structure de la directive »)

Abréviation pour les renvois	Titre des différents modules
B	Module de base
G	Module Analyse de la qualité de l'eau
S	Module STORM
D	Module Dimensionnement et conception
	DA Partie A : Gestion des eaux pluviales / DB Partie B : Installations de traitement et de déversement des eaux unitaires
E	Module Systèmes d'évacuation des eaux
L	Index et listes de l'ensemble de la directive • Liste des abréviations • Bibliographie

Exemples de renvois :

- voir module G, chap. 3 = voir module « Analyse de la qualité de l'eau », chapitre 3
- voir chap. 3 (sans spécification d'un module) = voir chapitre 3 du module même
- voir également fig. B4 = voir la figure B4 dans le module de base

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

TABLE DE MATIÈRES

1	**CONTEXTE ET OBJECTIFS**	7
1.1	Planification de la vérification des mesures selon STORM	7
1.2	Matrice d'évaluation	9
2	**EXIGENCES À REMPLIR PAR LES REJETS**	10
2.1	Remarques préliminaires	10
2.2	Immissions – Émissions	10
2.3	Application des recommandations	10
2.4	Prise en compte des différents types d'eaux superficielles	11
2.5	Débit de base dans les cours d'eau	12
3	**VALEURS LIMITES D'IMMISSIONS POUR LA PLANIFICATION DES MESURES**	13
3.1	Charge polluante (cours d'eau)	13
3.1.1	Ammoniac	13
3.1.2	Pollution particulaire	14
3.1.3	Oxygène dissous	15
3.1.4	Nutriments	16
3.2	Atteintes physiques (cours d'eau)	17
3.2.1	Impacts mécaniques et hydrauliques	17
3.2.2	Température	17
3.3	Atteintes hygiéniques (cours d'eau et plan d'eau)	18
3.4	Atteintes esthétiques (cours d'eau et plan d'eau)	18
4	**ÉTAPES D'ÉLABORATION**	19
4.1	Définition du système et modélisation	19
4.2	Choix des outils de calcul	20
4.3	Procédures possibles pour la prise en considération des incertitudes	20
4.4	Préparation des données	22
4.5	Calculs	22
4.6	Analyse de sensibilité sur les paramètres du modèle	23
5	**CHOIX DES MESURES**	24
5.1	Principes applicables au choix des mesures	24
5.2	Eventail de mesures	25
5.3	Démarche pour le choix et l'évaluation des mesures	26
5.3.1	Procédure générale	26
5.3.2	Évaluation des mesures	26
5.4	Principes de prise de décision	29
6	**INTRODUCTION AUX MESURES TECHNIQUES SUR LE RÉSEAU D'ÉVACUATION DES EAUX**	32
6.1	Introduction	32
6.2	Différences par rapport à la technique et au dimensionnement par temps sec	34
6.3	Analyse des mesures envisagées	34
6.4	Analyse coût-efficacité	35

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7 MESURES DANS LES EAUX RÉCEPTRICES 37
7.1 Introduction 37
7.2 Problèmes, processus et mesures possibles dans les cours d'eau 38
7.3 Problèmes, processus et mesures possibles dans les plans d'eau 40

8 RECOMMANDATIONS POUR LA RÉHABILITATION D'INSTALLATIONS EXISTANTES 42

ANNEXE 43
A1 Données pour la planification de mesures de protection selon le procédé STORM et à l'aide du logiciel de simulation REBEKA II 44
A2 Exemple d'application du procédé STORM à l'aide du logiciel REBEKA II 65

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Le présent module «Vérification des mesures selon STORM» fait partie de la directive «Gestion des eaux urbaines par temps de pluie». Il repose sur l'ancienne directive du VSA «Rejets pluviaux urbains dans les eaux de surface» (appelée aussi directive STORM) datant de 2007; il constitue le prolongement d'une méthode éprouvée. L'abréviation STORM est issue d'un projet Eawag-OFEV; elle est synonyme de planification conceptuelle de mesures pour le déversement d'eaux à évacuer dans les milieux récepteurs.

Selon la conception intégrée actuelle de l'évacuation des eaux urbaines – comprenant aussi bien les systèmes unitaires et séparatifs que l'évacuation des eaux des voies de communication – les mesures doivent être choisies en fonction des priorités écologiques, économiques, techniques et sociales.

La stratégie suisse en matière de protection des eaux est essentiellement axée sur les immissions, ce qui signifie qu'elle prend en compte l'effet des substances rejetées sur les personnes, les animaux, les plantes et les objets. La planification et la réalisation de la majorité des installations destinées au traitement des eaux usées par temps de pluie (déversoirs d'orage, bassins d'eaux pluviales, etc.) étaient en revanche axées sur les émissions, ce qui signifie qu'elles prennent en compte les rejets des substances nuisibles à l'environnement, sans toutefois en appréhender les effets (ou de manière très rudimentaire).

L'approche «immissions» selon STORM permet un engagement optimal des moyens disponibles. En effet, les mesures réalisées en fonction des exigences spécifiques locales présentent généralement un meilleur rapport coût/efficacité que celles qui reposent sur des procédures de planification centrées sur les émissions. En outre, les coûts et l'efficacité des mesures doivent être déterminés avec une précision suffisante dès les premières phases de planification. Il est évident que c'est à ce stade précoce que les coûts des mesures peuvent être le mieux influencés (voir Figure S1).

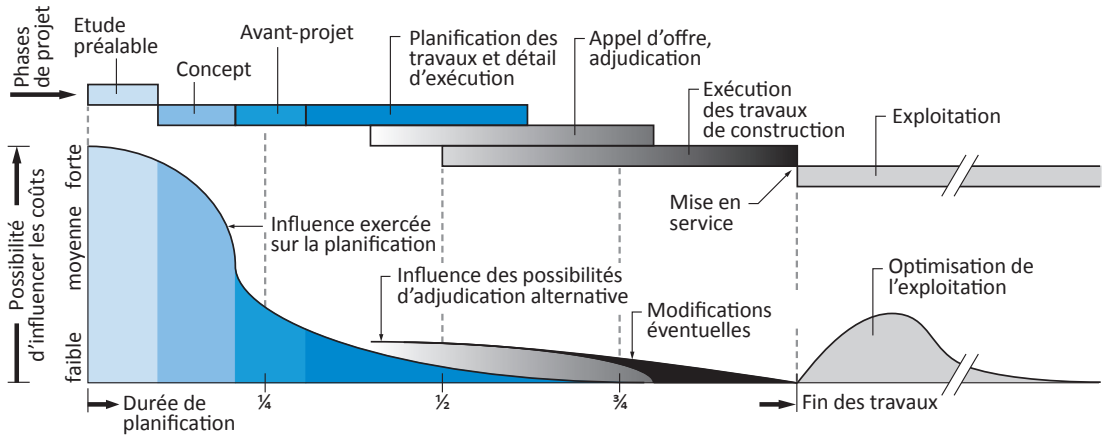


Figure S1
Le rapport entre coûts et efficacité des mesures est le plus fortement influençable dans les premières phases de planification (selon ATV-DVWK [46]).

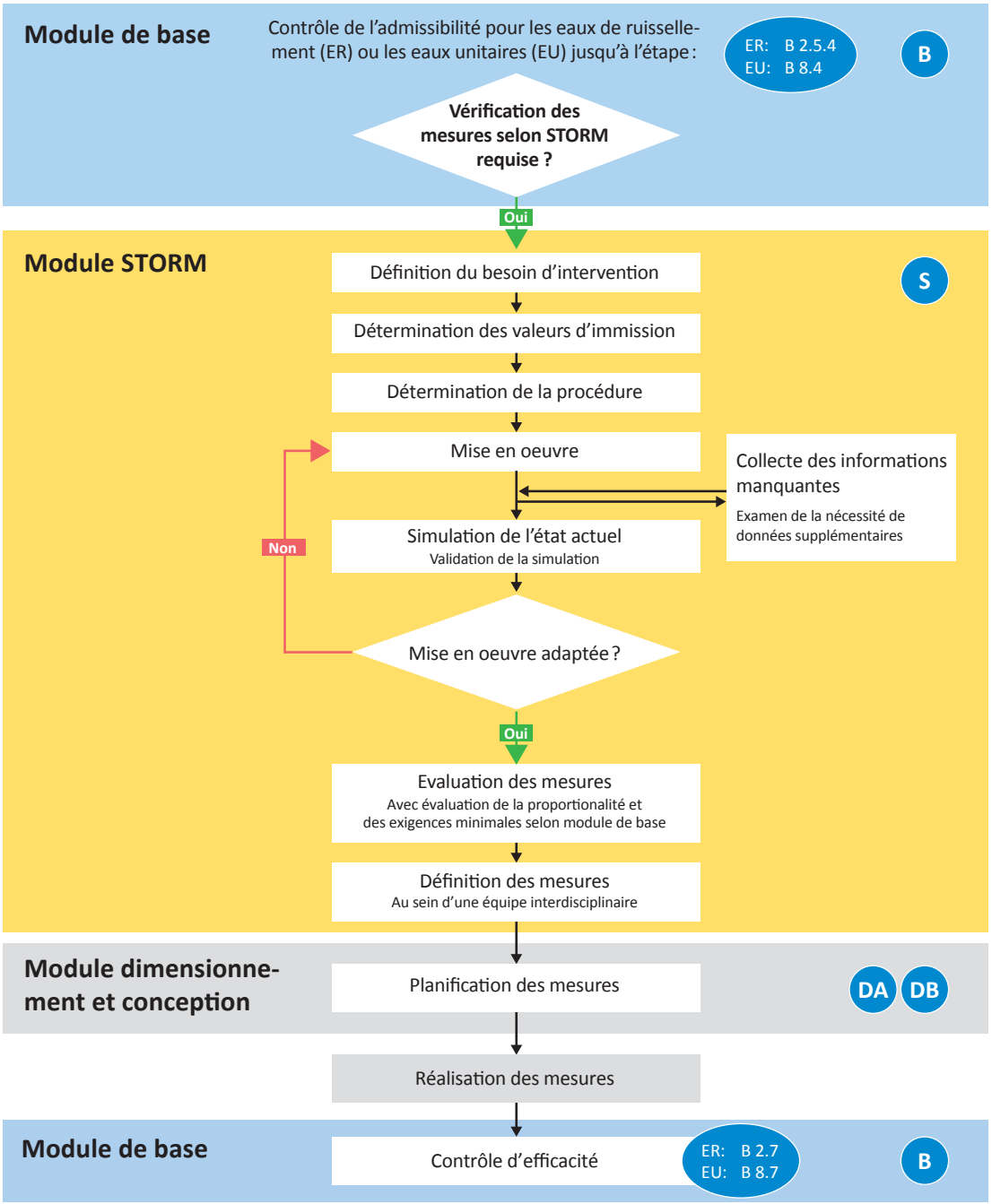
1.1 Planification de la vérification des mesures selon STORM

Les procédures générales pour la planification et l'évaluation des déversements dans des eaux superficielles sont décrites dans les chapitres 2 et 8 du module de base et sont valables également pour l'application du présent module STORM. Une distinction est faite entre les rejets d'eaux de ruissellement et ceux d'eaux unitaires. La décision de vérifier les mesures selon le présent module STORM est prise dans les deux cas en se fondant sur le module de base (chap. 2.5.4 pour les eaux de ruissellement et chap. 8.4 pour les eaux unitaires).

La marche à suivre pour déterminer, étudier et planifier les mesures envisageables doit être définie en détail dans le cas particulier afin d'être adaptée aux problèmes concrets qui se posent. La définition du

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Figure S2
Déroulement de la planification (ER = eaux de ruissellement, EU = eaux unitaires).



déroulement de la planification facilite l'organisation et la mise en œuvre de la planification ainsi que la communication entre les différents acteurs. Une planification possible est présentée dans dans la Figure 2.

Lors de la planification des mesures, il faut tenir compte de planifications d'ordre supérieur. Il s'agit le plus souvent du plan général d'évacuation des eaux (PGEE), du PGEE d'association intercommunale et du plan régional d'évacuation des eaux (PREE).

Le besoin d'action ressort généralement des études sur le milieux récepteurs (voir module de base, chap. 2.5.3 et 8.3, et module Analyse de la qualité de l'eau), qui fournissent les bases les plus importantes pour l'évaluation de mesures. En fonction des données du problème, il se peut toutefois que d'autres facteurs soient déterminants également (p. ex. protection contre les crues, eaux souterraines, etc.).

Lorsqu'il s'agit de définir une méthode de traitement, il faut déterminer le bénéfice et la charge de travail nécessaire. Ceci vaut spécialement pour le choix des modèles de simulation et pour la mise à disposition des données nécessaires.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1.2 Matrice d'évaluation

La tâche de planification est facile à déterminer lorsqu'il s'agit de trouver une solution à une situation polluante manifestement locale (p. ex. accumulation de boue dans la zone de déversement). Fréquemment, il s'agit cependant de trouver une solution à une pollution des eaux due à des atteintes multiples (p. ex. plusieurs déversements) et différents types d'impacts. Le traitement d'une tâche de planification aussi complexe peut être entrepris en définissant des tronçons de cours d'eau ainsi que les paramètres pertinents en matière de pollution. Cette démarche peut être réalisée, par exemple, au moyen d'une «matrice d'évaluation». Une telle démarche structurée permet notamment d'optimiser l'investissement lié à la mise à disposition des données nécessaires.

Les principales données pour la matrice d'évaluation sont en règle générale les résultats découlant du module «Analyse de la qualité de l'eau». Le traitement de cette matrice constitue toutefois une tâche interdisciplinaire. Il est généralement déterminé conjointement par les ingénieurs, les hydrobiologistes et le service cantonal compétent. En fonction de la situation locale, il faudra faire appel à des spécialistes d'autres disciplines comme la protection contre les crues, l'alimentation en eau potable, etc. La matrice d'évaluation influe de manière décisive sur les phases ultérieures de la planification des mesures. Pour cette raison, elle doit être examinée et approuvée par les autorités politiques et professionnelles compétentes, avant le début des phases suivantes de la planification.

Les exigences pour les paramètres pertinents sont définies numériquement selon le chapitre 3 du présent module (valeurs d'immission).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2 EXIGENCES À REMPLIR PAR LES REJETS

2.1 Remarques préliminaires

Les atteintes écologiques engendrées par les rejets urbains par temps de pluie sont généralement difficiles à dissocier des effets par temps sec. Les organismes aquatiques intègrent en effet tous les facteurs de stress s'exerçant sur eux tout au long de leur développement. Aussi, la faune aquatique reflète-t-elle la somme de toutes ces influences.

Les exigences définies dans l'annexe 2 (art. 11, al. 2 et art. 12 al. 5) de l'ordonnance sur la protection des eaux sont valables quel que soit le débit, à l'exception de pointes de crue et d'étiages inhabituels. Il y a cependant des cas où ces exigences ne peuvent pas être respectées, même lorsque les rejets pluviaux sont moyens ou fréquents. Si en l'occurrence le respect de ces exigences devait aboutir à des mesures manifestement disproportionnées, les autorités devraient alors appliquer d'autres critères pour garantir malgré tout une protection des eaux acceptable. À cet effet, des valeurs indicatives s'avèrent nécessaires pour la planification de mesures de protection. Elles doivent tenir compte des pics de pollution de courte durée par temps de pluie ainsi que de l'intensité, de la durée et de la fréquence des charges polluantes. À la différence des valeurs limites légales, ces exigences sont flexibles ; elles doivent dès lors être validées lors de contrôles d'efficacité systématiques et adaptées au besoin.

Le présent module traite en premier lieu des rejets urbains par temps de pluie dans des petits et moyens cours d'eau, mais tient compte également des rejets pluviaux dans de grands cours d'eau et des lacs. Actuellement, pour ces milieux il n'est possible d'évaluer que les aspects esthétiques et hygiéniques ainsi que la situation en matière de nutriments, sur la base des répercussions sur les plantes aquatiques. Pour le domaine important des immissions de polluants particulaires à proximité des points de rejet d'eaux à évacuer (écotoxicologie des sédiments, caractéristiques de la dissémination hydraulique et physique des polluants lors de déversements), les bases scientifiques nécessaires font aujourd'hui partiellement défaut et il n'y a pas encore de modèles de calcul pouvant être utilisés dans la pratique. Lorsque ces éléments auront été élaborés, ils pourront être intégrés dans le module STORM.

2.2 Immissions – Émissions

Les réglementations axées sur les émissions ne font appel qu'à des paramètres relatifs au bassin versant urbain ainsi qu'à des données statistiques de précipitations ou à des relevés pluviométriques historiques. Les règles d'évaluation orientées sur les immissions y ajoutent les paramètres des milieux récepteurs et éventuellement les processus qui s'y déroulent. Dans le présent module, l'approche axée sur les émissions a été remplacée par celle orientée sur les immissions, dans la mesure où cela est possible et judicieux. Lors de la planification des mesures, les émissions admissibles seront déduites des immissions définies en fonction des conditions locales.

La vérification des mesures selon STORM est dans tous les cas un examen axé sur les immissions. Elle est par conséquent plus détaillée et représente une charge de travail plus importante que l'analyse des charges spécifiques de rejet selon le module de base.

2.3 Application des recommandations

La définition des exigences que doivent remplir les déversements d'eaux à évacuer par temps de pluie dans les eaux superficielles (= valeurs indicatives d'immissions) joue un rôle primordial pour la planification des mesures. Les exigences présentées dans les chapitres suivants se veulent des recommandations ;

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

le service de la protection des eaux compétent peut les confirmer, les renforcer ou les alléger. En d'autres termes, les exigences définitives sont fixées de cas en cas par l'autorité compétente. En l'occurrence, les valeurs indicatives d'immissions s'appuyant sur l'art. 6 de l'OEaux pourront être renforcées, complétées ou allégées. Les décisions sont prises sur la base de l'évaluation interdisciplinaire du cas particulier, en se fondant sur les études des eaux réalisées par des hydrobiologistes ainsi que des ingénieurs et le service spécialisé cantonal.

2.4 Prise en compte des différents types d'eaux superficielles

Une typologie des eaux est nécessaire pour la planification des mesures, étant donné que l'impact sur le milieu récepteur du déversement d'eaux provenant des canalisations par temps de pluie dépend de

Tableau S1
Classification des eaux superficielles.

Type d'eau de surface	Q_{347} [m^3/s]	Largeur moyenne du lit mouillé [m]	Vitesse moyenne [m/s]
Région de source	–	–	–
Petit ruisseau du Plateau	<0.1	<1	<0.5
Petit ruisseau des Préalpes	<0.1	<1	>0.5
Gros ruisseau du Plateau	0.1–1.0	1–5	<0.5
Gros ruisseau des Préalpes	0.1–1.0	1–5	>0.5
Gros cours d'eau	>1.0	>5	>0.5
Très gros cours d'eau	>50	>30	<1.0
Lac/Rétention	–	–	<<0.5

Tableau S2
Aperçu des atteintes possibles aux eaux dues aux déversements d'eaux à évacuer par temps de pluie et de leur fréquence estimée en Suisse.

Type de cours d'eau	Aspect général		Hygiène		Physique		Chimie				Matière en suspension (MES)				Biologie			
	Matières grossières	Autres éléments	Baignade, jeux	Eau potable[2]	Impact hydraulique	Température	Ammoniac (NH_3-N)	Oxygène dissous (O_2)	Substances nutritives	Autres éléments (micropolluants, etc.)	Colmatage	Turbidité	Sédiments toxiques	Sédiments en anaérobiose	Diatomée	Couverture végétale	Invertébrés aquatiques	Poissons
Région de source	+	++	+	?	++	++	++	+	◊	?	++	++	++	++	++	++	++	++
Petit ruisseau du Plateau	++	++	++	?	++	+	++	+	◊	?	++	++	++	++	++	++	++	++
Petit ruisseau des Préalpes	+	++	++	?	++	+	+	◊	◊	?	+	++	+	+	++	++	++	++
Grand ruisseau du Plateau	++	++	++	?	+	◊	+	+	◊	?	++	++	++	++	+	+	+	+
Grand ruisseau des Préalpes	++	++	++	?	+	◊	+	◊	◊	?	+	++	+	+	+	+	+	+
Petite rivière	++	+	+++	?	◊	◊	◊	◊	◊	?	+	◊	+	+	+	+	+	+
Grande rivière	+	+	++	?	◊	◊	◊	◊	◊	?	+	◊	+	+	+	+	+	+
Lac/Rétention[1]	+	++	+++	?	+	◊	+	+	++	?	+++	◊	++	++	+++	++	++	+

fréquent : +++ occasionnel : ++ rare : + non attendu : ◊ aucune indication : ?

[1] Eaux stagnantes: dépendant de la morphologie des rives. Les rives planes réagissent de manière plus sensible que les rives escarpées. Le plancton n'est pas pris en compte.

2 Une atteinte à l'eau potable par les rejets pluviaux urbains ne peut pas être exclue. Il n'existe toutefois que peu d'indications à ce sujet.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

l'importance et de l'utilisation des eaux superficielles concernées. La classification des eaux utilisée dans le présent module est présentée dans le Tableau S1. Elle favorise une démarche axée spécifiquement sur les problèmes ainsi qu'une focalisation sur les principales questions qui se posent (Tableau S2).

2.5 Débit de base dans les cours d'eau

Le Q_{347} est généralement utilisé comme débit de base. Dans des cas motivés, il est possible de s'écarter de cette valeur en s'appuyant sur des examens hydrologiques.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

3 VALEURS LIMITES D'IMMISSIONS POUR LA PLANIFICATION DES MESURES

Le chapitre suivant énumère les valeurs limites d'immission pour les cours d'eau et les plans d'eau. La liste n'est pas exhaustive, surtout pour les plans d'eau. Des critères d'évaluation et d'autres valeurs limites doivent être définis dans chaque cas par des équipes interdisciplinaires.

Vous trouverez de plus amples informations sur la planification des mesures orientée immissions dans le module G «Analyse de la qualité de l'eau».

3.1 Charge polluante (cours d'eau)

3.1.1 Ammoniac

L'ammoniac (NH_3) constitue un paramètre essentiel des impacts chimiques aigus dans les petits et moyens cours d'eau (p. ex. OEaux, annexe 2, art. 11 et 12). Le seuil critique a été déduit du rapport entre la concentration, la durée d'exposition et la fréquence de la charge polluante (courbe CDF). Il repose sur les recherches de Whitelaw et de Solbé [314] ; (voir Figure S3).

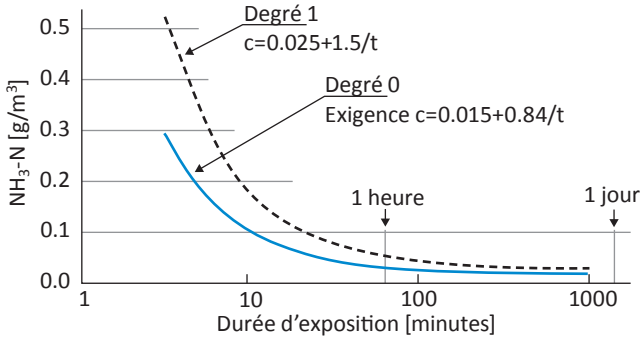


Figure S3
Intensité critique et durée de l'effet de l'ammoniac pour les truites de rivière selon Whitelaw et de Solbé [314]. Voir le texte pour de plus amples explications.

La Figure S3 présente les valeurs d'immissions sous forme de courbes CDF pour les deux degrés d'impact 0 et 1. Les deux courbes ont été déterminées par extrapolation des fonctions de Whitelaw et de Solbé [314]. Le degré 0 indique le seuil où commencent les effets létaux (mortalité pour les poissons). Lorsque le degré 0 (désigné par «LC0») est dépassé, avec une saturation simultanée de l'eau en oxygène de 40 % (worst case), il faut escompter des effets négatifs sur une partie de la population piscicole dans le cours d'eau. Si le degré 1 (désigné par «LC10») est atteint, avec une saturation simultanée de l'eau en oxygène de 100 %, on assiste à une mortalité moyenne de 10 % de la population de truites. Pour une même exposition au NH_3 mais avec une saturation de l'eau en oxygène de 40 %, la mortalité des truites s'élève en moyenne à 20 %.

L'objectif général doit être d'atteindre le degré 0. Un écart par rapport à cet objectif doit être approuvé par les autorités cantonales compétentes. Dans ce cas, la valeur indicative d'immissions se situera au plus entre les degrés 0 et 1. L'atteinte du degré 1 (LC10) n'est tolérée qu'une seule fois en 5 ans. Le calcul doit prouver que le niveau 1 n'est pas dépassé. Il repose sur l'équation suivante :

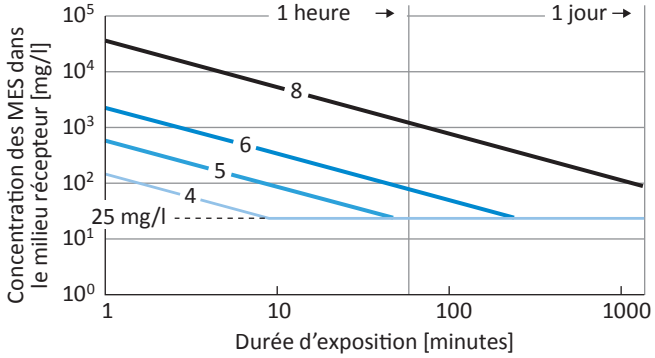
Equation S1

$$c = B + \frac{A}{t}$$

c: concentration de NH_3-N [g/m^3]
A: constante = 1.5 [g·min/m^3] pour le niveau I
B: constante = 0.025 [g/m^3] pour le niveau I
t: durée d'exposition [min]

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Figure S4
Impact sur les poissons dépendant de la concentration et de la durée d'exposition, établi pour les truites avec un «facteur de sécurité» de 10 afin de prendre en compte les effets des matières adsorbées. Au niveau 4, il n'y a pas de stress physiologique (valeur indicative pour le changement de comportement), au niveau 5, il est peu important, au niveau 6 modéré et au niveau 8, il est important (limite sublétale).



3.1.2 Pollution particulaire

Les particules présentes dans les eaux usées accroissent la turbidité de l'eau et peuvent conduire au colmatage du fond du lit d'un cours d'eau. Les polluants adsorbés peuvent également avoir un effet toxique dans le milieu récepteur. En outre, les particules (organiques) biodégradables peuvent contribuer à la consommation d'oxygène au fond du cours d'eau. Ainsi, la pollution particulaire, mesurée par les matières en suspension (MES, en utilisant un filtre à membrane 0,45 µm), peut engendrer un impact relativement large sur les eaux [315].

3.1.2.1 Turbidité de l'eau

La turbidité admissible est définie en fonction des concentrations en MES et de la durée d'exposition dans le milieu récepteur. Les valeurs indicatives sont basées sur un modèle élaboré par Newcombe et Jensen (1996, [325]). Ce dernier permet de prévoir différents degrés d'atteintes pour les truites, allant du changement de comportement jusqu'aux effets létaux. Les fonctions présentées dans la Figure S4 montrent les valeurs indicatives entraînant des effets sublétaux avec un facteur de sécurité de 10, afin de prendre en compte les effets des substances polluantes adsorbées sur les MES [434]. Les truites ont été choisies comme organismes de référence en raison de leur sensibilité élevée face à la turbidité rencontrée dans leur espace vital.

Selon ce modèle, la valeur indicative de la pollution chronique des cours d'eau se situe à 25 mg de MES/l. Concernant les exigences en matière de déversements d'eaux usées dans les cours d'eau, les valeurs indicatives du niveau 6 (stress physiologique modéré) ou du niveau 8 (stress physiologique important) seront choisies. Le respect de ces valeurs indicatives d'immissions est vérifié par calcul au moyen d'un logiciel de simulation. Les calculs doivent débuter par le niveau 6 et, au besoin, seront également effectués pour le niveau 8 (limite sublétale). Le niveau de contamination admissible et la fréquence de dépassement admissible dépendent des conditions locales et doivent être défini au cas par cas, en collaboration avec les autorités compétentes.

3.1.2.2 Accumulation de sédiments

Sur la base d'une interprétation des exigences de l'OEaux (annexes 1 et 2), trois critères se rapportant à trois problèmes différents sont définis :

- Le colmatage du fond du lit du cours d'eau (annexe 2, art. 12, al. 2b, OEaux).
- L'accumulation dans les sédiments de substances particulaires persistantes ou difficilement biodégradables (métaux lourds, HAP, etc.) (annexe 1, art. 1, al. 3b et 3c, OEaux).
- Une forte consommation d'oxygène au fond du cours d'eau et dans le milieu interstitiel des sédiments (milieu hyporhéique) par suite de la décomposition de substances organiques particulaires facilement biodégradables (annexe 2, art. 12, al. 2a, OEaux).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Les valeurs indicatives d'immissions ci-après (concentrations de MES admissibles par m^2 du fond du lit du cours d'eau) doivent être considérées comme «valeurs modèles». Elles ne sont pas vérifiables expérimentalement. Le respect de ces valeurs ne peut être évalué que par calcul au moyen d'un logiciel de simulation.

Les exigences relatives au colmatage du fond du lit d'un cours d'eau sont basées sur les recommandations de directives européennes et canadiennes se rapportant à la qualité des eaux. En vertu de ces recommandations, la part tolérable de particules fines (diamètre < 2 mm) dans les frayères situées au fond d'un cours d'eau s'élève au maximum à 10 %. Or, plus de 95 % des particules contenues dans les eaux usées déversées depuis les canalisations par temps de pluie ont un diamètre de moins de 2 mm. C'est pourquoi l'accumulation de particules dans le fond du lit ne devrait pas dépasser le volume des pores des 5 premiers centimètres du milieu hyporhéique. La hauteur de 5 cm a été définie en collaboration avec des hydrobiologistes. La valeur indicative recommandée pour le colmatage (625 grammes de MES par mètre carré) ne doit pas être dépassée pendant plus de 20 % de l'année afin d'éviter à long terme une réduction de l'échange gazeux entre l'eau courante et le lit du cours d'eau. Pendant la période de frai des truites (en Suisse, d'octobre à mars), aucun colmatage ne doit être toléré dans ces eaux de frai.

L'examen numérique de ces exigences repose sur l'hypothèse d'un tronçon de rivière homogène, sans indication exacte sur l'endroit du colmatage. À l'aide d'une simulation à long terme, la probabilité avec laquelle le colmatage peut se produire ou non sur une surface fictive de 1 m^2 au sein d'une tronçon de rivière est examinée [315].

Les valeurs indicatives pour l'accumulation de substances difficilement biodégradables sont basées sur des effets écotoxicologiques, déterminés expérimentalement, sur des sédiments contaminés par des rejets d'eaux usées par temps de pluie provenant de canalisations. Les effets de certaines substances, tels que les métaux lourds ou les HAP, n'ont pas été considérés isolément, mais pris en compte dans leur ensemble. Des effets défavorables ont pu être démontrés lors d'une accumulation de sédiments de l'ordre de 1–2 cm/année. Pour empêcher ces conséquences négatives, un facteur de sécurité élevé est introduit [315]. Pour l'évaluation des effets possibles dans la pratique, une valeur de 25 grammes de MES par mètre carré de lit de rivière a été définie ; elle ne peut être dépassée que pendant 5 % de l'année. Si elle devait être dépassée, un examen détaillé de la zone doit impérativement être réalisé. Dès lors, la valeur critique n'est pas à interpréter comme preuve d'un impact, mais comme valeur au sens d'un «screening». Si cette valeur n'est pas dépassée, l'impact par les sédiments toxiques peut être exclu. Lorsque, sur la base de l'évaluation par calcul, ces valeurs indicatives ne sont pas respectées, des contrôles in situ doivent être entrepris. Ces vérifications peuvent reposer sur des tests écotoxicologiques sur les sédiments (p. ex. Agence de l'eau, 1999 [327]). Une autre possibilité consiste en une analyse de risque (comparaison des concentrations mesurées et des valeurs d'effet écotoxicologique dans les sédiments (p. ex. MacDonald et al., 2000 [328]). De nouveaux critères sont en développement dans le cadre de la définition d'un module sédiment dans le SMG (système modulaire gradué).

Les valeurs indicatives pour la consommation d'oxygène sont basées sur une corrélation entre accumulation/dégradation des MES et consommation en oxygène (g O_2/g MES). À cet effet, le fond du cours d'eau est considéré comme un film biologique actif. Les valeurs indicatives pour les déversements par les réseaux unitaires sont différentes de celles pour les réseaux séparatifs. Les valeurs fixées (en g MES/m^2) se rapportent à une durée maximale annuellement tolérable pendant laquelle elles peuvent être dépassées (voir Tableau S3).

3.1.3 Oxygène dissous

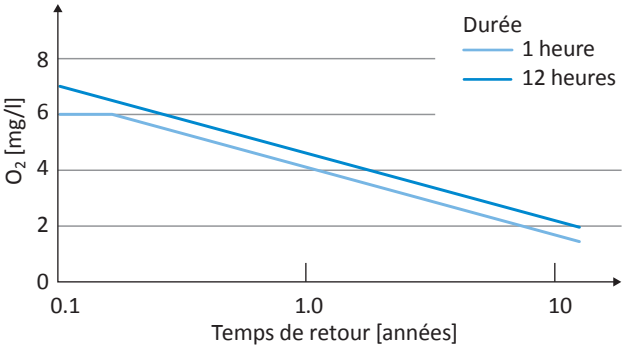
Les rejets urbains par temps de pluie conduisent rarement à des concentrations insuffisantes en oxygène dissous dans les cours d'eau suisses (annexe 2, art. 11, al. 2d, OEaux). Des valeurs indicatives pour l'oxygène dissous sont néanmoins définies, car le manque d'oxygène sur certains tronçons de cours d'eau régulées par des retenues et par suite de l'érosion de sédiments en anaérobiose ne peut pas être exclu en Suisse. Compte tenu de cette problématique, il est recommandé d'appliquer les valeurs indicatives établies par d'autres pays (Danemark [316] ou Angleterre [317], voir Figure S5 et Tableau S4). Le choix des valeurs utilisées doit être opéré en accord avec le service de la protection des eaux.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Tableau S3
Valeurs indicatives pour des taux d'accumulation tolérables de MES dans les sédiments d'un cours d'eau à lit graveleux. Les valeurs sont exprimées en gramme de MES par mètre carré et pour une durée d'accumulation d'une année.

Critère	Valeur indicative pour l'accumulation de MES	Durée maximale du dépassement de la valeur indicative [%/année]
Colmatage du lit du cours d'eau (physique)	625 g MES/m^2	20 % (0 % d'octobre à mars pour les eaux frayères)
Accumulation de substances difficilement dégradables (métaux lourds, HAP)	25 g MES/m^2	5 %
Déficit en oxygène • Système unitaire (déversoirs) • Système séparatif	 5 g MES/m^2 16 g MES/m^2	 10 % (0 % d'octobre à mars pour les eaux frayères)

Figure S5
Exigences en matière de concentrations minimales en oxygène pour les rivières à truite au Danemark (selon [316]).



Pour les déversements d'eaux unitaires, des valeurs indicatives plus strictes peuvent être fixées pour l'ammoniac si l'oxygénation est insuffisante (d'après FWR, 1998, [317]).

Tableau S4
Exigences pour les concentrations en oxygène (selon [317]) ; les valeurs reposent sur des tests écotoxicologiques réalisés sur des truites avec des concentrations en ammoniac <0,02 mg NH_3-N/l. Pour des concentrations supérieures, les facteurs de correction suivants seront appliqués.

Temps de retour	Concentration minimale en oxygène dissous [mg/l] pendant une durée de		
	1 heure	6 heures	24 heures
1 mois	5.0	5.5	6.0
3 mois	4.5	5.0	5.5
1 année	4.0	4.5	5.0

Concentration NH_3-N	Valeur corrective pour O_2
0.02–0.15 mg/l	+1 mg/l
>0.15 mg/l	+2 mg/l

3.1.4 Nutriments

Les exigences relatives aux rejets urbains par temps de pluie se rapportent généralement aux charges annuelles admissibles pour le phosphore ou l'azote, en fonction des immissions localement autorisées dans les cours d'eau (voir annexe 3.1, ch. 3, OEaux). La détermination de ces émissions exige que toutes les sources de phosphore ou d'azote du bassin versant soient prises en considération, y compris l'agriculture, les rejets de station d'épuration, etc. À ce propos, il est à noter que les exigences en termes de concentrations et de taux d'épuration pour le phosphore figurant dans la section susmentionnée de l'OEaux ne s'appliquent pas aux rejets urbains par temps de pluie, ni aux installations de traitement des eaux pluviales, mais aux débits permanents des installations d'épuration des eaux usées.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

3.2 Atteintes physiques (cours d'eau)

3.2.1 Impacts mécaniques et hydrauliques

Les valeurs de débit pouvant conduire à au charriage dans le lit du cours d'eau sont utilisées comme paramètres pour les atteintes mécaniques et hydrauliques aux organismes aquatiques.

Qualité écomorphologique en amont du point de rejet	Nombre max. d'événements critiques par année		
	Variabilité de la largeur du lit mouillé		
	prononcée	limitée	nulle
Classe I	10	5	3
Classe II	5	3	1
Classe III + IV	3	1	<1

Classe I naturel/semi-naturel
Classe II peu atteint
Classe III fortement atteint
Classe IV non naturel/artificiel

Tableau S5
Valeurs indicatives pour les impacts mécaniques et hydrauliques (selon [310]).

Le débit critique pour le charriage est déterminé au moyen des caractéristiques du lit de la rivière. La fréquence tolérée des événements de charriage est déterminée sur la base de l'état écomorphologique du cours d'eau dans la zone de déversement. Le nombre d'événements critiques tolérables annuellement oscille entre <1 et 10 (voir Tableau S5).

L'état écomorphologique est défini par :
- la variabilité de la largeur du lit mouillé,
- l'aménagement du fond du lit,
- le renforcement du pied de la berge,
- la nature des rives.

Cet état caractérise le potentiel de repeuplement (dépendant de l'état écomorphologique en amont du déversement) et la disponibilité de lieux de refuge (dépendant de la variabilité de largeur du lit mouillé en aval du déversement). Ces indications sont déterminées selon les recommandations de l'OFEV [310], dans le cadre du système modulaire gradué (SMG), lors de l'évaluation écomorphologique systématique des cours d'eau. En l'absence de ces informations, il convient de les relever (en appliquant la méthode du SMG). Les déficits hydrologiques dans les cours d'eau peuvent être évalués selon le module «Hydrologie» du système modulaire gradué de l'OFEV.

3.2.2 Température

Les variations de température engendrées par les rejets pluviaux dans les cours d'eau suisses sont généralement trop peu importantes pour porter préjudice à la faune et à la flore. Néanmoins, dans des conditions particulières, des problèmes de température peuvent tout de même apparaître, par exemple dans les cours d'eau relativement froids alimentés par des sources ou des eaux souterraines.

Conditions de température après un déversement par une canalisation en temps de pluie	
Paramètres de température	**Valeurs indicatives**
Température maximale pendant la période estivale	25 °C
Température maximale pendant la période hivernale	12 °C
Variation maximale tolérable à court terme	±7 °C

Tableau S6
Valeurs indicatives recommandées pour la température de l'eau dans les milieux récepteurs (effets à court terme, d'une durée de quelques minutes à plusieurs heures).

L'évaluation d'un possible impact aigu de courte durée sur la température d'un petit cours d'eau dû aux déversements par temps de pluie repose sur une procédure de screening et sur une éventuelle analyse subséquente plus détaillée [319]. Cette dernière est recommandée lorsqu'une ou plusieurs valeurs indicatives recommandées pour la température du cours d'eau ne sont pas respectées (voir Tableau S6).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Les données du Tableau S7 se rapportent à des variations de température de l'eau. Pendant les mois d'hiver, un refroidissement peut également avoir lieu dans le milieu récepteur, lorsque la neige des zones urbanisées et des chaussées est éliminée dans les eaux de surface. En l'occurrence, il ne s'agit donc pas directement d'un déversement par les canalisations. Aucune valeur minimale de température de l'eau ne peut être donnée pour cette situation. Cette période hivernale étant néanmoins critique pour le développement embryonnaire des poissons, l'élimination de la neige dans les petits et les grands ruisseaux piscicoles devra être évitée. La contamination des cours d'eau par les polluants accumulés dans la neige sera évitée par la même occasion.

3.3 Atteintes hygiéniques (cours d'eau et plan d'eau)

Les conditions d'hygiène requises pour la baignade en Suisse (annexe 2, ch. 11, , al. 1, let. e, OEaux) reposent sur les «Recommandations concernant l'analyse et l'évaluation de la qualité des eaux de baignade (lacs et rivières)» [318]. Bien que les déversement d'eaux unitaires puissent entraîner une atteinte à la qualité bactériologique des eaux de baignade, la situation pendant et après un événement pluvieux n'est que rarement examinée de manière systématique et ciblée.

Tableau S7
Exigences portant sur la qualité des eaux de baignade selon les « Recommandations concernant l'analyse et l'évaluation de la qualité des eaux de baignade (lacs et rivières) » [318].

Classe de qualité	*E. coli* par 100 ml	Salmonelles par 100 ml	Atteinte à la santé	Exemple d'interprétation canton de St-Gall
Classe A	<100	non décelables	non escomptée	parfait
Classe B	100 à 1000	non décelables	non escomptée	satisfaisant
Classe C	<1000 >1000	décelables non décelables	non exclue	insuffisant
Classe D	>1000	décelables	possible	mauvais

Tout déversement d'eaux unitaires situé à proximité d'un lieu de baignade compromet la qualité bactériologique des eaux, même en présence d'une forte dilution des déversements. L'aire d'influence des rejets ne peut pas être déterminée précisément. Pour les cours d'eau, elle peut cependant s'étendre sur de grandes distances, car la survie des germes pathogènes dans les eaux peut durer plusieurs jours. Pour les rejets dans les lacs, les conditions locales de courant jouent un rôle prépondérant. En cas de soupçon d'une atteinte inadmissible, un examen précis et systématique de la qualité des eaux de baignade s'avère indispensable immédiatement après les événements pluviaux.

Les exigences de qualité pour les eaux de baignade sont présentées dans le Tableau S7.

Si des prélèvements ponctuels devaient révéler un état des classes C ou D, les causes de l'impact bactérien devraient alors être identifiées au moyen d'examens plus approfondis. Les résultats de ces derniers constitueront ensuite la base pour la détermination des émissions tolérables ou pour des mesures opérationnelles (p. ex. information de la population ou interdictions temporaires de baignade).

3.4 Atteintes esthétiques (cours d'eau et plan d'eau)

Il n'existe aucune valeur limite ou indicative pour les atteintes esthétiques aux eaux superficielles et à leurs rives (avant tout dues aux matières grossières provenant des déversoirs d'orage en réseau unitaire). Toutefois, sur la base d'observations, les déversoirs d'orage possédant une faible fréquence de fonctionnement n'engendrent généralement que des problèmes esthétiques mineurs dans les cours d'eau. Les solutions techniques destinées à la rétention des matières grossières liées aux déversoirs d'orage en réseau unitaire devront être définies en accord avec le service de la protection des eaux.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

4 ÉTAPES D'ÉLABORATION

4.1 Définition du système et modélisation

Pour vérifier les mesures selon STORM, il faut établir des prévisions concernant le comportement escompté du système. À cet effet, une schématisation de la situation réelle est effectuée, qui en l'occurrence aboutit généralement à une simplification.

Idéalement, le modèle reproduirait intégralement la réalité, ce qui n'est cependant ni possible, ni nécessaire. En général, un modèle est considéré comme étant suffisamment conforme à la réalité lorsque le meilleur rapport entre les coûts et le bénéfice tiré de son application est atteint. Les coûts comprennent l'exécution des tâches de planification et les conséquences de cette planification, par exemple les coûts liés aux ouvrages prévus. Le bénéfice (respectivement le préjudice) dépend du degré d'efficacité réellement atteint par la mesure de protection planifiée en fonction de l'objectif projeté.

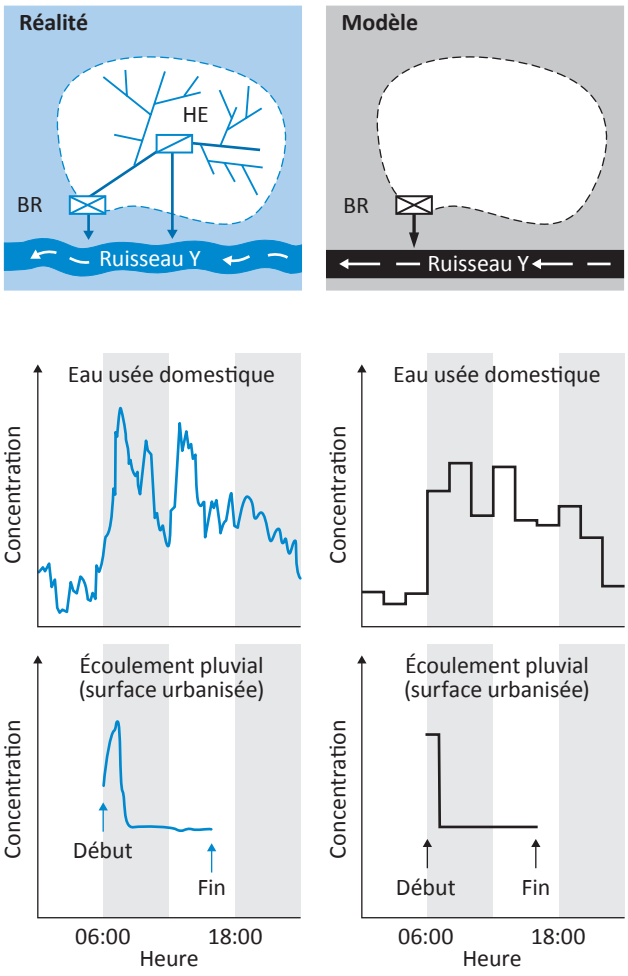


Figure S6
Exemple de système réel et simplifié [320]. L'écoulement pluvial et l'égout unitaire sont regroupés par simplification dans le point bas du bassin versant. Les concentrations de substances sont calculées au moyen des concentrations journalières dans les eaux domestiques et la concentration moyenne dans les eaux de ruissellement.

La définition spatiale du système d'évacuation des eaux urbaines, en relation avec la problématique traitée, regroupe les différents réseaux ainsi que les sous-bassins versants pour constituer des bassins versants plus vastes avec un nombre plus ou moins grand de canalisations fictives. Le plus petit sous-bassin versant représente généralement le bassin versant d'un déversoir d'orage (réseau unitaire) ou d'un rejet pluvial (réseau séparatif) dans le milieu récepteur. En fonction des indications résultant de l'identification des problèmes, on examine dans une phase ultérieure les sous-bassins versants d'un déversoir d'orage ou d'un rejet d'eau pluviale qui peuvent être regroupés en un bassin versant plus vaste. La définition spatiale du milieu récepteur est basée sur la délimitation de tronçons homogènes de cours d'eau dans le cadre des

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

tâches de planification (chapitre 1.2 du présent module). En vue de la calibration et de la validation des calculs, il faudra tenir compte, aussi bien dans le réseau de canalisations que dans les cours d'eau, des profils (coupes transversales), pour lesquels il existe des données provenant de mesures ou d'observations.

La définition temporelle du système se rapporte d'une part à la détermination de l'horizon de la planification et d'autre part à la prise en compte des aspects temporels en rapport avec la problématique examinée (p. ex. les événements rares et leur fréquence lors d'impacts aigus, les charges annuelles pour les atteintes agissant sur une longue période, etc.).

Les processus déterminants devant être pris en compte lors des calculs sont ensuite définis dans le système simplifié. Ces hypothèses jouent un rôle décisif quant au choix des moyens de calcul. Elles ont également une influence considérable sur le volume de travail et les coûts pour la mise à disposition des données.

4.2 Choix des outils de calcul

Les outils de calcul retenus (généralement des modèles de simulation) doivent autant que possible satisfaire à la modélisation du système simplifié. Les formules mathématiques utilisées dans ces outils de calcul doivent permettre de reproduire les processus examinés dans le système défini sur les plans temporel et spatial. En pratique, cette tâche n'est cependant pas simple à réaliser, les logiciels de simulation disponibles sur le marché ne satisfaisant que partiellement aux exigences requises. Aussi doit-on évaluer de cas en cas si des corrections peuvent être apportées à la définition du système ainsi qu'à la modélisation ou si des adaptations ou compléments aux calculs sont possibles (p. ex. par la combinaison de différents outils de calcul). Cet aspect doit également être pris en compte lors de l'interprétation des résultats obtenus.

Les points mentionnés ci-dessus mettent en évidence que le choix judicieux et l'application des outils de calcul présupposent des connaissances et des expériences spécifiques en matière de modèles de simulation liés à l'évacuation des eaux urbaines et à la protection des eaux. Si l'auteur du projet ne possède pas ces connaissances et expériences, il s'adjoindra l'aide d'un expert pour cette phase de travail.

Les outils de calcul applicables dans la pratique qui sont disponibles aujourd'hui sont adaptés pour évaluer les répercussions des déversements d'eaux à évacuer sur des cours d'eau de taille petite ou moyenne. Il n'existe par contre aucun modèle reconnu, facile à utiliser dans la pratique, pour calculer la propagation des polluants dans de grands cours d'eau ou dans un lac.

4.3 Procédures possibles pour la prise en considération des incertitudes

Chaque étape de la planification constitue une simplification de la réalité. En raison de ces simplifications, mais également d'une connaissance incomplète des processus, la modélisation des systèmes complexes est inévitablement liée à des incertitudes. Si ces dernières ne sont pas explicitement prises en compte, les prévisions concernant le comportement du système feindront une précision ne correspondant pas à la réalité (Figure S7). En effet, l'omission des incertitudes dans un modèle de prévision peut conduire à une solution inadéquate ou suboptimale s'agissant des coûts et de l'efficacité des mesures définies. Ainsi, il est judicieux et nécessaire de déterminer les effets des incertitudes sur les modèles de prévision pour les systèmes d'évacuation des eaux usées. À cet effet, on pourra utiliser soit des modèles stochastiques-probabilistes appropriés, soit des méthodes de calcul déterministes, complétés par une analyse de sensibilité des résultats [321, 322].

Si aucun modèle stochastique-probabiliste n'est disponible pour le traitement des données, la sensibilité des différents paramètres peut également être établie au moyen de modèles déterministes. Dans ce cas, il faudra escompter un plus grand volume de travail, car la modification des paramètres et l'interprétation des résultats doivent généralement être réalisées par le biais de calculs individuels.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

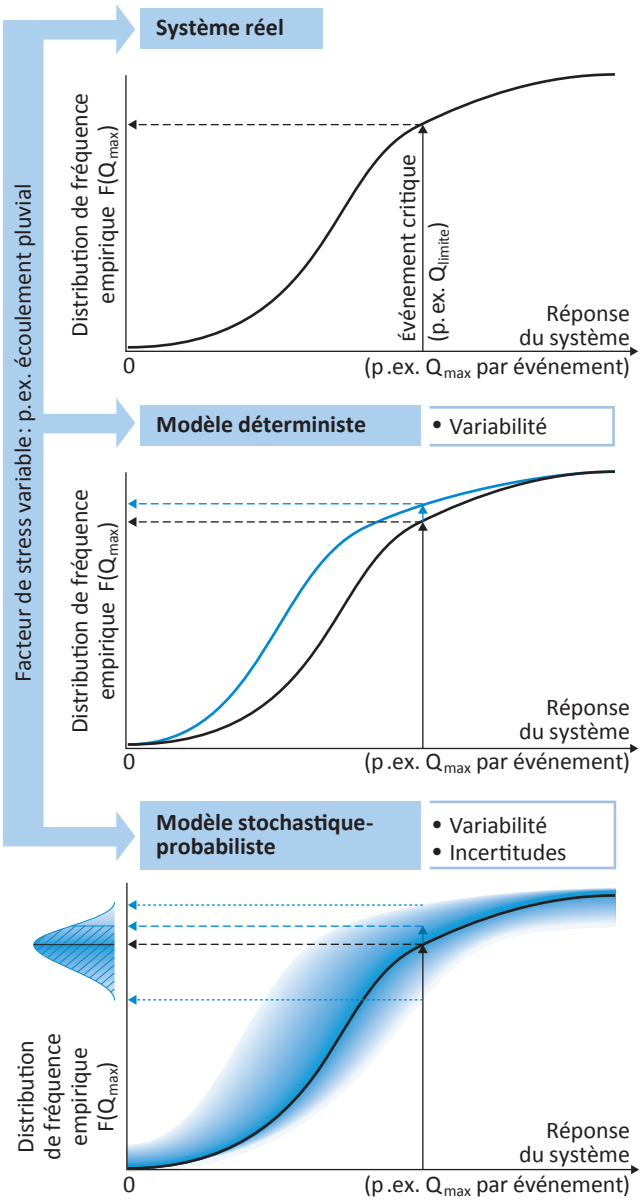


Figure S7
En haut : Fréquence des événements critiques dans un système réel soumis à un facteur de stress variable (p. ex. débit maximum Q_{max} dans un cours d'eau suite à une pluie, pour une période de 10 ans).

Au milieu : Idem, calculée à l'aide d'un modèle déterministe (courbe bleu).

En bas : Idem, calculée à l'aide d'un modèle stochastique-probabiliste. Celui-ci tient compte non seulement de la variabilité naturelle, par exemple de la prise en compte de nombreux événements pluvieux au moyen d'une simulation continue à long terme, mais aussi des paramètres du modèle. La fréquence empirique des événements critiques peut être utilisée pour calculer la probabilité que Q_{max} ne soit pas dépassé [321].

La figure S8 présente un exemple d'analyse de sensibilité, réalisée à l'aide d'un modèle de calcul déterministe.

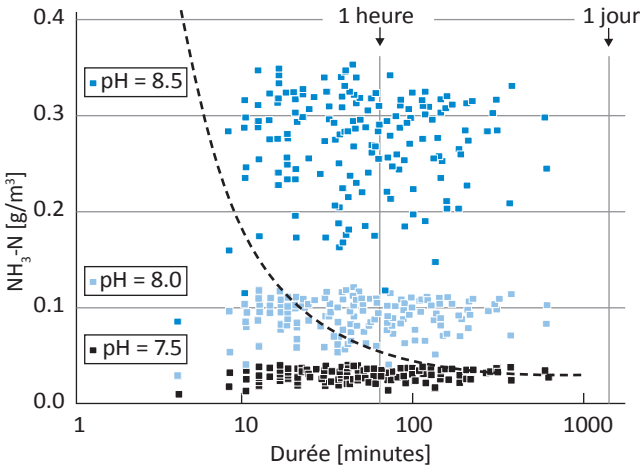


Figure S8
Effet de la variation du pH (de 7.5 à 8.5) sur les concentrations résultantes d'ammoniac dans un ruisseau pendant une période estivale. Les autres paramètres de modèle sont constants. Comme l'indique la figure, avec des valeurs de pH dans le cours d'eau inférieures à 7.5, la concentration de NH_3-N ne dépasse pratiquement jamais le niveau d'impact 1. Avec des valeurs de pH supérieures à 8.0, les concentrations de NH_3-N varient de plus de 100 % [320].

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

4.4 Préparation des données

Les données nécessaires aux calculs peuvent être divisées en quatre groupes :

- Données de base (données pluviométriques, volume et composition des eaux usées, nombre d'habitants).
- Données du système (données géométriques et techniques caractérisant le bassin versant, le système d'évacuation et les milieux récepteurs).
- Paramètres du modèle (paramètres physiques et chimiques pour les processus modélisés).
- Données mesurées et observations pour la validation et la calibration des calculs.

Ces données sont définies par une valeur unique pour les calculs déterministes (généralement une valeur moyenne ou limite).

En vue de la saisie numérique des incertitudes de la planification pour les modèles stochastiques-probabilistes, les données de base, les données du système ainsi que les paramètres du modèle sélectionné doivent être décrits sous forme de plage de valeurs. Au cas où la possibilité existe, la distribution statistique de ces valeurs à l'intérieur de cet intervalle peut également être décrite. Pour les données pouvant être déterminées de manière relativement exacte et ne présentant aucune ou qu'une petite plage de variation, l'indication de la valeur moyenne suffit au calcul.

La planification de mesures selon la présente directive requiert des données dont une partie n'est souvent pas usuelle dans l'évacuation traditionnelle des eaux urbaines. Cette réalité doit être prise en compte dans la définition de la tâche de planification. Les mesures correspondantes doivent être prises à temps.

Une partie de ces données doit être établie par le biais d'examens in situ. En l'occurrence, de simples relevés expérimentaux ne sont pas exclus. Une autre partie des données peut provenir de différentes études existantes. À noter que ces études ne sont généralement pas archivées systématiquement, qu'elles ne sont le plus souvent pas vérifiées et qu'elles ne sont fréquemment pas disponibles sous une forme appropriée. Certaines données devront également être tirées de la littérature.

4.5 Calculs

L'«état actuel» constitue le point de départ du calcul (variante de base). Avant le traitement proprement dit de la tâche de planification, le modèle de calcul (définition du système, modélisation, méthode de calcul, données) doit être validé par rapport à cette variante de base. Les résultats des calculs devront être contrôlés quant à leur plausibilité et le modèle de calcul sera adapté selon les besoins. La sélection des différents scénarios de planification repose sur les connaissances locales et l'expérience du planificateur. Le résultat obtenu sera l'efficacité probable (exigences locales spécifiques remplies) et les coûts annuels des mesures examinées. Ces informations serviront de base à l'interprétation des différentes variantes.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

4.6 Analyse de sensibilité sur les paramètres du modèle

Une analyse de sensibilité permet de déterminer des plages de variation judicieuse et la précision nécessaire des données. Elle est réalisée dans le cadre du calcul de la variante de base. Le volume de travail pour la mise à disposition des données peut ainsi être réduit.

La figure S9 présente un exemple d'une telle analyse de sensibilité, calculée au moyen d'un modèle de calcul stochastique-probabiliste.

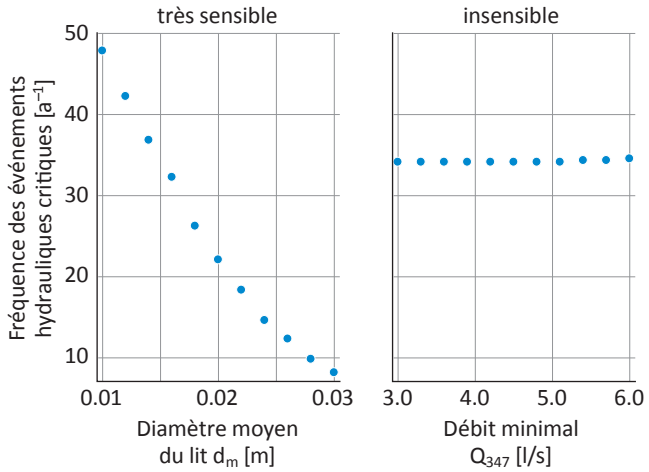


Figure S9
Fréquence des événements hydrauliques critiques par rapport à des paramètres du milieu récepteur ; le diagramme de gauche montre une forte dépendance par rapport à la granulométrie du substrat du fond ; le diagramme de droite ne montre aucune dépendance par rapport au débit de base [323].

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

5 CHOIX DES MESURES

5.1 Principes applicables au choix des mesures

Le terme «mesures» couvre les domaines technique, administratif et économique.

- Mesures techniques : dispositions relevant de la construction, de l'exploitation, etc. ;
- Mesures administratives : adoption de règlements, interdiction de substances, etc. ;
- Mesures économiques : taxes d'incitation, modèles de taxation, etc.

Le présent module fournit des bases pour la planification conceptuelle de mesures essentiellement techniques destinées à réduire les émissions/immissions au niveau admissible. Le tableau S8 présente des exemples de telles solutions techniques.

Deux situations peuvent en principe se présenter lors du choix des mesures ou de combinaisons de mesures ainsi que lors de l'évaluation de leur efficacité et de leurs coûts (respectivement rapport coût-efficacité) :

Tableau S8
Exemples de mesures axées sur un problème [324].

Lieu de la manifestation	Problème et effets potentiels	Origines possibles	Exemples de mesures possibles		
			Bassin versant	Système d'assainissement	Bassin versant / milieu naturel
Zone urbaine, canalisation	Déversements fréquents et de longue durée des eaux usées mixtes	Eaux claires parasites et peu d'eaux usées polluées dans le système unitaire, mauvaise fonction du déversoir d'orage	Dérivation éparse des eaux pluviales, infiltration	Empêchement des rejets d'eaux parasites, réglage de l'étranglement	
Cours d'eau	Atteinte esthétique : dérangement du confort de l'homme	Apport de matières grossières (papier hygiénique, etc.), odeur, colorants	Rétention des eaux polluées	Dégrilleur ou tamis	
	Colmatage du fond : phénomène anoxique dans le lit du cours d'eau et dans espaces interstitiels	Matières solides dans les eaux usées, apport de polluants particulaires facilement biodégradables	Réduction des dépôts dans la canalisation	Évitement, traitement (p. ex. sédimentation, séparateur hydrocyclone), optimisation de l'exploitation	
	L'hygiène : infection d'individus	Apport de bactéries, agents pathogènes		Déplacement du déversement, traitement	Avertissement, interdiction temporaire de baignade
	Impact hydraulique : entraînement ou mortalité d'organismes	Charriage de fond et vitesses d'écoulement élevées engendrées par les déversements	Perméabilisation des surfaces, utilisation des eaux pluviales, rétention, infiltration	Déplacement du déversement, rétention, gestion du débit	Adaptation du profil, amélioration du substrat (espaces de refuge)
	Problèmes aigus (toxicité, ammoniac, oxygène) : dégradation ou disparition d'organismes	Apport de substances toxiques, débit anormalement faible, valeur de pH élevée et température élevée dans les cours d'eau	Rétention des eaux polluées	Déplacement des déversements, rétention, gestion du débit, traitement	Ombrage constitué d'arbres et d'autres plantes, amélioration du régime hydrologique
	Toxicité chronique : atteinte aux organismes	Apport de métaux lourds, pesticides, substances hormonales actives, etc.	Mesures appliquées à la source	Traitement (p. ex. sols filtrants, traitement physico-chimique, station d'épuration)	
	Eutrophisation des cours d'eau : atteinte aux organismes	Apport de substances nutritives	Mesures appliquées à la source	Rétention, gestion du débit	Ombrage constitué d'arbres et d'autres plantes

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

- Le problème des atteintes est simple (p. ex. uniquement d'ordre esthétique) : une mesure ou une combinaison de mesures se révèle être manifestement la plus rentable, ou alors la solution spécifique au problème peut être choisie parmi un éventail de solutions relativement étroit (p. ex. dégrilleurs, brosses, tamis, filtres, bassin de décantation, agrandissement du bassin d'eaux pluviales ou bassin(s) supplémentaire(s), optimisation locale de l'hydraulique des déversements, déplacement des points de rejet en profondeur dans les lacs, etc.).

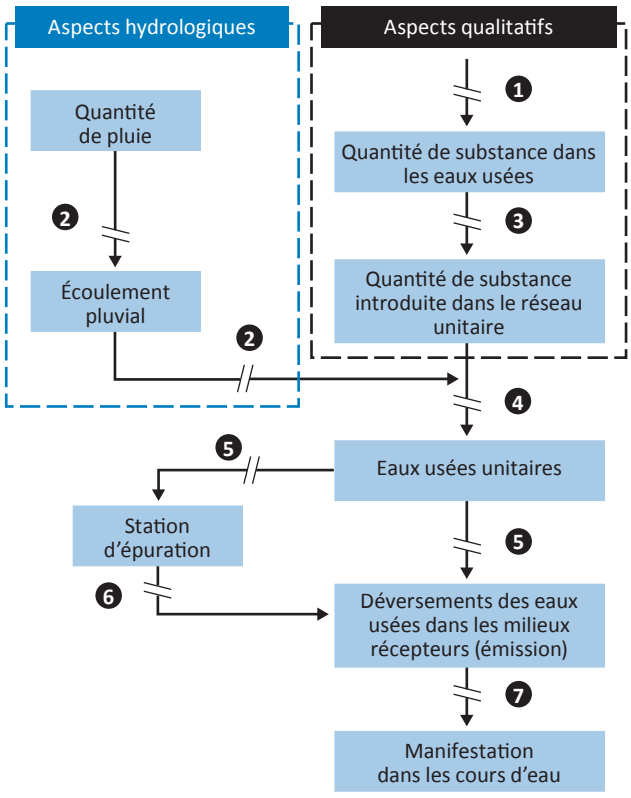
- Le problème des atteintes est complexe : il résulte de différents impacts significatifs. Le choix et l'évaluation des mesures exigent un volume de travail substantiellement plus important que dans le premier cas. Parmi plusieurs solutions possibles ayant un rapport coût-efficacité similaire, on choisira de préférence une mesure à large effet (p. ex. bassin combiné ou filtration par le sol).

5.2 Eventail de mesures

L'éventail des mesures disponibles est plus large que celui qui a jusqu'ici été appliqué généralement en Suisse, à tel point qu'il ne permet pas de dresser un tableau exhaustif. Des domaines de mesures envisageables sont présentés dans la figure S10. À titre de mesures typiques, citons par exemple :

- Construction ou optimisation des bassins d'eaux pluviales (l'optimisation comprend également les interventions opérationnelles telles que décrites dans le chap. 11 du module DB gestion du réseau d'assainissement)
- Installation de séparateurs/séparateurs à lamelles hydrodynamiques
- Planification de bassins de rétention avec filtration par le sol ou sur sable/d'étangs
- Nettoyage des routes, entretien des chambres
- Curage/nettoyage des canalisations
- Exploitation temporaire d'installations, en les plaçant sous surveillance. Cette stratégie est indiquée lorsque l'équipe interdisciplinaire juge les bases de décision insuffisantes et qu'un monitoring est considéré comme la mesure la plus économique pour améliorer la base de connaissances. Cette dernière peut s'avérer insuffisante pour la planification des mesures futures si la base de données est insuffisante ou si les résultats de la simulation sont trop incertains. La surveillance peut prendre la

Les mesures peuvent être réparties dans les domaines suivants :



1. **Mesures applicables à la source :** Remplacement des substances nocives dans les matériaux de construction, véhicules, combustibles et autres produits
2. **Diminution des eaux de pluie à évacuer :** Infiltration décentralisée et rétention sur la parcelle.
3. **Mesures visant à réduire les quantités de substance présentes dans la zone urbaine :** Nettoyage des rues, rétention des eaux polluées, modification des systèmes d'assainissement.
4. **Mesures d'exploitation dans la zone d'assainissement :** Entretien des puits d'arrivée (des avaloirs), stations de pompage, installations d'étranglement, curage des égouts, gestion en temps réel.
5. **Mesures applicables au traitement des eaux pluviales dans le réseau d'assainissement :** Retenue des matières grossières, stockage, combinaison du stockage et de la séparation des matières solides, traitement chimique, amélioration de l'hygiène, etc.
6. **Traitement des eaux unitaires dans les stations d'épuration**
7. **Mesures applicables dans les cours d'eau :** Mesures morphologiques, hydrologiques et opérationnelles.

Figure S10
Domaine d'action de différentes mesures en rapport avec le déversement d'eaux usées provenant d'une système unitaire par temps de pluie [324].

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

forme par exemple de mesure des événements pluvieux locaux et du fonctionnement des installations en résultants, p. ex. le comportement au remplissage ou à la vidange, ainsi que de la durée et la fréquence des rejets. Elle peut également être utile pour mieux caractériser les charges sur les eaux superficielles. Une exploitation temporaire sous surveillance ne peut pas remplacer des mesures, et elle ne doit pas se pousuivre sur plusieurs années afin d'en différer leur mise en œuvre. Elle ne concerne pas non le contrôle des performences de mesures orienté émissions (voir à ce propos le module de base, chapitre 8.7 et annexe 1).

En principe, une distinction peut être faite entre les mesures appliquées à la source («source-control»), de manière à empêcher l'entrée des eaux pluviales et des polluants dans le système d'évacuation, et les mesures prises sur le système d'évacuation lui-même («end of pipe») afin de réduire les conséquences négatives des rejets urbains par temps de pluie.

5.3 Démarche pour le choix et l'évaluation des mesures

5.3.1 Procédure générale

La première étape consiste à choisir, parmi l'éventail disponible, des mesures appropriées pour les soumettre à un examen plus détaillé. Les solutions retenues doivent être évaluées prioritairement eu égard aux performances nécessaires pour atteindre les objectifs définis et aux coûts annuels (rapport coût-efficacité). Des indications sur la détermination et la comparaison des coûts sont disponibles dans la recommandation VSA «Calcul comparatif des investissements dans l'assainissement des eaux usées» [153].

La deuxième étape vise à examiner d'autres critères, outre le rapport coût-efficacité. Il s'agit par exemple des incertitudes relatives à la performance escomptée, la fiabilité de fonctionnement, etc.

Les mesures et les combinaisons de mesures recommandées sont rassemblées dans une liste de priorités. L'auteur du projet doit documenter de manière transparente l'ensemble de la procédure d'évaluation.

5.3.2 Évaluation des mesures

Les explications ci-après et la figure S11 décrivent la procédure à suivre pour planifier et évaluer des mesures. Vous trouverez des descriptions très concrètes et détaillées des installations proposées, de leur mode de fonctionnement et de leur dimensionnement dans le module «**Dimensionnement et conception – Partie A**» pour la gestion des eaux pluviales et dans le module «**Dimensionnement et conception – Partie B**» pour les installations de traitement et de déversement des eaux unitaires. Ces parties de la directive servent à la planification technique des mesures. Les décisions conceptuelles concernant la planification des mesures sont toutefois toujours prises sur la base du présent **module STORM** et en tenant compte de la charge spécifique de rejet définie dans le module de base.

Le présent module ne traite pas des «autres mesures», notamment celles qui sont prises à la source (p. ex. nettoyage des routes, remplacement ou réduction des polluants à la source, réduction de la quantité d'eaux pluviales par la rétention et l'infiltration) ou celles qui sont planifiées ou mises en œuvre sur la base d'autres exigences en matière de protection des eaux (p. ex. mesures préventives dans le domaine de l'évacuation des eaux de chaussée, mesures opérationnelles en rapport avec l'hygiène des eaux de baignade, etc.). Il n'est toutefois pas exclu que des informations contenues dans le présente module puissent être utilisées pour planifier ce type de mesures.

Pour la planification détaillée (au niveau de l'avant-projet) des mesures techniques en zone urbaine et sur le réseau d'évacuation (installations de traitement), il faut traduire les résultats de la planification conceptuelle en émissions (charges) admissibles pour les différents paramètres de pollution (MES, etc.). Cette opération permet ensuite de déduire la performance requise des installations de traitement (= degré d'épuration). Lors de la planification détaillée des mesures dans les milieux récepteurs (p. ex. aménagement du déversement dans les eaux, modification de la morphologie des milieux récepteurs, création de

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

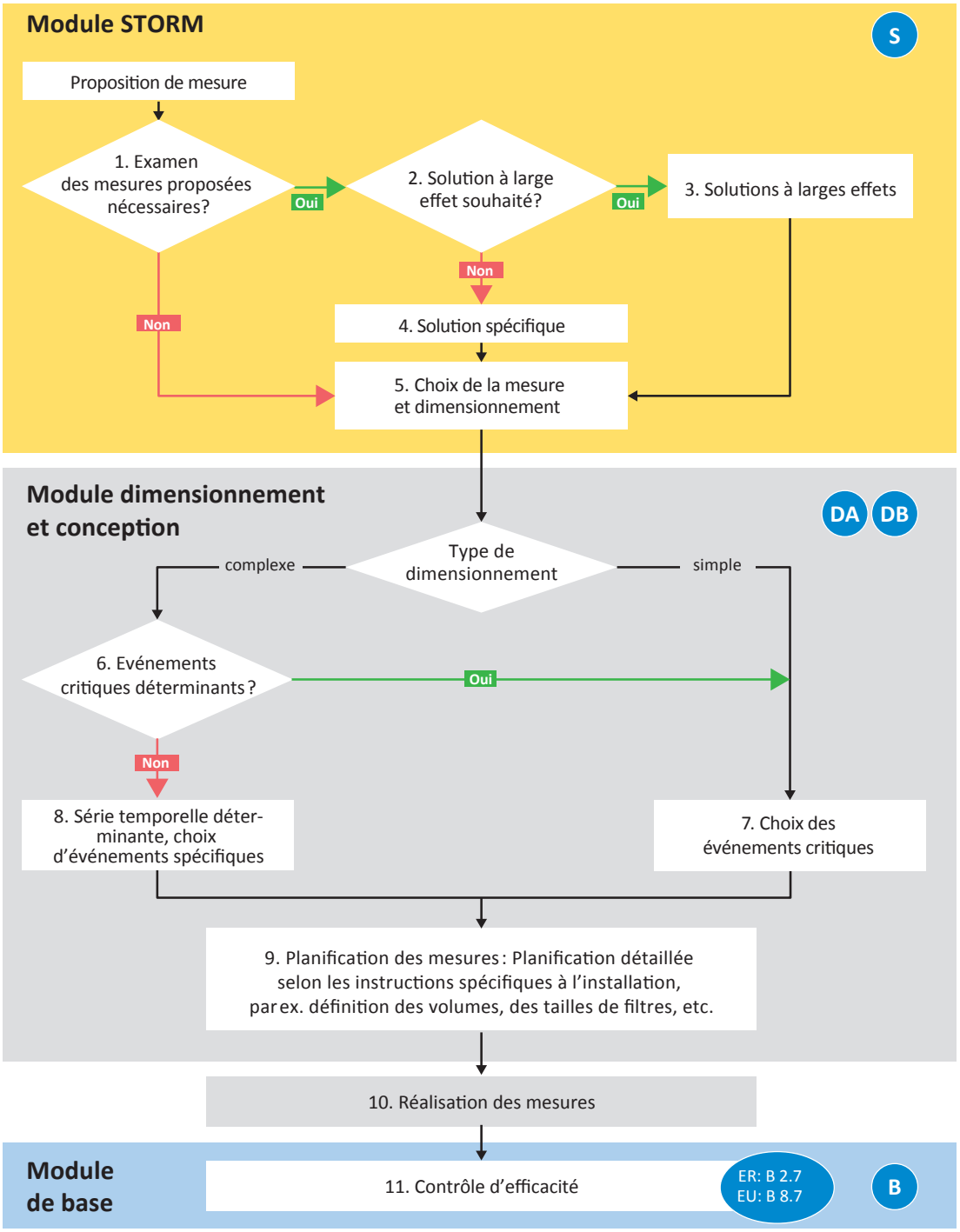


Figure S11
Procédure de planification de mesures. Les différentes étapes sont décrites dans le texte. Pour le dimensionnement (étapes 6 à 10), voir le module DA pour la gestion des eaux pluviales et le module DB pour les installations de traitement et de déversement des eaux unitaires (ER = eaux de ruissellement, EU = eaux unitaires).

zones d'ombre, etc.), l'effet visé (exigences en matière d'immissions, p. ex. réduction de la force d'entraînement) est repris de la planification conceptuelle.

Explication des étapes de planification de la figure S11 :

1. Avant de planifier une mesure concrète, il convient de s'assurer que les mesures proposées dans le cadre de la planification conceptuelle ont été clairement et suffisamment bien définies. À cet effet, il sera possible de vérifier par exemple si les différentes installations de traitement destinées à la réduction prévue des émissions sont appropriées et d'évaluer dans quelle mesure elles satisfont aux critères déterminés individuellement (p. ex. efficacité, coûts, fiabilité, adéquation à la situation, etc.). En outre, il faut contrôler si les données de la planification conceptuelle (bases, objectifs) sont encore à jour.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2. Au-delà des objectifs principaux des mesures (réduction d'une charge spécifique ou d'un impact spécifique dû au déversement d'eaux à évacuer), il faut également, lors du choix définitif des mesures, apprécier l'éventuelle l'ampleur de l'effet souhaité (p. ex. traitement de plusieurs polluants).

3. et 4. Au nombre des mesures ayant des effets multiples, on trouve notamment les installations de stockage (retenue de toutes les substances). Les mesures avec effet sélectif sont par exemple les tamis ou les dégrilleurs (retenue uniquement de matériaux grossiers). Lors de la rétention de matières particulaires, on a le choix par exemple entre un bassin de décantation (sédimentation et parfois rétention complète des apports) et une installation de filtration (séparation de la matière particulaire, stockage minimal).

Procédure

pour la transposition des résultats de l'examen conceptuel selon STORM dans la planification d'une installation de traitement selon le présent module.

La planification détaillée (à l'étape d'avant-projet) des mesures techniques dans la zone urbaine et dans le réseau d'évacuation (installations de traitement) est basée sur des résultats de la planification conceptuelle selon le module STORM. Ces résultats comprennent les points suivant :

- Preuve de la nécessité d'une action, basée sur l'évaluation de conformité des immissions déterminantes en des points de contrôle définis d'un cours d'eau. L'objectif, par exemple le respect des conditions de rejet concernant le colmatage (avec une certaine probabilité), est proposé par l'auteur du projet. Cet objectif est vérifié par le service cantonal de protection des eaux et définitivement fixé.
- Les probabilités, fixées et visées, du respect des valeurs indicatives déterminantes se fondent sur une simulation à long terme. Comme base pour la planification des mesures, on examine, outre les apports d'eaux usées et de polluants, l'effet du stockage et du traitement (= épuration avant le rejet dans le milieu naturel) quant au respect des valeurs de référence au point de contrôle d'un tronçon de cours d'eau.
- Les charges annuelles pour les émissions admissibles sont déterminées sur la base de la différence entre (la probabilité du) le respect des valeurs indicatives applicables qui a été constaté et celui qui est visé.
- Les charges annuelles admissibles (émissions) représentent une grandeur de référence qui est utilisée comme base pour le choix d'une installation de traitement (ou la combinaison de différentes mesures) ainsi que de leur performance requise.

En se fondant sur les informations concernant le besoin d'intervention et les émissions admissibles, et après avoir vérifié les points 1 à 4 de la procédure selon la figure S11, une mesure (ou une combinaison de mesures) est choisie au point 5 ainsi que le dimensionnement correspondant. L'auteur du projet cherche une mesure ou une combinaison de mesures qui garantisse le respect des émissions admissibles et choisit, conformément aux points 6 à 9 de la Figure S11, la mesure appropriée, par exemple une réduction des eaux claires parasites, un certain volume de stockage ou le degré d'efficacité du traitement. Les indications détaillées concernant ce travail de planification se trouvent dans la partie B du module «Dimensionnement et conception».

Avant que le projet définitif ne soit élaboré et mis en œuvre, il est possible, en fonction des données du problème, d'effectuer une vérification par modélisation (p. ex. avec REBEKA 2). Cette étape est nécessaire selon le degré de simplification lors de la définition des charges annuelles des émissions à partir des immissions pendant quelques événements pluviaux individuels. D'une manière générale cependant, l'examen des mesures mises en œuvre est réalisé dans le cadre du contrôle d'efficacité.

Remarque : selon le choix des méthodes de calcul lors de l'élaboration de la partie conceptuelle de la planification des mesures (STORM), par exemple à l'aide d'un programme de simulation différent de REBEKA 2, la procédure spécifiée ci-dessus peut être modifiée.

5. Le choix du mode de dimensionnement dépend de différents critères. Les installations simples et de petite taille peuvent être dimensionnées sur la base de procédures d'évaluation simples (tableaux, équations empiriques, etc.) et d'événements critiques individuels. Les installations importantes, avec fonctions de stockage et exerçant une influence significative sur le système d'évacuation des eaux et/ou le milieu récepteur, doivent en revanche être dimensionnées au moyen de simulations mathématiques (simulation à long terme).

6. Les installations devant fournir une performance jusqu'à un certain niveau de charge seront dimensionnées en fonction de cet état limite. La base de calcul sera un événement critique individuel (débit d'eaux pluviales ou d'eaux unitaires). Une installation qui, dans le cadre de la planification conceptuelle, a été étudiée et choisie à l'aide de simulations à long terme peut également être contrôlée lors de la planification détaillée, en utilisant ces événements critiques (p. ex. pour examiner le comportement hydraulique lors d'événements critiques).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7. L'événement critique est en règle générale une pluie de dimensionnement (pluie historique, dans des cas exceptionnels également une pluie constante ou une pluie-modèle d'intensité variable) ou un groupe d'événements individuels avec une périodicité donnée. Dans des cas exceptionnels, lorsqu'il existe des données locales, un débit critique peut également être utilisé.

8. Lors du choix d'une série chronologique de pluies, il s'agit généralement de séries historiques qui servent de base pour la simulation à long terme. Les critères de sélection comprennent principalement la résolution temporelle et spatiale, la longueur et la continuité de la série.

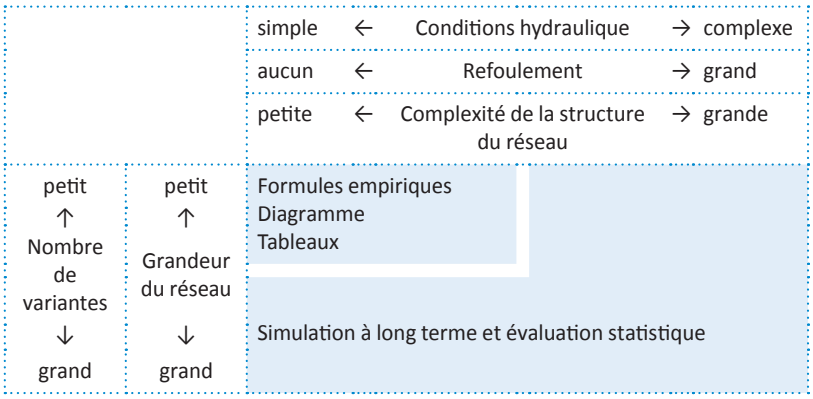


Figure S12
Indications concernant le choix de la méthode de dimensionnement.

9. La planification détaillée de la mesure retenue s'effectue selon les indications s'y rapportant spécifiquement dans le module «**Dimensionnement et conception – Partie A**» pour la gestion des eaux pluviales ou dans le module «**Dimensionnement et conception – Partie B**» pour les installations de traitement et de déversement d'eaux unitaires.

10. Les contrôles d'efficacité (qu'ils soient axés sur les émissions ou sur les immissions) font partie de la phase «projet, réalisation». Il s'agit en l'occurrence de tenir compte des conditions spécifiques de l'installation et de concrétiser le contrôle d'efficacité (voir module de base, chapitres 2.7 et 8.7).

11. Le module G «Analyse de la qualité de l'eau» traite de la réalisation et de l'évaluation du contrôle d'efficacité.

5.4 Principes de prise de décision

L'ingénieur responsable de la planification présente la documentation se rapportant aux options retenues ainsi qu'à l'évaluation des mesures et des scénarios examinés aux milieux politiques et spécialisés pour prise de décision. L'évaluation des différents scénarios doit comporter les indications suivantes :

- probabilités de satisfaire aux exigences requises,
- coûts annuels,
- aspects d'évaluation supplémentaires.

Lors du choix définitif des mesures, les acteurs impliqués doivent évaluer la probabilité avec laquelle les exigences requises seront satisfaites. En l'occurrence, il faut prendre en considération qu'une plus grande sécurité est généralement liée à des coûts plus élevés.

Les courbes cumulatives, représentant la probabilité de non-respect des valeurs indicatives en fonction de la fréquence des événements critiques, constituent la base décisionnelle dans la planification stochastique-probabiliste. Une grande attention doit être portée à l'interprétation correcte de ces courbes.

La méthode de planification stochastique-probabiliste autorise une appréciation approfondie de la problématique réelle. Elle permet d'appréhender les incertitudes liées à la modélisation et à la simulation du système «évacuation des eaux urbaines» et de mieux comprendre le système global. Aussi, la présente directive recommande d'élaborer la planification au moyen de ces modèles.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

La détermination du domaine de probabilité admissible se base sur les connaissances et expériences actuelles et doit par conséquent être entreprise au cas par cas avec le service de la protection des eaux compétent.

Les figures ci-après illustrent schématiquement le déroulement de la prise de décision au moyen des résultats de la simulation stochastique-probabiliste. Cinq variantes sont étudiées pour répondre à un problème. Les options A et B comportent des mesures appliquées au milieu récepteur lui-même, la variante C représente l'état actuel avec un volume de bassin de 120 m^3 et les variantes D et E prévoient la création d'un volume de rétention supplémentaire dans le réseau. La Figure S13 illustre les probabilités de non-dépassement satisfaisant aux exigences fixées (nombre d'événements critiques par année), pour les variantes de A à E, sous forme de courbes cumulatives. La variante A permet de pronostiquer avec une certitude de pratiquement 100 % que le nombre d'événements critiques s'élève à moins de 15 par année. Pour la variante D, cette valeur est atteinte avec une probabilité d'environ 30 %. Pour la variante E, disposant du plus grand volume de stockage, les exigences (moins de 15 événements critiques par an) sont atteintes avec une probabilité de moins de 50 %.

L'incertitude dans l'évaluation de l'efficacité d'une mesure peut être estimée facilement à l'aide de la pente de la courbe cumulative dans le graphique de probabilité. Plus cette pente est verticale, plus la cer-

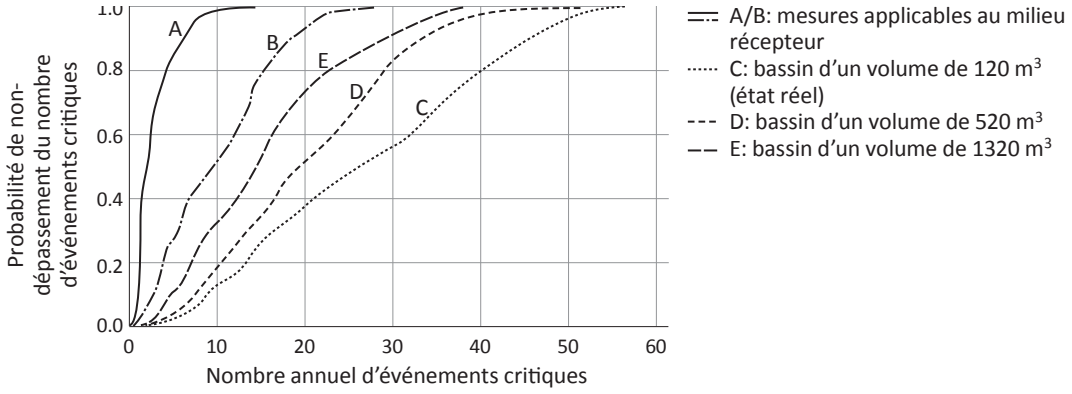


Figure S13
Probabilité de non-dépassement du nombre annuel d'événements hydrauliques critiques pour différentes mesures, adaptée selon [323].

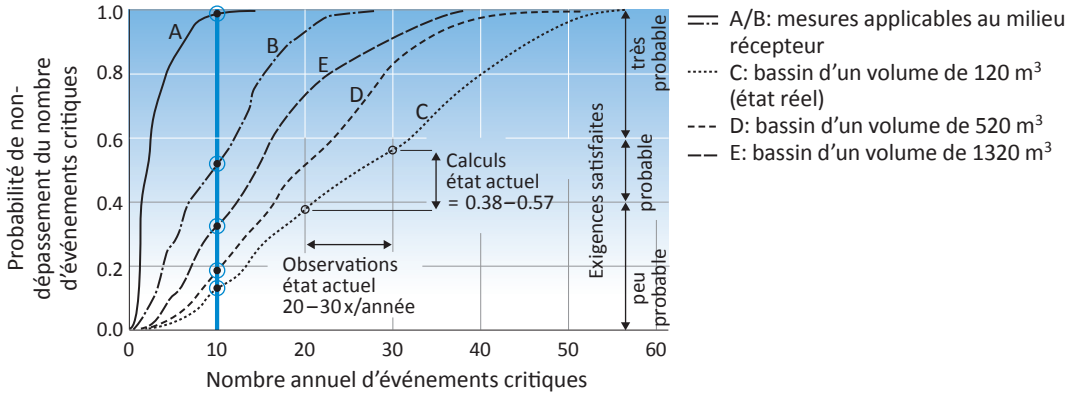


Figure S14
Interprétation des résultats de la simulation stochastique-probabiliste (ligne bleue : exigence définie pour le nombre d'événements hydrauliques critiques ≤10/an).

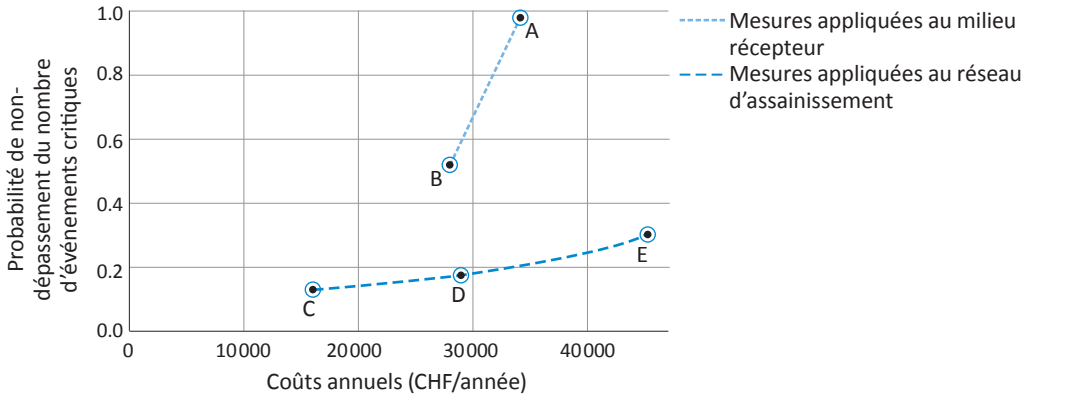


Figure S15
Performances (probabilités de non-dépassement des événements hydrauliques critiques : ≤10/an) et coûts annuels engendrés par les mesures examinées.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

titude est grande ; plus la pente est faible, plus l'évaluation de l'efficacité d'une mesure est incertaine. Cet outil facilite grandement la prise de décision, qui repose en fin de compte sur une appréciation des risques.

Si l'on reporte maintenant dans la Figure S13 l'exigence souhaitée, à savoir au maximum 10 événements critiques par année (objectif fixé avec le service de la protection des eaux), on remarque que la variante A est la mesure comportant les plus petites incertitudes (voir Figure S14). C'est-à-dire que la variante A assure avec une probabilité de 95 % que le nombre d'événements hydrauliques critiques sera inférieur ou égal à 10 au maximum par année. Pour la variante disposant du plus grand volume de stockage (variante E avec V = 1320 m^3), la probabilité qu'au maximum 10 événements critiques par année se produisent se situe à 30 %. Pour la variante décrivant l'état actuel (variante C), la probabilité d'atteindre l'objectif fixé est d'environ 10 %.

Pour le bassin existant (variante C), qui représente l'état actuel, le choix d'un domaine de probabilité situé entre 40 – 60 % donne un résultat de 20 – 30 événements critiques par année (ce sont 10 à 20 événements critiques de trop). Ces indications correspondent aux observations sur place (Gamet ter, 1996 [326]).

En partant de l'hypothèse (fort simplifiée) que la probabilité de non-dépassement de 40 à 60 % correspond aux observations effectives, la figure nous indique que seules les variantes A et B peuvent satisfaire aux exigences requises.

La première étape a ainsi pris en compte l'examen de la certitude (ou de l'incertitude) avec laquelle une mesure satisfait aux exigences requises.

Le prix (et donc le rapport coût-efficacité) qu'il faudra «débourser» pour atteindre le degré de sécurité visé ou l'efficacité exigée doit être examiné dans une deuxième étape. Pour ce faire, un nouveau graphique de probabilité est établi pour comparer les coûts annuels engendrés par les différentes mesures aux probabilités de non-dépassement du nombre d'événements critiques fixé. Il fournit, là aussi, une information claire concernant la probabilité du rapport coûts-efficacité (rentabilité) pour les mesures retenues. Voir la recommandation VSA «Calcul comparatif des investissements dans l'assainissement des eaux usées» [153] pour la détermination et la comparaison des coûts.

La variante A (coûts annuels d'environ 34 000 Frs.) satisfait avec une probabilité de 95 % aux exigences de moins de 10 événements critiques, tandis que la variante B, (coûts annuels d'environ 28 000 Frs.), qui se situe encore dans un domaine acceptable avec une probabilité de 50 %, est tout de même moins certaine que la variante A. Les 6000 Frs. annuels supplémentaires pour la variante A à la place de la variante B peuvent, selon les circonstances, être considérés comme un bon investissement.

La Figure S15 facilite l'interprétation de l'efficacité ou du risque exprimé par des courbes de tendance pour les différents bassins et les variantes comportant des mesures appliquées dans le milieu récepteur. Plus la courbe est verticale, plus le risque d'un investissement improductif est faible. La variante E comprenant le volume de stockage maximum s'avère non seulement plus onéreuse que la variante A, mais elle comporte également un plus grand risque de mauvais investissement.

Les points A à E de la Figure S15 représentent les intersections des courbes de probabilité avec la courbe des exigences fixées (≤ 10 événements critiques/année, figure S14). S'appuyant sur les étapes décrites, les organes responsables (maître de l'ouvrage et service de la protection des eaux) doivent déterminer une valeur seuil pour la probabilité de non-dépassement, au-dessous de laquelle une variante doit être rejetée.

Les décisions prises lors de la planification requièrent des points de repère concrets. La détermination d'une valeur seuil qui repose sur des bases scientifiques n'est cependant pas possible dans la pratique. Aussi, les catégories d'évaluation proposées reposent sur des réflexions pragmatiques des auteurs (voir également la Figure S14, échelle de droite). Le respect des exigences en termes de probabilités peut être interprété de la manière suivante :

0–40 % : improbable à peu probable / 40–60 % : probable / 60–100 % : très probable.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

6 INTRODUCTION AUX MESURES TECHNIQUES SUR LE RÉSEAU D'ÉVACUATION DES EAUX

6.1 Introduction

Le type de traitement, respectivement la proposition relative au choix d'une mesure, découle du résultat de la planification conceptuelle. D'une manière générale, les mesures par temps de pluie (Tableau S9) peuvent être réparties en trois catégories principales :

- Stockage ;
- Rétention des matières en suspension (p. ex. sédimentation, séparation des MES par forces centrifuges, filtration) et la rétention d'autres substances ;
- Traitement (p. ex. hygiénisation).

Selon les exigences en matière de protection des eaux, différentes combinaisons de ces différentes catégories peuvent être envisagées.

Tableau S9
Informations sur l'effet et la performance de différentes mesures spécifiques liées aux déversements par temps de pluie (liste non exhaustive).

Mesure	Processus	Effet principal		Remarques sur l'utilisation et l'exploitation	Fréquence de ces installations en Suisse	Références
		Cible	Degré d'efficacité			
Chambre (conception usuelle avec coude plongeur et dépotoir à boue, environ 300 l)	Stockage/ séparation	Matières particulaires grossières et lourdes	± variable	Entretien (vidange), risque de lessivage des boues	moyenne	[331]
Chambre avec filtre géotextile	Séparation	Matières particulaires		Risque de colmatage	rare	[332]
Chasse d'égouts	Remobilisation contrôlée des sédiments	Matières particulaires	moyen	Réduction du lessivage des sédiments par temps de pluie	moyenne	[333|, [341]
Régulation des débits en temps réel	Stockage	Quantité d'eaux à évacuer et totalité des substances	faible jusqu'à élevé	Clarification des conditions cadres légales	rare – moyenne	[334], [335]
Dégrilleurs et tamis	Séparation	Matières grossières	haut		moyenne	[336]
Déversoir en réseau unitaire (modification du débit vers la STEP Qan)	Modification de la capacité du débit	Toutes les matières (réglage du rejet : volumes, fréquence, durée)	faible jusqu'à élevé		élevée	[258], [337], [338]
Bassins et canaux de stockage (système unitaire/système séparatif)	Stockage	Toutes les matières contenues dans les eaux usées	faible jusqu'à élevé		élevée	[339], [340], [257], [256]
Bassin de décantation (système unitaire)	Stockage et sédimentation	Matières particulaires et matières flottantes	faible jusqu'à élevé (selon le pouvoir de sédimentation des particules)	Lors de faibles pluies également toutes les autres substances	élevée	[339], [340], [257], [256], [342]
Bassin combiné (système unitaire)	Stockage et sédimentation	Bassin de stockage et bassin de décantation dans un seul objet	voir bassin de stockage et bassin de décantation		moyenne	[339], [340], [257], [256]

Suite Tableau 9 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau 9

Mesure	Processus	Effet principal Cible	Degré d'efficacité	Remarques sur l'utilisation et l'exploitation	Fréquence de ces installations en Suisse	Références
Bassin de clarification (système séparatif)	Stockage et sédimentation	Matières décantables et matières flottantes	faible jusqu'à élevé (selon le pouvoir de sédimentation des particules)		rare – aucune	[339], [340], [257], [256]
Bassins de rétention	Stockage	Quantité d'eaux usées et totalité des substances		Volume >10 mm du débit temps pluie	moyenne	[253]
Rétention des eaux polluées	Stockage	Toutes les matières contenues dans les eaux usées	élevé	Industries, hôpitaux, etc.	rare – aucune	[320], [329], [330]
Séparateur hydrodynamique	Stockage et sédimentation	Dérivation des matières particulaires en direction de la STEP	faible jusqu'à élevé (selon la séparation des particules)	Différentes conceptions et conditions hydrauliques	rare – aucune	[343], [344], [345], [346], [347], [348]
Séparateur lamellaire (installation complète)	Stockage et sédimentation	Matières particulaires	avec floculation et moyen de précipitation : élevé; sans floculation et moyen de précipitation : moyen		rare – aucune	[350], [351]
Sols et filtres à sable	Stockage et filtration	Matières particulaires	élevé	Dégradation partielle de substances organiques dissoutes	moyenne	[352], [356], [357]
Installation technique de filtration	Filtration	Matières particulaires	moyen jusqu'à élevé		rare – aucune	[358], [359]
Etangs de lagunage	Stockage, sédimentation, épuration biologique	Matières particulaires	moyen jusqu'à élevé	Dégradation partielle de substances organiques dissoutes	rare – aucune	[353], [354], [355]
Dispositifs d'hygiénisation	Désinfection	Germes pathogènes	élevé		rare – aucune	[358], [359]
Adaptation du déversement dans le milieu (aménagement et/ou lieu du rejet)	Mélange et dilution	Retenue des matières problématiques hors des zones sensibles	élevé	Mélange des eaux dans le milieu récepteur, protection des tronçons les plus sensibles	moyenne	
Rejets dans les plans d'eau : assurer l'homogénéisation et le mélange (éloignement des rives et profondeur du rejet)	Mélange et dilution	Retenue des matières problématiques hors des zones sensibles	élevé	Prévention des impacts dans les environs des rives par le type et la localisation du rejet	moyenne	

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

6.2 Différences par rapport à la technique et au dimensionnement par temps sec

Les mêmes principes sont applicables aux mesures de traitement par temps de pluie que par temps sec, c'est-à-dire d'atteindre la performance exigée pour un coût raisonnable. Cependant, les contraintes sont différentes par rapport au temps sec, les exigences hydrauliques étant plus élevées pour une durée de traitement relativement courte. De par le caractère aléatoire de la pluie (intensité, durée, fréquence) et les différents états du bassin versant (paramètres hydrologiques), les installations de traitement sont soumises à de grandes fluctuations de charge notamment au début des précipitations. Les variations entre le minimum et le maximum sont nettement plus grandes en comparaison avec la situation par temps sec. En outre, les installations de traitement par temps de pluie ne sont utilisées qu'une petite fraction du temps à leurs capacités maximales. Par conséquent, leur rapport coût-efficacité est moins favorable que celui des installations exploitée toute l'année.

Pour la technique de dimensionnement par temps de pluie, il en découle les conséquences suivantes :

- Évaluation des incertitudes quant à la performance des installations et prises en compte de celles-ci dans l'analyse du rapport coût-efficacité des installations.

- Prise en considération et évaluation d'autres facteurs de pollution des eaux (agriculture, etc.), au cas où des informations complémentaires auraient été acquises lors de la procédure STORM.

- Définition critique et réaliste des objectifs.

6.3 Analyse des mesures envisagées

Dans le cadre de la planification détaillée, il faut vérifier que les mesures proposées dans la planification conceptuelle (p. ex. PGEE ou PREE) aient été clairement et suffisamment bien définies. Il s'agit surtout de vérifier que les mesures proposées pour assurer les performances requises dans la situation locale spécifique soient appropriées ou si d'autres mesures peuvent entrer en ligne de compte.

Lors de la vérification des mesures ou de la combinaison proposées, on examinera notamment le rapport coût-efficacité relatif aux paramètres définis en terme d'impact sur les eaux. Les aspects suivants doivent être pris en considération :

- La mesure individuelle peut avoir un effet sélectif (p. ex. dégrilleur) ou plus large (p. ex. le stockage ou l'infiltration à travers un système de rétention / infiltration). Lorsque diverses mesures appropriées ont un même rapport coût-efficacité, c'est celle qui a l'effet le plus large qui sera choisie.

- La réduction des eaux claires parasites, la réutilisation des eaux pluviales et l'infiltration des eaux pluviales doivent d'une manière générale être encouragées en tant que mesures à effets multiples.

Dans tous les cas, les systèmes existants doivent être d'abord optimisés, avant que d'autres mesures ne soient initiées.

Il est également nécessaire d'examiner si les données de la planification conceptuelle (bases, objectifs) sont encore actuelles, car plusieurs années peuvent s'écouler entre cette dernière et la planification des mesures selon la présente directive.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

6.4 Analyse coût-efficacité

Si les coûts des mesures de protection des eaux sont généralement assez simples à déterminer, l'estimation financière de leur efficacité est ardue et liée à différents problèmes. Pour rendre néanmoins possible cette évaluation économique, les paramètres de rentabilité classiques (coût-efficacité) seront axés sur une comparaison des coûts.

Lorsque les objectifs sont atteints, l'examen des coûts marginaux des différentes mesures peut être utile pour déterminer celle qui est optimale. Ces coûts marginaux montrent que plus l'installation est grande, plus la différence de performance régresse par rapport à la différence de la taille et des coûts de l'installation (Figure S16, Fig. D). Cette méthode d'analyse est appliquée en pratique lors de la planification technico-économique. Dans la stratégie STORM, la planification n'est cependant pas axée en premier lieu sur cet aspect. Cette information peut toutefois aider à mieux interpréter l'analyse des coûts et des bénéfices d'une installation technique. Il n'est ainsi pas judicieux d'augmenter la performance d'une installation de décantation au-delà d'une certaine limite en l'agrandissant davantage encore. En cas de nécessité, une autre variante doit être choisie.

L'efficacité et les coûts des mesures sont représentés dans la Figure S16. Lors de faibles pluies (avec les plus fortes concentrations de polluants), les eaux unitaires sont en grande partie stockées dans le bassin d'eaux pluviales existant (environ 50 % de la moyenne annuelle des rejets des déversoirs d'orage ; Figure S16, Fig. A). Lors de précipitations moyennes ou fortes, après la rétention des premiers 145 m³, le solde du trop-plein (généralement avec de plus faibles concentrations de matières polluantes) est déversé sans traitement dans le milieu naturel. L'analyse de l'efficacité et des coûts (en particulier en cas d'extension de l'installation de 270 à 360 m³) indique une augmentation disproportionnée des coûts marginaux (Figure S16, Fig. D) pour le traitement des eaux unitaires.

Accroissement des performances
(Réduction du volume et de la fréquence du déversement)

Fig. A

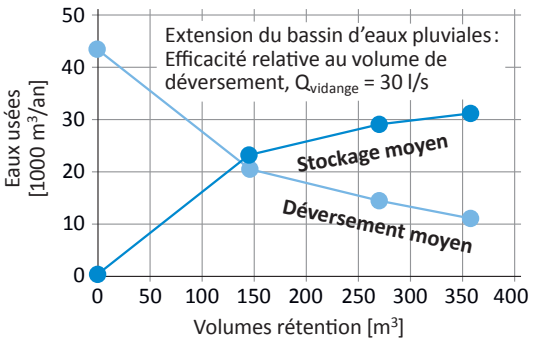
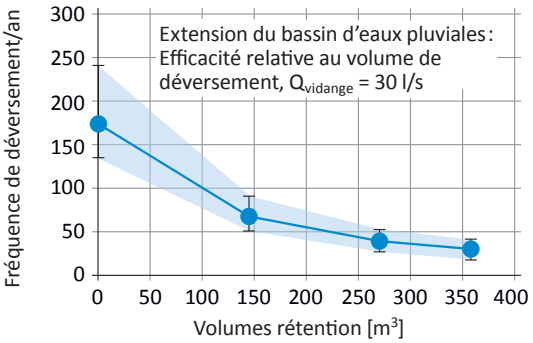


Fig. C



Accroissement des coûts
(Coûts annuels, coûts unitaires en CHF/m³ des eaux unitaires stockées)

Fig. B

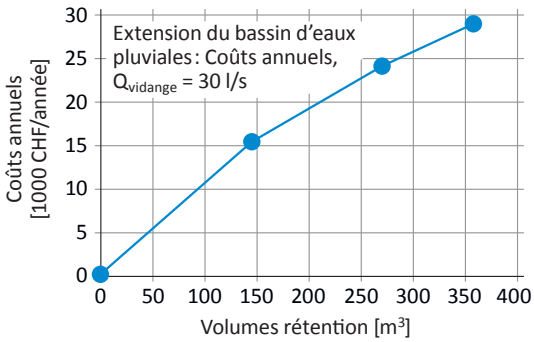


Fig. D

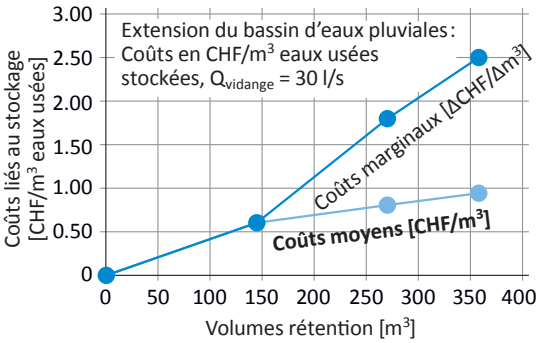


Figure S16
Exemple concret : selon ce PGEE, le volume de stockage existant d'un bassin de rétention de 145 m³ doit être augmenté à respectivement 270 m³ et 360 m³ (tout en maintenant le débit de sortie du bassin). L'efficacité et les coûts de cette mesure sont présentés dans les quatre parties de cette figure.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Tableau S10
Valeurs numériques pour la Figure S16 A – D.

Coûts et performance	Volume de stockage du bassin de rétention [m^3]			
	0	145	270	360
1. Coûts de construction [CHF]	0	520000	780000	920000
2. Coûts spécifiques de construction [CHF/m^3 de volume de stockage]	0	3586	2889	2556
3. Coûts annuels [CHF/année]	0	15500	24400	29400
4. Trop-plein déversé [m^3/an]	43000	20000	15000	13000
5. Stockage [m^3/an]	0	23000	28000	30000
6. Coûts annuels pour le stockage (Pos. 3/Pos. 5) [CHF/m^3]	0	0.67	0.87	0.98

Relations entre coûts et performance lors de l'accroissement du volume de stockage du bassin [m^3]	« Performance marginale » et « coûts marginaux »		
	0 → 145	145 → 270	270 → 360
7. Accroissement annuel du stockage des eaux unitaires [m^3/an]	23000	5000	2000
8. Augmentation des coûts annuels [CHF/an]	15500	8900	5000
9. **Coûts marginaux** (Pos. 8/Pos. 7) (Δ coûts/Δ performance) [CHF/m^3 d'eaux unitaires retenue dans le bassin]	**0.67**	**1.78**	**2.50**

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7 MESURES DANS LES EAUX RÉCEPTRICES

7.1 Introduction

Les atteintes aux eaux réceptrices par temps de pluie peuvent être attribuées à des influences soit quantitatives, soit qualitatives ou aux deux simultanément (voir aussi le module Analyse de la qualité des eaux). Les premières signifient une charge hydraulique-mécanique excessive et non adaptée au type de cours d'eau. La charge qualitative est définie comme étant un apport de courte durée sensiblement plus important de matières polluantes dans les milieux récepteurs par temps de pluie que par temps sec. Les raisons en sont principalement le lessivage des matières polluantes provenant de surfaces routières, de places et d'autres surfaces imperméables, telles que toitures, façades, etc., mais également les déversements d'eaux unitaires ainsi que le lessivage d'engrais et d'autres substances utilisées sur les surfaces agricoles.

La réduction de la pollution des eaux superficielles par temps de pluie due aux rejets urbains peut et doit, en premier lieu, être réalisée par la mise en place de mesures appropriées sur le réseau d'évacuation des eaux urbaines (voir chapitre 6), avec pour objectif une diminution de la fréquence et du volume des rejets. Si ces mesures ne permettent pas d'atteindre le résultat souhaité ou si le rapport coût-efficacité n'est pas acceptable, il faudra intervenir sur le milieu récepteur lui-même, ce qui peut également conduire à une réduction ou à une élimination des déficits. Ainsi, les points de déversement doivent être situés en priorité en dehors de zones défavorables telles que des retenues ou des zones de sédimentation. En outre, il convient d'éviter les zones à usages sensibles, par exemple la baignade ou la production d'eau potable.

Les mesures appliquées dans ou au milieu naturel sont généralement le résultat de l'interaction entre les différents acteurs (p. ex. génie hydraulique, service de la protection des eaux, pêche, sociétés responsables de l'entretien des eaux, revitalisation, etc.) ainsi que de la prise en compte de diverses conditions cadres légales et de police. À noter que le cadre juridique et la répartition des compétences varient d'un canton à l'autre. Il n'est pas possible, dans le cadre de cette directive, de formuler des mesures concrètes relatives à l'élimination des différents déficits dans ou au niveau des eaux superficielles.

L'objectif du présent chapitre consiste à encourager une réflexion afin qu'une planification de mesures touchant au milieu récepteur soit envisagée si nécessaire, avec la participation de tous les acteurs concernés.

En général, les mesures de revalorisation ne sont pas réalisées de manière isolée, mais combinées avec d'autres projets. Ainsi, il sera également tenu compte de planifications d'ordre supérieur ou transversales, par exemple :

- Plan régional d'évacuation des eaux (PREE), plan directeur des eaux, plan de gestion des eaux, gestion par bassin versant, lignes directrices, PGEE, etc.
- protection contre les crues et projets de revitalisation,
- planifications allant au-delà de la problématique de la gestion des eaux, telles que conception d'évolution du paysage (CEP), plans directeurs et plans de zones,
- mesures de compensation écologique lors d'interventions portant sur la gestion des eaux,
- grands projets d'infrastructure, p. ex. projets d'amélioration ou de construction de routes.
- gestion des débits résiduels, réhabilitation des conditions de marnage.

Les problèmes pouvant survenir dans le cadre de l'évacuation des eaux urbaines sont exposés ci-après, accompagnés de mesures possibles.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7.2 Problèmes, processus et mesures possibles dans les cours d'eau

Le Tableau S11 présente les atteintes directes et indirectes possibles aux cours d'eau par les apports d'eaux à évacuer par temps de pluie, ainsi que des mesures possibles afin d'améliorer la situation. Les problèmes dus aux déversements excessifs ne peuvent que rarement être résolus par des mesures appliquées uniquement dans et au cours d'eau lui-même. Par conséquent, il faut éviter autant que faire se peut les rejets d'eaux à évacuer et de matières solides dans les milieux récepteurs. Leur effet est souvent renforcé par des déficits hydrologiques et morphologiques existants. Ainsi, la réduction de ces atteintes conduit à une plus grande tolérance du milieu naturel à l'égard des apports d'eaux à évacuer et améliore la situation écologique dans les conditions de déversement qui prévalent. Si un milieu récepteur est déjà fortement pollué, les effets négatifs des rejets d'eaux à évacuer sont moins apparents que dans un cours d'eau intacte.

Tableau S11
Aperçu des problèmes, des processus et des mesures envisageables dans les cours d'eau, en lien avec les déversements d'eaux à évacuer.

Cours d'eau			
Constats dans et au cours d'eau		Processus	Mesures techniques possibles pour réduire le problème • dans les cours d'eau • *autres mesures techniques*
Matières solides provenant des rejets urbains	→ Problèmes esthétiques	• Lors d'événements pluviaux, des matières solides provenant de l'assainissement urbain peuvent parvenir dans les cours d'eau → une trop grande diversité structurale du cours d'eau augmente le risque que ces matières s'accumulent le long du cours d'eau	• *Aménager des dégrilleurs fins sur les ouvrages d'évacuation*
Présence d'indicateurs typiques d'eaux unitaires	→ Couverture végétale hétérotrophe (bactéries, champignons), prolifération d'algues, sangsues, aselle et autres	• L'apport de substances organiques favorise la croissance et le développement d'organismes typiques des eaux résiduaires	• *Réduire l'apport d'eaux usées (volume et fréquence)*
Colmatage et envasement du lit du cours d'eau	→ Limitation du biotope dans le lit du cours d'eau → Modification du biotope naturel et ainsi de la biocénose dans le lit du cours d'eau → Entrave et empêchement du frai dans les frayères et impacts sur l'émergence de la ponte → Limitation de la capacité d'autoépuration du cours d'eau	• L'apport de MES conduit au dépôt de sédiments sur et dans le lit du cours d'eau	• *Traitement des eaux usées (→ Élimination des MES dans des bassins de décantation, → bassins de rétention/filtration)*
		Processus renforçant les effets des rejets pluviaux urbains : • La consolidation du lit empêche le charriage de fond, ce qui conduit finalement à un colmatage interne	• Modification de la morphologie ainsi de l'hydraulique de sorte que le dépôt des matières fines soit réduit • Admettre le charriage de fond (éventuellement élimination des parties consolidées du lit
Exigences hygiénique (éventuellement temporairement) pas satisfaites		• Lors d'événements pluviaux, des germes provenant de l'assainissement urbain parviennent dans les cours d'eau → Problèmes relatifs aux eaux de baignade, aux activités de loisir (en particulier pour les enfants) et à l'éventuelle utilisation de cette eau pour la consommation	• Déplacer le site de déversement • *Réduire l'apport d'eaux usées (volume et fréquence)* • *Interdire la baignade, éventuellement que temporairement (après des événements pluviaux)*

Suite Tableau S11 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau S11

Cours d'eau			
Constats dans et au cours d'eau		Processus	Mesures techniques possibles pour réduire le problème • dans les cours d'eau • *autres mesures techniques*
Déficits morphologiques (aménagement des cours d'eau)	→ Un cours d'eau incorrectement aménagé constitue un biotope restreint, offre peu d'espace de refuge et un potentiel de repeuplement réduit.	• Lors des événements pluviaux, la biocénose taxonomiquement pauvre est affectée surtout quantitativement. Le repeuplement évolue plus rapidement lorsqu'un milieu naturel est situé en amont des rejets. → La capacité d'autoépuration d'un cours d'eau aménagé est limitée par rapport à un cours d'eau fortement structuré.	• Revitalisation du cours d'eau • Élimination d'éléments de génie civil
Déficits hydrologiques	→ En présence de débits résiduels et de conditions de marnage, des situations de basses eaux prévalent	• Lors de rejets pluviaux, des conditions de mélange défavorables peuvent prévaloir, ce qui se répercute négativement en termes de concentration de substance • Des rejets pluviaux importants peuvent causer un stress hydraulique pour la biocénose du cours d'eau	• Créer des conditions hydrologiques proches de l'écoulement naturel – augmentation du débit de dotation respectivement des éclusées
		• De petits événements pluviaux peuvent conduire à un dépôt de matériel fin et de matières solides provenant de l'assainissement urbain	• Mettre en place un rinçage artificiel du cours d'eau afin d'éliminer des dépôts de matière solide
Effets hydrauliques	→ Lit ou rives érodés dans la zone d'influence d'un site de déversement	• Les rejets pluviaux conduisent à une surcharge hydraulique et ainsi à la mobilisation du lit du cours d'eau et des organismes → Tendance à un appauvrissement en organismes	• Améliorer les conditions hydrauliques • Mettre en place des adaptations morphologiques visant la structuration du cours d'eau afin de créer des refuges et permettre un repeuplement rapide
Température de l'eau élevée (jusqu'à critique) dans le cours d'eau	→ Mortalité piscicole → Changement d'un cours d'eau à températures prédominantes froides à un cours d'eau à températures plus chaudes avec comme conséquence un changement de la faune	• Déversement d'eaux usées → L'eau plus chaude est rejetée dans le cours d'eau et peut conduire, en fonction des conditions de température et des proportions de mélange, à une température critique → Formation de conditions toxiques : en fonction de la température, l'ammonium se transforme entre autre en ammoniac qui présente des effets toxiques (poisson)	• *Diminuer l'apport d'eaux usées* → *Amélioration de la proportion de mélange dans le cours d'eau*
		Processus qui renforcent les effets des déversements d'eaux pluviales : • Manque d'ombrage → Le rayonnement solaire réchauffe les cours d'eaur	• Mettre en place une végétalisation des berges → Couverture ombragée → Réduction de la température de l'eau
		• Les cours d'eau morphologiquement modifiés manquent souvent d'un lit mineur et l'écoulement a lieu sur toute la largeur du lit. Ils sont en outre pourvus de sections de retenue artificielles → Une faible profondeur d'écoulement et des sections d'eaux stagnantes favorisent l'augmentation de la température pendant les périodes estivales	• Revalorisation morphologique du cours d'eau, réalisation d'un lit mineur
Biocénose modifiée, fortement au niveau local ou modérément au niveau régional (voir également les indicateurs typiques d'eaux résiduaires)	→ biodiversité anormalement faible et / ou forte densité d'individus → Indicateur typique d'eaux usées	• Toutes les observations respectivement les processus mentionnés ci-dessus peuvent individuellement ou de manière synergique avoir des impacts sur la biocénose du cours d'eau • L'apport de substances et de matières fines conduit aussi bien matériellement que morphologiquement à la modification des conditions du milieu (éventuellement un envasement) • Les effets hydrauliques conduisent à la modification du lit	• Élucider la cause • Déplacer le site de déversement • Améliorer les conditions hydrauliques • Améliorer les conditions hydrologiques • *Réduire l'apport des eaux usées (volume et fréquence)*

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7.3 Problèmes, processus et mesures possibles dans les plans d'eau

Le Tableau S12 présente les atteintes directes et indirectes possibles aux plans d'eau dues aux apports d'eaux à évacuer par temps de pluie, ainsi que des mesures possibles pour améliorer la situation. Les impacts des rejets peuvent apparaître aussi bien localement, dans la zone du point de rejet (p. ex. matières solides, envasement, effets hydrauliques) que dans l'ensemble du plan d'eau. Ces effets globaux sont liés surtout aux apports de substances provoquant l'eutrophisation (nutriments, substances favorisant la croissance). En plus de la réduction des apports d'eaux à évacuer et de matières solides, le déplacement du site de déversement peut éventuellement conduire à une certaine amélioration de la situation. Si des plans d'eau sont fortement atteints, seul un assainissement peut encore, en dernier recours, être bénéfique. En effet, une fois parvenues dans ces eaux, les substances y séjournent et agissent souvent pendant une longue période. Si des procédés appropriés pour l'assainissement ont été trouvés, il faudra généralement beaucoup de temps, en fonction de la dimension du milieu récepteur et de la complexité technique, avant que le plan d'eau ne soit à nouveau opérationnel.

Tableau S12
Aperçu des problèmes, des processus et des mesures envisageables dans les plans d'eau en relation avec les déversements d'eaux à évacuer

Eaux stagnantes			
Constatations dans et autour du milieu récepteur		Processus	Mesures possibles pour réduire le problème • dans les plans d'eau • *autres mesures*
Matières solides provenant des rejets urbains	→ Problèmes esthétiques	• Lors d'un rejet pluvial, des matières solides provenant de l'assainissement urbain peuvent parvenir dans les eaux stagnantes ; celles-ci surnagent, restent accrochées aux berges ou coulent	• *Aménager des dégrilleurs fins sur les ouvrages évacuateurs*
Indicateurs typiques d'eaux unitaires présents dans le secteur du site de rejet	→ Par exemple couverture végétale hétérotrophe (bactéries, champignons), prolifération d'algues ou de plante aquatiques	• L'apport de substances organiques favorisant la croissance peut conduire au développement d'organismes typiques des eaux résiduaires	• *Réduire l'apport des eaux usées (volume et fréquence)* • Déplacer le site de déversement (p. ex. déversement en eau profonde ; le long de berges escarpées)
Envasement du lit	→ Modification du biotope naturel et ainsi de la biocénose dans le fond du plan d'eau → Entrave et empêchement du frai dans les frayères et impacts sur l'émergence de la ponte	• L'apport de MES conduit au dépôt de sédiments sur et dans le fond du plan d'eau	• *Traitement des eaux usées (→ Élimination des MES dans des bassins de décantation, → bassins de rétention/ filtration)* • Déplacer le site de déversement (p. ex. déversement en eau profonde ; le long de berges escarpées) • Draguage respectivement extraction périodique du fond en tant que mesure visant à limiter le problème
Exigences hygiéniques (éventuellement temporairement) pas satisfaites		• Lors d'événements de déversements pluviaux, des germes provenant de l'assainissement urbain parviennent dans les plans d'eau → Problèmes relatifs aux eaux de baignade, aux activités de loisir (en particulier pour les enfants) et à l'éventuelle utilisation de cette eau pour la consommation	• Déplacer le site de déversement (p. ex. déversement en eau profonde ; le long de berges escarpées) • *Interdire la baignade, éventuellement temporairement (après des événements pluviaux)*

Suite Tableau S12 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau S12

Eaux stagnantes			
Constatations dans et autour du milieu récepteur		Processus	Mesures possibles pour réduire le problème • dans les plans d'eau • *autres mesures*
Organismes indicateurs de substances nutritives	→ Grande biomasse en phytoplancton avec faible diversité biologique → Les petites étendues d'eau, en particulier, engendrent une grande dynamique de développement du plancton (modification rapide entre le développement de la biomasse de phyto- et de zooplancton)	• L'apport de substances organiques et de substances favorisant la croissance affecte finalement l'intégralité des eaux stagnantes	• *Réduire ou arrêter l'apport d'eaux usées* • Assainissement du plan d'eau → Élimination des substances nutritives (p. ex. déversement en eau profonde) → Extraction des sédiments riches en substances nutritives → *Limiter l'apport de substances nutritives*
Effets hydrauliques	→ Fond ou rives érodés dans la zone d'influence d'un site de rejet → Limitation des possibilités de colonisations dans la sphère d'influence (p. ex., pas ou peu de présence de macrophytes)	• Les rejets pluviaux conduisent à l'érosion du fond. Lors d'événements fréquents, le repeuplement est entravé	• Éliminer les impacts hydrauliques • Déplacer le site de déversement
Déficits morphologiques (aménagement des rives)	→ Consolidation locale du fond respectivement des berges en vue de prévenir les risques d'érosion	• Les aménagements altèrent localement le biotope en raison de la modification de la zone riveraine et du fond	• Déplacer le site de déversement, p. ex. déversement en eau profonde et démantèlement des aménagements
Biocénose modifiée, fortement au niveau local ou modérément au niveau régional		• Toutes les observations respectivement les processus mentionnés ci-dessus peuvent individuellement ou de manière synergique avoir des impacts sur la biocénose du plan d'eau • L'apport de substances et de matières fines conduit aussi bien matériellement que morphologiquement à la modification des conditions du milieu (éventuellement envasement) • Les effets hydrauliques conduisent à la modification de la morphologie du fond	• Élucider la cause • Déplacer le site de déversement, p. ex. déversement en eau profonde • *Réduire l'apport des eaux usées (volume et fréquence)* • Améliorer les conditions hydrauliques

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

8 RECOMMANDATIONS POUR LA RÉHABILITATION D'INSTALLATIONS EXISTANTES

Le terme réhabilitation désigne ici la remise en état, la modernisation, l'extension de la capacité et l'augmentation du rendement d'installations existantes, eu égard à de nouvelles exigences.

La réhabilitation entre en ligne de compte, lorsque :
- l'état de la construction appelle un assainissement,
- l'efficacité de l'installation n'est plus garantie,
- une vérification de la performance hydraulique et technique, révèle la nécessité d'une adaptation pour assurer la protection des eaux ,
- de nouvelles conditions sont posées pour les rejets d'eaux polluées suite à des renaturations ou d'autres modifications du milieu récepteur
- les conditions d'exploitation dans le réseau d'évacuation et dans la station d'épuration sont insatisfaisantes.

L'auteur d'un projet devrait d'une manière générale se fonder sur les normes actuelles, y compris lors d'une réhabilitation. Avant celle-ci, le besoin d'assainissement doit toutefois être examiné et justifié d'un point de vue financier. La rentabilité du projet doit ainsi également être démontrée.

Les bases relatives à l'adaptation des performances hydrauliques et techniques des installations seront élaborées dans le cadre du processus STORM ou de la vérification de l'admissibilité selon le module de base. Ce travail peut s'imposer par exemple après l'identification d'un problème ou dans le cadre du traitement du PGEE ou du PREE.

Si le fonctionnement d'une installation existante ou les conditions d'exploitation du réseau d'évacuation et de la station d'épuration sont insatisfaisants, la situation est en règle générale améliorée dans le cadre du traitement du PGEE ou du PREE. Si les émissions d'eaux à évacuer ou de polluants d'une ou de plusieurs installations sont modifiés, les conditions de protection des eaux doivent également être vérifiés selon STORM.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

ANNEXE

(extrait partiellement révisé de la directive conceptuelle STORM, VSA 2007)

A1 DONNÉES POUR LA PLANIFICATION DE MESURES DE PROTECTION SELON LE PROCÉDÉ STORM ET À L'AIDE DU LOGICIEL DE SIMULATION REBEKA II 44

A1.1 Données pluviométriques 44
A1.2 Données hydrologiques du bassin versant 46
A1.3 Données géométriques et hydrologiques du bassin versant naturel 48
A1.4 Données géométriques et hydrauliques des cours d'eau 50
A1.5 Données relatives au volume de matières polluantes dans la canalisation par temps sec 53
A1.6 Données relatives au volume de matières polluantes dans les canalisations par temps de pluie 54
A1.7 Données destinées au calcul des processus intervenant dans les cours d'eau 58
A1.8 Données destinées à l'évaluation de la température dans les cours d'eau en temps de pluie 61
A1.9 Données destinées à l'évaluation des problèmes hygiéniques en temps de pluie 63

A2 EXEMPLE D'APPLICATION DU PROCÉDÉ STORM À L'AIDE DU LOGICIEL REBEKA II 65

Avant-propos 65
Étape 1 : Introduction à la zone d'étude 66
Étape 2 : Identification des problèmes et besoin d'intervention 71
1 Identification des problèmes 71
2 Besoin d'intervention 73
Étape 3 Détermination des conditions de déversement 74
Étape 4 Détermination du procédé de planification 75
Étape 5 Élaboration 76
1 Schématisation du système d'assainissement actuel 76
2 Simulation globale des émissions au moyen du modèle SWMM (Stormwater Management Modell) 77
3 Définition du système pour les calculs effectués au moyen de REBEKA II – état actuel 78
4 Définition du système pour les calculs effectués au moyen de REBEKA II – phase de planification 79
5 Mise à disposition de données pour le calcul effectué avec REBEKA II 81
6 Calculs – état actuel 83
7 Résultats des calculs pour la planification future avec choix des mesures 86
Étape 6 Détermination des coûts des solutions techniques 88
1 Modification du système d'évacuation des eaux 88
2 Adaptation de la réduction de débit du BR Vogelherd 88
3 Adaptation du limiteur de débit au DO M15 et conséquences du stockage dans le canal de rétention et sur le traitement à la STEP 88
Étape 7 Discussion et interprétation des résultats 89
1 Recommandation pour la réalisation des mesures 89
2 Discussion générale des résultats 89
Étape 8 Contrôle d'efficacité 91
1 Contrôle d'efficacité des émissions 91
2 Contrôle d'efficacité des immissions 91
Résumé du procédé de travail et recommandations pour l'exécution d'une tâche de planification 92

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1.1 Données pluviométriques

Données nécessaires

Séries historiques de données pluviométriques destinées au calcul des débits pluviaux dans les zones urbaines afin de déterminer les impacts chimiques, physiques, hygiéniques et esthétiques sur le milieu récepteur en temps de pluie.

Application

Données de base pour la simulation à long terme.

Exigences

Durée de la période d'observation : minimum 5 ans, généralement utilisation d'une série pluviométrique de 10 ans.

Dans les petits bassins versants (< ≈ 400 ha), les données provenant d'une seule station pluviométrique suffisent (indications ponctuelles). Dans les bassins versants plus grands, il est recommandé de prendre en compte les données provenant de 2 à 3 stations (avec une densité de une station par 1 à 4 km^2).

Pas de temps nécessaire : 5 à 10 minutes.

Source des données

La Suisse dispose d'une quantité de données pluviométriques historique suffisante. En général, partout où des indications ponctuelles peuvent être utilisées, aucune nouvelle donnée pluviométrique n'est nécessaire. Les différences régionales sont suffisamment recensées par la quantité de données disponible. Le cas échéant, les données pluviométriques destinées au modèle de simulation utilisé doivent être converties dans le format approprié.

Les données initiales les plus importantes proviennent des stations ANETZ du SMA (www.meteoschweiz.ch). D'autres données émanent des réseaux cantonaux et communaux ainsi que d'études hydrologiques spécifiques.

D'autres données importantes sont les données déjà préparées pour les modèles de simulation utilisés en Suisse, comme par ex. MOUSE, SASUM, etc. Ces données sont disponibles chez les représentants des logiciels.

Certaines données pluviométriques sont directement implémentées dans le modèle de simulation REBEKA II, développé pour l'application du procédé STORM. Elles couvrent les différences régionales les plus marquantes en Suisse. Dans les cas fondés cependant, on peut également recourir à des données pluviométriques locales, soit directement (au cas où elles sont disponibles en format KMD), soit après une conversion de format.

Stations ANETZ	Période d'observation	Durée (ans)	Résolution (min)	Evénements (n/an)	Volume (mm/an)
Zürich-SMA	1986–1995	10	10	206	1161
Bâle Binningen	1986–1995	10	10	193	828
Lausanne	1986–1995	10	10	167	1170
Sion	1986–1995	10	10	138	643
Locarno-Magadino	1986–1995	10	10	89	1753

Ces données sont actualisées périodiquement avec le programme REBEKA II.

Indications

1) Toutes les données initiales doivent être examinées quant à leur exactitude. Les erreurs éventuelles provenant de la saisie, de l'enregistrement et de la transmission des données pluviométriques doivent être détectées et si possible corrigées. Cette vérification et les corrections éventuelles ne peuvent être effectuées que par des personnes spécialisées.

2) Lors de la préparation des données, il est important de connaître la façon dont ces données ont été préparées à partir des données originales. Il s'agit avant tout de la définition des événements de pluie individuels, du pas de temps et de la synchronisation temporelle. Par

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

exemple, la définition de la durée de temps sec influence considérablement les résultats de calculs, en particulier la fréquence des événements. On trouvera de plus amples informations dans les références bibliographiques recommandées.

Bibliographie

Einfalt T., V. Krejci and W. Schilling (1998) : Rainfall Data in Urban Hydrology, in : Hydroinformatics Tools, J. Marsalek et. al. (eds.), pp. 129–168, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

Harremoes, P., Editor (1984) : Rainfall as the Basis for Urban Run-off Design and Analysis, Water Science and Technology, Volume 16, Numbers 8/9, 368 p., Pergamon Press Oxford.

VSA (1994) : Données de pluie pour l'hydrologie urbaine, Projet 1 : Elaboration d'une méthodologie pour la préparation des données de pluie (en partie en français, en partie en allemand), Zürich, décembre 1994.

VSA (1997) : Données de pluie pour l'hydrologie urbaine. Directive concernant l'installation et l'exploitation de stations de mesure de pluie, la digitalisation des hydrogrammes et le traitement primaire et l'archivage des données de pluie. (français et allemand), Zürich, 1997.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1.2 Données hydrologiques du bassin versant

Données nécessaires

Paramètres pour le calcul des débits pluviaux dans une zone urbaine. Les données nécessaires sont définies par le modèle de simulation choisi.

Application

Dans les modèles utilisés, le ruissellement superficiel et le débit dans la canalisation jusqu'à l'installation de traitement ou jusqu'au déversement dans le milieu récepteur sont fréquemment calculés simultanément. Les deux processus les plus importants sont la fonction de production (passage de la pluie brute à la pluie nette) et la fonction de transfert (transformation pluie-débit)

Les précisions utiles et les consignes d'application se trouvent généralement dans les manuels correspondants aux différents modèles de simulation.

Données pour REBEKA II

Surface d'écoulement efficace [ha] = surface imperméable [ha] multipliée par un facteur de réduction de 0,7 à 0,9 (somme des pertes permanentes difficilement définissables).

Pertes initiales [mm]: Pertes par mouillage (0,5 à 1,0 mm) et interception dans les creux du terrain (centre-ville : 0,6 à 1,5 mm, zone péri-urbaine : 1,5 à 2 mm).

Constante de réservoir linéaire [min]: peut être estimée pour les zones urbaines comportant moins de 500 ha_{eff} selon les recommandations tirée du logiciel Canoe•:

$$K = 0{,}2538 \cdot (A_{eff}^{-0{,}0076} \cdot C_{imp}^{-0{,}512} \cdot J^{-0{,}401} \cdot L_{max}^{0{,}6})$$

K = constante de réservoir linéaire [min]
A_{eff} = surface du bassin versant [ha]
C_{imp} = part de la surface imperméable [%]
J = pente [-]
L_{max} = distance d'écoulement la plus longue [m]

Au cas où des données résultant de calculs de réseaux d'assainissement sont disponibles, la constante de réservoir linéaire peut également être introduite en tant que durée moyenne d'écoulement dans le bassin versant (temps de concentration + temps d'écoulement dans les canalisations).

Source des données

1) Données généralement utilisées : données découlant de mesures réalisées en hydrologie urbaine (données tirées de la littérature).
2) Données établies de manière spécifiquement locale (provenant de calculs, d'études et d'observations).

Indications

La superficie exacte des surfaces imperméables hétérogènes des zones urbaines et de trafic est impossible sans calibration du modèle. Toutefois, des écarts de ± 8 – 10 % sont également plausibles lors des mesures de débit.

En outre, la surface imperméable contributive à l'écoulement constitue une grandeur variable, pratiquement différente lors de chaque événement de pluie. Cette variation rend impossible toutes prévisions adéquates des volumes d'écoulement, particulièrement lors de faibles précipitations (< 5 millimètres). Lors de pluies abondantes (> 20 mm), la totalité des surfaces imperméables raccordées directement au réseau doit être prise en compte sans réduction. Le cas échéant, en fonction de la pente et de la nature des surfaces, les surfaces perméables situées dans la zone des canalisations doivent également être intégrées.

Dès lors, les incertitudes liées à la surface imperméable doivent être définies à l'aide d'un domaine de variation, dont les limites s'écartent au moins de 10 à 20 % de la valeur moyenne.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

La constante de réservoir linéaire n'est pas une grandeur constante, mais un paramètre variant en fonction du volume ruisselé. En principe, son influence sur les résultats est relativement faible dans les zones urbaines restreintes (< ≈ 200 à 500 ha_{eff}).

Les données concernant le temps de concentration, provenant par ex. du calcul hydraulique selon Imhoff, prennent en compte les conditions locales, par essence généralement plus précises que les paramètres des équations empiriques. En outre, ces données sont largement disponibles. Ainsi il est recommandé, pour la valeur moyenne de la constante de réservoir linéaire, d'appliquer la durée d'écoulement établie provenant du calcul selon Imhoff (Hörler, 1966).

La constante de réservoir linéaire peut être déterminée par estimation, mais également à partir des mesures d'écoulement pluvial. En pratique, cette méthode n'est toutefois guère appliquée par les ingénieurs.

Bibliographie

Bedient Ph. B. and W.C. Huber (1988) : Hydrology and Floodplain Analysis, Addison-Wesley Publishing Company, New York.

CANOE (2005) : Logiciel de simulation en hydrologie urbaine. http://www.canoe-hydro.com

DHI (2002) : Mouse Surface Runoff Models . Reference Manual, DHI Water and Environment, DHI Software 2002.

Gujer W. und P. Krebs (1997) : Siedlungsentwässerung, Vorlesungsskript ETH, Zürich.

Hörler A. (1966) : Kanalisation, Sonderdruck aus dem Ingenieur-Handbuch, Band II, 1966.

Rauch W., V. Krejci und W. Gujer (2000) : REBEKA, Schriftenreihe der Eawag Nr. 16, Eawag Dübendorf.

Viessman W. et al. (1977) : Introduction to Hydrology, Harper & Row, Publishers, New York.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

I.3 Données géométriques et hydrologiques du bassin versant naturel

Données nécessaires

Données pour l'estimation temporelle et quantitative du ruissellement superficiel provenant d'un bassin versant naturel en temps de pluie, situé en amont.

Les données nécessaires sont déterminées en fonction de la méthode choisie pour procéder à cette estimation.

Application

Le débit des petites cours d'eau en temps de pluie est souvent influencé immédiatement après le début de l'averse par les déversements en provenance des canalisations. Avec l'augmentation du débit provenant du bassin versant naturel en amont, la part du débit lié aux déversements par les canalisations diminue par rapport au débit total.

Dans le procédé STORM, il n'est pas nécessaire d'obtenir exactement le débit du bassin versant naturel, mais il est important d'estimer l'évolution du processus de mélange dans les cours d'eau (pour les types de cours d'eau voir tableau S2 dans ce module).

Dès que le débit provenant du bassin versant naturel joue un rôle significatif par rapport aux déversements d'eaux usées en un temps donné, des informations plus précises concernant l'écoulement provenant du bassin versant naturel s'avèrent superflues.

Données pour REBEKA II

La *surface du bassin versant* naturel doit être limitée (pour le procédé STORM) à une dimension significative. Cette surface partielle du bassin versant naturel doit comprendre tout au plus 10 fois la surface efficace de la zone urbaine examinée.

La *surface imperméable [ha]:* le facteur de réduction pour l'évaluation des pertes continues peut être estimé par exemple à l'aide des valeurs recommandées pour les coefficients de ruissellement liés à des surfaces perméables (selon Hörler, 1966) : 0,05 pour des zones plates ; 0,10 pour des zones à pente moyenne et 0,20 pour des zones en pente.

Les *pertes initiales [mm]* dans les bassins versants naturels se montent, selon les références bibliographiques (CANOE, 2005), à :

Pente J de < 0,5 % : 12 mm
Pente J entre 0,5 et 3 % : $2 + 4 \cdot (3 - J\%)$ mm
Pente J de > 3 % : 2 mm

La *constante de réservoir linéaire [min]* peut être déterminée, par exemple, au moyen de la formule suivante (CANOE, 2005) :

$$K = 2 \cdot (A_{eff}/100 \cdot L_{max})^{0,334}/(J + 0,0001)^{0,5}$$

K = constante de réservoir linéaire [min]
A_{eff} = surface du bassin versant [ha]
J = pente [-]
L_{max} = section de rivière la plus longue [m]

Source des données

1) Références bibliographiques (données empiriques)

2) Données établies de manière spécifiquement locale provenant de calculs, de mesures et d'observations.

Indications

L'examen du temps nécessaire au mélange des eaux usées et des eaux de rivière en relation avec la planification de mesures liées à l'assainissement urbain en temps de pluie n'a pas été effectué dans la pratique jusqu'à présent.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

La prise en compte de ce processus par REBEKA II est récente et liée à d'importantes incertitudes. Ces incertitudes se présentent notamment dans le modèle utilisé. Ainsi, en fonction de la tâche spécifique, l'importance du processus de mélange doit être clarifiée au moyen de l'analyse de sensibilité.

Le besoin d'un développement ultérieur du modèle utilisé ne peut être établi qu'en relation avec une demande dans la pratique. Cette question sera dès lors analysée en détail.

Bibliographie

CANOE (2005) : Logiciel de simulation en hydrologie urbaine. http://www.canoe-hydro.com.

Hörler A. (1966) : Kanalisation, Ing. Handbuch, Band II.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1.4 Données géométriques et hydrauliques des cours d'eau

Données nécessaires

Paramètres de la géométrie du lit du cours d'eau, de la nature du lit (rugosité et structure du fond) ainsi que des indications sur le débit d'étiage (débit minimal) dans le cours d'eau.

Ces paramètres peuvent varier en fonction du mode d'examen.

Application

Ces données sont utilisées pour le calcul des impacts chimiques et physiques sur des petites cours d'eau (voir chapitres 3.1 et 3.2 dans ce module).

Données pour REBEKA II

La *géométrie du lit* du milieu récepteur (largeur, pente du fond et pente de la berge) est établie à l'aide des valeurs moyennes d'une section correspondante du cours d'eau. La détermination des valeurs géométriques doit être entreprise de manière locale, après la définition de sections représentatives du cours d'eau.

L'estimation de la *rugosité du lit* selon Strickler est possible en utilisant les références bibliographiques (voir la proposition ci-dessous).

La *distribution granulométrique du lit du cours d'eau* doit être déterminée par des examens locaux : analyse à l'aide de tamis, analyse sur une ligne de la taille des fragments (Fehr, 1987), etc. Les références bibliographiques donnent un indice grossier de la granulométrie dans différents cours d'eau, ne pouvant toutefois remplacer en aucun cas un examen direct.

Les indications relatives au *débit d'étiage* sont nécessaires à l'évaluation de l'impact chimique sur le milieu récepteur après le mélange des eaux usées déversées avec le débit minimal du milieu récepteur. Pour le débit minimal, les valeurs situées entre $Q_{328} = Q_{90\%}$ et $Q_{347} = Q_{95\%}$ sont retenues. Les possibilités permettant de déterminer ces données sont décrites plus précisément dans le paragraphe « Source des données ».

Source des données

L'estimation de la rugosité du lit peut s'effectuer en utilisant les indications du tableau suivant. Des informations complémentaires sont disponibles par ex. dans la littérature spécialisée (Bollrich, 2000).

Constitution, nature des objets	k_{st} [$m^{1/3}/s$]
Ouvrage de maçonnerie grossier constitué de moellons ; berges pavées, lit constitué de sable et de gravier ; dalles de béton : vieux béton mal revêtu avec jointures béantes	45–50
Canaux réguliers sans gravier, lit de gravier fin à moyen (10–60 mm)	40
Canaux légèrement enherbés avec lit majeur légèrement marqué guidant le charriage de fond, gros gravier (50–150 mm) ; légère couverture végétale sur le fond du lit et sur la berge	35
Lits naturels jonchés de gros galets, cours d'eau à fort charriage de fond, gravier grossier jusqu'à amas de cailloux, bloc de pierre en vrac ; couverture végétale importante des berges	30
Cours d'eau sauvage comportant de gros galets (300 mm) ; canaux naturels avec forte couverture végétale	25
Cours d'eau fortement enherbé	20–25
Torrent à fort charriage de fond, galets irréguliers ; canaux naturels fortement enherbés	<20

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

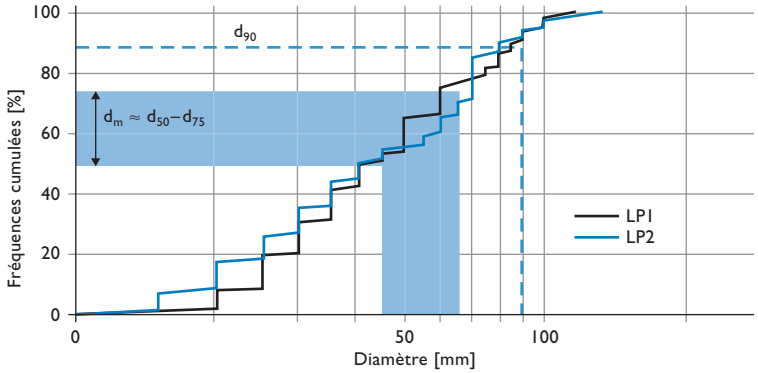
Distribution granulométrique du lit

Le tableau suivant donne une indication grossière quant à la granulométrie dans différents cours d'eau. Toutefois, il ne peut en aucun cas remplacer un examen direct.

Type de cours d'eau	d_m [mm]	d_{90} [mm]
Cours d'eau en région de plaine avec lit sablonneux	2	10
Cours d'eau situé en région vallonnée avec lit sablonneux jusqu'à gravier fin	10	25
Cours d'eau situé dans les Préalpes avec lit de gravier fin à grossier	30	70
Cours d'eau situé dans les Préalpes/Alpes avec lit de gravier grossier jusqu'à pierreux	60	110
Cours d'eau à pente raide avec lit pierreux jusqu'à rocheux	100	300

Le graphique suivant présente un exemple de distribution granulométrique du matériau de fond du Rohrbach à Russikon et provient d'une étude réalisée par l'Eawag. À cette occasion, 2 échantillons de la taille des fragments sur une ligne (Fehr, 1987) ont été mesurés. Pour l'échantillon LP1, 113 pierres sur une ligne de 10 m (granulométrie minimale 15 mm, granulométrie maximale 140 mm) ont été mesurées, pour l'échantillon LP2, 100 pierres sur une ligne de 10 m (granulométrie minimale 10 mm, granulométrie maximale 140 mm). Résultats : $d_m \approx d_{50}$ à $d_{75} \approx 45$ à 65 mm, $d_{90} \approx 90$ mm.

Distribution granulométrique du matériau constituant le lit



Débit d'étiage

Les débits d'étiage se produisent en fonction de la situation topographique et climatique à différentes saisons et à différentes fréquences. Sur le Plateau suisse, les débits d'étiage se produisent principalement au cours des mois de juin à octobre (environ 10 à 20 fois par mois). Dans les Alpes, les débits d'étiage sont observés principalement au cours des mois d'hiver (Aschwanden et Kan, 1999).

Au cas où le débit serait mesuré et évalué dans le milieu récepteur par une instance spécialisée, les données sur le débit d'étiage peuvent être directement établies (par ex. sur la base de l'annuaire hydrologique).

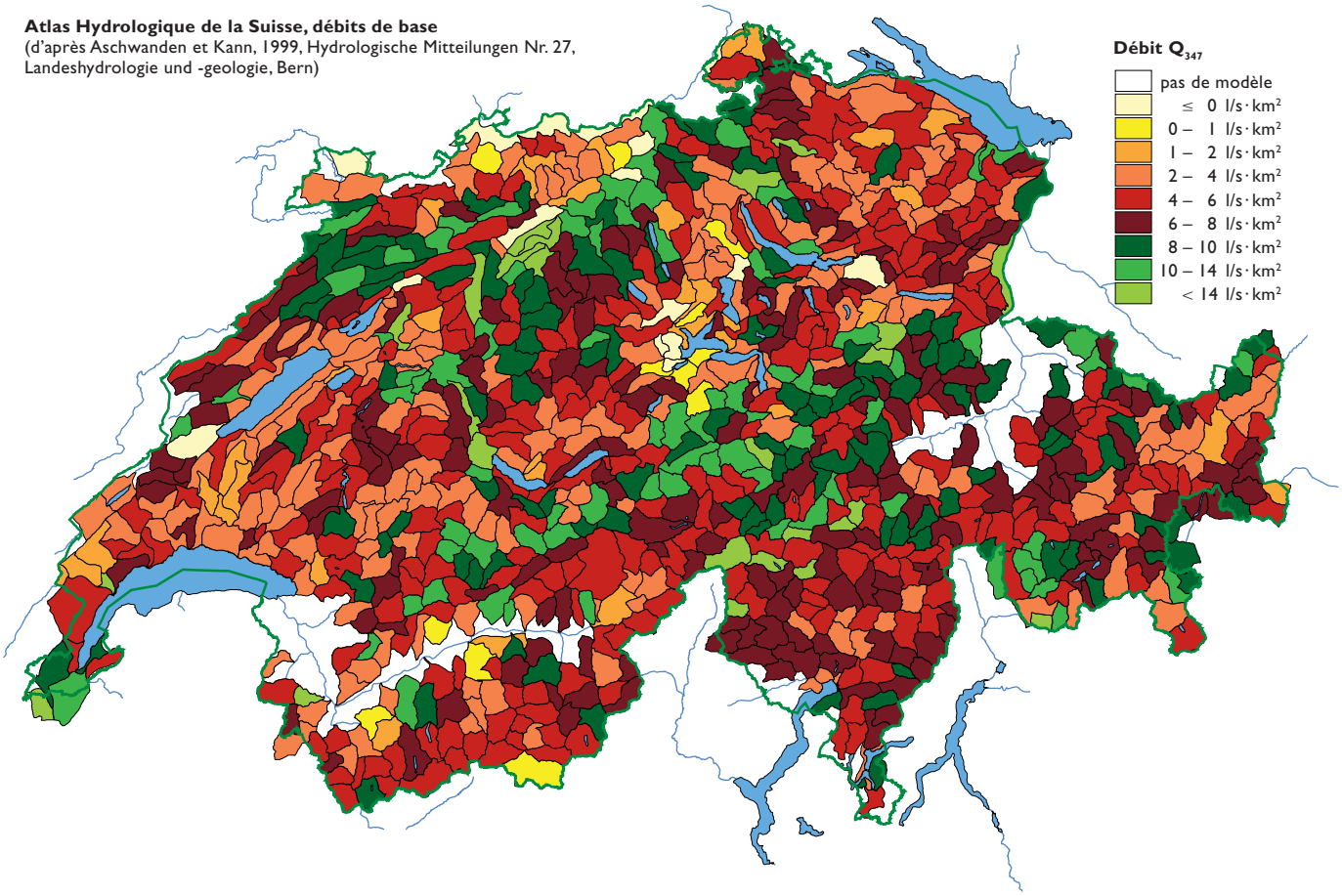
Au cas où des mesures de débit non (encore) évaluées sont disponibles dans le profil de rivière examiné ou à proximité, le débit d'étiage peut être déterminé sur la base d'une analyse statistique des données de débits mesurés. Les valeurs moyennes quotidiennement mesurées sur plusieurs années, comme elles le sont pour établir l'annuaire hydrologique, suffisent à cette évaluation.

Si aucune donnée ou mesure couvrant au moins une année n'est disponible, le débit d'étiage peut alors être déterminé au moyen d'autres méthodes, décrites par exemple dans les publications traitant de l'hydrologie et de la géologie nationale (Aschwanden, 1992 ; Aschwanden et Kan, 1999).

La carte à la page suivante (tirée d'Aschwanden et Kan, 1999) montre les différentes valeurs de débit d'étiage pour différentes régions en Suisse (Q_{347} en $l/s \cdot km^2$). Ces valeurs peuvent toutefois fortement varier, particulièrement sur le Plateau, même dans les régions à topographie et à climat identique.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Atlas Hydrologique de la Suisse, débits de base
(d'après Aschwanden et Kann, 1999, Hydrologische Mitteilungen Nr. 27, Landeshydrologie und -geologie, Bern)



À l'aide de l'analyse de sensibilité, il est toutefois possible d'examiner l'importance de ce paramètre pour la tâche en cours et de réduire ainsi les frais inhérents à la détermination de ce paramètre.

Indications

L'influence de toutes les données géométriques et hydrauliques sur les résultats est liée à la problématique examinée. Cette influence s'exerce généralement de manière perceptible jusqu'à forte. Les incertitudes peuvent être conséquentes, particulièrement dans les sections de cours d'eau hétérogènes. Aussi il est important que les paramètres géométriques soient définis localement et avec l'accord des spécialistes en écologie pour des sections de cours d'eau représentatives.

Bibliographie

Aschwanden H. (1992) : Die Niederwasserabflussmenge Q_{347} – Bestimmung und Abschätzung in alpinen schweizerischen Einzugsgebieten – Eine Arbeitsanleitung. Hydrologische Mitteilungen Nr. 18, Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Aschwanden H. und C. Kan (1999) : Die Abflussmenge Q_{347} – Eine Standortbestimmung. Hydrologische Mitteilungen Nr. 27, Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Bollrich G. (2002) : Technische Hydromechanik I., Verlag Bauwesen Berlin, ISBN 3-345-00744-4, 5. Auflage.

Fehr R. (1987) : Einfache Bestimmung der Korngrösseverteilung von Geschiebematerial mit Hilfe der Linienzahlanalyse, SIA 105(38), 1104–1109.

Rauch W., V. Krejci und W. Gujer (2000) : REBEKA, Schriftenreihe der Eawag Nr. 16, Eawag Dübendorf.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1.5 Données relatives au volume de matières polluantes dans la canalisation par temps sec

Données nécessaires

Ces données comportent des indications sur le volume des matières polluées en terme *d'ammonium,* de *matières en suspension (MES)* ainsi que sur les *sédiments* dans le réseau unitaire par temps sec.

Application

Ces données sont utilisées pour le calcul des contaminations par les eaux usées domestiques et industrielles ainsi que des contaminations par les sédiments érodés dans le réseau unitaire par temps de pluie.

Données pour REBEKA II

Le nombre *d'équivalents d'habitants* comprend outre les habitants permanents, les pendulaires, les industries locales, l'administration, l'hôtellerie, etc. Le *débit par temps sec* tient compte outre des eaux usées domestiques, également des eaux claires parasites. Les *eaux résiduaires industrielles* doivent être prises en compte, lorsqu'elles sont produites en grandes quantités.

La charge en *ammonium* [en g/habitant et jour] peut être estimée à partir des indications habituelles relatives aux eaux usées domestiques (= 6 à 8 g par habitant et par jour).

Les données relatives à la concentration de MES [mg/l] doivent être établies à partir des valeurs d'entrée dans la station d'épuration locale.

La *proportion des MES* pouvant former des *sédiments* dans le réseau unitaire par temps sec peut être importante. Si aucune étude locale n'est disponible, les données du tableau ci-dessous peuvent être utilisées. Aucune distinction n'est faite entre les différents types de sédiments (pellicule biologique, sédiments minéraux, sédiments organiques). L'ingénieur, sur la base de ses connaissances des sédiments présents dans le réseau d'assainissement, est en mesure de choisir une classe correspondante.

Classe	Description	Fraction de MES liée au sédiment
Classe 1	Aucune ou très faible accumulation de sédiments dans tout le réseau d'assainissement	0–10%
Classe 2	Les sédiments ne se trouvent que dans de rares sections, pente relativement forte, réseau d'assainissement en bon état	5–25%
Classe 3	Dépôts dans les canalisations principales, canalisations anciennes	20–40%
Classe 4	Faible pente dans le réseau d'assainissement, présence de sédiments dans pratiquement toutes les canalisations, particulièrement dans les canalisations principales	35–60%

Source des données

Littérature spécialisée, données provenant de mesures sur les eaux usées dans des stations d'épuration, données provenant d'examens effectués dans des conditions analogues.

Indications

Le débit des eaux usées et la masse de matières polluantes par temps sec sont caractérisés par des valeurs moyennes journalières. L'évolution journalière de la contamination est prise en compte par la variation des valeurs des différentes données. Les données locales doivent être utilisées.

Bibliographie

Gujer W. (1999) : Siedlungswasserwirtschaft, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, ISBN 3-540-65769-X.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1.6 Données relatives au volume de matières polluantes dans les canalisations par temps de pluie

Données nécessaires

Les données nécessaires comprennent les données relatives à la masse des matières polluantes liée à l'ammonium et aux matières en suspension (MES) provenant des surfaces urbaines et de trafic, la valeur du pH et l'alcalinité des eaux unitaires ainsi que des données sur la performance des installations de traitement.

Application

Ces données sont utilisées pour le calcul des charges polluantes rejetées par les eaux unitaires et le ruissellement pluvial dans le réseau séparatif avant et après un éventuel traitement dans différentes installations.

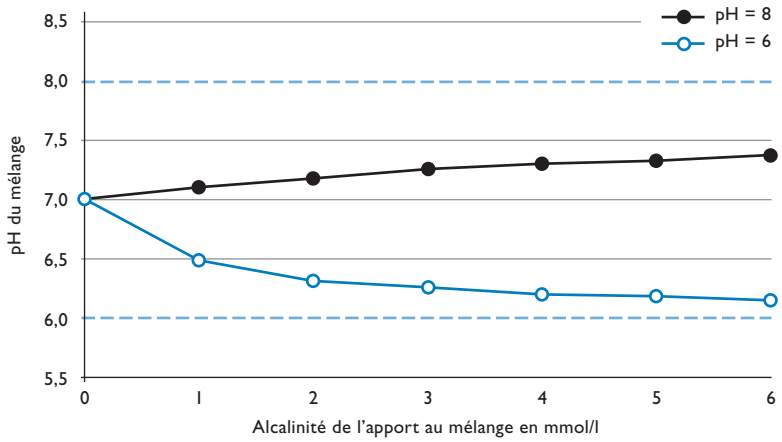
Données pour REBEKA II

Les *concentrations* moyennes en *ammonium* dans l'écoulement pluvial provenant des surfaces urbaines et de trafic en Suisse se situent dans une plage entre 0,5–1,5 mg N-NH_4/l. En plus des différences locales, il se produit également des fluctuations durant l'écoulement pluvial. Les différences locales peuvent être caractérisées par une valeur moyenne variable (0,5 mg N-NH_4/l pour un débit d'eau pluvial faiblement contaminé, 1,0–1,5 mg de N-NH_4/l pour un débit d'eau pluvial moyennement à fortement contaminé). Les fluctuations temporelles peuvent être prises en compte par l'attribution d'une plage de valeurs (± 50 %). A partir d'un rapport de l'ATV-DVWK (Brombach et Fuchs, 2002), reposant sur 41 études, il est possible d'estimer le N-NH_4 dans l'écoulement pluvial de surfaces urbaines et de trafic :

Valeur médiane : 0,8 mg N-NH_4/l, valeur de 25 % : 0,5 mg N-NH_4/l et valeur de 75 % : 1,5 mg N-NH_4/l. Ces valeurs correspondent aux données mesurées en Suisse (Rossi, 1998).

Le *pH des eaux unitaires* est un paramètre très sensible pour l'estimation de la toxicité liée à l'ammoniac. Les pH des eaux unitaires se situent généralement dans le domaine neutre (pH 7,0–7,5). Il n'est toutefois pas exclu que des pH se situent à plus de 7,5. Aussi le pH des eaux unitaires doit être déterminé par des relevés locaux (par ex. dans les stations d'épuration).

L'alcalinité des eaux unitaires caractérise la possibilité qu'a une eau à maintenir son pH constant. Ce paramètre, peu utilisé jusqu'à présent en assainissement urbain, est défini comme mesure de la quantité d'acide pouvant neutraliser une eau avant que son pH ne s'abaisse à 4,3. La relation entre l'alcalinité et le pH est illustrée dans l'exemple du mélange de deux volumes d'eau de quantité égale (voir la figure suivante). En l'occurrence, un volume montre un pH de 7,0 constant et une alcalinité de 3,0 mmol/l. Le deuxième volume mélangé au premier varie aussi bien en alcalinité (0–6 mmol/l) qu'en pH (6–8). Selon la définition, la pH résultant du mélange tend très fortement à diminuer le niveau du pH (6 ou 7) respectif. Cependant,



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

moins l'eau mélangée fait office de tampon, c.-à-d. détient un degré moindre d'alcalinité, moins elle agira de manière dominante sur la valeur du pH.

Si aucune donnée de mesure en matière d'alcalinité n'est disponible, les indications suivantes peuvent être utilisées :

Alcalinité des eaux unitaires		
Région	Provenance de l'eau potable	Alcalinité [mmol/l]
Nord des Alpes	Eau de source ou nappe souterraine	5–6*
	Eau de lac	4–5*
Sud des Alpes	Eau de source ou nappe souterraine	2–3

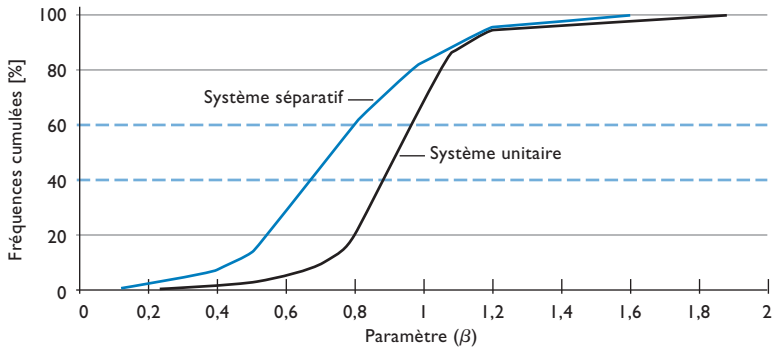
* les valeurs les plus hautes sont valables pour des quantités importantes d'eaux claires parasites (eaux souterraines)

Les *concentrations* moyennes en *matières en suspension (MES)* dans l'écoulement pluvial varient dans une très large plage de valeurs. Sur la base d'analyses effectuées dans les zones résidentielles et industrielles suisses, une valeur moyenne de 70 mg/l a été déterminée avec une plage s'étendant entre 30 et 300 mg/l. D'autres sources fournissent des plages de valeurs de grandeur comparable. Selon les indications des Directives VSA sur l'évacuation des eaux pluviales (VSA, 2002), les concentrations moyennes en MES contenues dans les eaux de ruissellement routières s'élèvent à 240 mg de MES/l, les eaux pluviales de toitures à pente importante entre 15 et 40 mg de MES/l. Des analyses effectuées sur les eaux de ruissellement de l'autoroute entre Zurich et Winterthur fournissent également des valeurs comparables : La valeur moyenne des concentrations en MES se situe à 110 mg/l (Dauber et al., 1979). Sur la base de 178 événements de pluie analysés, le rapport ATV-DVWK (Brombach et Fuchs, 2002) fournit les indications suivantes sur les MES contenues dans l'écoulement provenant des surfaces urbaines et de trafic : valeur médiane : 141 mg/l, valeur 25 % : 74 mg /l et valeur 75 % : 280 mg /l.

Si aucune donnée de mesure locale n'est disponible, les indications suivantes peuvent être utilisées en tant que valeurs moyennes (prise en compte des différences locales). Le domaine des valeurs (prise en compte de la variation temporelle) est également donné :

Type de la surface assainie	Concentration de MES [mg/l]			
	Valeur moyenne	Limite inférieure	Limite supérieure	Fonction de répartition
Zone résidentielle	50	30	100	log normale
Zone urbaine	100	50	200	log normale
Zones industrielles et artisanales avec une circulation routière importante	150	100	300	log normale
Routes principales	200	150	400	log normale
Autoroutes	150	100	300	log normale

Pour la description d'un éventuel *pic de pollution (« premier flot d'orage »)*, un paramètre (« valeur β ») est défini, caractérisant la masse polluante cumulée par rapport au volume des eaux usées cumulé (Rossi et al., 2004). Lorsque cette valeur correspond à $\beta = 1$, cela signifie que la relation entre la masse polluante cumulée et le volume des eaux usées cumulé est linéaire et qu'aucun pic de pollution ne se produit. Lors d'un pic de pollution, la courbe des fréquences cumulées s'incurve et la valeur de β est < 1.



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Les investigations de Bertrand-Krajewski (1998) ont permis d'examiner les valeurs de β dans différents réseaux d'assainissement unitaires et séparatifs. Lors de cette analyse, il a été établi que le premier flot d'orage est plus marqué dans les réseaux séparatifs que dans les réseaux unitaires (voir la figure page précédente selon Bertrand-Krajewski, 1998) :

Si aucune indication locale sur le caractère du pic de pollution n'est disponible, on propose provisoirement pour les réseaux unitaires l'utilisation de la valeur $\beta = 1$ (avec une plage de valeur située entre 0,6 et 1,3, distribution normale) et pour les réseaux séparatifs l'utilisation de la valeur $\beta = 0{,}7$ (avec une plage située entre 0,3 et 1,5, distribution log normal), (voir aussi Rossi *et al.,* 2004).

La *performance des installations* de traitement des eaux pluviales concernant l'élimination des MES relève principalement du type de traitement et des dimensions des installations. Le volume des eaux usées traité, dépendant essentiellement du volume d'eau pluvial, influence également la performance des installations.

La sédimentation dans un bassin décanteur peut être évaluée pour le débit maximal au moyen de l'équation suivante (Rossi et al., 2004) :

$$\mathbf{EFF = 1{,}0 - \{1{,}0 + V_s/[n \cdot (Q/A)]\}^{-n}}$$

EFF = Fraction de MES retenue, caractérisée par la vitesse de sédimentation [-]
V_s = Vitesse de sédimentation des particules (m/s), généralement entre 0,00011 et 0,00058 m/s
n = Facteur de turbulence et de courts-circuits (varie entre 1 = grandes turbulences et 5 = petites turbulences)
Q = Débit maximal (m^3/s)
A = Surface du bassin décanteur (m^2)

En tant que valeur par défaut, un rendement de 20 à 30 % (± 30 %) peut être accepté pour les bassins décanteurs. Les variations effectives du rendement peuvent être considérablement plus grandes.

Pour d'autres installations de traitement (séparateur lamellaire, séparateur par mouvement tourbillonnaire, massifs filtrants, etc.), les informations nécessaires quant au type d'installation, à sa dimension, aux conditions d'exploitation, etc. sont à rechercher dans les références bibliographiques ou alors chez le fournisseur de ces installations.

Source des données

Références bibliographiques, évaluations d'études en hydrologie urbaine.

Indications

Les données relatives à la production de matière polluante par temps de pluie reposent sur l'évaluation de mesures expérimentales effectuées en Suisse et (principalement) dans les pays européens. Comparée aux données collectées par temps sec, une détermination locale des données pour le temps de pluie n'est généralement pas possible dans le cadre de la planification de mesures (traitement de projets) ou pour le moins ardue. L'investissement en temps est trop important et trop onéreux, raison pour laquelle l'analyse de sensibilité sur les paramètres du modèle est d'une grande importance. Lors d'une influence excessive de certains paramètres, un examen local doit être envisagé.

Bibliographie

Baumgartner J. (2001) : Assainissement du Plateau de Frontenex : Etude du rendement du décanteur particulaire. Lausanne, EPFL, 56 pp + annexes.

Bertrand-Krajewski J.-L., Chebbo G., Saget A. (1998) : Distribution of pollutant mass vs. volume in stormwater discharges and the first-flush phenomenon. Water Research 32 (8) : 2341–2356.

Brombach H. und S. Fuchs (2002) : Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen von Trocken- und Regenwetterabflüssen in Misch- und Trennkanalisationen. Abschlussbericht des ATV-DVWK-Forschungsfond-Vorhaben 1/01, ATV-DVWK, Hennef.

Dauber L., B. Novak, J. Zobrist und F. Zürcher (1979) : Schmutzstoffe im Regenwasserkanal einer Autobahn, ETH/Eawag Separatum Nr. 740.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Davoli F., Pasteris G., Schweizer J., Cordonnier A. (2003) : Impact pollutif des eaux de ruissellement de zones industrielles de Genève sur leur milieu récepteur et conséquences sur les modes de dépollution. Lausanne, EPFL 133 pp + annexes.

Rossi L. (1998) : Qualité des eaux de ruissellement. Thèse de doctorat n° 1789 EPFL, Lausanne.

Rossi L., S. Kreikenbaum, W. Gujer und R. Fankhauser (2004) : Modélisation des matières en suspension (MES), GWA n° 10, pp. 753 – 761.

VSA (2002) : Regenwasserentsorgung – Richtlinie zur Versickerung, Retention und Ableitung von Niederschlagswasser aus Siedlungsgebieten.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1.7 Données destinées au calcul des processus intervenant dans les cours d'eau

Données nécessaires

Paramètres de l'état chimique des cours d'eau lors du débit minimal et paramètres de modèle en relation avec la sédimentation, l'érosion ainsi que la dégradation des matières organiques particulaires dans les cours d'eau.

Application

Ces données sont nécessaires à l'évaluation de la contamination chimique des cours d'eau selon les exigences définies.

Données pour REBEKA II

Si aucun indice de *contamination en amont du milieu récepteur par l'ammonium* (eaux usées épurées ou non épurées) n'est décelé, la valeur usuelle pour les eaux faiblement contaminées (0,1 g de $N\text{-}NH_4/m^3$) est utilisée. Pour les cours d'eau contaminés en amont, le type de contamination amont devra tout d'abord être clarifié (stations d'épuration, mauvais raccordements). La valeur maximale admise par l'Ordonnance pour la protection des eaux (1998) liée à des températures de l'eau dépassant 10 °C est fixée à 0,2 g de $N\text{-}NH_4/m^3$ (somme de $N\text{-}NH_4$ et $N\text{-}NH_3$). Le fait qu'en pratique ce maximum soit occasionnellement dépassé doit néanmoins être pris en compte.

Des données supplémentaires comme la *température de l'eau, le pH et l'alcalinité* sont nécessaires au calcul des concentrations d'ammoniac dans le milieu récepteur. Pour la distribution des températures tout au long de l'année, la température (minimale) de février et la température (maximale) d'août en °C sont introduites dans le modèle. Ces valeurs de température peuvent généralement être déterminées au moyen des indications existantes (offices cantonaux de la protection des eaux, NADUF, etc.). Le tableau suivant présente, à titre d'exemple, des valeurs de température pour différentes rivières provenant de la banque de données du NADUF. Ces valeurs reposent sur des valeurs mesurées à intervalles de 2 semaines, le plus souvent à la même heure.

Cours d'eau et station	Température [°C]				Nombre d'ans
	Valeur moyenne minimale	Valeur moyenne maximale	Minimum absolu	Maximum absolu	
Thur – Andelfingen	2,2	20,3	0,6	22,6	22
Glatt – Rheinsfelden	4,6	20,7	2,0	22,1	22
Aare – Brugg	3,9	20,4	1,7	21,6	22
Reuss – Mellingen	3,8	20,8	1,7	21,6	–
Limmat – Gebensdorf	4,2	21,7	2,8	23,8	18
Rhone – Porte du Scex	3,7	10,0	3,0	11,0	18
Ticino – Riazzino	3,9	14,7	2,7	17,1	12
Birs – Münchenstein	3,3	18,0	0,8	19,6	10

Le *pH et l'alcalinité* du milieu récepteur doivent être déterminés à partir d'indications (mesures) locales. Les données relatives aux pH mesurés sont généralement plus simples à déterminer que les données concernant l'alcalinité. L'alcalinité liée au débit minimal du milieu récepteur relève essentiellement de l'arrière-plan géologique et de la contamination par les eaux usées.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Si aucun examen portant sur l'alcalinité n'est disponible, les indications suivantes peuvent être utilisées :

Alcalinité des cours d'eau		
Région	Caractérisation détaillée	Alcalinité [mmol/l]
Nord des Alpes	Cours d'eau alimentés en grande partie par les eaux souterraines	5 – 6
	Petits cours d'eau du Plateau	4 – 5
	Grands cours d'eau	2 – 3
	Cours d'eau alpins	1 – 2
Sud des Alpes	Cours d'eau préalpins	< 1 – 2

Le tableau suivant rassemble des valeurs de mesure concernant l'alcalinité (mesurée en tant que bicarbonate) et du pH provenant des examens du NADUF en 1988 (le Tessin et la Birse en 1989, la Petite Emme en 1987) :

Cours d'eau et station	Bicarbonate [mmol/l]	pH mesuré
Ticino – Riazzino	1,08	7,8
Rhone – Porte du Scex	1,36	7,8
Rhein – Diepoldsau	1,87	8,0
Rhone – Chancy	1,92	8,0
Reuss – Mellingen	2,16	8,1
Limmat – Gebensdorf	2,41	8,0
Rhein – Rekingen	2,57	8,0
Aare – Hagneck	2,58	–
Kleine Emme – Littau	2,83	–
Rhein – Village-Neuf	2,64	8,0
Aare – Brugg	2,98	8,0
Saane – Gümmenen	3,21	–
Thur – Andelfingen	4,16	8,2
Glatt – Rheinsfelden/ZH	4,03	8,0
Birs – Münchenstein	4,22	–

Le tableau suivant présente les valeurs moyennes, minimales et maximales de l'alcalinité en 1993 (NADUF) :

Cours d'eau et station	Moyenne [méq/l]	Ecart-type [méq/l]	Min. [méq/l]	Max. [méq/l]	Nombre de mesures
Thur – Andelfingen	4,11	0,53	3,17	5,16	25
Glatt – Rheinsfelden/ZH	4,02	0,38	2,82	4,52	26
Aare – Brugg	3,00	0,38	2,46	3,80	24
Reuss – Mellingen	2,19	0,24	1,74	2,64	26
Limmat – Gebensdorf	2,51	0,18	2,12	2,73	26
Rhone – Porte du Scex	1,35	0,32	0,94	2,33	25

Le pH est mesuré régulièrement dans différents cours d'eau. L'annuaire hydrologique de la Suisse fournit également des indications portant sur la fluctuation des valeurs de pH. Les indications suivantes proviennent de l'annuaire hydrologique de 1993 :

Cours d'eau et station	pH valeur moy.	pH valeur max.	pH valeur min	Nombre de mesures
Thur – Andelfingen	8,3	8,6	8,1	25
Glatt – Rheinsfelden	8,1	8,3	8,0	25
Aare – Brugg	8,1	8,4	7,0	26
Reuss – Mellingen	8,1	8,4	7,9	26
Limmat – Baden	8,2	8,5	7,8	21
Rhone – Porte du Scex	8,2	8,4	7,9	26

En cas d'eutrophisation (abondante couverture de végétation), les valeurs du pH croissent généralement de 0,5 (jusqu'à 1,0).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

La contrainte critique d'érosion τ_{crit} constitue le critère essentiel agissant sur le mode de mobi-lisation des MES dans le milieu récepteur. τ_{crit} dépend de nombreux facteurs, particulièrement des conditions sous lesquelles se déposent les particules. En outre, le dépôt précédent
et les propriétés physiques des particules jouent un rôle substantiel. Les processus microbiens et les algues peuvent également mener à une stabilisation des sédiments et entraver une érosion ultérieure. Par ailleurs, la contrainte critique engendrant l'érosion diffère de section en section. Pour les sédiments fraîchement déposés, la valeur τ_{crit} nécessaire à la remise en suspension vaut env. $4{,}2 \pm 1{,}9$ (N/m^2). Des valeurs plus élevées de $5{,}9 \pm 1{,}5$ (N/m^2) ont été déterminées pour la remise en suspension de sédiments plus anciens. Des relations plus précises n'étant pas encore étudiées, nous proposons d'utiliser τ_{crit} comme variable aléatoire (distribution normale) dont la valeur moyenne correspond à 4,7 N/m^2, avec une plage de valeur située entre 2–7,4 N/m^2.

La *vitesse de sédimentation* des particules constitue un autre paramètre influençant la mobilisation des MES dans les cours d'eau. Les valeurs liées à la vitesse de sédimentation proviennent principalement de mesures en laboratoire sur des sédiments provenant de réseaux unitaires et séparatifs. Les vitesses de sédimentation dans les cours d'eau s'écartent néanmoins des valeurs mesurées dans des conditions de laboratoire. Afin de prendre ces écarts en considération, les valeurs mesurées en laboratoire peuvent être corrigées à l'aide d'un facteur. La vitesse moyenne estimée de sédimentation des particules en provenance des déversements dans les cours d'eau se situe entre 0,012 et 0,063 cm/s. Les particules des systèmes unitaires et séparatifs ne sont pas différenciées. Une valeur moyenne de 0,024 cm/s est proposée pour les calculs.

La *dégradation des matières organiques liées aux particules* déposées dans les cours d'eau est également prise en compte par le procédé STORM. Lors du calcul de la vitesse de dégradation, l'oxygène dissous n'est pas limitant (par hypothèse). Les MES provenant des déversoirs d'orage en réseau unitaire comportent une part importante de matières particulaires organiques et biochimiques dégradables. Dans une plus petite mesure, cette situation est également valable pour les matières particulaires présentes dans l'eau pluviale des canalisations de type séparatif. Le calcul d'une anoxie éventuelle dans le lit du cours d'eau repose sur une estimation de la consommation d'oxygène nécessaire à la dégradation des MES des eaux unitaires, soit 0,47 (0,23–0,65) g de O_2/g de MES. Pour l'eau pluviale des canalisations de type séparatif, cette valeur est de 0,15 (0,10–0,19) g de O_2/g de MES. La vitesse de dégradation peut être calculée au moyen d'un taux de dégradation de 0,24 (0,12–0,30)/jour. Le lit du cours d'eau est considéré comme un réacteur biologique.

Source des données

Ouvrages spécialisés.

Indications

À l'exception de certaines valeurs (par ex. le pH dans le milieu récepteur), la détermination expérimentale de données destinées au calcul des processus se déroulant dans le milieu récepteur est impossible à réaliser dans le cadre de la planification des mesures.

Une partie des données nécessaires peut toutefois être tirée des indications existantes (par ex. auprès des organes compétents en matière de protection des eaux). Pour d'autres données (essentiellement en relation avec la sédimentation et l'érosion de matières solides dans le milieu récepteur) on aura recours pour l'instant aux «valeurs par défaut».

Bibliographie

Rossi L., S. Kreikenbaum, W. Gujer und R. Fankhauser (2004): Modélisation des matières en suspension (MES) dans les rejets urbains en temps de pluie, Gas-Wasser-Abwasser, Nr. 10/2004.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1.8 Données destinées à l'évaluation de la température dans les cours d'eau en temps de pluie

Données nécessaires

Bassin versant : surfaces imperméables.

Débit de ruissellement : d'après la méthode rationnelle pour une durée de pluie T de 1 heure et un temps de retour de 2 ans (équation selon Hörler et Rhein : r = K / (T + B), les paramètres K, T et B sont décrits à la page suivante).

Température de l'écoulement pluvial : calculée (selon Rossi et Hari, 2004).

Milieu récepteur : débit minimal déterminant et température diurne maximale.

Température moyenne de l'air : uniforme pour toute la Suisse.

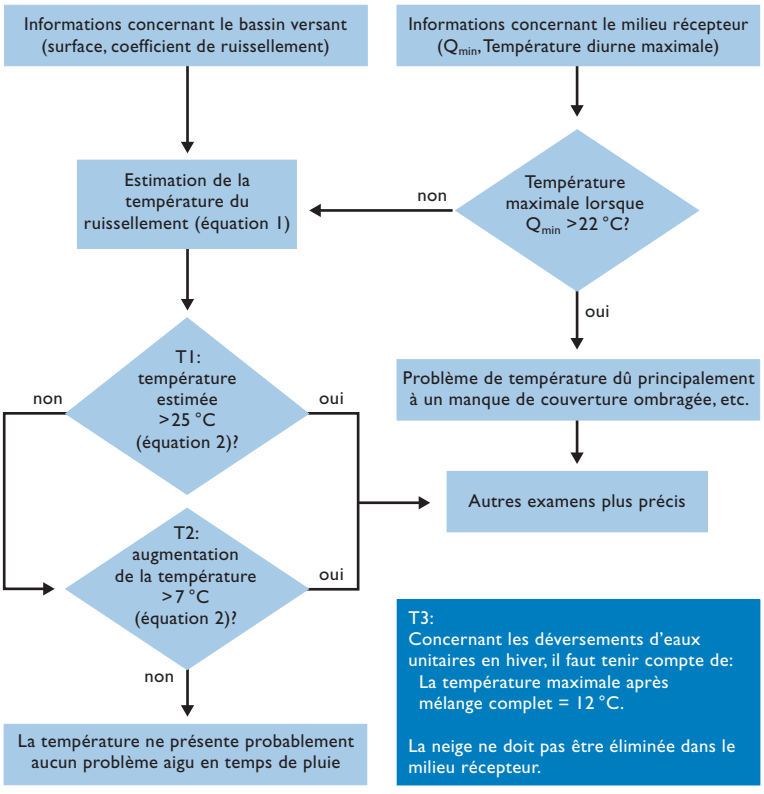
Coefficient de refroidissement : 20 – 30 %, peut toutefois être négligé («worst-case»).

Application

D'après la publication de l'Eawag relative au projet STORM : (Rossi et Hari, 2004).

$$T_{\text{eaux pluviales}} = (0{,}8 \cdot T_{\text{air}} + 5{,}2) \cdot (1 - c) \qquad \textit{Équation 1}$$

$T_{\text{eaux pluviales}}$: température moyenne de l'écoulement pluvial (°C)
T_{air} : température moyenne de l'air (°C)
c : coefficient de refroidissement



$$T_{\text{aval}} = \frac{Q_{\text{min}} \cdot T_{\text{amont}} + Q_{\text{eaux pluviales}} \cdot T_{\text{eaux pluviales}}}{Q_{\text{min}} + Q_{\text{eaux pluviales}}} \qquad \textit{Équation 2}$$

(Q_{min} / T_{amont} / $Q_{\text{eaux pluviales}}$: Pour les explications voir page suivante)

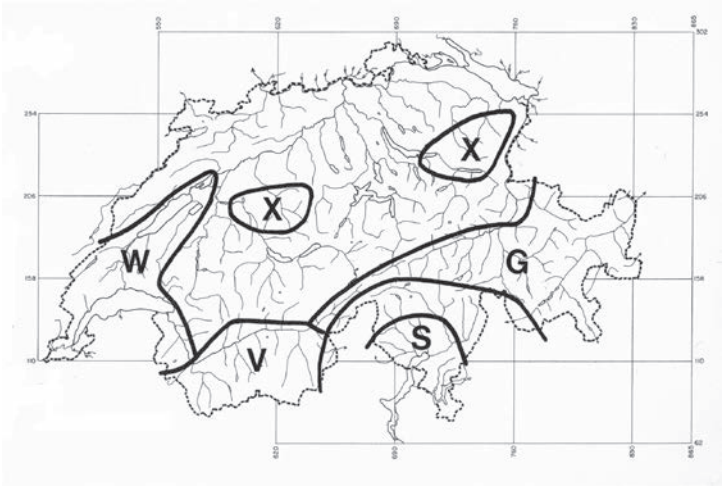
lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

T_{aval} : Température en aval du déversement (°C).
Q_{min} : Débit minimal en été au début d'un événement pluvial (l/s).
T_{amont} : Température en amont du déversement (°C).
$Q_{eaux\ pluviales}$: Débit du ruissellement calculé par ex. au moyen du temps de concentration pour un événement pluvial d'une durée de 1 heure et un temps de retour de 2 ans (l/s). Au cas où un problème de température est identifié ou mesuré, une analyse de sensibilité avec différents temps de retour est conseillée.

Source des données

Les données relatives à la *zone urbaine* doivent être déterminées individuellement.

Les *intensités pluviales* selon Hörler et Rhein sont généralement connues, lors du choix des constantes K et B, il suffit de prendre en compte les différentes zones d'intensité :



Valeurs numériques se rapportant aux zones d'intensité (Munz 1975) pour la formule suivante : $\mathbf{r = K / (T + B)}$ [l/s · ha]
K = f (n, lieu), T = durée pluviale déterminante en min., B = constante locale en min.

Zones d'intensité	Valeur de K pour fréquences n = 1 jusqu'à n = 1/10				Valeur de B
	1	1/2	1/5	1/10	
V	1050	1359	1700	2100	6
G	1900	2450	3000	3750	10
W	2700	3500	4300	5400	12
X	4050	5250	6500	8100	12
S	6000	7800	9600	12000	25
Autres domaines	3400	4400	5400	6750	12

Données du milieu récepteur : débit minimal déterminant (par ex. Q_{347}, voir Outil de travail chapitre A1.4). Les données concernant les températures diurnes maximales peuvent être obtenues, après des organes cantonaux en matière de protection des eaux :

1) mesures NADUF (voir aussi Outil de travail chapitre A1.7),
2) stations de mesures cantonales sur les cours d'eau,
3) estimations en s'appuyant sur des conditions comparables.

La température moyenne de l'air en Suisse est choisie uniformément à 21 °C.

Conseils

Si ce procédé n'aboutit pas à des résultats sans équivoque (cas limites), un examen plus précis devrait être envisagé (par calcul ou expérimentalement). Dans ce cas, on fera appel à des spécialistes.

Bibliographie

Munz W. (1975) : Abwasser, Lehrmittelverlag Juventus, Zürich, 2. Auflage.

Rossi L. und R. Hari (2004) : (en Allemand) Rejets urbains de temps de pluie et température des cours d'eau. GWA Nr. 11 pp. 795–805.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1.9 Données destinées à l'évaluation des problèmes hygiéniques en temps de pluie

Données nécessaires

Au cas où un risque pour les lieux de baignade et de promenade n'est pas exclu, en lien avec des déversements d'eaux usées en temps de pluie, les données suivantes sont nécessaires :

Volume et durée des déversements d'eaux usées
- Lors de déversements directs : résultats de la simulation à long terme.
- Lors de déversements indirects (à l'embouchure d'un cours d'eau contaminé dans le voisinage d'un lieu de baignade) : données concernant les déversements d'eaux usées et le débit minimal du cours d'eau.

Concentrations d'E. coli : dans les eaux usées déversées respectivement les eaux du cours d'eau.

Conditions spatiales
- Lors de déversements directs : localisation des déversements directs et des lieux de baignade.
- Lors de déversements indirects : localisation des lieux de baignade par rapport à l'embouchure du cours d'eau contaminé.

Données relatives au milieu récepteur
- pour les cours d'eau : débit d'étiage, conditions de courant et de mélange.
- pour les lacs : température de l'écoulement pluvial, profil de température du lac, profondeur de l'eau et conditions de courant dans le voisinage du déversement.

Dégradation des E. coli dans l'eau de baignade
- dans l'eau (eau courante).
- dans le lit du cours d'eau (dans les sédiments).

Données provenant d'examens hygiéniques : pour autant qu'elles soient disponibles.

Application

Selon le procédé proposé dans la publication de l'Eawag relative au projet STORM (Kreikenbaum et al., 2004).

Source des données

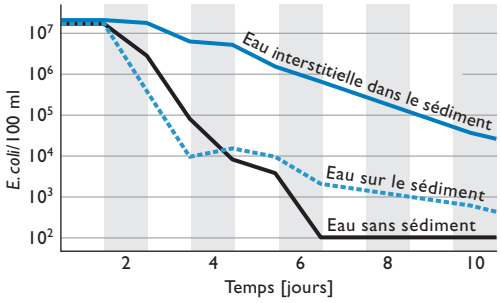
Volume et durée des déversements d'eaux usées : détermination individuelle.

Concentrations d'E. coli/100 ml, dans les eaux usées déversées :
- déversoirs d'orage en réseau unitaire : 10^4–10^7, valeur médiane $8{,}3 \cdot 10^5$.
- réseau séparatif : 10^1–10^5, valeur médiane $1{,}5 \cdot 10^3$ (selon la présence de mauvais raccordements).

Conditions spatiales : détermination individuelle

Données relatives au milieu récepteur : détermination individuelle

Dégradation des E. coli dans les eaux de baignade :



Bibliographie

Kreikenbaum, S. H. Güde, V. Krejci, L. Rossi (2004). Problèmes hygiéniques par temps pluie. GWA 11 (2004) : 807–815.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Exemple d'application

Rivière Dorfbach à Goldach

Avant-propos

L'exemple d'application « Dorfbach Goldach » se rapporte à la planification conceptuelle du traitement des eaux pluviales d'un secteur des communes de Goldach et d'Untereggen. Cette planification a été réalisée selon les préceptes du projet STORM. Les quatre communes de Goldach, Rorschach, Rorschacherberg et Untereggen ont élaboré un Plan Général d'Evacuation des Eaux commun pour la zone d'étude, dénommé « PGEE Regio Rorschach ». Différents documents provenant de ce PGEE, en particulier le rapport sur l'état des cours d'eau ainsi que des indications sur le volume d'eaux usées et le réseau d'assainissement ont pu être utilisés.

La discussion de cette problématique est basée sur des informations réelles. Cependant, certaines indications ont été modifiées en vue de la discussion et de l'illustration du procédé STORM. De plus, l'exemple n'a pas été documenté en détail pour chaque étape, puisque le but visé consiste à mettre en évidence les différentes étapes de travail ainsi que le procédé appliqué sur un exemple « réel ».

Nous exprimons ici nos vifs remerciements à la commune de Goldach pour le soutien qu'elle nous a offert et la mise à disposition des documents du PGEE.

Indications concernant le traitement et la documentation de l'exemple de planification Dorfbach Goldach

L'exemple d'application est illustré au moyen de 8 étapes d'élaboration. Les étapes 1 à 8 présentent les différentes phases de travail. Ces étapes d'élaboration sont finalement résumées et complétées avec des recommandations pour une planification des mesures selon le procédé STORM. Le traitement des différentes phases du projet est réalisé par le biais de collaborations au sein de l'équipe de projet, en alternance entre les personnes-clé et les décideurs.

Le procédé de travail choisi et la détermination des différentes étapes d'élaboration reposent sur les indications données dans le chapitre 1.1 de ce module et sur les résultats des discussions intensives de cette tâche de planification au sein de la Commission VSA-PGEE.

Le programme de simulation REBEKA II a été choisi comme moyen de calcul pour le traitement de cette tâche hautement exigeante. C'est actuellement l'unique logiciel de calcul financièrement acceptable, répondant aux principes du procédé STORM. La version II disponible n'est toutefois adaptée aux systèmes d'assainissement plus complexes que sous certaines conditions. Dès lors les calculs effectués au moyen de REBEKA II ont encore été vérifiés ultérieurement à l'aide d'un programme déterministe détaillé.

L'exemple met distinctement en évidence l'interdépendance entre ingénieurs et scientifiques lors du traitement de cette tâche de planification. Il s'agit non seulement de la division des tâches, mais encore de la communication interdisciplinaire durant tout le processus de traitement.

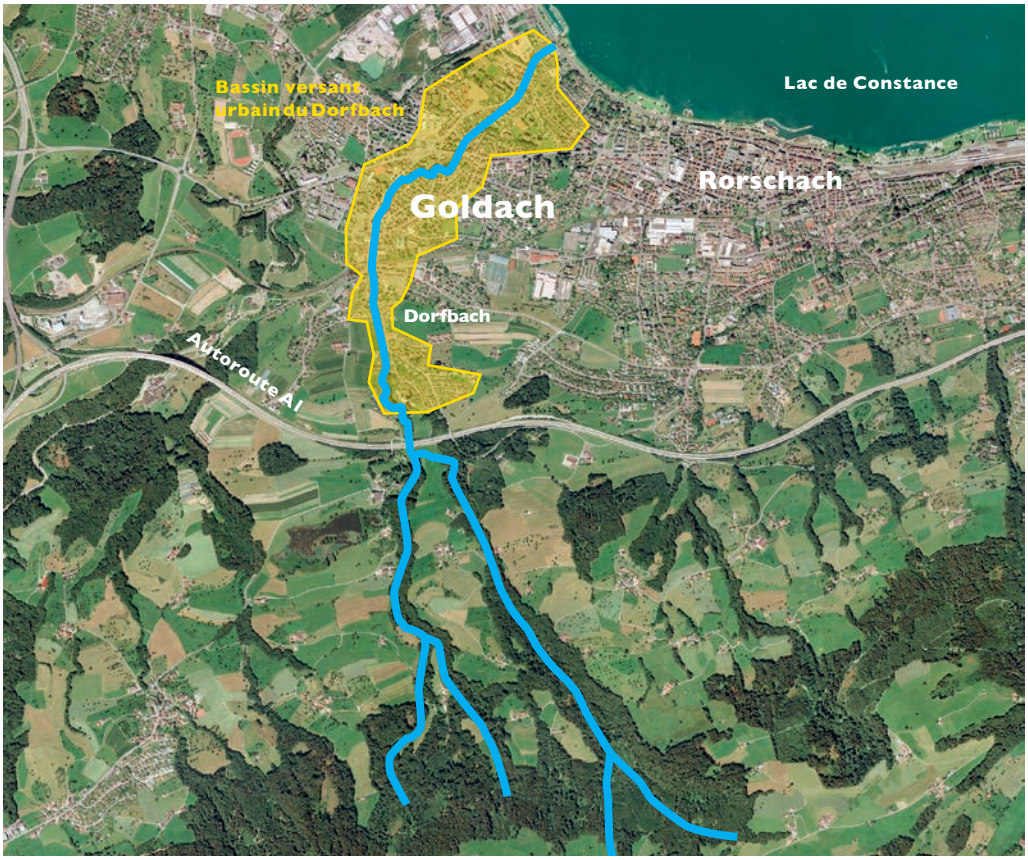
Il est tout à fait possible que dans d'autres projets le déroulement de la planification proposée ainsi que le procédé par étape doivent être adaptés individuellement ou modifiés entièrement. L'exemple suivant ne doit pas servir tel quel comme modèle à « copier », mais comme contribution à la compréhension de cette problématique complexe et comme stimulation au perfectionnement par rapport à la pratique exercée jusqu'à présent.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Étape 1 : Introduction à la zone d'étude

L'illustration suivante montre l'emplacement de la zone d'étude de Goldach, le cours du Dorfbach et son embouchure dans le lac de Constance.

***Figure 1**: Goldach (St-Gall), situé entre la région vallonnée d'Appenzell et le lac de Constance.*



L'autoroute A1 passe au-dessus de Goldach et comporte une section d'environ 4 km qui déverse ses eaux pluviales dans le Dorfbach sans installation de prétraitement.

La région des sources du Dorfbach comprend le bassin versant du Wittenbach et du Bettlerenbach ainsi que dans une moindre mesure l'étang Schlossweiher. Les deux affluents prennent leur source sur la crête dans le Hochi à environ 900 m. Après la confluence du Wittenbach et du Bettlerenbach à proximité de l'autoroute (A1) St-Gall – St. Margrethen, le cours d'eau prend le nom de Dorfbach (altitude d'env. 500 m). Celui-ci traverse l'agglomération de Goldach et se jette après environ 2 km dans le lac de Constance à proximité du port de Goldach. Dans l'agglomération, le cours d'eau est fortement corrigé, avec un lit essentiellement compacté et endigué à plusieurs endroits. Les fonctions les plus importantes de ce cours d'eau se rapportent à la protection contre les crues et à l'évacuation des écoulements en temps de pluie provenant de l'agglomération et de l'autoroute. Selon le rapport sur l'état des cours eaux, le cours d'eau possède également une valeur écologique. Quelques poissons isolés ont pu être observés.

Le 13.02.2005 (après 2 jours de neige de pluie) le débit dans la zone urbaine s'élevait à environ 100 à 150 l/s, le 05.04.2005 (par temps sec) il n'atteignait que 30 à 50 l/s. Le débit d'étiage peut être estimé à environ 10 à 20 l/s. Malgré de nombreuses chutes, la pente du Dorfbach est relativement forte (estimation : 1–5 %). Par endroits, la pente est cependant si faible que des accumulations de matières particulaires fines peuvent se former.

Le cours d'eau se jette dans le lac de Constance à proximité du port (altitude d'env. 400 m). Selon les indications de la commune, les rives du lac aux alentours de l'embouchure sont intensément utilisées (promenade, accès à l'eau, sport nautique [club de voile] et partiellement baignade non surveillée). Au voisinage de l'embouchure, la profondeur du lac est

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

relativement faible (< 1 m). À environ 10 m du rivage, la profondeur augmente sensiblement. Le 13.02.2005, les eaux troubles du cours d'eau étaient encore distinctement visible dans le lac après leur déversement.

Les surfaces urbanisées et les surfaces de trafic situées dans le bassin versant du Dorfbach sont généralement assainies par un système unitaire. Dans la partie supérieure, l'écoulement pluvial provenant de l'autoroute A1 est déversé dans le Dorfbach. Plusieurs déversoirs d'orage s'y jettent également en milieu urbain. Le tableau 1 ci-dessous réunit les données pour les calculs

***Tableau 1**: Données caractérisant l'assainissement urbain dans la zone d'étude, état réel en 2000. (BR: Bassin de rétention, DO: déversoir d'orage, BI: bassins d'interception, BD: bassins décanteurs).*

PGEE région Rorschach – état actuel 2000					
Bassin versant	Surface imp. en système unitaire	Nombre habitants	Ouvrages d'évacuation / déversoirs d'orage		
	ha_{red}		Nom / Rivière	Volume en m^3	Q_{aval} l/s
Eggersriet	10,14	1620	BR Eggersriet Rivière: Goldach	235 BI 200 BD	32
Vogelherd	4,48	708	BR Vogelherd Rivière: Goldach	170 BD	180
Goldach A0	1,98	476	DO A0 Rivière: Dorfbach	0	140
Goldach D6	5,97	1040	DO D6 Rivière: Dorfbach	0	210
Goldach MI5	6,92	1900	DO MI5 Rivière: Dorfbach	0	360
Goldach Rietberg	4,95	1856	BR Rietbergstr. Rivière: Dorfbach	120 BD	90
Autoroute A1 (Eau de ruissellement)	0,80	–	Rejet dans le Dorfbach	–	–

Les modifications intervenues entre l'état actuel (~2000) et l'état de planification selon la PGEE de la région de Rorschach (tableau 2) concernent:

- la réduction des surfaces assainies par le système unitaire, entraînée par la modification (déjà partiellement réalisée) du système unitaire (déversement direct et/ou infiltration des eaux pluviales provenant des toits et des routes) à Eggersriet, Untereggen (BR eaux pluviales Vogelherd) et Goldach (DO A0 et D6),

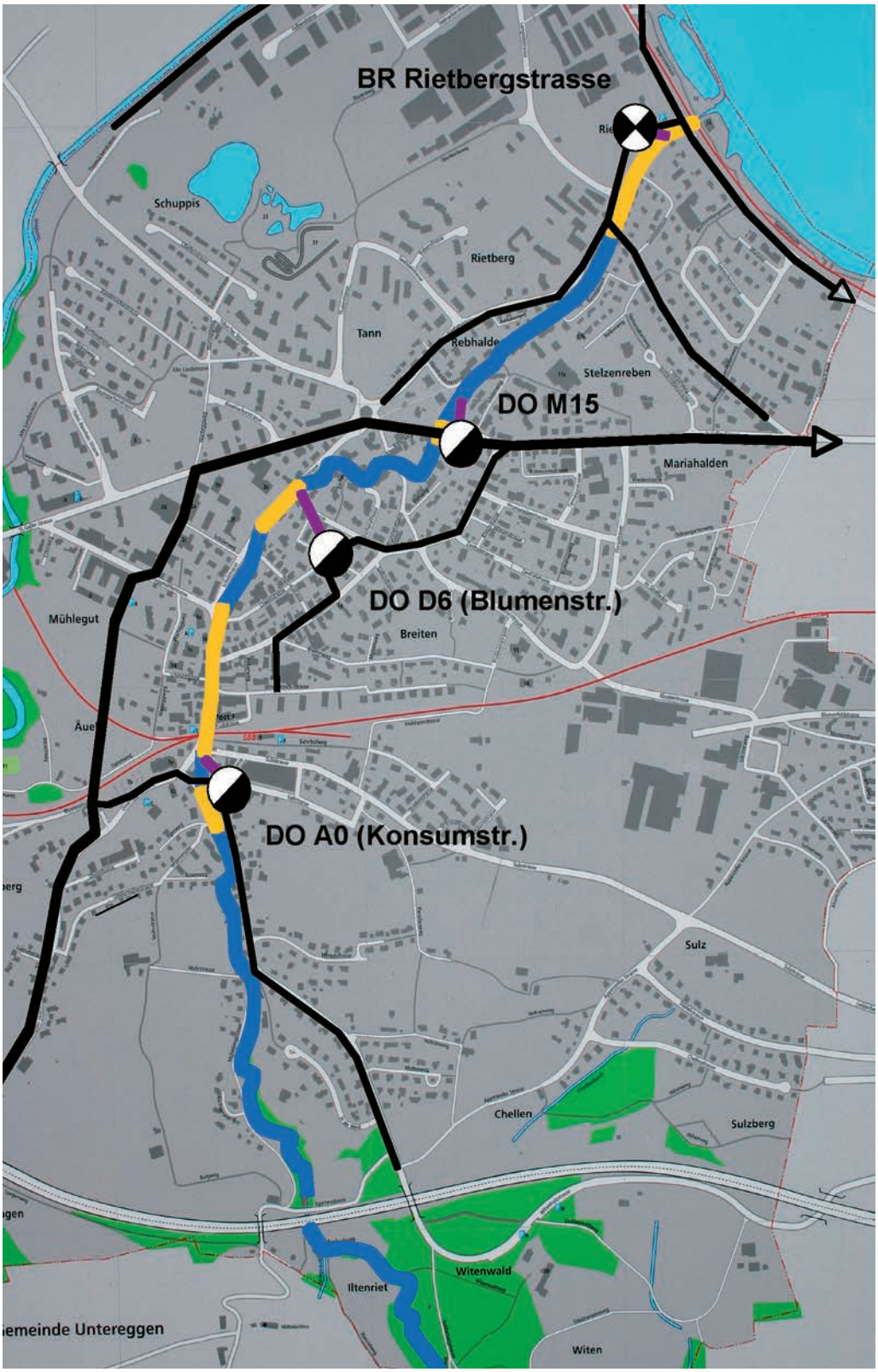
***Tableau 2:** Données caractérisant l'assainissement urbain dans la zone d'étude, état de planification futur selon PGEE.*

PGEE région Rorschach – Planification selon PGEE					
Bassin versant	Surface imp. en système unitaire	Nombre habitants	Ouvrages d'évacuation / déversoirs d'orage		
	ha_{red}		Nom / Rivière	Volume en m^3	Q_{aval} l/s
Eggersriet	9,13	2130	BR Eggersriet Rivière: Goldach	235 BI 200 BD	32
Vogelherd	3,47	1533	BR Vogelherd Rivière: Goldach	170 BD	50
Goldach A0	1,71	630	DO A0 Rivière: Dorfbach	0	140
Goldach D6	3,92	725	DO D6 Rivière: Dorfbach	0	210
Goldach MI5	8,46	2787	DO MI5 Rivière: Dorfbach	0	760
Goldach Rietberg	7,24	2461	BR Rietbergstr. Rivière: Dorfbach	120 BD	90
Autoroute A1 (Eau de ruissellement)	0,80	–	Rejet dans le Dorfbach	–	–
Surfaces supplémentaires assainies en séparatif (dans BV du Dorfbach: A0 et D6)	2,30		Rejet dans le Dorfbach		

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

- l'accroissement de la population,
- la capacité de réduction du débit dans le BR et dans le DO Goldach M15,
- l'accroissement des surfaces assainies par le système unitaire engendré par les nouvelles zones de construction et à la modification du système unitaire à Eggersriet, Untereggen (BR Vogelherd ; tous deux situés dans le bassin versant du Goldach) et Goldach (DO A0 et DO D6 ; tous deux situés dans le bassin versant du Dorfbach).

***Figure 2** : Aperçu du concept de déversement de Goldach et aménagement des eaux. Jaune : sections du cours d'eau endiguées, bleu : sections du cours d'eau se trouvant à l'air libre, DO : déversoir de crue (déversoir d'orage), BR : bassins de rétention.*



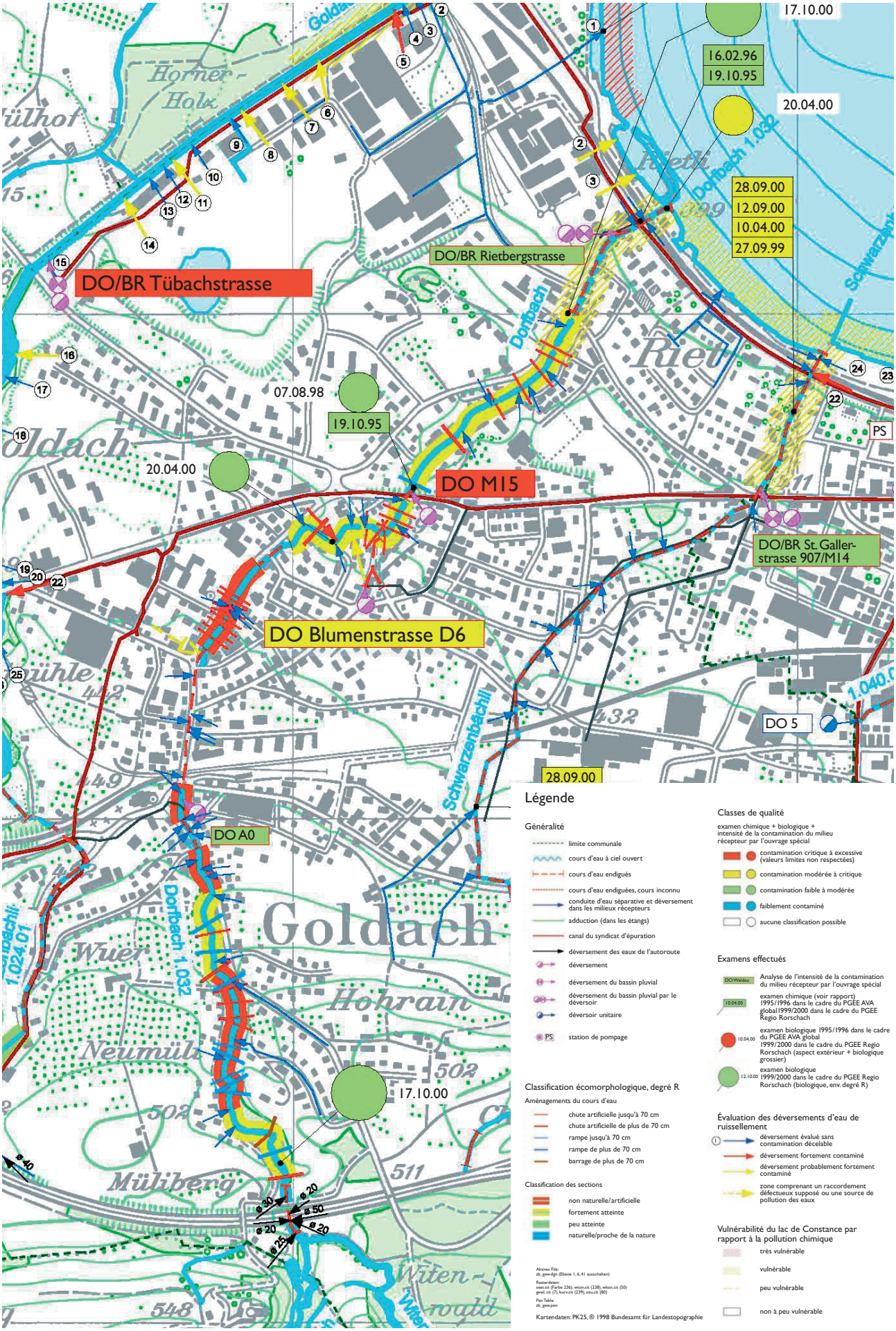
lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

***Figure 3** : Documents photographiques pris lors de l'inspection du cours d'eau.*

- ⏫ *Embouchure dans le lac de Constance.*
- ▲ *Point de déversement du DO M15.*
- ▶ *Section du cours d'eau en aval du DO M15.*
- ▼ *Section du cours d'eau en amont du DO M15.*

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Figure 4: *Extrait du plan sur l'état des cours d'eau.*



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Étape 2: Identification des problèmes et besoin d'intervention

1 Identification des problèmes

Dorfbach

Selon le rapport sur l'état des cours d'eau de 2000/2001 (PGEE Regio Rorschach), le Dorfbach est considéré comme « cours d'eau digne de protection ». Il s'écoule essentiellement à l'air libre et dispose d'un bassin versant relativement intact au-dessus de l'autoroute. Sa faune et sa flore sont qualifiées de variées. Des impacts essentiellement morphologiques mais aussi partiellement chimiques ont été relevés dans la zone urbaine. La conclusion du rapport sur l'état des cours eaux mentionne que la fréquence des déversements ainsi que l'intensité de la contamination doivent être vérifiées par de nouvelles données et recommande – éventuellement comme mesures à court terme – l'aménagement d'ouvrages (bassins pluviaux) pour les *déversoirs d'orage* (DO) A0, D6 et M15. Des mesures permettant la réduction de la contamination par les métaux lourds (provenant des eaux de ruissellement de l'autoroute A1) doivent également être examinées. Au préalable, des mesures doivent être engagées pour la création d'espaces refuges destinés aux organismes aquatiques et pour l'amélioration de l'écomorphologie.

Les données délivrées par le rapport sur l'état des eaux ont été complétées par un examen supplémentaire en avril 2005. Sur la base des indications données par une simulation simplifiée, une vérification a été effectuée au moyen d'une évaluation écologique globale des milieux aquatiques et une matrice d'évaluation se rapportant à la section située en aval du DO M15 a été établie (tableau 3).

***Tableau 3**: Matrice d'évaluation pour la section du cours d'eau Dorfbach située entre le DO M15 et l'embouchure dans le lac de Constance. Les couleurs (vert, gris) soulignent l'importance des différents paramètres, l'intensité de l'impact sur la qualité de l'eau et sur le lit du cours d'eau ainsi que l'intensité de l'impact sur les organismes.*

Projet	**PGEE Regio Rorschach**	Date de l'examen / base	PGEE Regio Rorschach (2000), examen du 8.8.2005	*Matrice d'évaluation Cours d'eau*
Milieu récepteur	Dorfbach	Section / site	DO M15 – DO / BR Rietbergstrasse	

Hydrologie	Estimation (E) Calcul (C)							
Surface BV (km^2)	Longueur de la section (km)	Largeur du cours d'eau (m)	Profondeur d'eau moy. (m)	Débit estimé (l/s)	Q_{347} (étiage) (l/s)	Altitude max.	Altitude min.	Pente moyenne (%)
	0.7	2-3	0.1	30-50	15-30	415	400	2
Remarques								

Ecomorphologie	Classification moyenne	meilleure	pire	Variabilité en largeur (moy.)	Végétation riveraine	Déficit principal
Section considérée	Fortement atteinte	Fort. atteinte	Fort. atteinte	Faible	Souvent manquante	Renforcement pied de la berge
Section en amont	Non naturelle / artificielle	Non nat./ artificielle	endiguée	Aucune	Souvent manquante	Renforcement pied de la berge
Remarques	nombreuses chutes artificielles, certaines > 70 cm					

Indications pour les déversements des eaux usées (installations)							
Désignation	DO M15	Volume déversé (m^3/an)	18'000	Fréquence (nombre/an)	20	Durée (h/an)	10
Remarques	Durée du rejet par événement env. 20 à 30 min.						

Aspect général		*Hygiène*		*Physique*		*Chimie*				*Matières en suspension*				*Biologie*			
Matières grossières	Autres éléments	Baignade, jeux	Eau potable	Impacts hydrauliques	Température	NH_3	Oxygène	Substances nutritives	Autres substances, p.ex micropolluants	Colmatage	Turbidité	Sédiment toxique	Fond en anaérobiose	Diatomée	Couverture végétale	Invertébrés aquatiques	Poissons
Aucune	Peu de mousse			Problématique		Dépassement des limites pour 1 relevé sur 2	Aucun problème présumé, suffisamment de turbulences	Valeurs limites de nitrite dépassées, nitrate élevé		Indéniable	Aucune		FeS isolé	Contamination modérée	Présence sporadique de vauchérie (algue jaune-verte)	Contamination faible à modérée	Peu de poissons, probablement en raison du stress hydraulique lors des événements de rejets pluviaux

Remarques
Effets des rejets essentiellement reconnaissables au colmatage. Facteur principal du problème : MES.

Légende	Paramètre déterminant	oui	non

Problèmes avec	Situation en temps de pluie	fort	moyen	faible	aucun	Situation par temps sec	fort	moyen	faible	aucun

AquaPlus Elber Hürlimann Niederberger

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Les déficits écologiques peuvent être résumés de la manière suivante :

- Écomorphologie : actuellement, la forte densité de construction compromet sérieusement les possibilités de remontée et de refuge pour les poissons et la faune benthique. L'état écomorphologique est jugé fortement dégradé dans la section du cours examinée et de non-naturel/artificiel dans la section amont (en dessous de l'autoroute, les berges sont constituées de blocs en vrac ou de béton sur quasiment toute la longueur).
- Le stress hydraulique constitue une nuisance cruciale pour la faune piscicole et les autres organismes, néanmoins aucune information plus précise permettant d'évaluer cette problématique n'est actuellement disponible.
- Qualité de l'eau : sur la base de l'évaluation des diatomées, la qualité de l'eau a été qualifiée de médiocre.
- Sédiments : dans certaines sections planes, immédiatement en aval du DO M15, un colmatage (dépôts de matériel fin) et la formation de sulfure de fer ont été observés par endroits.

L'effet des déversements d'eaux usées (autoroute et DO M15) est essentiellement reconnaissable au moyen du colmatage (MES, facteur problématique principal).

Lac de constance

Selon le rapport sur l'état des eaux, le lac de Constance est utilisé pour différents usages. Dans les zones « sensibles » et « très sensibles », l'assainissement urbain doit être planifié avec un soin particulier et les impacts esthétiques et hygiéniques doivent être pris en compte. La région riveraine située à proximité de l'embouchure du Dorfbach constitue une zone sensible.

Les connaissances acquises grâce aux examens réalisés sont regroupées dans la matrice d'évaluation suivante, établie de façon analogue à celle du Dorfbach (tableau 4).

***Tableau 4**: Matrice d'évaluation pour la zone de l'embouchure du Dorfbach Goldach dans le lac de Constance.*

Projet	**PGEE Regio Rorschach**	Date de l'examen / base	PGEE Regio Rorschach (2000), examen du 8.8.2005	*Matrice d'évaluation Lac*
Milieu récepteur	Lac de Constance	Section / site	Zone d'embouchure du Dorfbach	

Hydrologie	Estimation (E)	Calcul (C)						
Surface BV (km^2)	Longueur de la section (km)	Largeur du cours d'eau (m)	Profondeur d'eau moy. (m)	Débit estimé (l/s)	Q_{347} (étiage) (l/s)	Altitude max.	Altitude min.	Pente moyenne (%)
	0.2 chaque côtés		1			397	397	0
Remarques								

Ecomorphologie	Classification moyenne	meilleure	pire	Nature du sédiment	végétation eau peu profonde	Déficit principal
Section considérée	Fortement atteinte	Berge en gravier	Murs jointoyés	Sédiment fin / vase	Plant. aquat., algues vertes	aménagement des rives
Section en amont	Fortement atteinte		Murs jointoyés	Sédiment fin / vase	Plant. aquat., algues vertes	aménagement du pied de la berge
Remarques						

Indications pour les déversements des eaux usées (installations)						
Désignation		Volume déversé (m^3/an)		Fréquence (nombre/an)		Durée (h/an)
Remarques						

Aspect général		*Hygiène*		*Physique*		*Chimie*				*Matières en suspension*				*Biologie*			
Matières grossières	Autres éléments	Baignade, jeux	Eau potable	Impacts hydrauliques	Température	NH_3	Oxygène	Substances nutritives	Autres substances, p.ex micropolluants	Colmatage	Turbidité	Sédiment toxique	Fond en anaérobiose	Diatomée	Couverture végétale	Invertébrés aquatiques	Poissons
Aucune	Peu de mousse	Satisfaisant				Aucun problème	Aucun problème	Valeurs limites de nitrite dépassées, nitrate élevé		Fond du lac constitué de sédiment fin et de vase		Enrichi de métaux lourds, partiellement sans oxygène	Sédiment en anaérobiose	Pas de données	Couverture végétale aquatique indiquant une conc. élevée de substances nutritives, partiellement recouvert de fils d'algue verte. Aucune plante aquatique dans le voisinage immédiat de l'embouchure	Principalement des organismes vivant dans le sédiment fin et la vase (larves de chironome et des vers (oligochète)	Zone frayère potentielle recouverte de sédiment fin

Remarques
Effets des rejets essentiellement reconnaissables au sédiment, à la couverture végétale et aux invertébrés. Facteur de problème principal : MES.

Légende	Paramètre déterminant	oui	non

Problèmes avec	Situation en temps de pluie	fort	moyen	faible	aucun	Situation par temps sec	fort	moyen	faible	aucun

AquaPlus Elber Hürlimann Niederberger

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Les connaissances acquises peuvent être résumées de la manière suivante :

- Conditions hygiéniques : selon les examens bactériologiques de l'Office de contrôle des denrées alimentaires du canton de St-Gall, la qualité de l'eau aux abords des rives est excellente à satisfaisante.
- Fond du lac : dans la zone d'influence du Dorfbach, le fond du lac est recouvert par endroits d'une couche limoneuse et un sédiment noir est présent (sulfure de fer, indication d'anoxie). Par ailleurs, les analyses de métaux lourds ont indiqué que le fond de l'eau est contaminé.
- Végétation aquatique : à la différence de la couverture végétale aquatique située à plus grande distance de l'embouchure, celle exposée à la zone d'influence du Dorfbach indique, sur la base d'espèces indicatrices de substances nutritives, une atteinte due au Dorfbach.
- Invertébrés aquatiques : à la différence de la population des invertébrés aquatiques située à plus grande distance de l'embouchure (entre autres les larves d'éphémères et de phryganes), celle exposée à la zone d'influence du Dorfbach est constituée principalement d'hôtes caractéristiques des sédiments fins et de vase tels que larves de moustiques, chironomes et vers (oligochètes).
- Poissons : les frayères potentielles dans la zone de l'embouchure sont colmatées.

L'effet des déversements d'eaux usées (autoroute et déversoirs d'orage) est essentiellement reconnaissable au moyen des sédiments, de la couverture végétale et des invertébrés. Le problème fondamental s'avère être lié aux matières en suspension (MES).

2 Besoin d'intervention

Sur la base des examens effectués, le besoin d'intervention se révèle opportun. La réduction des flux de MES provenant des déversements d'eaux usées en temps de pluie est prioritaire dans l'éventail des mesures nécessaires. La planification des mesures et la détermination des priorités doivent être réalisées en fonction du rapport coûts/bénéfice.

La nécessité d'agir en relation avec les conditions morphologiques est certes donnée, cependant le problème ne peut généralement pas être résolu dans le cadre de l'évacuation des eaux de l'agglomération. Si des analyses montrent toutefois que des mesures prises au niveau du cours d'eau sont plus efficaces que celles prises pour l'évacuation des eaux pluviales, ces mesures devront être alors mises en œuvre.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Étape 3

Détermination des conditions de déversement

Les conditions de déversement formulées ci-dessous doivent être approuvées par l'instance cantonale compétente en matière de protection des eaux. Elles peuvent être renforcées ou allégées par cette instance.

Dorfbach

Les conditions de déversement suivantes ont été choisies pour l'évaluation par calcul des impacts dus aux déversements des eaux usées en temps de pluie dans le Dorfbach. Elles reposent sur les valeurs indicatives de la directive STORM.

Ammoniac	Valeur d'immission indicative degré 1 pour n = 0,2 (impact aigu tolérable ou mortalité maximale de 10% des organismes 1 fois en 5 ans)
Turbidité	Degré 8 pour n = 1 (limite pour le début d'un impact aigu avec une périodicité de 1 an)
Charriage par les déversements issus des canalisations	Au maximum 10 événements par an sont tolérables
Colmatage du fond du cours d'eau	La limite de 625 g MES/m^2 ne doit pas être dépassée plus de 20% du temps annuel
Sédiments toxiques	La limite de 25 g MES/m^2 ne doit pas être dépassée plus de 5% du temps annuel
Déficit en oxygène dans le lit du cours d'eau	La limite de 2,4 g O_2/m^2 ne doit pas être dépassée plus de 10% du temps annuel

Lac de Constance

À l'exception de la qualité bactérienne des eaux de baignade, il n'existe actuellement aucune exigence formulée numériquement pour les eaux de surface se rapportant aux déversements des eaux usées en temps de pluie.

Conformément au besoin d'intervention dans le Dorfbach, le flux des MES provenant des déversements d'eaux usées en temps de pluie doit avant tout être réduit. Il constitue également le facteur de pollution déterminant dans la zone d'embouchure du Dorfbach. Cependant, aucune exigence spécifique aux déversements des eaux usées en temps de pluie liée à la contamination de lac de Constance n'est formulée actuellement. À l'avenir, les exigences éventuelles ne seront fixées qu'après le contrôle d'efficacité en rapport avec la réduction des flux de MES dans le Dorfbach.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Étape 4

Détermination du procédé de planification

La planification des mesures visant la réduction de la contamination du Dorfbach en aval du DO M15 doit s'effectuer sur la base de l'évaluation par calcul des émissions et des immissions. Les calculs sont effectués à l'aide du logiciel REBEKA II. Les paramètres examinés, selon la matrice d'évaluation, comprennent :

- contamination aiguë par l'ammoniac,
- stress hydraulique,
- turbidité,
- colmatage (dans les sections du Dorfbach à pente faible),
- enrichissements toxiques de matières en suspension (MES) dans le lit du cours d'eau,
- phénomènes anoxiques dans le lit et les espaces interstitiels.

En plus de l'examen des immissions dans le Dorfbach, les émissions de MES provenant du Dorfbach doivent également être prises en compte dans le lac de Constance (masse annuelle) et l'impact éventuel des déversoirs d'orage provenant de l'agglomération de Goldach sur la qualité bactérienne des eaux de baignade doit être signalé.

Le système d'assainissement réel doit être simplifié pour effectuer les calculs au moyen du logiciel REBEKA II. Pour aider à la simplification du système, le programme de simulation SWMM (Stormwater Management Model, US-EPA) est utilisé en réalisant des simulations à long terme.

Les relevés pluviométriques de St-Gall (1995–2004) sont utilisés pour les calculs.

La sélection de mesures de protection des eaux doit être réalisée en évaluant l'efficacité et les coûts de ces mesures en relation avec les conditions de déversement définies, ainsi que leur priorité.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

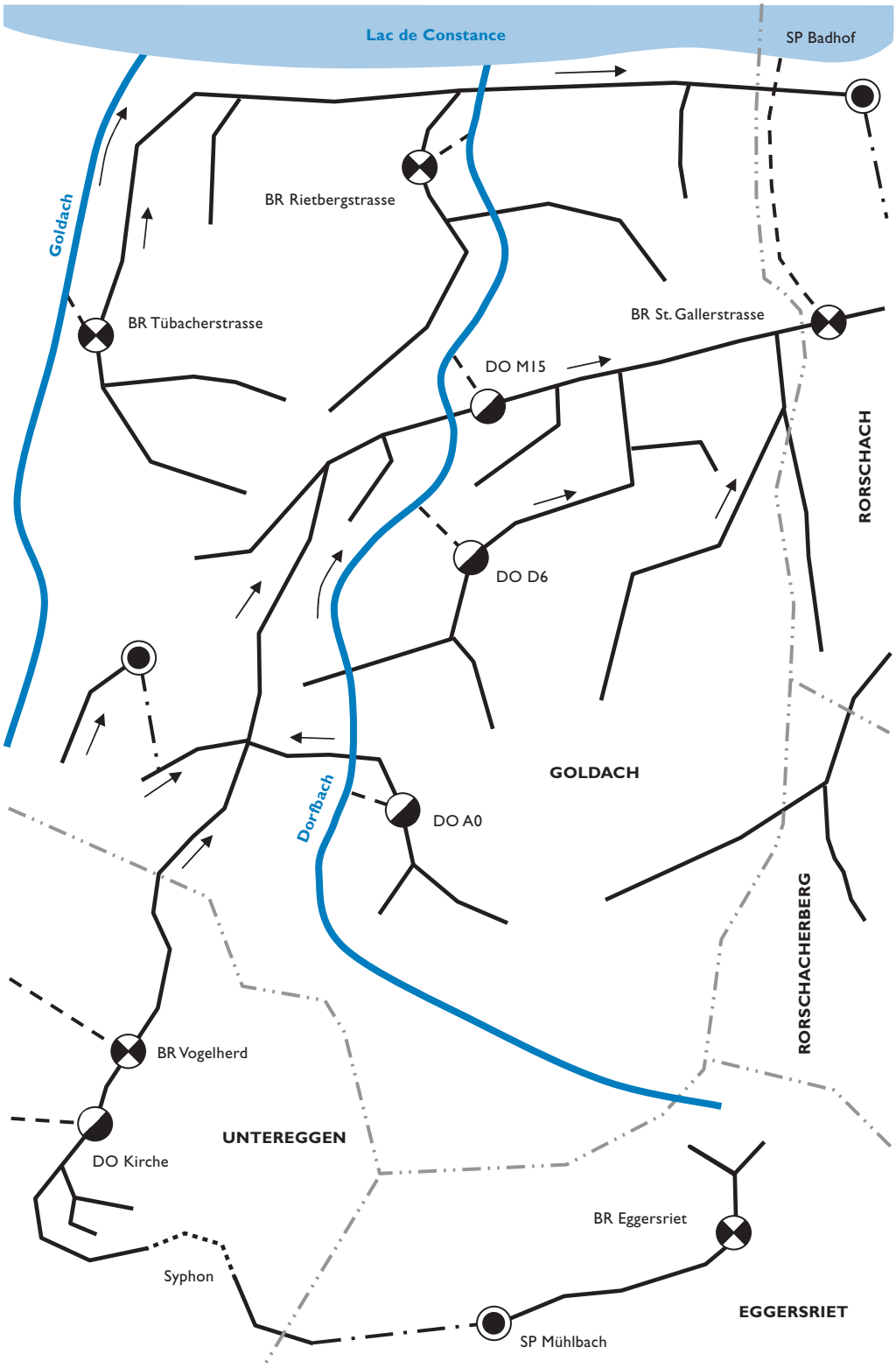
Étape 5

Élaboration

1 Schématisation du système d'assainissement actuel

La figure 5 montre l'écoulement des eaux unitaires rejetées des bassins versants d'Eggersriet, de Vogelherd, de Goldach A0 ainsi que l'ensemble des eaux unitaires (sans rejet en amont) provenant directement de leur propre bassin versant vers le DO M15.

***Figure 5** : Schéma simplifié du réseau unitaire d'assainissement à Goldach, Untereggen et Eggersriet.*



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Les eaux unitaires en provenance d'Eggersriet sont évacuées, par l'intermédiaire de la station de pompage de Mühlbach et par un siphon, avec un débit maximal de 32 l/s, en direction d'Untereggen. Les débits plus importants sont traités dans un bassin d'accumulation (435 m^3 [environ 60 m^3/ha_{red}]) et déversés dans le Landgraben (un ruisseau situé dans le bassin versant du Goldach). Les eaux unitaires non déversées passent à travers le DO Kirche (aucun déversement dans l'état actuel) et rejoignent les eaux unitaires provenant d'Untereggen. Ces eaux sont amenées vers le bassin de rétention des eaux pluviales (BR) de Vogelherd.

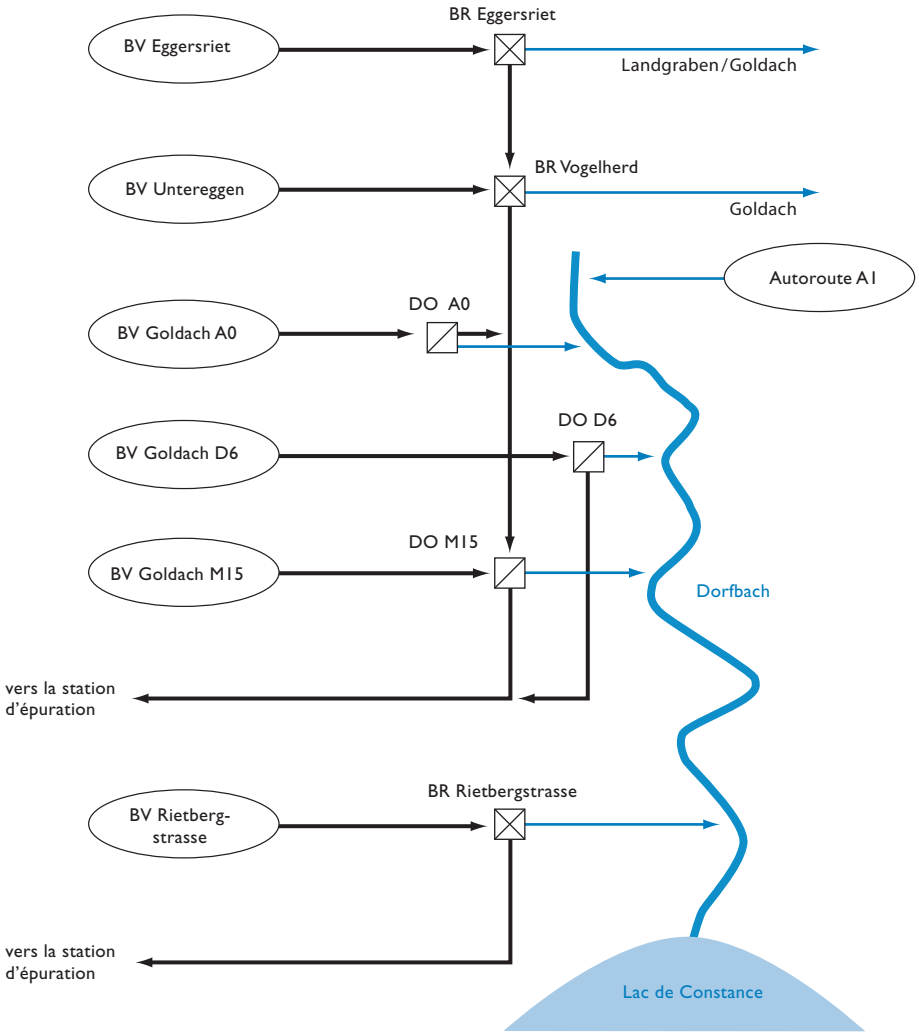
Le débit continue de s'écouler jusqu'à 180 l/s en direction du DO M15. Les débits plus importants sont traités dans un bassin décanteur de 170 m^3 et déversés dans la rivière Goldach. Selon le PGEE Regio Rorschach, la capacité du limiteur de débit du BR Vogelherd doit être réduite de 180 l/s (état réel) à 50 l/s.

Les eaux unitaires du DO A0 s'écoulent avec un débit maximal de 210 l/s en direction du DO M15. Les débits plus importants sont déversés dans le Dorfbach (sans traitement). Le DO M15 achemine 360 l/s par le BR de la St. Gallerstrasse (Rorschach) en direction de la station d'épuration d'Altenrhein. Les débits plus importants sont rejetés dans le Dorfbach sans traitement.

2 Simulation globale des émissions au moyen du modèle SWMM (Stormwater Management Modell)

Les volumes, fréquences et durées des rejets annuels moyens dans ce système unitaire ont été calculés au moyen d'une simulation à long terme avec le logiciel SWMM (Stormwater

***Figure 6**: Topologie des éléments pris en compte dans la simulation à l'aide du SWMM.*



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Management Modell). La topologie des éléments pris en compte dans la simulation est représentée schématiquement dans la figure 6.

Les données pluviométriques relatives à la décennie 1995–2004 de la station d'ANETZ de St-Gall ont été utilisées pour cette simulation. La valeur annuelle moyenne de ces relevés pluviométriques décennaux s'élève à 1339 mm/an et varie entre 1703 mm/an en 2002 (maximum annuel) et 965 mm/an en 2003 (minimum annuel). La durée des pluies pendant cette période varie entre 505 h/an (en 2003) et 899 h/an (en 1999).

Les résultats de cette simulation se rapportant aux conditions annuelles moyennes de 1995–2004 obtenus avec SWMM pour l'état actuel de l'assainissement urbain sont présentés dans le tableau suivant :

***Tableau 5** : Données relatives aux rejets moyens des eaux unitaires dans la zone étudiée durant la période 1995–2004 pour l'état réel, calculées au moyen du modèle de simulation SWMM.*

Déversoirs unitaires situés dans la zone étudiée – état actuel						
Ouvrage	Débit lors de précipitations	Débit en aval par temps de pluie	Déversements			
	Eaux unitaires [en 1000 m^3/an]		Volume [en 1000 m^3/an]	Nombre par an	Durée [h/an]	MES [kg/an]
BR Eggersriet	142	114	28	32	127	2300
BR Vogelherd	177	176	1	< 1	< 1	80
DO A0	31	31	< 0,5	3	16	30
DO M15	318	314	4	7	8	400

Le volume d'eau vers le DO M15 en temps de pluie (318 000 m^3/année) calculé au moyen de SWMM comprend le débit du BR Vogelherd (177 000 m^3/année provenant d'Eggersriet et d'Untereggen), le débit du DO A0 (environ 31 000 m^3/année) ainsi que l'apport direct du bassin vesant au DO M15 (environ 110 000 m^3/année).

3 Définition du système pour les calculs effectués au moyen de REBEKA II – état actuel

Pour les calculs effectués au moyen de REBEKA II, les résultats de la simulation obtenus avec SWMM pour l'état actuel sont interprétés de la manière suivante :

- En fonction de l'événement pluvial, environ 8 l/s (écoulement par temps sec) jusqu'à 32 l/s (débit maximal par temps de pluie) s'écoulent du BR Eggersriet en direction du BR Vogelherd. Pour les calculs de l'évacuation des eaux unitaires dans le BR Vogelherd effectués au moyen de REBEKA II, le *débit provenant d'Eggersriet* est estimé comme « *débit constant en temps de pluie* » dans le domaine compris entre 8 l/s (écoulement par temps sec) et 32 l/s.
- Les déversoirs d'orage BR Vogelherd et DO A0 ne déversent que rarement et la part prépondérante des eaux unitaires s'écoulant de ces ouvrages est dirigée sans déversements jusqu'au DO M15. Ainsi les bassins versants de « Untereggen », « Goldach vers le DO A0 » et « Goldach vers le DO M15 » peuvent être *regroupés en un seul bassin versant* pour le calcul de l'état actuel. Les « déversements estimés » ne se calculent que pour le DO M15.
- Les rejets d'eau unitaire provenant du BR Eggersriet et du BR Vogelherd sont déversés dans le Goldach. Les rejets d'eau unitaire provenant du DO A0 sont déversés dans le Dorfbach, cependant ils ne surviennent que rarement et uniquement lors de très fortes précipitations. Pour la majorité des événements pluviaux, le Dorfbach peut ainsi être considéré comme non pollué (par les eaux unitaires) en amont du DO M15.
- Les rejets d'eau unitaire provenant du DO D6 sont déversés dans le Dorfbach en amont du DO M15. Le DO D6 ne déverse toutefois que très rarement ($Q_{an} \approx 60$ l/s · ha), ainsi, ce déversement d'eau unitaire peut également être négligé pour la majorité des événements pluviaux. Les eaux usées mixtes provenant de ce secteur sont déversées dans la canalisation

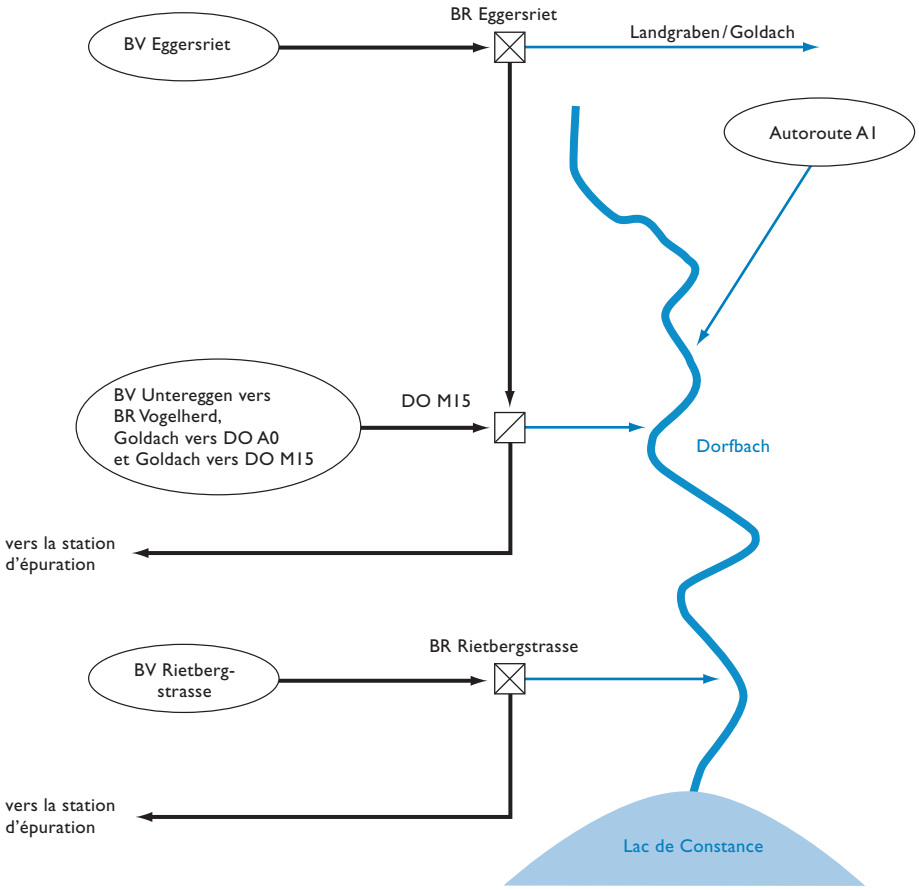
lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

en aval du DO M15 lors de la majorité des événements pluviaux et par conséquent n'influencent nullement la fonction du DO M15.

L'écoulement pluvial de l'autoroute A1 doit également être pris en compte lors de l'examen de la contamination du Dorfbach. Pour les calculs effectués au moyen de REBEKA II, l'autoroute est définie comme étant directement reliée au réseau séparatif.

Le point de déversement fictif des eaux usées provenant de l'autoroute est identique au déversement provenant du DO M15, étant donné que les effets de cette contamination n'apparaissent comme significatifs qu'en aval du DO M15.

Figure 7: *Définition du système pour les calculs de l'état réel au moyen du logiciel de simulation REBEKA II.*



4 Définition du système pour les calculs effectués au moyen de REBEKA II – phase de planification

Selon le PGEE Regio Rorschach, différentes modifications liées à la planification sont envisagées dans ce bassin versant :

- La *modification partielle du système d'assainissement* et le *développement de la population* engendrent une modification de la taille des surfaces raccordées ainsi que du nombre d'habitants (voir tableaux 1 et 2 de l'étape 1).
- Simultanément, la capacité du BR Vogelherd doit être mieux exploitée que jusqu'à présent et dans ce contexte la *limitation du débit* doit être réduite de 180 l/s à 50 l/s.
- Le volume de stockage disponible dans le réseau d'assainissement en aval du DO M15 peut être utilisé. Dans ce cas, la capacité du limiteur de débit dans le DO M15 peut être accrue de 360 l/s à 760 l/s.

L'effet des modifications selon le PGEE Regio Rorschach peut préalablement être visualisé au moyen d'une simulation par SWMM. Les résultats de la simulation de SWMM se rap-

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

portant aux conditions annuelles moyennes de 1995–2004 pour l'état de planification future selon le PGEE sont présentés dans le tableau suivant :

***Tableau 6** : Données concernant les déversements d'eaux unitaires dans la zone d'étude durant la période de 1995–2004 pour l'état de planification future selon le PGEE Regio Rorschach, calculées au moyen du modèle de simulation SWMM.*

Déversoirs unitaires situés dans la zone étudiée – état actuel						
Ouvrage	Débit lors de précipitations	Débit en aval par temps de pluie	Déversements			
	Eaux unitaires [en 1000 m³/an]		Volume [en 1000 m³/an]	Nombre par an	Durée [h/an]	MES [kg/an]
BR Eggersriet	140	116	24	27	112	2000
BR Vogelherd	180	174	6	16	57	450
DO A0	29	29	< 0,5	2	13	20
DO M15	345	344	< 1	1	1	50

Ce développement n'entraîne aucune conséquence fondamentale quant à la contamination du Dorfbach en amont du DO M15. En aval du DO M15, il engendre une réduction des émissions provenant du DO M15 par rapport à l'état actuel.

De même, les modifications apportées dans le bassin versant n'ont aucune conséquence significative pour la définition du système et pour les calculs effectués par REBEKA II. Néanmoins, la question qui se pose est de savoir si la version actuelle du logiciel (REBEKA II) peut considérer séparément le BR Vogelherd lors de la simulation. Cette situation exige la prise en compte de deux bassins versants à « déversements préalables » lors de l'examen du déversoir d'orage DO M15.

Les simplifications de système, permettant d'effectuer les calculs de l'état futur de planification au moyen de REBEKA II (en considérant séparément l'ouvrage du BR Vogelherd), ont été définies de la façon suivante :

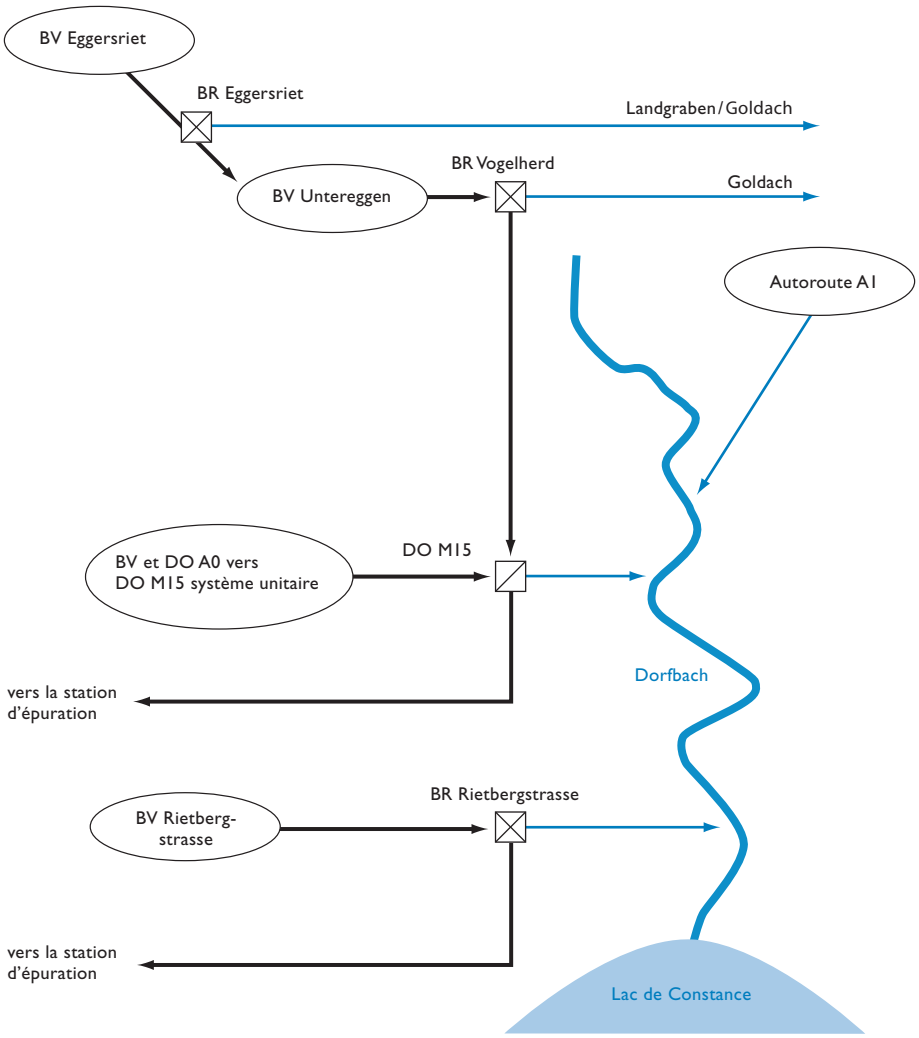
- Pour les calculs des déversements d'eaux unitaires dans le BR Vogelherd, le débit provenant d'Eggersriet a été introduit comme « *débit constant en temps de pluie* » dans une plage située entre 10 l/s (débit par temps sec) et 32 l/s.
- Pour les calculs des déversements dans le DO M15, le débit provenant du BR Vogelherd a été introduit comme « *débit constant en temps de pluie* » dans une plage située entre 18 l/s (débit par temps sec) et 50 l/s.
- De même, le DO A0 ne déverse que rarement dans l'état de planification futur et la part prédominante des eaux unitaires provenant de la zone A0 est amenée sans déversements jusqu'au DO M15. C'est pourquoi les bassins versants « Goldach vers DO A0 » et « Goldach vers DO M15 » ont été *regroupés en un seul bassin versant* pour le calcul et les « rejets pluviaux globaux » ne se calculent que dans le DO M15.
- Lors des calculs du débit d'eaux de ruissellement, en plus de l'autoroute A1, les surfaces planifiées du réseau séparatif dans le bassin versant du Dorfbach suite à la modification du système unitaire (env. 2,3 ha_{red}) doivent également être prises en compte. Il s'agit toutefois de surfaces urbanisées n'engendrant aucune contamination importante du Dorfbach par des substances polluantes (surfaces principalement constituées de toitures), aussi elles sont négligées lors de l'examen des charges polluantes.
- Conformément à l'ancienne directive « Protection des eaux lors de l'évacuation des eaux des voies de communication » (OFEFP 2002), l'écoulement pluvial de l'autoroute A1 doit être traité avant son déversement dans le Dorfbach. Sur la base des conditions de déversement hydraulique (V < 0,1) et de la classe de pollution des eaux des voies de communication (« élevée »), l'admissibilité d'un déversement n'est autorisée qu'avec des mesures de rétention et de traitement (Tableau 8 de l'ancienne directive). Selon le chapitre 2.3 de la directive STORM, de manière à lutter contre une contamination chimique, les exigences de l'ancienne directive de l'OFEFP sont prises en compte et un degré d'épuration moyen de 80 % est retenu (par rapport aux matières en suspension). Les impacts hydrauliques des

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

eaux de ruissellement autoroutières seront traités en même temps que les autres apports du bassin versant par temps de pluie selon le chapitre 3.2.1 de ce module.

Une autre variante de la simplification du système liée à l'état de planification futur est présentée dans la figure 8. Cette définition du système exige toutefois une double définition de la contamination en amont lors des calculs effectués par REBEKA II, ceci engendre de fortes incertitudes. Cette problématique a été examinée de manière plus détaillée et les résultats des calculs ont été comparés. Les deux définitions de système ont abouti à des différences insignifiantes en termes de résultats. Aussi, la définition du système liée à l'état actuel (figure 7) est appliquée pour les calculs de l'état de planification.

***Figure 8** : Définition du système pour les calculs de l'état de planification au moyen du programme de simulation REBEKA II.*



5 Mise à disposition de données pour le calcul effectué avec REBEKA II

Les bases pour la mise à disposition des données sont présentées en détail dans la rubrique «Données». Les données suivantes sont utilisées uniquement pour le calcul de la contamination du Dorfbach dans l'état actuel (sous-variante NH_3) en aval du DO M15.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Étape 1 Étape 2 Étape 3 Étape 4 Étape 5 Étape 6 Étape 7 Étape 8

Tableau 7: Données d'entrée pour le calcul de la contamination du Dorfbach (état réel) en aval du DO M15.

Paramètres		Valeur moyenne	Limite inférieure	Limite supérieure	Relatif	Distribution
Réseau unitaire (RU)						
Surface imperméable	[ha]	13,4	0,9	1,1	oui	égale
Perte initiale	[mm]	2	0,8	1,2	oui	égale
Constante de stockage	[min]	20	1	1	oui	constante
Habitants	[EQH]	3084	1	1	oui	constante
Débit par temps sec	[l/(EQH·d)]	250	0,8	1,2	oui	égale
Débit vers la STEP	[l/s]	360	0,8	1,2	oui	égale
Débit additionnel Q	[l/s]	16	8	32	non	égale
Volume BR	[m^3]	0	1	1	oui	constante
NH_4 dans écoulement pluvial	[mg/l]	1	1	1	oui	constante
pH des eaux unitaires	[–]	7,5	7	9	non	égale
Masse de NH_4	[g/EQH·d)]	8	0,8	1,2	oui	égale
Alcalinité des eaux unitaires	[mmol/l]	4,5	2	6	non	égale
Apport de NH_4 dans débit additionnel	[mg/l]	24	1	40	non	égale
Concentration de MES dans les eaux usées	[mg/l]	200	0,8	1,2	oui	égale
Concentration de MES dans débit additionnel	[mg/l]	152	69	277	non	égale
Coefficient du premier flot d'orage b	[–]	1	1	1	oui	constante
Part de sédiment	[–]	0	1	1	oui	constante
Taux d'élimination du BR	[–]	0	1	1	oui	constante
Réseau séparatif (RS)						
Surface imperméable	[ha]	0,8	0,8	1,2	oui	égale
Perte initiale	[mm]	1	0,8	1,2	oui	égale
Constante de stockage	[min]	10	1	1	oui	constante
Volume du bassin pluvial	[m^3]	0	1	1	oui	constante
Débit de sortie du bassin pluvial	[l/s]	0	1	1	oui	constante
Coefficient du premier flot d'orage b	[–]	0,8	1	1	oui	constante
Taux d'élimination du BR	[–]	0	1	1	oui	constante
Concentration de MES en temps de pluie	[mg/l]	100	50	150	non	égale
Bassin versant naturel (BVN)						
Surface imperméable	[ha]	100	0,8	1,2	oui	égale
Perte initiale	[mm]	10	0,8	1,2	oui	égale
Constante de stockage	[min]	60	0,8	1,2	oui	égale
Milieu récepteur (MR)						
Débit minimal	[m^3/s]	0,02	0,01	0,03	non	égale
Pente du lit	[–]	0,03	0,5	1,5	oui	égale
Largeur	[m]	2,5	0,5	1,5	oui	égale
Tangente de la pente de la berge	[–]	1	0,5	1,5	oui	égale
Coefficient de Strickler	[$m^{(1/3)}/s$]	35	0,8	1,2	oui	égale
Diamètre moyen des composants du lit	[m]	0,015	0,01	0,03	non	égale
Valeur 90 % des composants du lit	[m]	0,05	0,02	0,1	non	égale
Concentration en NH_4	[mg/l]	1	0,5	1,5	non	égale
pH	[–]	8	7,5	8,5	non	égale
Alcalinité	[mmol/l]	3	2	6	non	égale
Température minimale (février)	[°C]	3	0,8	1,2	oui	égale
Température maximale (août)	[°C]	18	0,8	1,2	oui	égale
Vitesse de décantation des MES	[cm/s]	0,024	0,012	0,063	non	égale
Coefficient d'érosion	[$g/m^2/s$]	1,36	0,678	2,03	non	égale
Taux de dégradation des matières organiques	[1/j]	0,24	0,12	0,3	non	égale
Contrainte de cisaillement	[N/m^2]	4,7	3,1	5,1	non	égale
g O_2/g de MES du réseau unitaire	[–]	0,47	0,23	0,65	non	égale
g O_2/g des MES du réseau séparatif	[–]	0,15	0,1	0,19	non	égale

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

6 Calculs – état actuel

Le calcul déterminististe et stochastique de la contamination du Dorfbach en aval du DO M15 a été effectué au moyen du logiciel REBEKA II. Les résultats du calcul stochastique reposent sur 200 itérations de calcul. Les données pluviométriques proviennent des données de la station ANETZ de la ville de St-Gall relevées durant la période 1995–2004. Les valeurs moyennes des données d'entrée et le domaine de ces données pour la sous-variante « contamination critique liée à l'ammoniac » sont présentées à titre d'exemple dans le tableau 7. Les paramètres examinés sont les suivants :

Dans toute la section d'écoulement (pente moyenne 0,03) :
- ► contamination aiguë par l'ammoniac,
- ► stress hydraulique,
- ► turbidité,
- ► durée du colmatage,
- ► durée du contact avec les sédiments toxiques,
- ► durée de l'anoxie dans le fond du lit.

Dans des sections plates (pente moyenne 0,005) comportant des déficits identifiés :
- ► durée du colmatage,
- ► durée du contact avec les sédiments toxiques,
- ► durée de l'anoxie dans le fond du lit.

6.1 Résultats du calcul déterministe

Projet : DO M15_réel

Fichier de projet :	C:\Programme\REBEKA2\Exemple_application_VSA\M15Reel.IN
Fichier pluviométrique :	C:\Programme\REBEKA2\stg19504.kmd
Début des pluies :	01.01.1995
Fin des pluies :	31.12.2004
Durée de la simulation :	1779 h/a

Caractéristiques de la série pluviométrique et du milieu récepteur

(valeurs moyennes 1995–2004)		
Hauteur de pluie par an	[mm/a]	1367
Nombre d'événements pluviaux par an	[n/a]	506
Débit limite pour le charriage	[m^3/s]	0,3

Émissions provenant des déversements des eaux unitaires

(valeurs moyennes 1995–2004)			
Volume rejeté par an	[m^3/a]	5281	(SWMM : 5500)
Nombre de déversements par an	[n/a]	12	(SWMM : 7)
Durée des rejets par an	[h/a]	7	(SWMM : 8)
Masse des MES rejetée par an	[kg/a]	571	(SWMM : 510)

Émissions provenant de l'autoroute A1

(valeurs moyennes 1995–2004)		
Volume des déversements par an	[m^3/a]	7529
Nombre de déversements par an	[n/a]	157
Durée des de déversements par an	[h/a]	353
Masse des MES déversée par an	[kg/a]	863

Dépassement des valeurs indicatives dans le Dorfbach

(valeurs moyennes 1995–2004)		
Nombre d'évènements critiques NH_3 par an	[n/a]	0
Nombre d'événements critiques liés à la turbidité par an	[n/a]	0
Nombre d'événements de charriages critiques, causé par les déversements d'eaux usées et de l'A1 par année	[n/a]	<1
Colmatage [% du temps dans l'année]		
sections avec pente moyenne de 0,03 (sections raides)		0
sections avec pente moyenne de 0,005 (sections plates)		<1

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Anoxie dans le fond du lit [% du temps dans l'année]	
sections avec pente moyenne de 0,03 (sections raides)	0
sections avec pente moyenne de 0,005 (sections plates)	30
Sédiments toxiques [% du temps dans l'année]	
sections avec pente moyenne de 0,03 (sections raides)	0
sections avec pente moyenne de 0,005 (sections plates)	66

6.2 Résultats du calcul stochastique

6.2.1 Dorfbach

Les *probabilités de non-dépassement* des valeurs indicatives dans le Dorfbach par les déversements des canalisations de l'assainissement urbain et de l'autoroute A1 sont représentés dans les figures 9 et 10 par les intersections du pollutogramme avec les lignes de valeurs indicatives

***Figure 9**: Représentation graphique des résultats du calcul stochastique. Les lignes verticales discontinues indiquent la périodicité admissible des exigences fixées (bleu: NH_3; vert: turbidité; orange: impact biomécanique-charriage de fond). L'intersection de ces lignes avec les pollutogrammes correspondants indique la probabilité de non-dépassement (0 à 1,0) des valeurs critiques.*

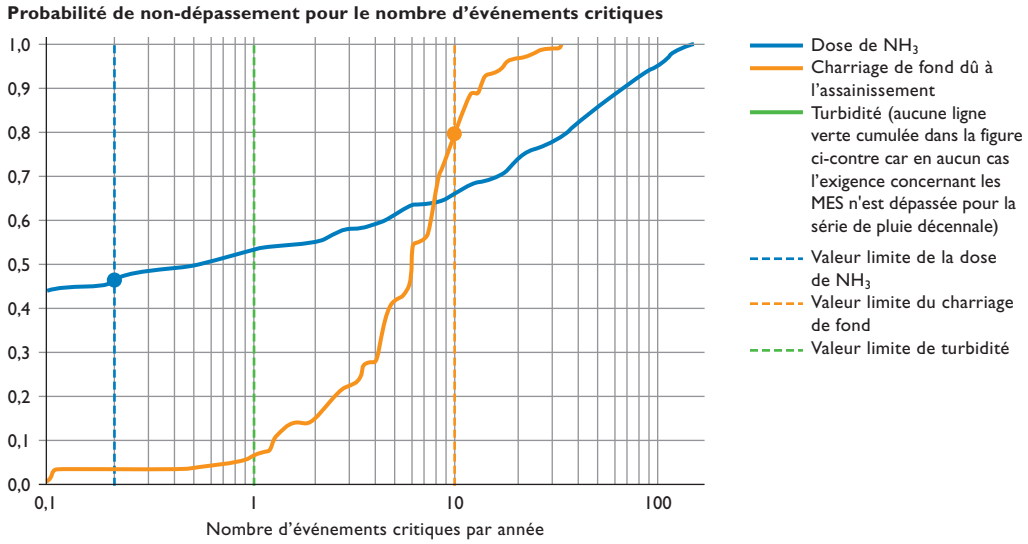
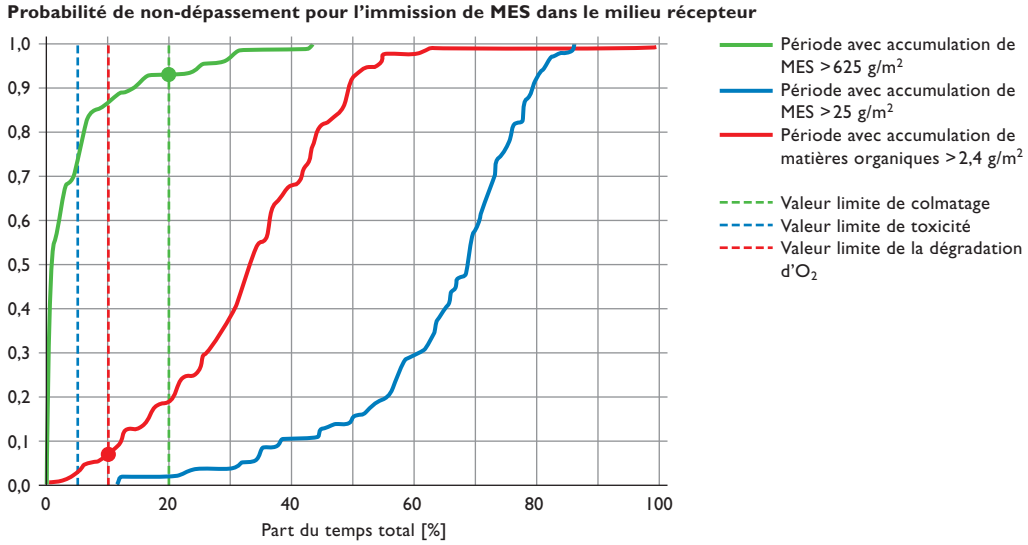


***Figure 10**: Représentation graphique des résultats du calcul stochastique. Les lignes verticales discontinues indiquent la durée maximale admissible des exigences fixées (bleu: toxicité des sédiments; rouge: consommation d'oxygène dans le fond du lit; vert: colmatage). L'intersection de ces lignes avec les pollutogrammes correspondants indique la probabilité de non-dépassement (0 à 1,0) des valeurs critiques.*



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

(attention : ces chiffres ne doivent pas être confondus avec les résultats des calculs déterministes). Ces valeurs de probabilité s'élèvent pour

- la concentration en ammoniac = 0,45
- la turbidité = 1
- le stress hydraulique = 0,8
- le colmatage = 0,9 (dans les sections de cours d'eau plates)
- l'anoxie dans le fond du lit = < 0,05 (dans les sections de cours d'eau plates)
- les sédiments toxiques = 0

- La contamination critique par la turbidité (degré 8) n'a été établie à aucune itération du calcul. Un large domaine de concentrations moyennes de MES a été admis pour les calculs (voir tableau 7). Il en découle que le respect de cette valeur indicative *est très probable* et que les matières solides provenant des déversements d'eaux usées par temps de pluie ne sont pas significatives pour ce degré de turbidité dans le Dorfbach.

- Le stress hydraulique en aval du DO M15 a été calculé pour une pente de 1,75 à 4,5 % et une granulométrie d_m = 0,015 m (0,01 à 0,03 m) et d_{90} = 0,05 m (0,02 à 0,1 m). Les résultats révèlent que les valeurs indicatives seront *très probablement* respectées.

- Lors de la seule inspection du Dorfbach en avril 2005, des boues au niveau du fond du cours d'eau ont été observées par endroits, uniquement dans des sections plates. Cette observation n'a pu être confirmée par le calcul que partiellement. D'après la simulation, la valeur indicative définie pour le colmatage est également respectée dans les sections plates avec une probabilité d'environ 65 %. Cette valeur indicative tient également compte du colmatage de la couche supérieure des espaces interstitiels. Toutefois, un éventuel colmatage de l'espace interstitiel n'a pas été examiné lors de l'inspection en avril 2005. Cette question doit être éclaircie par des examens complémentaires.

- L'anoxie constatée dans les sections plates au niveau du fond (taches de sulfure sur les pierres) a également été confirmée par le calcul. Le respect des valeurs indicatives fixées a été évalué comme étant *improbable*. Le même énoncé concerne également le respect des valeurs indicatives relatives aux sédiments toxiques. La présence de sédiments toxiques ne peut cependant pas être examinée directement.

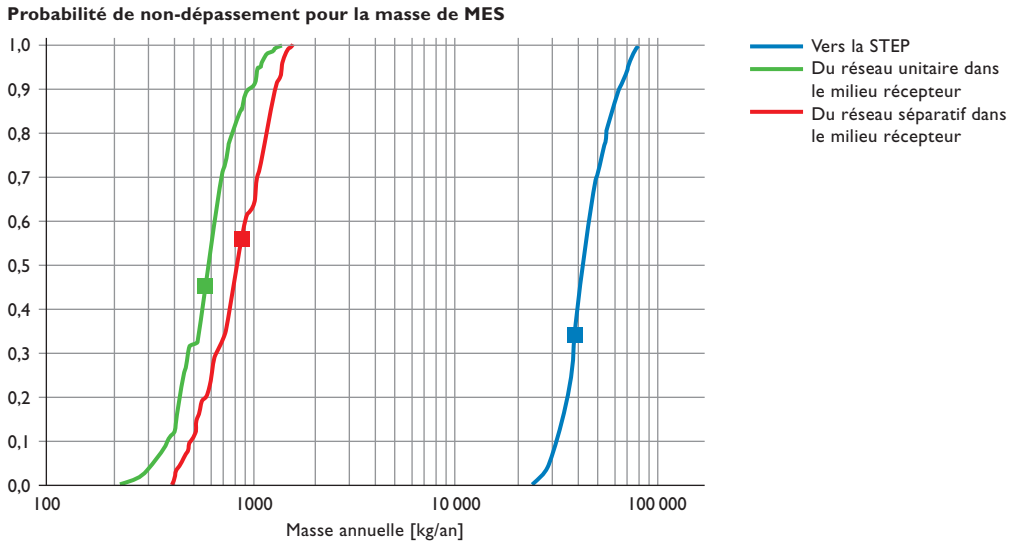
- L'identification par calcul du respect *improbable* des valeurs indicatives pour les sédiments toxiques dans les sections plates du Dorfbach doit être confirmée par des analyses ciblées. Cet examen n'a cependant pas pu être pratiqué dans le cadre de l'élaboration de cet exemple d'application.

6.2.2 Lac de Constance

Selon les indications relatives l'identification des problèmes et le besoin d'intervention (étape 2), les calculs en rapport avec la contamination du lac de Constance ont été orientés vers la localisation des sources déterminantes du flux de MES. La *figure 11* indique que les flux de MES déterminants émanent partiellement du DO M15, mais principalement des écoulements d'eaux de ruissellement provenant de l'autoroute A1.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

***Figure 11** : Représentation graphique des résultats du calcul stochastique. Les pollutogrammes indiquent la probabilité de non-dépassement (0 à 1,0) des émissions de MES émanant du DO M15 (vert) et de l'autoroute A1 (rouge) dans le Dorfbach. Le pollutogramme bleu montre les flux de MES par temps de pluie s'écoulant du DO M15 vers la station d'épuration. Les carrés représentent les résultats de la simulation déterministe.*



6.3 Interprétations des calculs en vue du choix des mesures techniques de protection des eaux

Les résultats de l'examen des immissions dans le Dorfbach par voie de calcul correspondent (exception faite du colmatage) à l'identification des problèmes observés. Ainsi, ces résultats se révèlent comme étant réalistes et peuvent servir de base pour l'évaluation de l'efficacité des mesures choisies.

Les recommandations du PGEE Regio Rorschach récemment élaborées seront prises en compte lors du choix des mesures. De plus, on examinera également des mesures permettant le traitement des écoulements pluviaux de l'autoroute A1 conformément à l'ancienne directive de l'OFEV pour la protection des eaux de surface lors de l'évacuation des eaux des voies de communication (dans ce cas rétention et traitement).

7 Résultats des calculs pour la planification future avec choix des mesures

Les mesures planifiées conformément au PGEE Regio Rorschach sont décrites dans le cha-pitre 4. Une installation avec un degré d'efficacité d'au moins 80 % (par rapport à la masse annuelle de MES) a été proposée pour le traitement des eaux de ruissellement de l'autoroute.

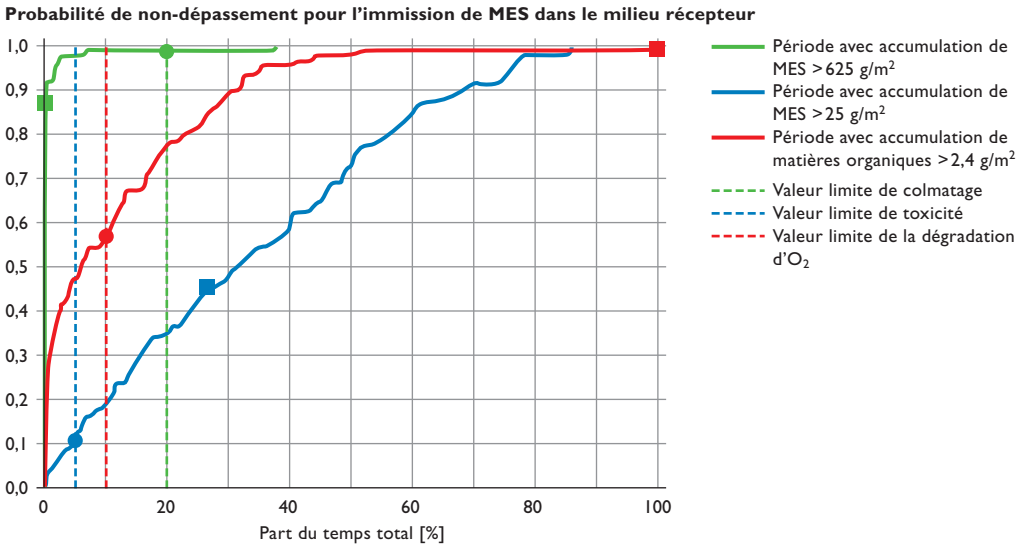
Les simulations ont été exécutées d'après la définition du système illustrée à la figure 7.

Les résultats les plus marquants sont :

- En dépit d'une augmentation du nombre d'habitants de presque 60 %, la probabilité de non-dépassement de la concentration critique d'ammoniac dans le Dorfbach n'a pas essentiellement varié par rapport à l'état réel. Le stress hydraulique (charriage) est également jugé non problématique. De même, un impact critique de la turbidité sur les poissons n'a pas été établi. Les valeurs indicatives pour ces paramètres pollutifs seront toutes *probablement jusqu'à très probablement* respectées.
- Les mesures planifiées envisagent une forte réduction des émissions de MES provenant du DO M15 (émissions) de 567 kg de MES/an (valeur moyenne du calcul déterministe relatif à l'état actuel) à environ 80 kg de MES/an. Les flux de MES évacués par les rejets

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

***Figure 12** : Représentation graphique des résultats du calcul stochastique. Les lignes verticales discontinues indiquent la durée maximale admissible des exigences fixées (bleu : toxicité des sédiments ; rouge : consommation d'oxygène dans le fond du lit ; vert : colmatage). L'intersection de ces lignes avec les pollutogrammes correspondants indique la probabilité de non-dépassement (0 à 1,0) des valeurs critiques. Les carrés représentent les résultats de la simulation déterministe. Cette figure montre une nette amélioration par rapport l'état réel.*



directs provenant de l'autoroute A1 seront réduits de 862 kg de MES/an (valeur moyenne du calcul déterministe) à environ 170 kg de MES/an.

- La réduction des émissions de MES entraîne également une nette réduction des valeurs d'immission dans le Dorfbach (voir figure 12). Outre les valeurs indicatives pour le colmatage, les valeurs indicatives pour la concentration en oxygène au niveau du fond seront *probablement jusqu'à très probablement* respectées, à l'exception des sédiments toxiques. La contamination du Dorfbach par les sédiments toxiques doit être évaluée par un examen séparé. À cette occasion, on vérifiera également les valeurs indicatives proposées.
- Afin d'évaluer la totalité de l'émission des MES dans le lac de Constance, la masse des MES provenant du BR Rietbergstrasse a encore été ajoutée. Pour l'état de planification futur, elle atteint une moyenne d'environ 506 kg/an et après l'application des mesures au DO M15 et la réalisation des mesures destinées au traitement des eaux de ruissellement autoroutières, elle constituera la source de contamination la plus importante du lac de Constance dans le voisinage de l'embouchure du Dorfbach (voir tableau 8). La nécessité d'éventuelles mesures supplémentaires ne doit être évaluée qu'après le contrôle d'efficacité des mesures discutées ci-dessus.

***Tableau 8** : Masse totale des MES provenant de différentes sources et pour différentes variantes de mesure (résultats du calcul déterministe effectué avec REBEKA II). Il s'agit de valeurs moyennes résultant d'une simulation décennale et d'émissions minimales et maximales au cours de différentes années (St-Gall 1995–2004).*

Source de l'émission de MES	Émission de MES en kg/an pour chaque mesure – variante		
	État actuel [kg/an]	Extension complète	
		Selon le PGEE [kg/an]	Selon le PGEE + traitement des eaux de ruissellement de l'autoroute [kg/an]
DO M15	567 (57–1689)	131 (0–491)	131 (0–491)
Autoroute A1	862 (621–1142)	862 (621–1142)	172 (124–228)
BR Rietbergstrasse	201 (24–613)	506 (183–1258)	506 (183–1258)
Total (somme des valeurs moyennes)	1630	1499	809

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Étape 6 Détermination des coûts des solutions techniques

1 Modification du système d'évacuation des eaux

La modification du système d'évacuation des eaux, c'est à dire la transformation des secteurs à système unitaire en réseau séparatif ou en système unitaire modifié, produit des effets marquants sur la réduction des rejets du DO M15. Cette mesure est cependant planifiée à long terme.

Les coûts ne sont pas quantifiables.

2 Adaptation de la réduction de débit du BR Vogelherd

L'adaptation du limiteur de débit du BR Vogelherd constitue une mesure avantageuse et rapidement applicable, du fait que l'installation dispose aujourd'hui déjà d'un contrôle (uniquement observations). Comme mesure immédiate la coulisse du réducteur existant peut être réglée sur la valeur de planification future ou sur une valeur intermédiaire adaptée à l'aménagement actuel.

Le bassin Vogelherd devant être relié à la télésurveillance ou par télécommande à la station d'épuration centrale à Altenrhein, il est opportun d'équiper le limiteur de débit d'une commande par moteur et de régler le volume rejeté en exploitation locale ou en exploitation centralisée par le réseau du syndicat. Dans le deuxième cas, le système de gestion du processus prédétermine la valeur de consigne du débit en coordination avec le réseau du syndicat.

Les coûts pour compléter l'équipement de réduction actuel et d'intégration dans le système de gestion à distance planifié se montent à CHF 40 000.– (sans participation au système de gestion automatisé).

3 Adaptation du limiteur de débit au DO M15 et conséquences du stockage dans le canal de rétention et sur le traitement à la STEP

Le DO M15 n'ayant pas été électrifié jusqu'à présent, l'adaptation de cette installation constitue le plus grand facteur de coûts. En plus des travaux d'adaptation de la construction, les câbles électriques pour l'entraînement du limiteur de débit et pour les instruments de mesure ainsi que les câbles de signalisation pour le raccordement au système de gestion à distance doivent être amenés sur le site. En outre, le dispositif de commande locale nécessite une cabine de commande.

Les coûts s'élèvent à CHF 100 000.– (sans participation au système de gestion automatisé).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Étape 7 Discussion et interprétation des résultats

1 Recommandation pour la réalisation des mesures

Lors du choix des mesures, les recommandations du PGEE Regio Rorschach ont été reprises dans cet exemple d'application. C'est pourquoi aucune autre variante de mesures liée à la réduction de la contamination émanant du DO M15 n'a été examinée. Grâce à la capacité de la nouvelle canalisation, l'augmentation du débit du segment d'étranglement du DO M15, comparée à d'autres mesures possibles, constitue une variante plus avantageuse. L'examen effectué dans le cadre de cet exemple d'application confirme les résultats du PGEE. *L'augmentation de la capacité du limiteur de débit du DO M15 à 760 l/s* doit être réalisée en tant que mesure hautement prioritaire.

Le traitement des eaux de ruissellement provenant de l'autoroute A1 est imposé conformément à l'ancienne directive de l'OFEFP « Protection des eaux lors de l'évacuation des eaux des voies de communication ». Sur la base de l'examen effectué dans cet exemple d'application, cet écoulement autoroutier doit être traité dans une *installation comportant un degré d'efficacité d'au moins 80 %* (rapporté à la masse annuelle de MES). La nature de l'installation propre au traitement des eaux de ruissellement autoroutières doit être examinée dans un projet séparé. Cette mesure doit être réalisée simultanément avec la mesure liée au DO M15.

D'autres mesures (particulièrement la réduction des contaminations provenant du BR Rietbergstrasse dans l'état futur de planification) ne sont pas proposées pour l'instant. Elles dépendent du contrôle d'efficacité des mesures devant être réalisées en première priorité.

2 Discussion générale des résultats

Cette étude souligne un cas apparaissant relativement fréquemment en Suisse :

- La zone urbaine est généralement assainie en système unitaire.
- La plupart des ouvrages de déversements fonctionnent comme des ouvrages de protection contre les crues et sont rarement en fonction.
- Le Dorfbach est un petit cours d'eau. L'état actuel de ses eaux est essentiellement caractérisé par un état morphologique dégradé. Les déversements des eaux unitaires n'engendrent aucun problème aigu et grave de protection des eaux. Dans de rares sections du cours d'eau, un colmatage apparaît par endroits.
- L'évacuation des eaux des voies de communications (ici l'autoroute) contamine le Dorfbach par des matières particulaires, dont la plupart sont transportées dans le lac de Constance, où elles sédimentent dans le voisinage de l'embouchure du Dorfbach.

Vu dans son ensemble, il s'agit d'une situation, où la réalisation de mesures constructives onéreuses est contestée. L'évaluation de cette situation selon le procédé STORM indique que les mesures proposées dans le PGEE (meilleure utilisation de la capacité de stockage existante) peuvent être qualifiées de pondérées et financièrement justifiables. La nécessité d'introduire d'autres mesures ne devrait être démontrée que par le contrôle d'efficacité des mesures proposées.

Ce contrôle d'efficacité doit également contribuer à l'utilisation pratique, à la vérification et à compléter les conditions de déversement définies par le procédé STORM. Les immissions de MES tolérées doivent être examinées en détail. Actuellement, nous n'avons aucune expérience pratique quant à l'application de ces exigences dans les petits cours d'eau et nous manquons de bases scientifiques pour déterminer des immissions de MES dans les zones riveraines des eaux de surface. Dès lors, aucune autre variante n'a été examinée ni recommandée dans cet exemple d'application à part les mesures proposées par le PGEE, bien qu'en raison des exigences fixées et des calculs elle puisse être fondée. Voilà pourquoi aucune comparaison de coûts n'a été établie dans cet exemple d'application.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Dans ce cas, les calculs ont pu être effectués avec le modèle de simulation REBEKA II. Toutefois, la simplification de système pour les calculs au moyen cette version de logiciel se situe à la limite de l'application pratique. Une nouvelle version de logiciel REBEKA ou un autre programme de simulation adéquat devra être appliqué aux systèmes plus complexes.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Contrôle d'efficacité

1 Contrôle d'efficacité des émissions

L'implantation d'un dispositif de gestion à distance pour les installations du syndicat des eaux usées d'Altenrhein, permet d'édifier un système de surveillance efficace.

Toutes les données importantes du DO M15 sont transmises en ligne au système de commande centralisé situé à la station d'épuration où elles peuvent être représentées graphiquement. Les données concernant le volume acheminé, le volume rejeté, la durée et la date du rejet sont enregistrées de manière centralisée dans une banque de données. De plus, des signaux d'alarme peuvent être émis en cas de besoin, lorsque des paramètres choisis ont atteint leur seuil critique ou l'ont dépassé.

Dans le rapport annuel du syndicat des eaux usées, les données significatives sont publiées par installation et comparées avec les objectifs assignés. En outre, dans le cadre du traitement par le syndicat PGEE, le comportement de chaque installation est évalué en tant qu'installation individuelle aussi bien que faisant partie du groupe et au besoin, on procédera aux corrections nécessaires.

2 Contrôle d'efficacité des immissions

Les données concernant le DO M15 ainsi que les données collectées au niveau du lac de Constance permettent d'illustrer, à titre d'exemple, le procédé de contrôle d'efficacité des immissions.

Le Dorfbach dans la zone du DO M15

Relevé de l'état actuel :	S'est déroulé dans le cadre des relevés destinés au rapport sur l'état des eaux du PGEE. Dans le cas idéal, on procédera à un nouveau relevé de l'état réel au printemps et en automne, avant la mise en oeuvre de la mesure liée à la protection des eaux.
Paramètres :	Aspect extérieur, diatomées et invertébrés aquatiques (concept modulaire gradué, niveau R) ; éventuellement paramètres chimiques.
Sites d'examen :	En amont et en aval du DO M15.
Relevé de l'état après la prise de mesures :	Mêmes relevés que pour l'état actuel.
Contrôle périodique :	► 4 fois par an : en amont et en aval du DO M15, évaluation de l'aspect extérieur par le personnel d'exploitation. ► Tous les trois ans : analyse des diatomées en automne en amont et en aval du DO M15.

Lac de Constance, zone de l'embouchure du Dorfbach

Relevé de l'état actuel :	S'est déroulé dans le cadre des relevés destinés au rapport sur l'état des eaux du PGEE.
Paramètres :	Conditions hygiéniques, évaluation du fond du lac (sédiment, analyse des métaux lourds), plantes aquatiques, invertébrés aquatiques, frayère à poissons.
Relevé de l'état après la prise de mesures :	Mêmes relévés que pour l'état actuel.
Contrôle périodique :	Dans le cadre la mise à jour du PGEE. Mêmes relevés que pour l'état actuel.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Résumé du procédé de travail et recommandations pour l'exécution d'une tâche de planification

Cet exemple présente l'application pratique du procédé STORM au moyen d'un exemple d'application et à l'aide du programme de simulation REBEKA II. Le traitement s'effectue en 8 étapes. Ces étapes contribuent à la réalisation structurée de la tâche de planification et à l'estimation du volume de travail lié à la planification.

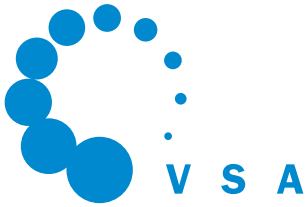
- La première étape consiste en une brève présentation de la zone étudiée et DES caractéristiques de celle-ci. À cet effet, on utilisera les données *existantes* et *représentatives* pour une problématique donnée. Il est important qu'avant le début de chaque étape les informations disponibles soient examinées par le groupe de projet (ingénieur et scientifique). La majorité des données utilisées dans cet exemple proviennent du PGEE Regio Rorschach récemment élaboré.
- La deuxième étape (identification des problèmes et besoin d'intervention) est une tâche *interdisciplinaire* établissant les bases déterminantes pour la suite de la planification. Cette étape fournit une «*matrice d'évaluation*». Dans cette phase, la contribution de l'ingénieur se situe avant tout dans la caractérisation hydrologique et hydraulique du bassin versant et du milieu récepteur, dans la détermination des différentes sections du cours d'eau et dans l'évaluation du fonctionnement du système d'évacuation des eaux, par exemple au moyen d'une simulation globale. La contribution du scientifique se situe avant tout au niveau de l'évaluation écomorphologique des sections du cours d'eau définies et, compte tenu de la problématique examinée, dans l'évaluation la plus simple possible de l'état chimique et biologique actuel des eaux. En outre, le contact avec l'instance compétente en matière de protection des eaux est également important. La matrice d'évaluation constitue la base permettant de définir le *besoin d'intervention*.
- La détermination des conditions de déversement (= détermination des valeurs indicatives) doit s'effectuer de concert avec les *instances compétentes en matière de protection des eaux* et éventuellement avec les *organes politiques locaux* (communes). Dans ce cas, il faut égale-ment, dans la mesure du possible, tenir compte de la mise en pratique des exigences définies (aspects financiers et délais). La base sur laquelle repose la détermination des valeurs indicatives est donnée par le module de base et le présent module, les précisions et les modifications éventuelles sont apportées par le groupe de projet. Les valeurs indicatives fixées donnent aussi les premières indications quant au choix des mesures et de leur proportionnalité.
- Les étapes d'élaboration 4 (définition de la tâche de planification) et 5 (élaboration) sont traitées principalement par des *ingénieurs*. Cependant, la collaboration avec les *scientifiques* est également recommandée dans cette phase du projet. Il s'agit avant tout de l'interprétation correcte des observations lors de l'identification des problèmes et des résultats des calculs. Des divergences entre observations et calculs ne sont pas à exclure à ce niveau. Un autre aspect exigeant de ces phases de traitement relève de la *définition du système* et du choix du *logiciel de simulation* approprié. En l'occurrence, outre la simplification adéquate du système d'évacuation des eaux examiné, les possibilités et les limites des moyens de calcul doivent également être évaluées de façon critique. Cette phase d'élaboration exerce une influence déterminante sur la *mise à disposition des données* et par conséquent également sur les coûts de planification. Lors du choix des *mesures*, une plus grande importance est accordée à l'examen et à la détermination de la performance nécessaire qu'à la technologie des procédés ou aux aspects techniques.
- La *détermination des coûts* (étape 6) est une tâche assignée à l'ingénieur qui ne présente généralement aucune difficulté dans le cadre de cette procédure. Une importance primordiale est accordée à la précision des coûts relatifs pour les différentes variantes.
- *L'interprétation des résultats* et la *décision* quant à la mise en œuvre des mesures sont concré-tisées dans la 7ème étape de la tâche de planification. Conjointement avec le groupe de projet, les autorités cantonales et communales doivent également participer à la

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

prise de décision. L'exemple se rapportant à ce sujet est présenté dans le paragraphe 5.4 du présent module.

- La tâche de planification n'est pas achevée avec la proposition de réalisation des mesures. Après la mise en œuvre des mesures, le *contrôle d'efficacité* (étape 8) des émissions et des immissions et leur évaluation en vue d'un éventuel nouveau besoin d'intervention consitue la dernière étape. Ainsi se termine le procédé de planification.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020



Association suisse des professionnels
de la protection des eaux (VSA)
Europastrasse 3
Case postale, 8152 Glattbrugg
sekretariat@vsa.ch
www.vsa.ch
Tel. 043 343 70 70

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

Association suisse des professionnels de la protection des eaux

Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Swiss Water Association

VSA

GESTION DES EAUX URBAINES PAR TEMPS DE PLUIE

MODULE DIMENSIONNEMENT ET CONCEPTION
PARTIE A : GESTION DES EAUX PLUVIALE

DA

2019

Impressum

La présente publication a été élaborée avec le plus grand soin et en toute bonne foi. Nous déclinons toutefois toute responsabilité quant à son exactitude, son exhaustivité et son actualité. Toute prétention en responsabilité à l'encontre de la VSA pour des dommages matériels ou immatériels qui pourraient être causés par l'utilisation et l'application de la présente publication est totalement exclue.

Valeur juridique
Cette directive documente l'état de la technique et les bonnes pratiques suisses en matière de gestion des eaux urbaines par temps de pluie. Elle précise la législation relative à la protection des eaux et permet une mise en oeuvre uniforme. La directive s'adresse principalement aux autorités chargées de l'application et de l'autorisation et aux planificateurs de systèmes d'évacuation des eaux. Elle garantit à l'utilisateur un degré élevé de sécurité juridique. D'autres solutions sont toutefois possibles. Cependant dans le cadre de la pratique juridique ces solutions doivent être conformes au droit.

Auteurs
Daniel Baumgartner, Hunziker Betatech AG, Berne
Reto Flury, Holinger AG, Berne
Natalie Muff, Holinger AG, Berne
Silvia Oppliger, Hunziker Betatech AG, Berne
Elias Winz, Holinger AG, Berne

Membres du groupe de travail
Karlheinz Diethelm, AfU, Herisau
Patrick Fischer, OFEV, Berne
Stefan Hasler, VSA, Glattbrugg
Daniel Meister, AWEL, Zurich
Urs Reichmuth, Office des ponts et chaussées, Wangen SZ
Jörg Rieckermann, Eawag, Dübendorf
Luca Rossi, SINEF SA, Givisiez
Pierre Wyrsch, SENE, Neuchâtel
Alain Wyss, DGEau, Genève

Membres de la commission Evacuation des eaux pluviales (2002)
Eugen Baer, GSA, Bern / Prof. Dr. Markus Boller, Eawag, Dübendorf / Dr. Franz Borer, AfU, Solothurn / Dr. Felix Näf, IHW-ETHZ, Zürich / Dr. Peter Haldimann, Dr. Jäckli AG, Zürich / Jean-Marc Ribi, Büro Ribi SA, Fribourg / Eugen Studer, BUWAL, Bern / Ulrich Steiner, Stadtbauamt, Burgdorf (présidence)

Éditeur
Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Photo de titre
Ramboll Studio Dreiseitl, Arkadien Winnenden

Conception
SLS Nadler, Peter Nadler, 8610 Uster

Impression
Appenzeller Druckerei AG, 9100 Herisau

Source de référence
VSA, Europastrasse 3, Postfach, CH-8152 Glattbrugg,
téléphone 043 343 70 70, sekretariat@vsa.ch, www.vsa.ch

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Brève description du présent module et destinataires

Le module dimensionnement et conception partie A contient des indications et des exemples pour le dimensionnement et la conception correcte des surfaces d'infiltration et des installations de gestion des eaux pluviales en zone urbaine. Il s'adresse principalement aux planificateurs (architectes, spécialiste en assainissement, architectes-paysagistes, urbanistes-aménagistes, ingénieurs civils, etc).

Abréviations utilisées pour les renvois et désignations des tableaux / figures (voir aussi module de base, chap. 1.6 « Structure de la directive »)

Abréviation pour les renvois	Titre des différents modules
B	Module de base
G	Module Analyse de la qualité de l'eau
S	Module STORM
D	Module Dimensionnement et conception
	DA Partie A : Gestion des eaux pluviales / DB Partie B : Installations de traitement et de déversement des eaux unitaires
E	Module Systèmes d'évacuation des eaux
L	Index et listes de l'ensemble de la directive • Liste des abréviations • Bibliographie

Exemples de renvois :

- voir module G, chap. 3 = voir module « Analyse de la qualité de l'eau », chapitre 3
- voir chap. 3 (sans spécification d'un module) = voir chapitre 3 du module même
- voir également fig. B4 = voir la figure B4 dans le module de base

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

TABLE DE MATIÈRES

I	**REMARQUES PRÉLIMINAIRES**	6
I.I	Positionnement du module	6
I.II	Structure du module	6
I.III	autres normes et directives	6
I.IV	Procédure générale de planification	7
1	**INSTALLATIONS D'INFILTRATION DES EAUX PLUVIALES**	9
1.1	Généralités	9
1.2	Conditions requises	9
1.3	Exigences relatives à la structure du sol	11
1.3.1	Principes	11
1.3.2	Structure du sol pour l'infiltration des eaux des biens-fonds	13
1.3.3	Procédure d'aménagement d'un sol servant à l'infiltration	14
1.4	Vérification de la nécessité d'étapes préalables	15
1.5	Types d'infiltration	16
1.5.1	Infiltration superficielle sur place	16
1.5.2	Collecte et répartition pour l'infiltration superficielle	16
1.5.3	Collecte et infiltration dans une installation d'infiltration	17
1.6	Aménagement de surfaces perméables	18
1.6.1	Gravier engazonné	19
1.6.2	Dalles ajourées, pavés, dalles poreuses	19
1.6.3	Instructions générales sur la végétalisation et l'entretien des surfaces carrossables	20
1.7	Construction d'installations d'infiltration avec passage à travers le sol	20
1.7.1	Infiltration «dans les bas-côtés»	21
1.7.2	Bassin d'infiltration	22
1.8	Construction d'installations d'infiltration sans passage à travers le sol	23
1.8.1	Généralités	23
1.8.2	Corps de gravier	23
1.8.3	Puits d'infiltration	24
1.8.4	Galerie d'infiltration	25
1.9	Sécurité, entretien et contrôle	26
1.9.1	Mesures de précaution	26
1.9.2	Inspection et contrôle	27
1.10	Dimensionnement des installations d'infiltration	27
1.10.1	Principes	27
1.10.2	Dimensionnement sur la base de courbes régionales d'intensité des précipitations	28
1.10.3	Dimensionnement sur la base d'un diagramme régional	29
1.10.4	Considérations sécuritaires et trop-plein de secours	30
1.10.5	Exemples de dimensionnement	31
2	**INSTALLATIONS DE RÉTENTION DES EAUX PLUVIALES**	32
2.1	Généralités	32
2.2	Types de mesures de rétention	33
2.2.1	Rétention sur les toits	33
2.2.2	Fossés	35
2.2.3	Rétentions de surface	36
2.2.4	Rétention dans des canaux de stockage	37
2.2.5	Bassins et dépressions de rétention	38
2.3	Dimensionnement d'installations de rétention	39
2.3.1	Bases de calcul	39

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2.3.2 Recommandations pour le calcul 40
2.3.3 Réflexions sur la sécurité 41

ANNEXE 42
Annexe 1 : Dimensionnement de systèmes complets au moyen d'une équation de bilan 42
Annexe 2 : Diagrammes généraux de dimensionnement de petites installations d'infiltration et de rétention, selon SN 640 350 (édition 2000) 44

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

I REMARQUES PRÉLIMINAIRES

Ce module «Dimensionnement et conception» fait partie de la directive «Gestion des eaux urbaines par temps de pluie» de l'Association suisse des professionnels de protection des eaux (VSA).

Il présente les approches et les possibilités de conception technique et de dimensionnement d'ouvrages en assainissement urbain et constitue une aide à la planification et à la mise en œuvre de mesures concrètes.

I.I Positionnement du module

Les exigences en matière de gestion et d'évacuation des eaux pluviales et des eaux unitaires ou usées dépendent essentiellement du type et de la quantité d'eau produite.

Les domaines d'application des systèmes présentés dans ce module vont de l'évacuation des eaux des bien-fonds à l'évacuation des eaux des places et des voies d'accès jusqu'au dimensionnement des systèmes appropriés pour l'ensemble des réseaux d'assainissement.

Les considérations conceptuelles et la planification qui conduisent au **choix d'une mesure appropriée** ne sont pas décrites dans ce document, mais doivent toujours être réalisées à l'avance sur la base des informations contenues dans le **module de base et le module STORM**. Une fois les mesures sélectionnées, le présent module sert à dimensionner et concevoir correctement l'installation correspondante.

I.II Structure du module

Ce module est divisé en deux parties : La **partie A** décrit les installations conçues pour l'évacuation directe des eaux pluviales provenant des biens-fonds, des voies d'accès dans la zone du bien-fonds, avec ou sans traitement. La **partie B**, en revanche, décrit les installations qui sont directement en lien avec le réseau d'assainissement, en particulier dans les systèmes unitaires avec traitement des eaux unitaires. En règle générale, elles sont pertinentes pour les plans généraux d'évacuation des eaux au niveau communal ou au niveau régional pour les PGEEi.

Une sélection d'**exemples pratiques** pour une meilleure illustration et une définition uniforme du dimensionnement et de la conception des systèmes d'eau pluviale (en particulier l'infiltration et la rétention) peut être trouvée dans la Recommandation KBOB/VSA «Infiltration et rétention des eaux de pluviale en milieu bâti» [157]. D'autres exemples pratiques sont présentés sur la page d'accueil du VSA.

I.III Autres normes et directives

Pour les installations d'évacuation spécifiques en milieu bâti et le drainage routier, il est fait référence aux normes et lignes directrices pertinentes existantes émises par les associations professionnelles et les organismes fédéraux. En milieu urbain, il s'agit notamment de la norme» Installations pour évacuation des eaux des biens-fonds» SN 592 000 [101], pour les installations ferroviaires de la norme «Évacuation des eaux des installations ferroviaires» [55] et pour les routes nationales du document «Traitement des eaux de chaussée des routes nationales» [56] .

Les installations d'infiltration, de rétention et de traitement doivent répondre aux exigences de sécurité des directives en vigueur (OPA, SUVA) (en particulier, la protection contre les chutes des personnes doit être respectée).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

I.IV Procédure générale de planification

Les installations présentées dans ce module (installation d'infiltration, de rétention et de traitement) nécessitent les étapes de planification générale suivantes :

- Détermination de la nécessité et des objectifs d'efficacité (selon le module de base) ;
- Détermination des grandeurs de dimensionnement ;
- Identification des sites possibles et des types d'installation appropriés ;
- Prédimensionnement et conception de l'installation ;
- Dimensionnement définitif, planification du projet et construction ;
- Définition du suivi de l'installation.

Selon l'installation et l'emplacement, d'autres étapes de travail peuvent être nécessaires ou des étapes individuelles peuvent être négligées.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1 INSTALLATIONS D'INFILTRATION DES EAUX PLUVIALES

1.1 Généralités

Les installations d'infiltration font pénétrer les eaux pluviales dans le sous-sol. Une distinction est faite entre les installations avec passage à travers le sol et celles qui ne passent pas à travers le sol (voir aussi Tableau B7).

1.2 Conditions requises

Conditions hydrogéologiques
La condition la plus importante est le respect de certaines exigences hydrogéologiques minimales à l'emplacement de l'infiltration. Les paramètres suivants sont déterminants pour la faisabilité de l'infiltration et pour le dimensionnement des installations d'infiltration :

- la présence d'un sous-sol à capacité d'infiltration suffisante (1–3 l/min/m^2) ;
- la capacité d'infiltration spécifique ou la perméabilité du sous-sol d'infiltration. En cas de passage à travers le sol de couverture, également la capacité d'infiltration de ce sol (0.5–2 l/min/m^2) ;
- l'épaisseur des couches de couverture peu perméables au-dessus du sous-sol d'infiltration (indication : dès env. 4 m d'épaisseur de la couche, une infiltration devient disproportionnée) ;
- la profondeur du niveau supérieur des eaux souterraines lors des hautes eaux (≥1 m).

La capacité d'infiltration spécifique $S_{spécif,}$ donnée en litres par minute par m^2, est une propriété spécifique locale du sous-sol. Elle ne correspond pas au facteur de correction de la perméabilité K selon Darcy bien que la dimension des unités soit la même. La formule de Darcy s'applique par définition aux courants laminaires dans les aquifères homogènes, saturés en eau, alors que l'infiltration se passe habituellement par percolation dans les couches de sol non saturées en eau. A titre d'approximation, la relation $S_{spécif} = K/2$ est souvent utilisée dans la littérature.

La capacité d'infiltration spécifique détermine la taille nécessaire de la surface d'infiltration dans une installation pour que la quantité d'eau souhaitée puisse être infiltrée. Plus la capacité d'infiltration spécifique est élevée, plus la surface d'infiltration nécessaire est petite et plus l'installation peut être de faible dimension.

Dans les installations avec passage à travers le sol, sous réserve d'un sous-sol suffisamment perméable, la capacité d'infiltration du sol est le facteur déterminant et limitant. Une couche supérieure de sol meuble apportée possède au plus une capacité d'infiltration spécifique de 0.5–2 l/min par m^2.

Des indications complémentaires pour le dimensionnement des installations d'infiltration figurent dans le chapitre 1.10 du présent module.

Souvent, le sous-sol bien perméable, adapté pour l'infiltration, ne se rencontre qu'à une certaine profondeur sous des couches de couverture peu perméables. Une installation d'infiltration souterraine devrait, pour être efficace, traverser les couches de couverture et atteindre directement le sous-sol favorable à l'infiltration.

La position de la nappe phréatique est un facteur limitant pour la profondeur d'une installation : le parcours d'infiltration vertical dans le sous-sol en place, non saturé en eau, doit être d'au moins 1 mètre

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

entre la base de l'installation et la nappe phréatique lors des hautes eaux HE. Sur ce parcours d'infiltration, le sous-sol non saturé en eau fonctionne comme un filtre supplémentaire. Il offre aussi une certaine sécurité contre l'engorgement de l'installation. Par ailleurs, la nappe phréatique ne doit pas être mise au jour lors de la construction de l'installation d'infiltration.

Pour l'examen des paramètres hydrogéologiques, il est judicieux de procéder ainsi :

- La carte d'infiltration de la commune (rapport d'état de l'infiltration du PGEE) renseigne sur la présence d'un sous-sol favorable à l'infiltration. En l'absence d'une telle carte, les cartes géologiques, d'autres documents géologiques, les cartes pédologiques ou les experts locaux doivent être consultés.

- La profondeur du sous-sol favorable à l'infiltration sous les couches de couverture peu perméables et leur capacité d'infiltration spécifique sont analysées de préférence au moyen d'une tranchée ou d'un sondage. Au besoin, des échantillons de sol sont prélevés et examinés en laboratoire (courbes granulométriques, détermination de la valeur K).

- Dans la tranchée ou le sondage, des essais d'infiltration sont effectués. Sur la base de tels essais, on peut soit calculer la valeur K du sous-sol capable d'infiltration, soit déduire directement la capacité d'infiltration spécifique $S_{spécif}$, en l/min par m^2 ou en m^3/s par m^2 de la quantité d'eau infiltrée et de la surface d'infiltration.

- La position de la nappe phréatique lors des hautes eaux HE est fournie par les cartes hydrogéologiques ou les mesures piézométriques sur place ou extrapolée à partir des données des environs. Il faut habituellement considérer les hautes eaux sur une période continue de 10 ans. Dans des zones présentant des conditions particulières, par exemple une profondeur limitée de la nappe, il faut au moins prendre en compte un niveau de nappe maximum de fréquence annuelle.

Pour ces analyses hydrogéologiques, il est indispensable de faire appel à un spécialiste au fait des conditions locales.

Aspects du droit du voisinage
Dans tous les cas, la situation du droit du voisinage doit aussi être analysée. Le voisin, en particulier en aval, ne doit pas être prétérité par l'infiltration artificielle des eaux de ruissellement.

En vertu de l'article 689 CC, une infiltration des eaux de ruissellement n'est, par exemple, pas réalisable sur une pente s'il existe un danger que l'eau à infiltrer occasionne des dégâts sur le terrain voisin, par exemple à un mur de soutènement ou dans les sous-sols, ou s'il faut s'attendre à ce que l'eau infiltrée s'écoule dans un drainage voisin ou une canalisation d'évacuation des eaux.

Pour chaque infiltration concentrée sur une pente, il faut assurer qu'il ne puisse en résulter des instabilités de terrain, des glissements de terrain, etc. Dans les régions où le risque de glissement est connu, l'infiltration des eaux de ruissellement dans une installation est inappropriée. La faisabilité et l'admissibilité d'une infiltration est à évaluer de cas en cas.

Infiltration dans le périmètre de sites pollués et de sites contaminés
Dans le périmètre des sites pollués par des déchets et des surfaces suspectes, en particulier sur les sites contaminés, aucune eau de ruissellement ne doit être infiltrée artificiellement sans mesure spécifique, car il existe un danger que l'infiltration mobilise des polluants et les entraîne dans les eaux souterraines ou, de manière diffuse, dans le sous-sol.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1.3 Exigences relatives à la structure du sol

Le but d'une infiltration par le sol est de retenir les polluants contenus dans les eaux de ruissellement. Cependant, les sols naturels ne présentent pas tous les mêmes qualités eu égard à l'infiltration. C'est pourquoi il est important de prêter une attention toute particulière à la structure du sol lors des études en vue de ce mode d'évacuation et de la construction d'une installation d'infiltration.

1.3.1 Principes

Fonction de filtrage, de stockage et de transformation du sol naturel
Le sol agit comme filtre et réservoir, parfois aussi comme transformateur, tant pour les substances naturelles que pour les substances anthropogènes. La capacité d'adsorption et, dans une beaucoup plus faible mesure, la capacité de transformation du sol déterminent de façon décisive, avec d'autres mécanismes d'action, le comportement des polluants et des sustances étrangères du sol.

- **Transport de l'eau dans le sol :** Les eaux pluviales s'infiltrent dans le sol et sont ensuite retenues en proportion variée dans le système de pores. Selon la quantité et l'intensité des précipitations et la capacité du sol à accueillir l'eau, une partie des précipitations parvient dans les eaux souterraines, une autre partie s'évapore directement de la surface du sol ou ruisselle en surface, lors de fortes précipitations, jusque dans les eaux de surface.

- **Filtration physique et chimique de l'eau d'infiltration dans l'espace poreux et ses environs immédiats :** Lors du transport à travers l'espace poreux du sol, les particules apportées par l'eau sont retenues de façon mécanique (substances grossièrement dispersées), physicochimique (substances à dispersion colloïdale), chimique ou biochimique (substances à dispersion ionique). Les substances et les particules retenues (nutriments mais également polluants) se déposent sur la matrice du sol (soption).

- **Capacité d'absorption d'eau :** Dans un sol structuré naturellement, la capacité de stockage d'eau atteint un ordre de grandeur équivalant à la part volumétrique des macropores et des pores de taille moyenne.

- **Capacité d'échange cationique :** La capacité de rétention du sol pour les substances est décrite quantitativement par la capacité d'échange cationique (CEC), c.-à-d. par la somme des cations échangeables par unité de masse du sol [mmol C/kg sol].

Composition du sol et végétation
Les sols ont la capacité, dans une certaine mesure, de filtrer, de stocker, de transformer et, dans le cas des matières organiques, de décomposer les polluants qui parviennent dans les eaux pluviales, par des processus naturels ou anthropiques. Ces substances migrent ensuite dans les couches plus profondes par l'infiltration. Ces processus protègent les eaux souterraines contre la pollution.

La capacité d'épuration et de rétention d'un sol dépend de différents paramètres :

- **Couverture végétale** : pour qu'un sol conserve sa capacité de filtration à long terme, il est important de veiller à une couverture végétale extensive, permanente et continue, avec des espèces à racines peu profondes (p. ex. prairie). Les plantes à racines profondes sont par contre inappropriées, car elles favorisent les voies d'écoulement préférentielles et les effets de dérivation, ce qui réduit la protection

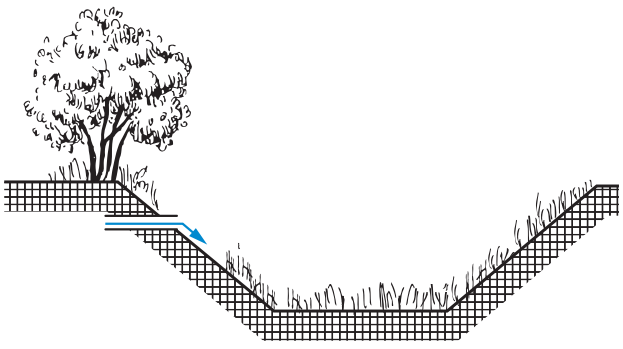


Figure DA1
Végétation extensive permanente et continue appropriée / recommandée pour une installation d'infiltration des eaux.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

des eaux souterraines contre les apports de polluants. Arbres et arbustes sont par conséquent inadéquats également.

Une couverture végétale permanente de type extensif présente en outre l'avantage de n'exiger que peu (un minimum) de coupes par année, réduisant ainsi les frais d'entretien.

- **Sous-sol perméable :** il faut s'assurer que les couches du sol se trouvant en dessous du sol planté sont suffisamment perméables afin d'empêcher un engorgement du sol. L'eau ne devrait pas stagner plus de 48 heures sur le sol végétalisé après des événements pluviaux intensifs.

- **Volume des pores/compactage** : le sol ne peut exercer ses fonctions de nettoyage et de rétention que s'il présente une distribution aussi bonne que possible des tailles de pores, et un volume optimal des pores. Pour cette raison, il faut éviter de le compacter. D'un autre côté, trop de macropores peuvent favoriser les voies d'écoulement préférentielles et doivent donc être évités.

- **Teneur en argile :** une forte teneur en argile augmente la rétention des métaux lourds, mais elle peut également réduire la perméabilité et donc favoriser l'engorgement et déboucher sur la formation de voies d'écoulement préférentielles. Il faudra par conséquent choisir un sol avec une teneur appropriée en argile, qui sera fonction du degré de pollution des eaux de ruissellement à infiltrer. Cette teneur se situe idéalement entre 10 et 20 %. Dans des cas exceptionnels, on peut également utiliser des sols avec des teneurs de 5 % ou de 25 %.

- **Teneur en matières organiques :** L'humus du sol forme des complexes avec les polluants organiques et absorbe les métaux lourds dissous. Une couverture végétale extensive, fermée et permanente stabilise la teneur en matières organiques en l'espace de 4 à 5 ans. Bien que les microorganismes puissent contribuer à la dégradation des polluants organiques, il est toutefois déconseillé d'ajouter de la matière organique (p. ex. compost) pour en augmenter la teneur dans le sol, car des sols trop actifs, contenant beaucoup de vers de terre, peuvent favoriser des voies d'écoulement préférentielles.

- **pH :** un pH élevé est favorable à la rétention des métaux lourds.

Les deux premières exigences sont à prendre en compte en priorité (couverture végétale permanente et perméabilité du sous-sol). Si ces deux conditions sont remplies, une activité biologique idéale finira par s'établir dans le sol au bout d'un certain temps – même dans un sol préalablement suboptimal – permettant au milieu de déployer son plein pouvoir d'épuration et de rétention (pour une vue d'ensemble détaillée d'une structure de sol optimale, voir Tab. DA1 de ce module).

Sol	**Horizon A Couche supérieure**	Couche meuble et friable de matière minérale désagrégée enrichie de matière organique (humus), intensément habitée et parcourue de racines, le plus souvent (brun-)noir.
	Horizon B Couche inférieure	Couche le plus souvent moins fortement désagrégée, nettement moins habitée, moins parcourue de racines, pas ou peu humique et le plus souvent plus claire (brun rouille à brun clair) et à densité plus élevée que l'horizon A.
Sous-sol	**Horizon C**	Matériel minéral initial peu ou pas désagrégé, à peine habité et parcouru de racines, à densité plus élevée que dans l'horizon B et sans matière organique.

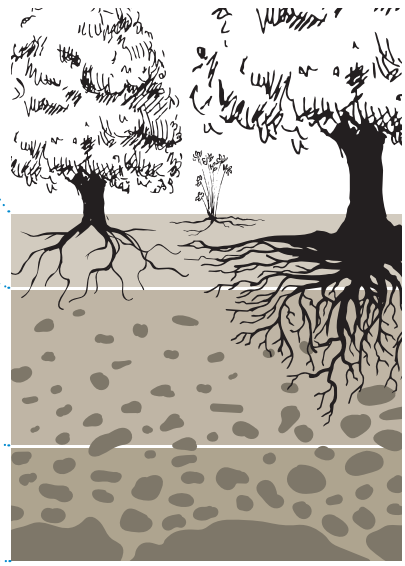


Figure DA2
Présentation du «sol» au sens légal, selon l'art. 7 al. 4^{bis} LPE.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Instructions concernant la gestion et l'évacuation des matériaux pollués des installations d'infiltration
Indépendamment du statut juridique des surfaces, tranchées ou installations recevant des eaux d'épendage (polluées ou non-polluées), la manipulation de sols pollués ou de matériaux d'excavation, de déblais ou de démolition de l'horizon C relève fondamentalement du droit des déchets (OLED ou législations cantonales) et les deux directives correspondantes de l'OFEV s'appliquent [53, 54].

Les matériaux fauchés provenant de surfaces servant à l'infiltration concentrée d'eaux de ruissellement s'écoulant de surfaces en dur ne doivent pas être utilisés comme fourrage (sous forme ni d'herbe, ni de foin). Il ne faut pas non plus laisser les déchets sur place (paillage) pour éviter le feutrage de la couverture végétale. L'élimination correcte est l'incinération dans une UIOM.

Accompagnement pédologique
Lors de la construction d'installations d'infiltration, les couches supérieure et inférieure du sol doivent le plus souvent être prélevées, transportées, entreposées et enfin mises en place avec des machines. Le traitement précautionneux d'un sol naturel est déterminant pour une bonne infiltration et devrait, en particulier pour des projets importants, être planifié et accompagné par un spécialiste du sol (pédologue).

Depuis de nombreuses années, des scientifiques et ingénieurs formés de manière approfondie en pédologie, avec la formation complémentaire reconnue de «spécialistes de la protection des sols sur les chantiers», sont à disposition.[1]

Les bases spécialisées pour des méthodes de travail en travaux souterrains ménageant les sols se trouvent dans le guide de l'OFEV «Construire en préservant les sols» [301][2] ainsi que les normes suisses SN «Terrassement, sol – Protection des sols et construction» du VSS[3].

1.3.2 Structure du sol pour l'infiltration des eaux des biens-fonds

Les exigences auxquelles doit satisfaire le sol pour l'infiltration des eaux de ruissellement provenant de biens-fonds sont résumées dans le Tableau DA1. Les trois exigences de base doivent être remplies pour toute infiltration avec passage à travers le sol ; les autres critères sont des valeurs indicatives. Pour l'infiltration concentrée dans une installation, les exigences pour l'épaisseur du sol doivent être renforcées. Ces dernières représentent des valeurs cibles ; elles doivent être vérifiées en détail surtout pour l'infiltration d'eaux pluviales fortement polluées.

Dans le domaine des biens-fonds, il est possible que la structure du sol en deux couches normalement exigée puisse être remplacée par une seule couche supérieure. Les exigences relatives à l'épaisseur totale restent toutefois valables.

Lors de la construction de places perméables, par exemple avec des dalles alvéolées pour gazon ou du gazon-gravier, la structure minimale en deux couches peut être interrompue par les couches de nivellement (gravier et sable) nécessaires sur le plan technique. En d'autres termes : le matériau de la couche supérieure qui est placé dans les alvéoles (épaisseur d'env. 10 cm) ne repose pas directement sur le sous-sol. Ce dernier se trouve sous la couche de fondation et de nivellement. Les exigences relatives à l'épaisseur totale, sous-sol et couche supérieure, restent toutefois valables.

[1] La liste des spécialistes reconnus de la protection des sols sur les chantiers se trouve sous www.soil.ch/cms/fr/protection-des-sols-sur-les-chantiers/liste-spsc/
[2] «Construire en préservant les sols», guide Environnement Nr. 10, OFEV, 3003 Bern
[3] Normes suisses «Terrassement, sol – Protection des sols et construction» SN 640581a, SN 640582 et SN 640583, 1998, VSS, 8008 Zürich

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Tableau DA1
Exigences relatives à la constitution de la structure du sol pour l'infiltration surfacique d'eaux de ruissellement provenant de biens-fonds.

Exigence fond. 1 : couverture végétale continue, couverture végétale permanente extensive		
Exigence fond. 2 : Sous-sol perméable (valeur cible : inondation de max. 48h)		
Exigence fond. 3 : épaisseur [cm]		
Épaisseur total	**Couche sup. et inf. du sous-sol :**	**≥ 30 cm** (perpendiculairement à la surface)
	Couche sup. (horizon A)	10 – 30 cm
	Couche inf. (horizon B)	Au moins différence entre épaisseur totale et épaisseur couche supérieure, facultatif si couche supérieure ≥ 30 cm
Autres critères		
Composition	Teneur en argile [%]	10 – 20 %, exceptionnellement 5 – 25 %
	Teneur en matière organique (contenu humique)	**Couche sup. :** «faiblement humique» à «humique» **Couche inf. :** plus faible que dans la couche sup (max. 1 %) dans les deux cas, ne pas rajouter de substances additionnelles (p. ex. compost)
	pH	La différence de pH entre la couche sup. et la couche inf. ne doit pas freiner la croissance (d'une manière général > 5)

1.3.3 Procédure d'aménagement d'un sol servant à l'infiltration

Pour les grands projets de construction, la procédure suivante est impérative pour la mise en place du sol d'une installation d'infiltration et judicieuse pour tous les projets de construction (pour les détails, se référer aux normes suisses SN 640 581a, 640 582 et 640 583 du VSS) :

- Appréciation du matériau proposé à l'emploi, surtout en fonction des paramètres exposés dans le Tableau DA 1 (le plus souvent, des méthodes pédologiques de terrain simples, planifiées et accompagnées par un spécialiste formé, suffisent, en plus de quelques analyses de laboratoire dans le sens d'un étalonnage et d'un contrôle qualité).

- Sur la base des propriétés trouvées : triage du matériel pédologique en relation avec les objectifs possibles d'utilisation.

- En cas de signe d'un sol déjà pollué par des substances nocives : procédure selon les guides d'application concernés de l'OFEV [53, 54].

- Déterminer l'admissibilité de l'utilisation de machines et en fixer les modalités de façon contraignante en fonction de leur poids, du tassement de la surface et de l'humidité du sol. Les travaux doivent être accompagnés dans une mesure appropriée par un spécialiste formé et expérimenté. Le sol à mettre en place ne doit jamais être parcouru par les machines de chantier pendant sa mise en place. Le matériel pédologique tassé n'est plus utilisable pour l'infiltration des eaux pluviales.

- La remise en culture après la fin des travaux de terrassement est d'une importance capitale. Si le sol est nouvellement remblayé pendant les travaux, il est possible d'adapter les qualité du sol aux besoins en utilisant de meilleurs sols (l'offre est souvent excédentaire) en termes de teneur en argile ou en humus. Si par contre on met en place un sol constitué (végétalisé), il s'agit de ne modifier au maximum que la couche supérieure, l'inférieure doit rester inchangée, et avant tout ne pas se trouver compactée. Le diamètre des pores augmente temporairement dans la terre remuée. Le rétablissement du système naturel des pores nécessite une période de 3 à 5 ans jusqu'à ce que l'effet optimal souhaité puisse être atteint.

- Après le reverdissement effectif des surfaces, les surfaces d'infiltration ne doivent être parcourues qu'avec des machines légères et à très faible pression sur la surface de contact (< 300 g/cm^2) pour que le système des pores ne soit pas détruit.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

D'entente avec les services cantonaux responsables, les exigences précédentes peuvent être adaptées dans des cas exceptionnels justifiés. En particulier, les valeurs de pH et de teneur en argile peuvent exceptionnnellement diverger des valeurs indiquées lorsqu'il est démontré que les eaux à infilter ne sont pas polluées et que la capacité d'infiltration est garantie.

1.4 Vérification de la nécessité d'étapes préalables

Prétraitement
Les eaux de ruissellement des toitures, des places ou des voies de communication sont habituellement polluées par des matières en suspension particulaires et des détritus. Par un prétraitement sous forme de dépotoirs et de bassins de sédimentation, le remplissage des pores (colmatage) de l'installation peut être réduit et sa durée d'utilisation prolongée.

Un prétraitement poussé de l'eau est d'autant plus important qu'une installation d'infiltration peut difficilement être nettoyée ou rincée. C'est surtout le cas pour les installations souterraines (p. ex. lit pierreux, puits d'infiltration, galerie d'infiltration). Mais un prétraitement ne constitue pas un traitement proprement dit des eaux de ruissellement, puisqu'elle ne réduit pas sensiblement la pollution en substances nocives.

Les installations adaptées à la pré-épuration mécanique des eaux de ruissellement polluées par des matières en suspension sont des dépotoirs, des bassins de graviers filtrants parcourus verticalement ou horizontalement, végétalisés ou non. Une installation de décantation devrait être capable de décanter la majorité de la cendre dite volante (suie de chauffage) aux particules d'un diamètre moyen de 0.02 à 0.06 mm, car elle est lessivée des toits, en particulier en hiver.

Les matières flottantes peuvent être séparées assez facilement par des parois plongeantes ou des coudes plongeurs. Des puits de décantation conçus ainsi nécessitent cependant un entretien régulier.

Les détails concernant le dimensionnement des dépotoirs et des bassins de sédimentation figurent dans la norme SN 592 000.

Le dépôt de boue dans un dépotoir doit régulièrement être contrôlé et évacué. Si la boue déposée est laissée trop longtemps, elle peut être remise en suspension lors des prochaines pluies et parvenir dans l'installation d'infiltration ou de traitement. De plus, le processus de décomposition de la matière organique déposée a un effet négatif sur la qualité de l'eau dans la mesure où la remise en solution de certaines substances nocives devient possible.

Pour l'entretien, un bon accès à l'entrée du puits est nécessaire. Il faut éviter les dispositifs coniques. Comme les puits d'infiltration, les dépotoirs doivent aussi être dotés d'un couvercle à vis et signalés comme tels.

De façon générale, plus le prétraitement est efficace, plus l'entretien de l'installation d'infiltration ou de traitement est simple. Même avec un prétraitement efficace, il n'est pas possible de rendre l'eau totalement exempte de matières en suspension. Chaque installation d'infiltration ou de traitement connaît donc à long terme un colmatage croissant des pores. Il faut en tenir compte lors du dimensionnement (cf. chap. 1.10.4).

Mesures de traitement
Selon la pollution, les eaux de ruissellement doivent être épurées par filtrage, adsorption ou d'autres mesures appropriées de sorte qu'elles remplissent les conditions d'infiltration (voir examen de l'admissibilité de l'infiltration, module de base, chapitre 4.2) ou de déversement dans les cours d'eau (voir examen de l'admissibilité pour la charge en polluants, module de base, chapitre 5.2. Des installations de traitement sont à prévoir là ou des eaux de ruissellement fortement chargées ou un risque accru d'accident sont à attendre.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

On distingue entre les installations de traitement avec ou sans passage dans un horizon de sol (voir module de base Tableau B9). La présente directive ne contient pas d'indications de dimensionnement pour les installations de traitement, mais renvoie aux listes du VSA des installations recommandées (voir module de base, chapitre 7). Ces installations sont testées en conditions réelles. Les indications des fabricants diffèrent souvent significativement des conditions réelles. Le temps de retour à utiliser pour le dimensionnement dépend de l'objectif et des exigences spécifiques pour le traitement (voir également Tableau DA2).

1.5 Types d'infiltration

1.5.1 Infiltration superficielle sur place

La mesure la plus efficace de la gestion des eaux pluviales consiste à ne pas imperméabiliser les surfaces dans les agglomérations, mais à les aménager de façon perméable pour que les eaux pluviales puissent s'infiltrer sans autre sur place. L'infiltration superficielle peut être facilitée sur tout bien-fonds, par une conception adéquate des surfaces d'infiltration ; c'est l'option à favoriser autant que possible.

Il convient de prêter une attention toute particulière au risque d'engorgement.

1.5.2 Collecte et répartition pour l'infiltration superficielle

Si une imperméabilisation est nécessaire, par exemple sur les surfaces de toit et de parking, l'eau récoltée doit être à nouveau répartie autant que possible sur une grande surface d'infiltration (figure DA4A).

Les eaux de ruissellement des surfaces imperméables peuvent être infiltrées dans les bas-côtés, c.-à-d. par des écoulements linéaires ou étendus au bord de la surface imperméabilisée.

Mais il n'existe souvent pour la répartition et l'infiltration superficielle qu'une surface d'infiltration nettement plus petite que la surface d'évacuation des eaux. Dans de tels cas, des mesures de rétention appropriées doivent permettre à l'eau de s'infiltrer de façon différée dans la surface plus petite (figure DA4B).

Plus le rapport entre la surface d'évacuation des eaux et la surface d'infiltration est grand, plus le sol de la surface d'infiltration est sollicité (accumulation des polluants). Pour une infiltration par les bas-côtés, il faut veiller à ce que les eaux ne s'infiltrent pas purement verticalement et ainsi parcourent un trajet dans le sol plus long (figure DA3).

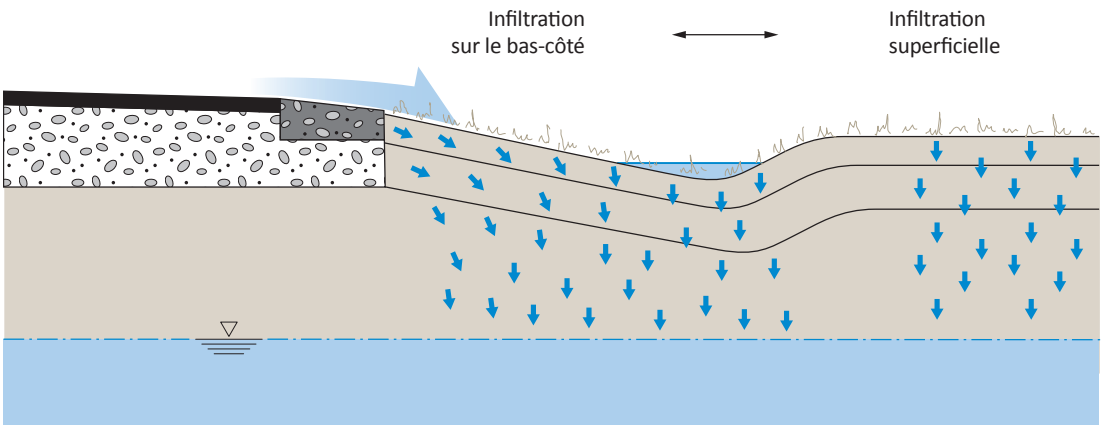


Figure DA3
chemins d'écoulement sur les bas-côtés et infiltration superficielle.

Pour les surfaces imperméables, il faut viser autant que possible une infiltration par les bas-côtés ou dans des fossés ou rigoles.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1.5.3 Collecte et infiltration dans une installation d'infiltration

Si l'infiltration superficielle n'est pas possible sur place pour des raisons de place ou de protection du sol, l'eau doit être infiltrée dans une installation d'infiltration.

Une installation d'infiltration est un ouvrage superficiel ou souterrain édifié en vue de l'infiltration artificielle des eaux de ruissellement. On considère aussi sciemment comme installations d'infiltration des surfaces de sol réservées pour l'infiltration dans lesquelles on s'accommode d'un enrichissement à long terme en substances nocives. C'est habituellement le cas lorsque le rapport entre surface d'évacuation des eaux et surface d'infiltration (A_E/A_V) est ≥ 5.

Dans une installation d'infiltration, la surface d'infiltration disponible est nécessairement nettement plus petite que la surface d'évacuation des eaux (figure DA4C). Pour la plupart des installations d'infiltration, les mesures de rétention sont la condition principale pour que les eaux de ruissellement puissent être infiltrées. Il faut tenir compte également du risque d'engorgement.

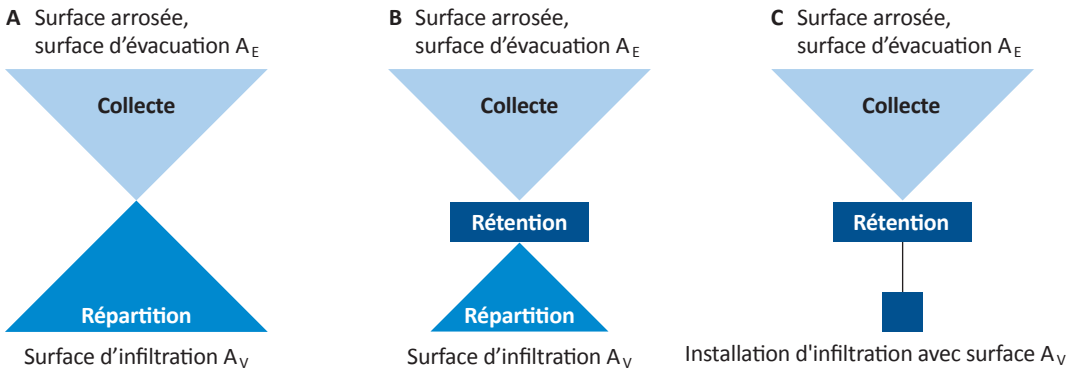
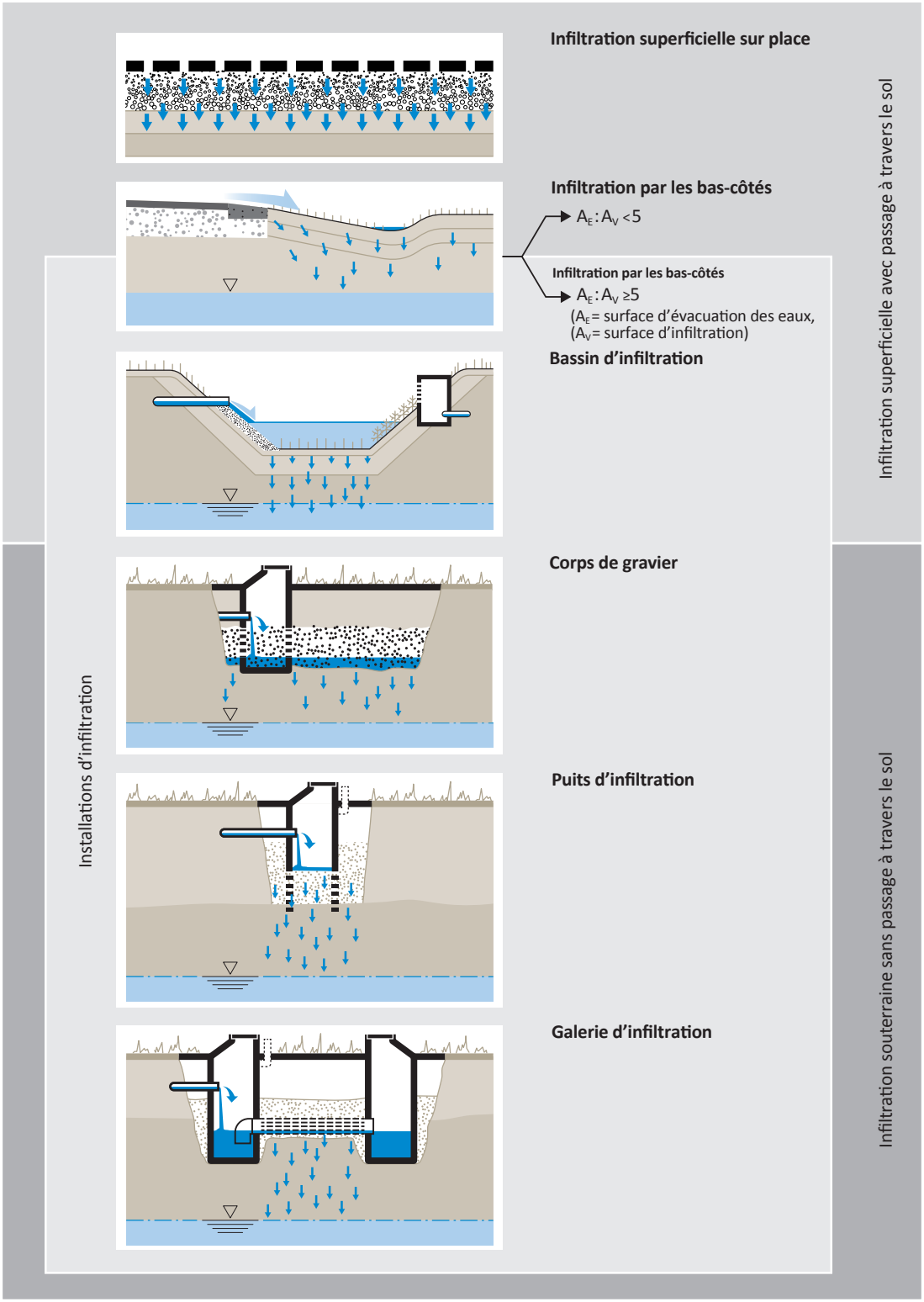


Figure DA4
Principe surface d'évacuation – surface d'infiltration.

On distingue en principe deux types d'installations d'infiltration (cf. figure DA5) : l'infiltration s'effectue en surface à travers le sol ou dans le sous-sol sans passage à travers le sol.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Figure DA5
Différents types d'infiltration.



1.6 Aménagement de surfaces perméables

Partout où cela est possible, si le sous-sol est perméable, il faudrait aménager de façon perméable et éventuellement végétaliser les places, les chemins, les accès, les places de parc et les aires de stationnement pour voitures privées. Cette façon de faire est plus avantageuse que la collecte et le stockage des eaux pluviales avant leur infiltration.

Pour cette raison, les types les plus utilisés de surfaces de circulation perméables sont décrits ci-dessous avant les installations d'infiltration proprement dites :

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

- gravier engazonné
- dalles ajourées, pavés, dalles poreuses

1.6.1 Gravier engazonné

Principe : Les graviers engazonnés sont des surfaces de gravier carrossables sur lesquelles la végétation se développe spontanément ou après ensemencement.

Construction : Une couche de fondation de 30–50 cm de matériau graveleux résistant au gel est d'abord mise en place. Une couche de croissance de 15 cm d'épaisseur de sable graveleux additionné de 20–30 % de terre végétale est ensuite déposée et ensemencée. Une mince couche de tout-venant est tassée au-dessus au rouleau. La première année, pour renforcer le gazon, il faut faucher plusieurs fois ; ensuite aucun entretien n'est plus nécessaire.

Restrictions : Selon la consolidation du sous-sol, les graviers engazonnés ont des capacités de portance et d'infiltration différentes. Des ornières et des flaques peuvent se former dans le gravier. En terrain pentu, une érosion est possible. Les graviers engazonnés ne sont pas admissibles là où des déversements accidentels de liquides pouvant polluer les eaux peuvent se produire.

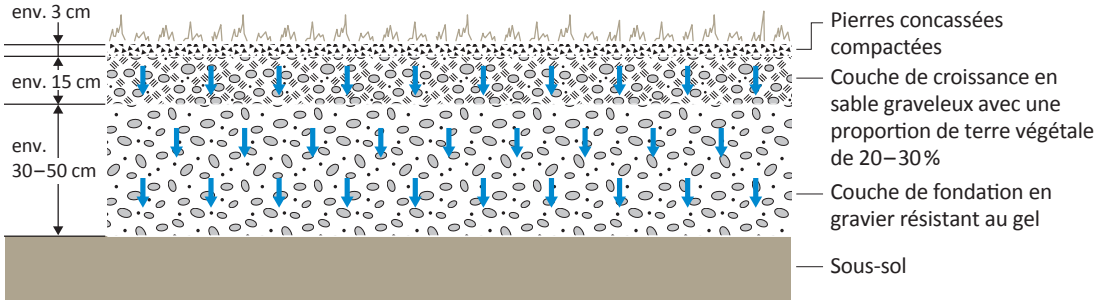


Figure DA6
Gravier engazonné.

Variante
Une couche de fondation graveleuse un peu plus épaisse peut aussi être mise en place si nécessaire. Elle offre alors un volume de rétention plus grand et agit comme un «corps de gravier».

1.6.2 Dalles ajourées, pavés, dalles poreuses

Principe : Les dalles ajourées sont des pièces moulées en béton de tailles diverses, dont les intervalles sont remplis par la couche supérieure du sol et couverts d'herbe. On rencontre encore aujourd'hui sur de vieilles places des pavés dont les intervalles sont occupés par une végétation herbacée. Les dalles ajourées sont une invention moderne dont la perméabilité permet une infiltration directe de l'eau.

Construction : La fondation du pavage doit supporter la charge escomptée du trafic [425]. Pour une sollicitation normale, p. ex. sur les parkings, la couche de fondation en matériau graveleux résistant au gel devrait avoir 20–40 cm d'épaisseur. La couche supérieure devrait être bien tassée et aplanie. Un lit de sable ou de gravillons d'environ 5 cm d'épaisseur est déposé dessus, puis les pavés. Les interstices entre les pavés sont remplis avec la couche supérieure de sol («humus»).

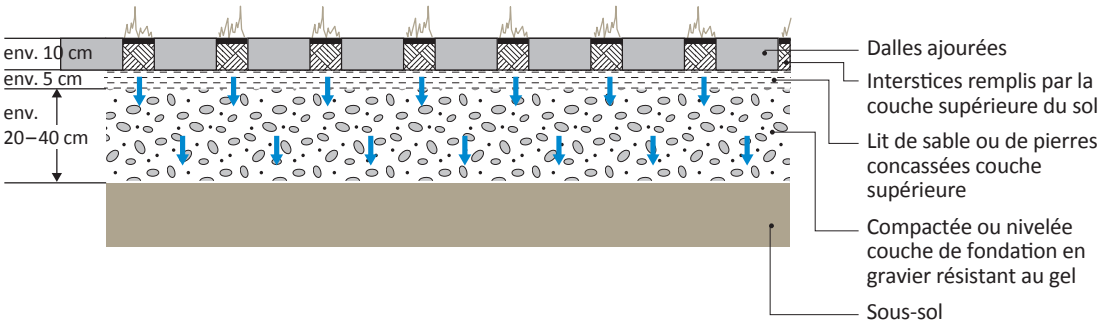
En cas d'utilisation de dalles ajourées, aucun espacement n'est pratiquement nécessaire. Mais, en fonction de la végétation souhaitée, on peut laisser un espace, remplir les intervalles avec du matériau de la couche supérieure du sol et semer un mélange d'espèces peu exigeantes.

Pour les dalles ajourées, on n'apporte que le minimum de terre végétale indispensable. Il faut donc, sous la couche de fondation, un sous-sol naturel perméable de plus de 20 cm d'épaisseur qui complète l'effet de la couche supérieure très mince du sol.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Restrictions : Selon la taille des interstices et le tassement de la couche de fondation, les places revêtues de dalles ajourées sont plus ou moins perméables. Surtout lors de fortes précipitations, l'eau ne peut pas suffisamment s'infiltrer et devrait alors pouvoir s'écouler en surface sur les côtés.

Figure DA7
Dalles ajourées.



Variantes

- Les dalles ajourées peuvent aussi être en béton poreux ce qui accroît la perméabilité. Mais il existe un risque que les pores soient bouchés avec le temps par les particules entraînées ou par la mousse. Les feuilles mortes et le feuillage compliquent aussi le passage de l'eau. Les dalles ajourées doivent être périodiquement nettoyées.

- Comme pour les graviers engazonnés, la couche de fondation en gravier peut être plus épaisse que nécessaire et servir alors de corps de gravier disposant d'un volume de rétention supplémentaire.

- La surface des places pavées peut être aménagée de façon irrégulière, avec des dépressions et des bosses. Dans les dépressions, il faut prévoir des ouvertures plus larges ou poser des dalles ajourées. L'eau est collectée dans les dépressions et doit pouvoir s'y infiltrer.

1.6.3 Instructions générales sur la végétalisation et l'entretien des surfaces carrossables

Les surfaces perméables végétalisées ne peuvent supporter que des charges mécaniques limitées. La circulation de véhicules lourds occasionne un tassement du sol ou du sous-sol. La végétation résistante ne se développe que sur des sols humides bien aérés. De plus, la circulation des véhicules produit de fines particules qui bouchent les pores. Les racines des plantes ont de la peine à traverser les sols colmatés. En cas d'utilisation de dalles ajourées, il faut donc veiller à ce que la couche supérieure du sol ne soit pas sollicitée par le trafic entre les rangs de dalles ou de pavés.

Pour les semences, il faut donner la préférence aux espèces peu exigeantes pour les substances nutritives, l'humidité du sol et la température. La composition du mélange de semences doit être adaptée aux conditions locales. A titre d'exemple, la quantité de semences est de 20–25 g/m^2 pour le gravier engazonné. Après l'ensemencement, il ne faut plus fertiliser le sol, car aucun engrais ne doit parvenir dans le sous- sol avec les eaux pluviales.

En hiver, les surfaces ne doivent pas être déblayées avec de lourds chasse-neige. On ne doit utiliser ni herbicide ni sel.

1.7 Construction d'installations d'infiltration avec passage à travers le sol

L'infiltration avec passage à travers le sol garantit une exploitation pleine et entière du pouvoir épurateur de la couche vivante du sol : les polluants contenus dans l'eau infiltrée sont retenus dans le sol, l'eau est épurée et les eaux souterraines sont ainsi ménagées. Avec le temps toutefois, les couches du sol servant de filtre deviennent chargées en polluants. Ce matériau doit par conséquent être traité comme un élément d'une installation ; lors du démantèlement de celle-ci, il doit être éliminé conformément aux dispositions légales. **Néanmoins, l'infiltration avec passage à travers le sol sera dans tous les cas préférée à une infiltration sans un tel passage** (voir examen de l'admissibilité de l'infiltration dans le module de base).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1.7.1 Infiltration «dans les bas-côtés»

Principe : L'écoulement et l'infiltration superficiels des eaux de ruissellement pas ou peu polluées correspondent à l'état naturel. Sur les biens-fonds, l'infiltration superficielle peut être favorisée par une configuration appropriée de la surface de jardin. Au bord des places ou des aires de circulation, les eaux pluviales peuvent s'écouler vers les bas-côtés sur les talus et les bandes végétalisées contigus, où elles peuvent s'infiltrer (voir SN 640 354 du VSS).

Conditions : Si le rapport entre la surface d'évacuation des eaux et la surface d'infiltration est ≥ 5, le sol doit être déclaré comme installation ou partie d'installation (cf. chapitre 1.5.3 du présent module). Dans ce cas, les surfaces d'infiltration sont à concevoir et utiliser selon les prescriptions qui suivent. On demande aussi au sous-sol de telles surfaces d'infiltration de faire preuve, même modestement, de perméabilité et de capacité d'absorption. Si le sous-sol se compose de couches très peu perméables ou déjà naturellement saturées en eau (p. ex. dépôts lacustres, rives, etc.), une infiltration sur les bas-côtés n'est pas possible.

Construction : La surface d'infiltration brute doit être aussi horizontale que possible pour empêcher les écoulements aux transitions de couches et les inondations indésirables. Sur les pentes, il est nécessaire d'aménager les surfaces nivelées en terrasses.

Lors de l'aménagement des surfaces, les couches supérieure et inférieure du sol doivent être meubles et non tassées.

Restrictions : Lors de l'aménagement des environs pour une infiltration superficielle, il faut veiller à ce que les eaux de ruissellement n'entraînent pas de dégâts d'inondation lors de fortes pluies de longue durée. Cela peut se produire si un trop-plein est créé dans un puits au point le plus bas du terrain et si l'eau du trop-plein est déversée pour être infiltrée dans une installation appropriée ou évacuée autrement sans dommage ou réutilisée.

Indication pour le dimensionnement : On doit attribuer une capacité d'infiltration spécifique $S_{spécif}$ d'environ 0.5 – 2 l/min par m^2 à un sol mis en place selon les instructions du chap.1.3.3. C'est la valeur déterminante pour le dimensionnement (cf. chap. 1.10 du présent module).

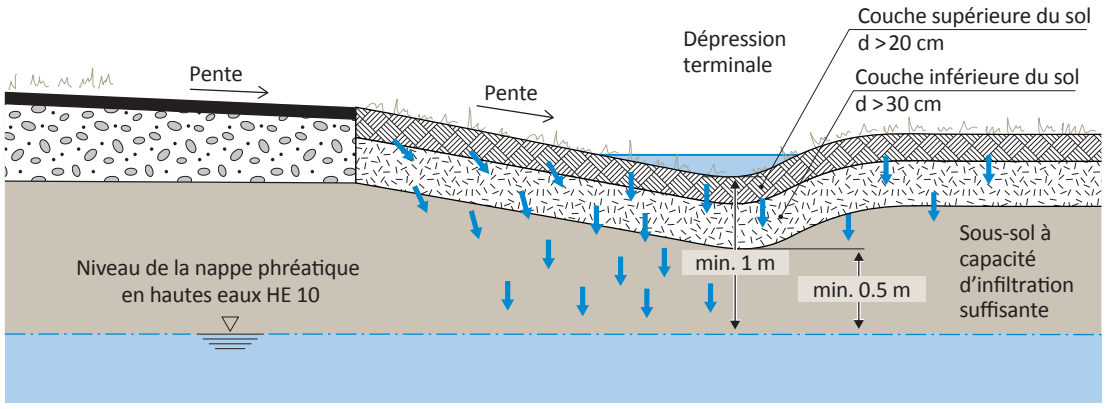


Figure DA8
Infiltration concentrée par les bas-côtés ($A_E : A_V \geq 5$).

Variantes
Sur les biens-fonds, l'écoulement et l'infiltration superficiels des eaux de ruissellement peuvent encore être favorisés par des mesures techniques [371], p. ex. par :

- Cours d'eau en cascades avec des secteurs de rétention entre deux ;
- Aménagement de dépressions dans la surface d'infiltration ;
- En cas d'eaux de ruissellement peu polluées : interposition de surfaces rudérales en matériau graveleux dans lesquelles l'eau peut mieux s'infiltrer.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1.7.2 Bassin d'infiltration

Principe : Le bassin d'infiltration (appelé aussi dépression humique ou dépression d'infiltration) est une installation d'infiltration naturelle et efficace compte tenu de son volume de rétention généralement grand. L'infiltration s'effectue à travers la couche vivante du sol où l'eau est épurée de façon optimale. Grâce à sa capacité de rétention, un bassin d'infiltration peut aussi être réalisé là où la capacité d'infiltration du sous-sol est faible, p. ex. dans les sols morainiques.

Construction : Un bassin d'infiltration peut avoir pratiquement n'importe quelle forme et s'adapter au paysage. La pente des talus devrait être entre 1 : 5 et 1 : 3.

Habituellement, le sous-sol favorable pour l'infiltration ne se rencontre qu'à une certaine profondeur sous des couches de couverture peu perméables. Pour avoir une capacité suffisante, le bassin d'infiltration devrait traverser les couches de couverture et atteindre directement le sous-sol favorable à l'infiltration. Dans tous les cas, il faut creuser assez profondément pour que le sol aménagé comme filtre (couches supérieure et inférieure du sol) puisse avoir l'épaisseur nécessaire.

Le niveau de la nappe phréatique constitue un facteur limitant pour la profondeur d'un bassin d'infiltration. La distance d'infiltration verticale dans le sous-sol non saturé en eau doit être d'au moins 1 mètre entre la base du bassin et la nappe phréatique aux hautes eaux. A la différence des installations souterraines, l'épaisseur des couches supérieure et inférieure du sol mises en place artificiellement peut être comptée dans la distance d'infiltration minimale de 1 mètre tant que la construction de l'installation ne met pas à jour la nappe phréatique.

Lors de la construction d'un bassin d'infiltration, il faut veiller à ce que les couches de sol présentent une humidité optimale et qu'elles ne soient pas tassées.

Restrictions : Les bassins d'infiltration demandent beaucoup de place. Les fonds et les talus du bassin ne sont utilisables que comme friches à cause des inondations périodiques. La fumure est interdite. L'herbe ne doit pas être utilisée comme fourrage et ne devrait pas être compostée, mais brûlée. Les bassins pleins peuvent représenter un danger pour les enfants. En cas de risque, les bassins d'infiltration devraient être clôturés (cf. ordonnance OPA, directives de la SUVA, documentation bpa 2.026 Pièces et cours d'eau).

Comme un bassin d'infiltration ne peut pas toujours être aussi grand que souhaité, il doit pouvoir déborder de façon planifiée lors d'épisodes extrêmes. Il faut s'accommoder le cas échéant d'une inondation temporaire des environs (cf. aussi chap. 1.9 du présent module).

Pour les bassins d'infiltration aussi, la couche vivante du sol doit être déclarée comme partie intégrante de l'installation. Des substances nocives s'y accumulent à long terme si bien que la couche supérieure du sol doit probablement être éliminée comme déchet spécial lors du démantèlement.

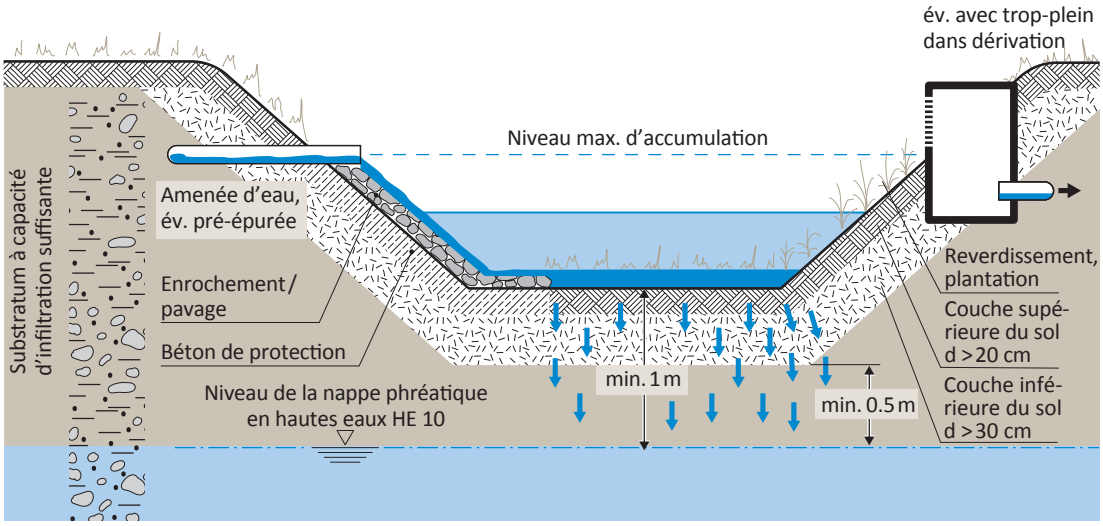


Figure DA9
Infiltration concentrée (A_E:$A_V \geq 5$) dans un bassin d'infiltration.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Indication pour le dimensionnement : Un sol mis en place selon les instructions du chap. 1.3.3 possède une capacité d'infiltration spécifique $S_{spécif}$ d'environ 0.5 – 2 l/min par m^2. C'est la valeur déterminante pour le dimensionnement (cf. chap. 1.10 du présent module). On exige du sous-sol adjacent une capacité d'infiltration spécifique minimale d'environ 1 à 3 l/min par m^2. En cas de faible capacité d'infiltration du sous-sol, il existe un danger que l'eau stagne dans le bassin d'infiltration.

Variantes
Il existe d'innombrables possibilités d'aménagement du bassin [371, 413]. Il faut accorder de l'importance également aux objectifs écologiques.

- Par exemple, un secteur du bassin d'infiltration peut être totalement imperméabilisé et aménagé en biotope.

- On peut aussi imperméabiliser la partie la plus basse d'un bassin d'infiltration et en faire un biotope de sorte que l'infiltration ne s'effectue qu'en bordure dans une «zone d'inondation» aménagée spécialement.

- Les bassins devraient être aménagés de manière à permettre la sortie des amphibiens.

- Un prétraitement préalable (p. ex. dépotoir) réduit la charge en particules fines et le risque de colmatage.

- Un bassin d'infiltration ne devrait être mis en service que lorsque la végétation s'est installée, mais en aucun cas pendant la construction (risque de pollution et de colmatage).

1.8 Construction d'installations d'infiltration sans passage à travers le sol

1.8.1 Généralités

L'espace nécessaire ne pose généralement aucun problème pour les installations souterraines sans passage à travers le sol. Dans ce cas toutefois, l'infiltration contourne la couche vivante du sol et son pouvoir épurateur. Les polluants peuvent donc parvenir dans un aquifère par le biais du sous-sol, de façon chronique ou accidentelle. L'aménagement d'une installation d'infiltration souterraine nécessite par conséquent des réflexions approfondies sur la protection qualitative des eaux souterraines. Le dépotoir se trouvant en amont doit être dimensionné selon les exigences accrues de la norme SN 592 000.

1.8.2 Corps de gravier

Principe : Un corps de gravier souterrain permet de créer à la fois un grand volume de rétention (porosité de 20 – 30 %) et une relativement grande surface d'infiltration, à travers laquelle l'eau peut passer dans le sous-sol. Les corps de gravier conviennent donc surtout pour les sous-sols peu perméables. Mais aucune couche de sol à activité microbienne n'est traversée dans un corps de gravier et son effet épurateur manque. Les systèmes d'infiltration et de rétention en matières synthétiques permettent d'économiser de la place et représentent une alternative.

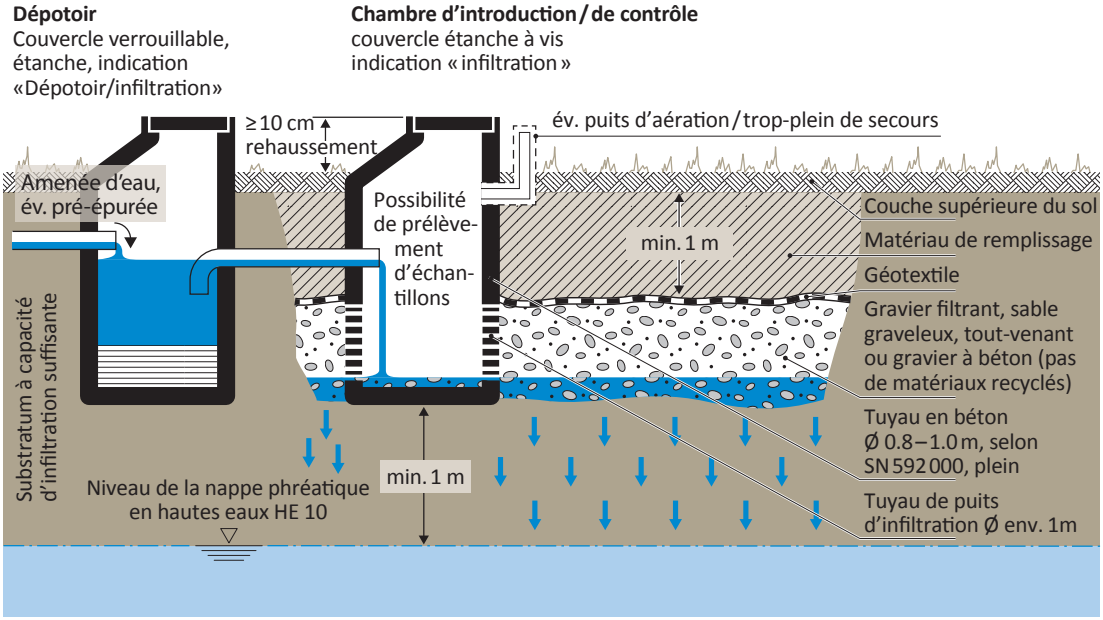
Construction : Le corps de gravier est habituellement aménagé dans un fossé creusé de forme et de grandeur quelconques. Comme matériau pour le corps de gravier, on utilise du gravier filtrant, du sable graveleux, du tout-venant ou du gravier à béton. Le gravier filtrant est mis directement en contact avec le sous-sol. En un point du fossé, on installe un puits de déversement / de contrôle avec dans sa partie inférieure des tuyaux perforés à travers lesquels l'eau s'évacue. Sur le corps de gravier, on met habituellement en place un remblai d'au moins 1 m d'épaisseur de la manière suivante : D'abord une natte en géotextile pour empêcher le lessivage, puis du matériau de remblai non pollué et enfin la couche supérieure du sol.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Il faut garantir que le fond de l'excavation se trouve au moins à 1 mètre au-dessus du niveau supérieur de la nappe phréatique. La nappe phréatique ne doit en aucun cas être mise à jour lors de la construction.

Restrictions : Un corps de gravier n'est pas nettoyable ; seule de l'eau dépourvue de particules doit donc y être déversée. Il est donc indispensable d'installer en amont un prétraitement mécanique (p. ex. dépotoir, voir norme SN 592 000).

Figure DA10
Corps de gravier.



Variante

- Dans les corps de gravier, des tuyaux perforés peuvent être installés pour répartir l'eau.

- Comme un corps de gravier peut avoir n'importe quelle forme, des terres-pleins de bâtiments peuvent aussi être aménagés en corps de gravier à condition que le matériau de construction soit absolument étanche.

- La chambre d'introduction peut être placée n'importe où à l'intérieur du corps de gravier. La chambre ne nécessite pas absolument une semelle.

1.8.3 Puits d'infiltration

Principe : Dans un puits d'infiltration, l'infiltration s'effectue ponctuellement directement dans la nappe phréatique à travers la couche perméable adaptée pour l'infiltration. Les puits d'infiltration conviennent surtout aux petits objets individuels ayant une eau peu polluée et disposant de peu de place.

Construction : Un puits d'infiltration ne nécessite que très peu de place. La fouille à réaliser doit atteindre la couche adaptée pour l'infiltration. Le fond de l'excavation doit se trouver au moins à 1 m au-dessus de la nappe phréatique lors des hautes eaux. Le puits est construit avec des anneaux perforés. A l'intérieur du puits, un corps filtrant est aménagé en sable graveleux ou en gravier à béton. Au-dessus, on pose des galets pour empêcher un soulèvement.

L'espace circulaire autour du puits est rempli de sable graveleux ou de gravier à béton, habituellement jusqu'à 1 m au maximum au-dessous du niveau du terrain. Au-dessus, le remplissage s'effectue comme pour un corps en gravier : natte en géotextile pour empêcher un lessivage, au-dessus matériau de remplissage propre et enfin restauration de la couche supérieure du sol.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Restrictions : Comme le puits d'infiltration doit directement atteindre une couche perméable adaptée à l'infiltration, cette dernière doit être à une profondeur accessible. Si les couches de couverture peu perméables dépassent environ 4 m d'épaisseur, un puits d'infiltration est le plus souvent non rentable.

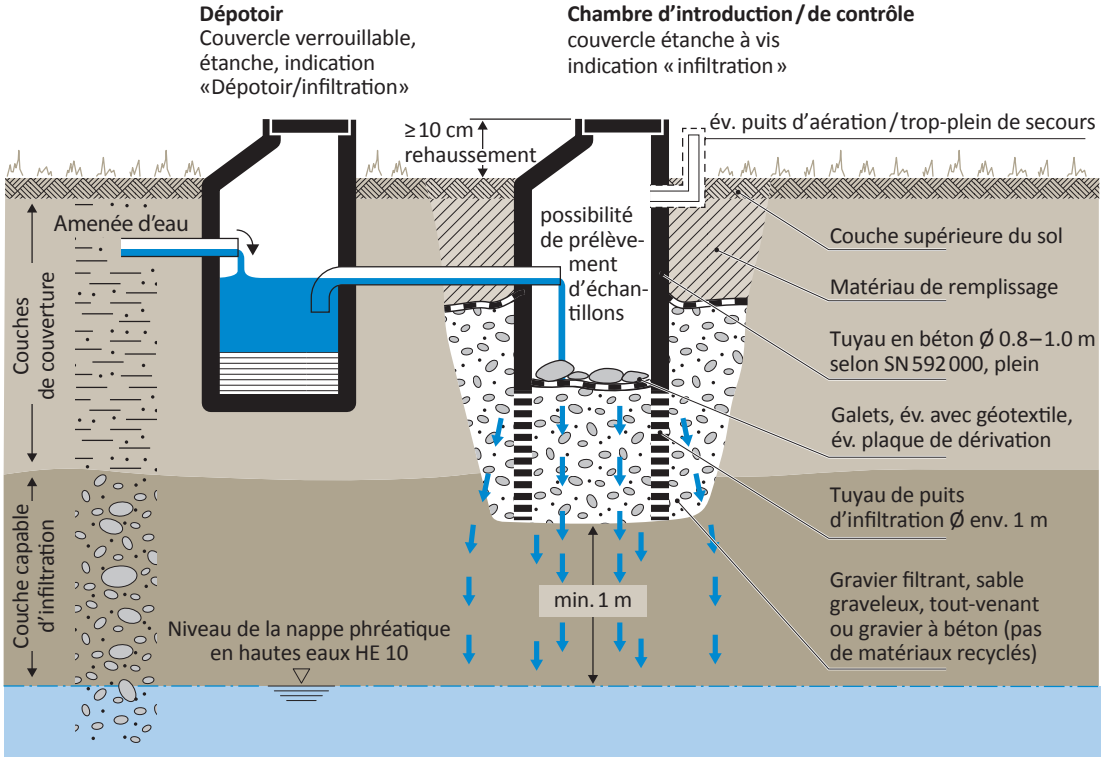


Figure DA11
Puits d'infiltration.

Un puits d'infiltration est très sensible au colmatage par les matières en suspension. Un prétraitement de l'eau est donc nécessaire (p. ex. dépotoir, voir norme SN 592 000).

Variantes

- Un puits d'infiltration peut être agrandi en cas de besoin en raccordant une galerie d'infiltration ou en augmentant le terre-plein graveleux.
- Un puits d'infiltration possède une grande capacité d'infiltration, mais un faible volume de rétention. Il est donc souvent judicieux d'en installer un de forme appropriée en amont.
- L'entretien des puits d'infiltration est facilitée si des éléments filtrants en géotextile sont placés dans le puits. Ils filtrent les particules fines et peuvent être changés en cas de besoin.

1.8.4 Galerie d'infiltration

Principe : Dans une galerie d'infiltration, l'infiltration s'effectue linéairement à travers un tuyau de drainage placé directement dans la couche bien perméable au-dessus de la nappe phréatique.

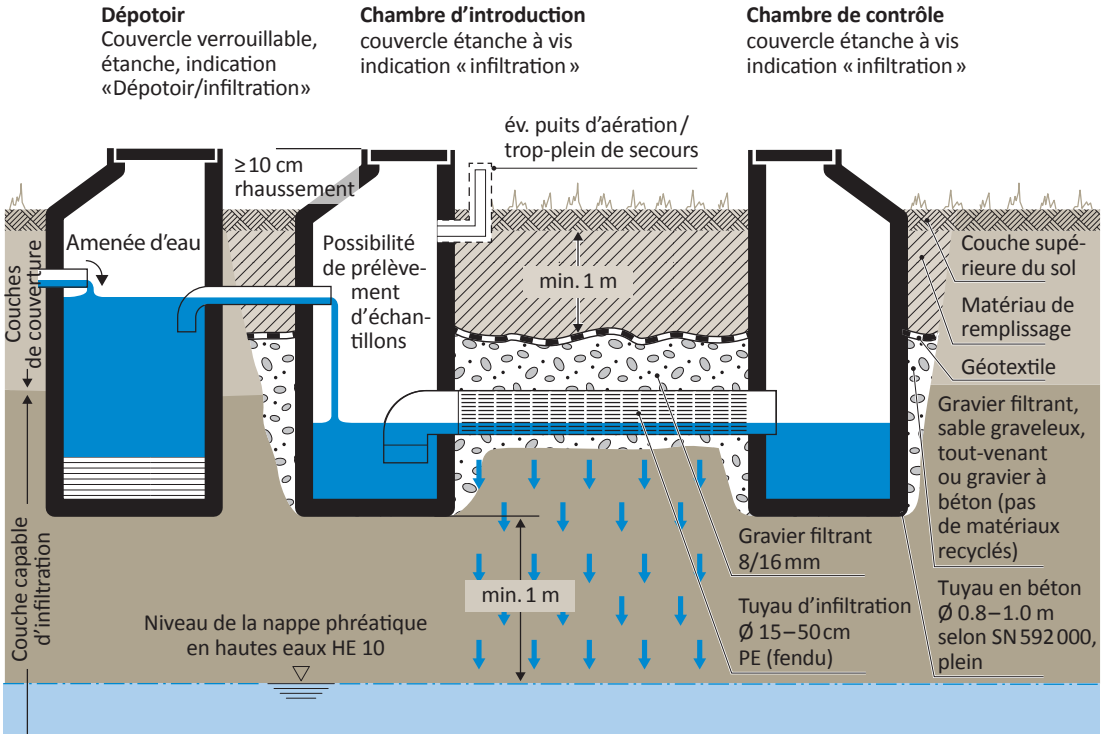
Construction : Le tuyau de drainage est placé dans un fossé de n'importe quelle longueur et enrobé de gravier filtrant, p. ex. 8/16 mm. Le reste du remplissage de la partie inférieure du fossé peut se faire avec du sable graveleux ou du gravier à béton. A l'une des extrémités, on place un puits de déversement, à l'autre une chambre de contrôle. Les puits de déversement et de contrôle peuvent être conçus avec un fond imperméable en tant que dépotoir ou avec un fond perméable comme un puits d'infiltration.

Le remplissage au-dessus de la galerie d'infiltration s'effectue comme pour un corps en gravier : natte en géotextile pour empêcher un lessivage, au-dessus matériau de remplissage propre et enfin restauration de la couche supérieure du sol.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Restrictions : Pour qu'une galerie d'infiltration soit possible, il faut que le sous-sol possède une bonne capacité d'infiltration permettant à la galerie, dans la plupart des cas, d'atteindre directement la couche d'infiltration. Pour que la nappe phréatique ne soit pas mise à l'air lors de la construction de la galerie et que la galerie ne soit pas engorgée, la galerie ou le fond du puits doivent dépasser la nappe phréatique d'au moins 1 m lors des hautes eaux. L'eau à infiltrer doit remplir de hautes exigences qualitatives. Autant que possible, elle doit être dépourvue de matières en suspension. Un prétraitement de l'eau est donc nécessaire (p. ex. dépotoir, voir norme SN 592 000).

Figure DA12
Galerie d'infiltration.



Variante
Une galerie d'infiltration possède une relativement forte capacité d'infiltration, mais un faible volume de rétention. Il est donc judicieux dans de nombreux cas d'installer en amont un tel volume sous une forme appropriée.

1.9 Sécurité, entretien et contrôle

1.9.1 Mesures de précaution

Il faut veiller par des mesures appropriées à ce que les incidents (accidents ou accidents majeurs) soient évités ou que, du moins, leurs effets restent contrôlables. Les incidents possibles dans les installations d'infiltration sont les suivants :

- Le «disfonctionnement» de l'installation, p. ex. à la suite d'une surcharge due à une forte pluie ou du colmatage.
- La pénétration de substances nocives dans l'installation à la suite d'un accident (p. ex. accidents avec des produits pétroliers ou chimiques ou intervention des pompiers).
- Raccordements et manipulations erronés.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Le risque et les effets de tels incidents peuvent être réduits au minimum par des mesures de précaution appropriées et une planification soigneuse de l'installation.

- Une installation doit être conçue de sorte qu'une surcharge lors d'une forte pluie ait des conséquences prévisibles et contrôlables (p. ex. par pose d'un trop-plein).

- Les raccordements doivent être conçus de sorte que les eaux d'extinction ne puissent en aucun cas pénétrer dans une installation. Les couvercles doivent être vissés.

- Les couvercles des installations d'infiltration et autres éléments de l'installation doivent être étanches, verrouillables (verrouillage triple) et clairement signalés pour éviter des erreurs de raccordement et être reconnaissables lors d'interventions. Un couvercle surélevé de 10 cm au moins accroit la sécurité contre une contamination par des substances nocives.

- En cas de risque accru d'accident, p. ex. le long des routes, il faut prévoir des mesures de rétention des liquides qui s'écoulent et menacent les eaux souterraines.

Si une installation d'infiltration est polluée par des liquides s'écoulant lors d'un accident et menaçant les eaux souterraines, il faut faire appel au service cantonal de protection des eaux, qui prend les mesures d'assainissement nécessaires. Elles consistent habituellement à éliminer les couches contaminées et à garantir dans chaque cas que les substances nocives qui ont pénétré dans le sous-sol soient retirées et correctement éliminées.

1.9.2 Inspection et contrôle

La surveillance et le contrôle de la construction et de l'exploitation des installations d'infiltration revient aux communes. Pour ce faire, elles peuvent recourir à des spécialistes.

Les intervalles d'inspection dépendent de la présence de défauts :

- Les installations sans défauts devraient être inspectés tous les 15 ans.

- Les installations avec défauts importants : les défauts sont à éliminer dans les 5 ans, indépendamment de l'activité de construction sur la parcelle. En cas de mise en danger des eaux souterraines, le défaut doit être éliminé immédiatement.

- Les installations avec défauts peu importants : les défauts sont tolérés à bien plaire/sous réserve, mais devraient être éliminés lors des prochains travaux sur la parcelle.

1.10 Dimensionnement des installations d'infiltration

1.10.1 Principes

Les précipitations sont l'élément déterminant du dimensionnement des installations d'infiltration. On indique ci-dessous deux possibilités de dimensionner les petites installations d'infiltration au moyen des courbes d'intensité des précipitations et des diagrammes qui en sont déduits. D'autres procédures, basées sur des principes semblables, sont décrites dans la littérature [p. ex. [255], [367], [370]).

Fondamentalement, les installations d'infiltration sont dimensionnées de telle manière qu'elles ne déversent stratistiquement qu'une fois tous les 10 ans (temps de retour 10 ans). Des modifications du temps de retour ne sont par contre pas exclues (voir Tableau DA2). Il est de la responsabilité du planificateur d'évaluer cette question et le cas échéant de l'adapter. Les adaptations doivent être autorisées par l'autorité responsable.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Tableau DA2
Ordre de grandeur des temps de retour de dimensionnement des installations d'infiltration et de rétention, selon leur fonction.

Type d'installation	Fonction	Temps de retour z comme ordre de grandeur pour classement de l'installation
Infiltration avec/ sans rétention	Bouclage du cycle de l'eau, réalimentation de nappe selon LEaux Art. 43	<z1 à z10 Il faut infiltrer autant que possible selon le contexte (cas normal)
Rétention avec/ sans infiltration en système unitaire	Réduction des pointes de débit	A déterminer selon capacité disponible dans le réseau aval (selon PGEE, PGEEi, PREE)
Rétention avec/ sans infiltration en système séparatif	Réduction du stress hydraulique lors de rejet dans une eau de surface	z2, z1, voire <z1 Voir indications dans le module de base et les prescriptions d'immission dans le module STORM
Installation de traitement avec/ sans rétention	(Pré)traitement des eaux de ruissellement, réduction des rejets de certaines substances (concentrations ou charges) dans les eaux de surface, dans une installation de traitement ou d'infiltration.	η_{tot} = 70–90% Rendement global en terme de rétention des polluants (p. ex. 80% ou 90% de la charge polluante annuelle moyenne doit être traitée) η_{hyd} = 90% rendement hydraulique, pour r_i entre 18–20 l/s ha, soit z <1

Pour les grandes installations desservant plus d'un bien-fonds (zone industrielles, gros lotissements, écoles, etc.), le dimensionnement nécessite un modèle hydrologique détaillé et une simulation continue.

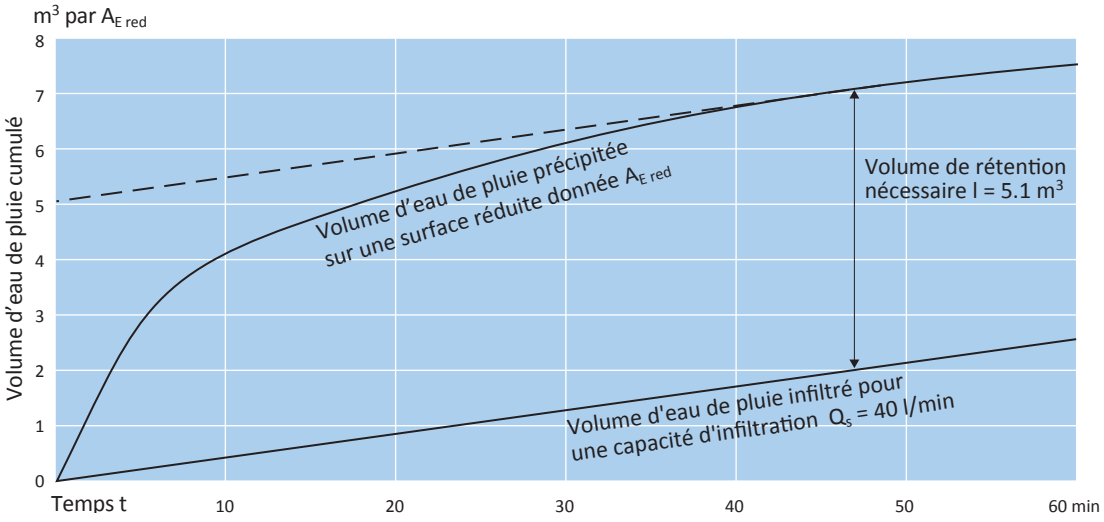
1.10.2 Dimensionnement sur la base de courbes régionales d'intensité des précipitations

Un procédé qui a fait ses preuves pour le dimensionnement des petites installations d'infiltration se base sur les courbes locale ou régionale d'intensité des pluies, comme celles de la figure DA14 dans le chapitre 1.10.3 du présent module.

A l'aide de la courbe régionale d'intensité des précipitations, p. ex. selon SN 640 350, la courbe des volumes d'eau de pluie cumulés Q est construite en fonction de la durée de la pluie t sur une surface réduite $A_{E\ réd.}$ La prise en compte d'un temps de retour z de 10 ans (et donc d'un risque de débordement de courte durée lors d'épisodes extrêmes) a fait ses preuves.

La figure DA13 montre à titre d'exemple la courbe du volume d'eau de pluie cumulé Q tombée lors de fortes précipitations d'un temps de retour de 10 ans, dans la région du Plateau, pendant les 60 premières minutes, sur une surface donnée $A_{E\ réd}$. La valeur déterminante pour le dimensionnement du volume de rétention correspond à la différence maximale entre la courbe cumulée Q et la ligne correspondant à la capacité de l'installation d'infiltration.

Figure DA13
Précipitations, capacité d'infiltration et volume de rétention (exemple).



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Exemple DA1

L'exemple suivant permet d'expliquer la procédure de la figure DA13 :

Soit :

- Surface d'évacuation des eaux $A_{E\,réd}$ 200 m²
- Lieu / région Plateau
- Temps de retour z 10 ans

La courbe cumulée des quantités d'eau de pluie est construite en fonction de ces données. Cette courbe permet de déduire, pour une capacité d'infiltration Q_s donnée, le volume de rétention nécessaire de l'installation d'infiltration. Dans l'exemple, l'installation d'infiltration devrait avoir, pour une capacité d'infiltration Qs d'environ 40 l/min, un volume de rétention d'environ 5.1 m³.

Le volume de rétention de l'installation est défini par le type, la taille et le mode de construction de l'installation. Il comprend non seulement le volume de rétention propre des puits et des bassins, mais aussi toutes les cavités remplies d'air, en particulier les pores (porosité utilisable) des éventuels volumes de gravier.

La capacité d'infiltration Q_s d'une installation correspond au produit de la capacité d'infiltration spécifique $S_{spécif}$ de la couche adaptée à l'infiltration et de la surface d'infiltration active A_V rattachée à l'installation. La formule est

$$\mathbf{Q_s = S_{spécif} \cdot A_V}$$

A_V : surface d'infiltration (m²)
Q_s : capacité d'infiltration (l/min) ou (m³/s)
$S_{spécif}$: capacité d'infiltration spécifique de la couche adaptée à l'infiltration, calculée p. ex. au moyen d'un essai d'infiltration (l/min par m² ou m³/s par m²)

1.10.3 Dimensionnement sur la base d'un diagramme régional

Une autre possibilité consiste à déduire d'un diagramme de dimensionnement régional, soit le volume de rétention nécessaire pour une capacité d'infiltration donnée, soit la capacité d'infiltration nécessaire pour un volume de rétention donné.

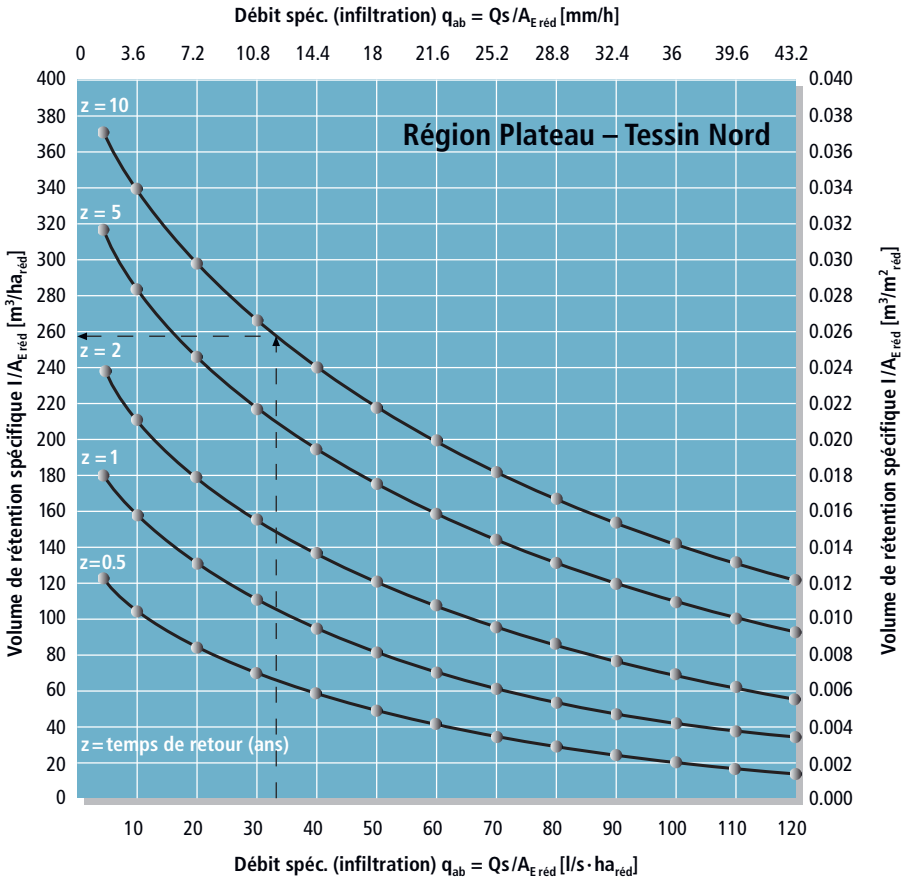


Figure DA14
Exemple d'un diagramme de dimensionnement régional (autres exemples dans l'annexe 42, chapitre 1.3). Source : SN 640350, édition 2000).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Exemple DA2

Exemple d'application du diagramme de la figure DA14 :

Soit :

- Surface d'évacuation des eaux $A_{E\ réd}$ 200 m^2 = 0.02 $ha_{réd}$
- Lieu/région Plateau
- Temps de retour z 10 ans
- Capacité d'infiltration Q_s 40 l/min ou 0.666 l/s
- Débit spécifique q_{ab} 33.3 l/s par $ha_{réd}$

Le débit spécifique q_{ab} se réfère à la surface réduite d'évacuation des eaux $A_{E\ réd}$ et correspond au volume d'eau qui s'infiltre dans l'installation par unité de temps et par unité de surface $A_{E\ réd}$.

Ce diagramme montre que, pour un débit spécifique qab donné de 33.3 l/s par $ha_{réd}$ (qui correspond pour une surface d'évacuation des eaux $A_{E\ réd}$ de 200 m^2 à une capacité d'infiltration de 40 l/min), le volume de rétention nécessaire est d'environ 255 $m^3/ha_{réd}$ ou, pour $A_{E\ réd}$ = 200 m^2, d'environ 5.1 m^3.

1.10.4 Considérations sécuritaires et trop-plein de secours

Dans les réflexions qui précèdent, on n'a pas pris en considération le fait que différents épisodes pluvieux peuvent se succéder dans le temps. De plus, la capacité de l'installation peut se réduire avec le temps par suite du colmatage des pores des couches filtrantes. Il est donc recommandé de dimensionner l'installation pour que sa capacité d'infiltration minimale nécessaire Q_s soit augmentée d'un facteur sécuritaire 1.5 à 2. Comme le besoin en surface d'une installation d'infiltration est dans la règle critique, on peut prendre en compte le facteur de sécurité au moyen d'un volume de rétention supplémentaire, au lieu d'accroître la capacité d'infiltration.

Pour tenir compte des événements météorologiques extrêmes, toute installation d'infiltration devrait être planifiée en tenant compte du cas de surcharge. Une mesure est de prévoir un trop-plein de secours. Ce trop-plein doit se déverser sur le terrain, d'où l'eau doit pouvoir s'écouler en surface, et ne doit en aucun cas aboutir dans une canalisation unitaire. Dans un tel cas, il y aurait le risque, en cas de mise en charge, d'une contamination de l'installation d'infiltration par des eaux usées. En outre, si le trop-plein n'est pas visible en surface, un disfonctionnement de l'installation ne serait pas détectable.

Le dimensionnement d'un trop-plein se base en général sur un «débit de sécurité»
$Q_{débordement}$ = 1.0 à 1.5 $Q_{apport\ max.}$

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1.10.5 Exemples de dimensionnement

Deux exemples montrent comment dimensionner une petite installation d'infiltration :

Exemple DA3

Dimensionnement d'un puits d'infiltration selon le chap 1.10.

Soit :

• Lieu/région	Plateau
• Surface d'évacuation des eaux $A_{E\ réd}$	200 m^2
• Temps de retour z	10 ans
• $S_{spécif}$ du sous-sol mesuré lors d'un essai d'infiltration	12 l/min par m^2

Déduit de la figure DA13 :

• Pour une capacité d'infiltration Q_s sans facteur sécuritaire	40 l/min
• Volume de rétention nécessaire I	5.1 m^3

Choix pour le dimensionnement :

• Capacité d'infiltration nécessaire Q_s (facteur sécuritaire 2, chap. 1.10.5) (pour un même volume de rétention)	80 l/min

L'installation d'infiltration est dimensionnée par itération (essai et erreur) :

• Fosse avec surface du fond 1.5 m · 1.5 m	2.25 m^2
• Périmètre de la fosse	6 m
• Epaisseur du sous-sol excavé adapté à l'infiltration	2 m
• Surface d'infiltration résultante A_V 2.25 m^2 + 6 m^2 (A_V correspond à la surface du fond de la fosse excavée pour le puits plus la moitié de la surface des parois de la fosse adaptée àl'infiltration)	8.25 m^2
• Capacité d'infiltration résultante $Q_s = A_V \cdot S_{spécif}$	**99 l/min**

Cette capacité d'infiltration est plus grande que nécessaire

• Contenu d'un puits avec 1.2 m Ø et 3.8 m de profondeur capable de rétention	4.3 m^3
• Volume des pores du revêtement de gravier de 3.8 m d'épaisseur (porosité 0.2) (1.5 m · 1.5 m · 3.8 m – 4.3 m^3 contenu du puits) · 0.2	0.8 m^3
• Volume de rétention résultant	**5.1 m^3**

Ce volume de rétention est suffisant

Exemple DA4

Dimensionnement d'un bassin d'infiltration selon le chap. 1.10.3

Soit :

• Lieu/région	Plateau
• Surface d'évacuation des eaux $A_{E\ réd}$	200 m^2 = 0.02 $ha_{réd}$
• Temps de retour z	10 ans
• $S_{spécif}$ du sous-sol mesuré lors d'un essai d'infiltration	8 l/min par m^2
• Valeur déterminante pour l'infiltration à travers la couche supérieure du sol	2 l/min par m^2
• Volume de rétention possible d'après les particularités locales	6 m^3 = 300 $m^3/ha_{réd}$

Déduit de la figure DA14 :

• Débit spécif. q_{ab} nécessaire	20 l/s par $ha_{réd}$
• Correspondant pour 0.02 $ha_{réd}$ à une capacité d'infiltration Q_s de 24 l/min	

Choix pour le dimensionnement :

• Capacité d'infiltration nécessaire Q_s (facteur sécuritaire 2, chap. 1.10.4)	48 l/min

Calculé :

• Surface d'infiltration A_V nécessaire = $Q_s / S_{spécif}$ (couche supérieure du sol)	**24 m^2**

Cela correspond approximativement à la surface du fond du bassin nécessaire sans les surfaces des talus. On devrait prendre en compte environ la moitié des surfaces de talus mouillées dans le cas maximal.

• Profondeur exploitable du bassin pour un volume de 6 m^3 et une surface de 24 m^2	**0.25 m**

L'exemple montre que la quantité d'eau tombée peut s'infiltrer dans un bassin d'environ 24 m^2 à la base et d'une profondeur exploitable d'environ 0.25 m.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2 INSTALLATIONS DE RÉTENTION DES EAUX PLUVIALES

2.1 Généralités

Les installations de rétention stockent une partie du débit et le laissent s'écouler en différé. Elles sont utilisées pour les infiltrations, les déversements dans des eaux superficielles et les dérivations dans les systèmes unitaires et séparatifs.

Une installation de rétention consiste pour l'essentiel en une amenée d'eau, en un volume d'accumulation, en un régulateur d'écoulement et en un trop-plein de secours. L'espace de stockage des systèmes qui servent exclusivement à la rétention est ainsi défini comme étanche.

Dans l'intérêt d'une intégration paysagère discrète dans l'agglomération, il faut de préférence utiliser comme volumes de rétention des surfaces existantes : toits plats, places, etc. Mais de telles surfaces ne permettent que des hauteurs d'accumulation limitées.

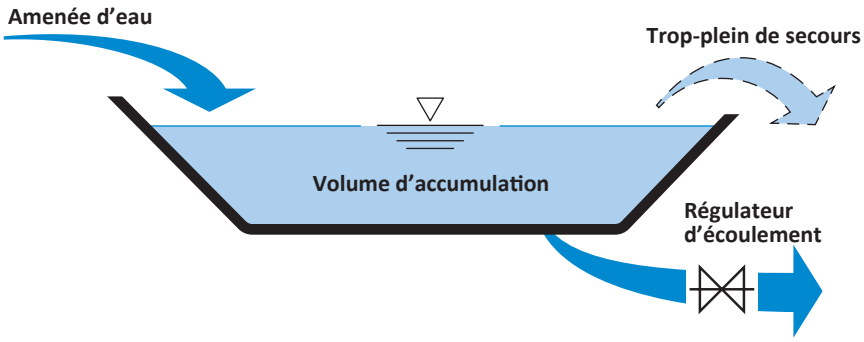


Figure DA15
Représentation schématique d'une installation de rétention.

En plus d'une conception hydraulique correcte et d'une bonne intégration, le succès d'une mesure de rétention dépend aussi d'autres conditions annexes, dont il faut tenir compte dès le début des réflexions :

- faisabilité technique ;
- accessibilité et entretien des parties de l'installation ;
- sécurité et risques de dommages ;
- acceptation et sensibilisation des propriétaires d'installations, des responsables de l'entretien et des habitants.

Les mesures de rétention visent en général à :

- optimiser les quantités infiltrées ;
- réduire les pics d'écoulement dans les cours d'eau et ;
- limiter les pics d'écoulement dans les canalisations.

La détermination du débit de dimensionnement est la tâche du planificateur.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2.2 Types de mesures de rétention

Selon le but visé, différents aspects et types de rétention peuvent être distingués :

Tableau DA3
Différents types d'installations de rétention.

Distinction	Caractère	Transcription, objectif	Débit de dimensionnement (débit sortant q_{ab})
Selon l'objectif	écologique	Mesure de réduction des impacts de l'imperméabilisation superficielle.	Selon le débit du bassin versant dans son état originel non revêtu. Détermination p. ex. sur la base du principe «débit de base» avec un q_{ab} = 10 l/s par ha d'un BV naturel (herbe, prairie)
	sécuritaire	Moyen de décharger une installation d'infiltration ou un réseau de canalisations surchargé.	Selon la capacité d'infiltration de l'installation d'infiltration Selon les nécessités du calcul du réseau hydraulique des canalisations
Selon le lieu	directement sur place	Rétention directement sur les surfaces réceptrices des eaux pluviales.	
	dans une installation	Collecte et évacuation des eaux de ruissellement dans une installation de rétention.	
Selon la taille du bassin-versant	décentralisée	Au niveau de la parcelle ou du bien-fond (propriétaire privé)	
	centralisée	A l'échelle du quartier ou du secteur de canalisations (propriétaire en général : commune)	

La répartition selon les dimensions conceptuelles ne peut être utilisée que sous réserve pour le dimensionnement et la conception. Dans le présent module, les types d'installations sont en conséquence décrits selon leur emplacement ou leur type de construction :

- Rétention sur les toits (chap. 2.2.1) ;
- Fossés (chap. 2.2.2) ;
- Rétention sur les places et les surfaces (chap. 2.2.3) ;
- Canaux de stockage (chap. 2.2.4) ;
- Bassins et dépressions de rétention (chap. 2.2.5).

2.2.1 Rétention sur les toits

Conditions générales

Cette rétention est surtout pratiquée sur les toits plats. Il s'agit d'une rétention à la source. Il existe souvent des réserves et des craintes à l'égard des problèmes d'étanchéité. Mais les systèmes de couverture modernes, mis en place selon les normes techniques, ne justifient plus de telles réserves. En outre, les aménagements végétalisés permettent d'atteindre d'autres objectifs comme la réduction des ilôts de chaleur ou l'accroissement de la biodiversité. L'aménagement des toits s'appuie sur les normes et recommandations correspondantes (SIA 271, SN 592 000 et 565 010). Il faut naturellement veiller aux prescriptions des fabricants concernant la pose des systèmes d'étanchéité, à la bonne installation des raccords et des écoulements, ainsi qu'à l'entretien des installations.

Pour les nouvelles constructions, la rétention sur les toits peut être planifiée dès le début du projet. Mais elle est souvent aussi envisageable pour les bâtiments existants, moyennant des adaptations acceptables. En général, les parapets des toits sont largement dimensionnés pour permettre une accumulation sans problèmes des eaux pluviales. Là où il faut amener du matériau d'infiltration supplémentaire, la faisabilité statique doit être contrôlée.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Matériaux de couverture
La quantité d'eau à stocker correspond à la hauteur effective des précipitations si aucune surface de toits voisine n'est rattachée. Une forte pluie entraînera donc une élévation nette de la hauteur d'accumulation de 5 à 10 cm. Si les eaux pluviales sont stockées dans une couche de couverture poreuse, la hauteur d'accumulation augmente selon l'espace poreux disponible dans le matériau de couverture (pour le gravier, l'espace poreux disponible représente 20 à 30 %).

Depuis peu, on aménage de plus en plus souvent des toits plats à végétalisation extensive. Ils stockent momentanément et évaporent de relativement grandes quantités d'eau. Ils adsorbent aussi les substances polluantes et améliorent ainsi la qualité des écoulements des toits. Ceci est valable seulement si l'on renonce à l'usage de biocides et produits phytosanitaires (p. ex. protection de racines), à cause du risque de lessivage de ces produits. Les toits à végétalisation extensive combinent l'infiltration et l'évacuation des eaux. Ils conviennent aussi aux toits faiblement inclinés. Les avantages de ces derniers ressortent de la comparaison de leurs coefficients d'écoulement avec les valeurs correspondantes pour d'autres revêtements de toits ([368], [369]) :

Tableau DA4
Coefficients d'écoulement de toitures de toits [101].

Revêtement de toit	Gravier	Gazon gravier	Toit à végétalisation extensive
coeff. écoulement ψ_s	0.80	0.55	0.10 – 0.70

Ceci est surtout important pour le calcul de débits de pointe. Si l'eau de toits plats végétalisés doit être infiltrée, il faut savoir que les coefficients d'écoulement intégral (c.-à-d. le rapport entre l'écoulement global et les précipitations totales) se situent nettement au-dessus des coefficients d'écoulement de pointe et peuvent atteindre 0.6 à 0.8.

Régulation de l'écoulement
La limitation du débit évacué par la descente est assurée par un organe calibré tel qu'une crépine, ou de plaques triangulaires, ou alors un limiteur à vortex. Le limiteur doit être placé dans une cage grillagée le protégeant des obstructions (il faut au minimum tester la nécessité d'une telle protection par un essai de charge hydraulique). Le limiteur à vortex présente l'avantage d'une aptitude à l'autocurage. Les caractéristiques hydrauliques et les consignes d'installation sont propres à chaque modèle et sont donc fournies par le fabricant. Quant au sol à végétalisation extensive, il ne demande pas de régulateur, cette fonction étant assumée par le sol.

Trop-plein de secours
Prévoir un trop-plein de secours permet de réduire le risque en cas de dysfonctionnement du limiteur ou d'une surcharge par suite d'un épisode de précipitations extrême. Si les tuyaux de décharge offrent une capacité suffisante, le trop-plein de secours peut s'y rattacher ; dans le cas contraire, un dispositif distinct est nécessaire (p. ex. sous forme de gargouilles disposées sur la façade, à la hauteur d'eau maximale admissible, dans une fente ouverte vers le haut du parapet du toit). Le trop-plein de secours – ou la somme des trop-pleins de secours – doit être dimensionné en fonction d'un écoulement de pointe correspondant au pic d'intensité non atténué des précipitations de référence. La norme SN 592 000 fournit les détails d'exécution des trop-pleins de secours.

Entretien et mesures de sécurité
En plus de l'entretien usuel des toits plats conventionnels, il faut particulièrement veiller à ce que les organes hydrauliques soient dégagés. Il est recommandé d'effectuer des contrôles réguliers. L'accessibilité et la facilité de l'entretien ainsi que la sécurité du personnel d'entretien constituent naturellement des conditions essentielles d'une maintenance irréprochable de ces installations.

De plus, sur les toits végétalisés, la végétation doit être entretenue pour que les plantes se développent bien et que la capacité d'infiltration soit préservée. Il faut renoncer à la fumure des toits végétalisés dans

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

l'intérêt d'une pollution minimale de l'eau s'écoulant des toits. Les nouveau toits végétalisés doivent être protégés d'un lessivage jusqu'à l'enracinement des végétaux, p. ex. par l'utilisation de nattes en coco.

2.2.2 Fossés

Description

Les fossés sont de longues dépressions peu profondes , dans des îlots de verdure ou au bord des parkings. Ils peuvent être aménagés isolément ou en réseau. Les eaux de ruissellement s'écoulent tout le long du tronçon directement dans le fossé ou s'y déversent par des conduites et des rigoles.

L'eau s'infiltre en premier lieu – au moins partiellement –, pendant que le reste est déversé par une régulation dans les eaux en aval. Pendant les périodes sans précipitations, les fossés sont à sec.

Conception

En plus de leurs fonctions hydrologiques, les fossés visent surtout une bonne intégration paysagère, la facilité d'entretien et la sécurité. Le profil d'un fossé est donc simple : trapézoïde ou triangulaire, aussi large que possible et peu profond.

Fossés le long de	Profondeur H	Largeur B
Routes	1.0 à 1.5 m	3 à 5 H
Places, agglomérations	0.2 à 0.5 m	10 à 20 H
La pente longitudinale ne devrait pas excéder 0.5 %.		

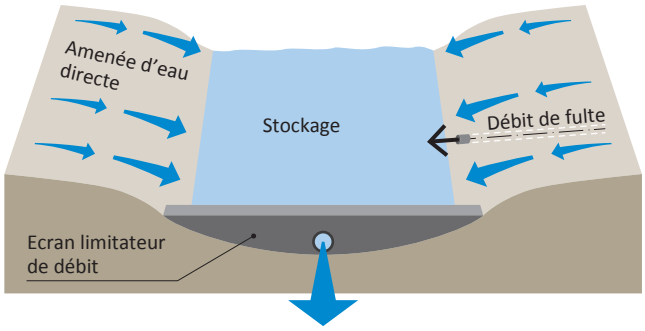


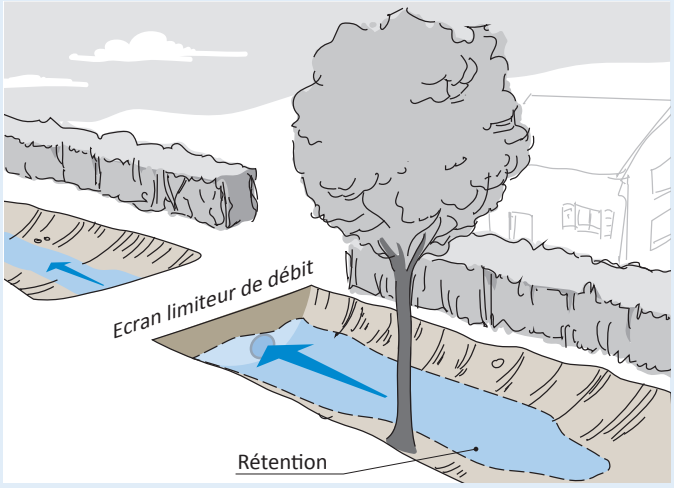
Figure DA16
Représentation schématique d'un fossé et données de dimensionnement.

Les surfaces sont habituellement végétalisées. Parfois, le fond du lit est renforcé par des dalles ajourées ou des rondins. Lors du choix des essences, il faut veiller à ce qu'elles supportent autant une inondation de courte durée qu'une sécheresse. Les plantes à enracinement profond sont inappropriées à cause de la réduction de la protection des eaux souterraines (voir exigences posées à la végétalisation au chapitre 1.3.1).

Le fossé est fermé à son extrémité aval. Si les eaux de ruissellement sont déversées dans un cours d'eau, une ouverture d'au moins 15 cm de diamètre est aménagée dans la partie terminale. Le couronnement du barrage peut servir de trop-plein. En fonction de la pente longitudinale, des seuils transversaux sont placés à des intervalles plus ou moins grands. Ils peuvent être combinés avec des passages carrossables.

Exemple de réalisation

Exemple DA5



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Fonctionnement et entretien

Les fossés sont des aménagements écologiques à fonction hydraulique. Il en résulte les conditions d'entretien suivantes :

- fauche régulière des surfaces végétalisées ;
- ameublissement du sol ;
- évacuation des feuilles mortes en automne ;
- nettoyage des tuyaux et des organes de régulation.

Pour protéger la plantation, il faut empêcher la stagnation prolongée de l'eau. Pour empêcher le colmatage et le remplissage des fossés, il faut prendre des mesures de rétention des sédiments sur les chantiers de construction du bassin versant.

2.2.3 Rétentions de surface

Description

Comme un toit plat, un parking peut aussi servir au stockage à court terme des eaux pluviales qui y tombent. On sait que les épisodes pluvieux déterminants sont les orages avec une hauteur totale de précipitations de quelques centimètres (<10 cm). Comme ils se produisent relativement rarement, les inconvénients occasionnés par une rétention sont acceptables pour les utilisateurs du parking.

Conception

La chambre de contrôle dans laquelle l'eau tombée sur la place se déverse est dotée d'un régulateur de débit. En conséquence, le système d'évacuation des eaux en amont du régulateur de débit ainsi que les surfaces revêtues qui y sont raccordées est mis en charge. L'inondation doit se faire sous contrôle et les surfaces de parking doivent s'assécher aussi vite que possible après une pluie. On doit assurer que la rétention en surface n'occasionne pas de dégâts dans les biens-fonds voisins (veiller à la conception des bordures). Il faut examiner la nécessité de dépotoirs, dont le contenu peut être entraîné. A leur place, on pourrait installer un séparateur central (une sorte de collecteur principal de boue) en amont de l'ouvrage régulateur. Dans ce cas, la pente des canalisations et des rigoles doit être suffisante pour permettre un auto-nettoyage après la baisse de l'eau (>0.5 %).

Fonctionnement et entretien

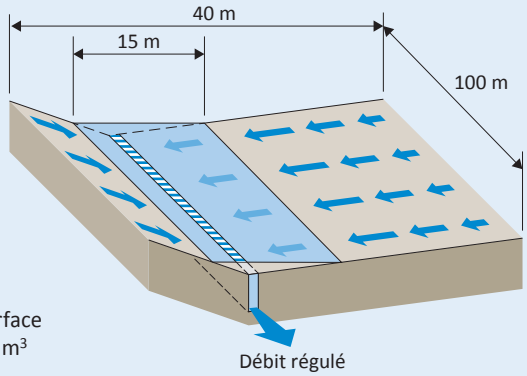
Les travaux d'entretien se concentrent sur le nettoyage de la vanne et sur la vidange régulière du séparateur central et des regards. De plus, les parties d'installation régulièrement inondées (canalisations et caniveaux) doivent être régulièrement nettoyées.

Exemple DA6

Exemple de réalisation

Un parking au centre d'une agglomération est doté d'un caniveau longitudinal. L'écoulement des eaux pluviales dans un cours d'eau récepteur de faible débit doit être réduit. La solution est une chambre de régulation à l'extrémité aval du caniveau.

Surface de la place :	totale 0.40 ha réduite 0.36 ha (ψ = 0.9)
Bases hydrologiques :	z = 5 ans, diagramme de rétention propre à la région selon annexe 2
Entrée/Sortie d'eau :	apport max. 115 l/s sortie de dimensionnement 18 l/s
Volume d'accumulation :	rétention nécessaire 60 m³ volume du caniveau disponible 10 m³ volume sur la place (disponible sur surface limitée). Avec une charge de 8 cm : 50 m³
Submersion :	hauteur d'eau max. 8 cm largeur de la bande de submersion 15 m **Volume résultant : ½ · 15 m · 100 m · 0.08 m = 60 m³**



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2.2.4 Rétention dans des canaux de stockage

Description

L'augmentation du diamètre des canalisations de ruissellement crée un volume de stockage. Cette solution assez coûteuse est surtout utilisée pour compenser les réductions de capacité de la canalisation en aval, également pour des raisons de sécurité.

Conception

L'installation se compose d'une conduite de grand diamètre (> 1 m) avec un puits régulateur à l'extrémité aval. Le débit de dimensionnement (Q_{ab}) est réglé par un limiteur. Pour les exigences techniques et l'imperméabilité, les règles usuelles de la technique des canalisations s'appliquent. Le choix du régulateur (p. ex. limiteur à vortex, diaphragme) dépend du débit ; une ouverture d'écoulement libre >15 cm devrait rester garantie pour éviter le colmatage. A part l'organe de régulation, l'ouvrage de sortie contient des organes de sécurité qui n'entrent en service qu'en cas de panne de la régulation : vannes de vidange et trop-plein (avec restriction d'écoulement, au cas où la section de canal en aval ne doit pas être surchargée), éventuellement d'autres instruments de surveillance. Le canal de stockage doit remplir – en tant qu'installation souterraine – quelques autres exigences :

- Puits de ventilation disposés correctement ;
- Pente longitudinale pour assurer les vitesses nécessaires à l'auto-nettoyage ($v > 0.6$ m/s) pour $Q < Q_{ab}$;
- Le cas échéant, caniveau pour temps sec avec banquette ou installation de nettoyage.

Globalement, il faut veiller à ce que :

- Le débit initial y compris le débit du trop-plein de secours ne dépasse pas la capacité de la canalisation en aval.
- Le volume de rétention soit limité à la section de stockage (pas de refoulement dans la conduite d'amenée).
- En cas de surcharge de l'installation, l'eau qui s'écoule autrement est sous contrôle.

Dans ce but, la combinaison d'un canal de stockage souterrain et d'une rétention superficielle est recommandée.

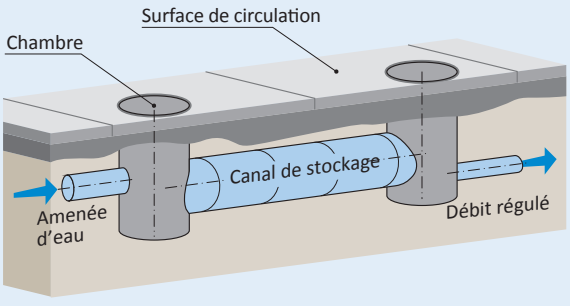
Fonctionnement et entretien

Les canaux de stockage nécessitent des mesures d'entretien spécifiques, comme le nettoyage des organes de régulation et de sécurité et le nettoyage du canal de stockage.

Exemple DA7

Exemple de réalisation

Bassin versant :	total 5.0 ha réduit 1.5 ha ($\psi = 0.3$)
Bases hydrologiques :	z = 5 ans, diagramme de rétention propre à la région selon l'annexe 2
Quantités d'eau :	apport max. 350 l/s débit de régulation 150 l/s
Volume :	rétention nécessaire 165 m³
Dimensionnement du stockage :	diamètre du tuyau 2.00 m taux moyen de remplissage 60 % longueur du canal de stockag 90 m **Volume résultant $0.6 \cdot \pi \cdot (2\ m/2)^2 \cdot 90\ m = 170\ m^3$**



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2.2.5 Bassins et dépressions de rétention

Disposition
Là où une combinaison avec un bassin d'infiltration n'est pas possible, un bassin distinct doit être aménagé. Il faut utiliser autant que possible les dépressions du sol existantes et donner la préférence à des surfaces qui ne servent pas seulement à la rétention. C'est souvent réalisable si l'affectation multiple de zones vertes et de loisirs est déjà prévue dans les plans directeurs et de quartier.

Le caractère attractif de telles installations peut encore être accru par la création d'un plan d'eau permanent, en tenant compte des prescriptions de sécurité.

Dispositif de régulation
L'organe de régulation du débit est l'élément clé d'une installation de rétention. En plus des qualités hydrauliques nécessaires, un tel dispositif ne doit pas risquer de se boucher.

En raison de ces conditions, les régulateurs à vortex sont particulièrement bien adaptés à cause de leur pouvoir auto-nettoyant. Le commerce offre des régulateurs à vortex pour des valeurs de 1 l/s $< Q_{ab} <$ 60 l/s. Pour des débits supérieurs, il faut un obturateur étalonné dont le diamètre remplit la condition DN >15 cm. Il peut être conçu comme une plaque de métal fixe ou comme une vanne réglable.

L'axe du dispositif de régulation doit se trouver au moins 2 à 3 DN au-dessous du niveau d'eau du volume de rétention, si les caractéristiques du régulateur données par le fournisseur doivent être respectées. Le cas échéant, les matières flottantes et en suspension doivent être éliminées par une grille ou par un dépotoir pour éviter de boucher l'organe de régulation. Pour faciliter l'entretien indispensable à la sécurité, il faut garantir un accès sans problèmes et une maintenance simple.

Fonctionnement, entretien et sécurité
Les tâches principales sont l'évacuation de la végétation gênante, des détritus flottants et des dépôts de sédiments, ainsi que la révision usuelle des parties mécaniques. Chaque élément doit être facilement accessible. Le temps et le coût du travail d'entretien sont d'autant plus faibles que les exigences ont mieux été prises en compte dans la planification de l'ouvrage.

Mais une installation facilement accessible par le personnel d'entretien attire aussi les curieux. Il faut en tenir compte par des mesures techniques (instructions OPA, CNA et BPA).

Les bassins peuvent servir à collecter des substances émises lors d'un accident. Cette fonction ne peut servir en cas de besoin que si l'organe d'arrêt est actionné régulièrement et donc maintenu en état de marche et si l'accès aux véhicules d'intervention est garanti. Enfin, l'auteur du projet est tenu d'élaborer un manuel de fonctionnement de l'ouvrage.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2.3 Dimensionnement d'installations de rétention

2.3.1 Bases de calcul

Le volume de stockage nécessaire découle de la résolution de l'équation de bilan suivante :

volume de stockage = débit d'entrée – stockage dans la zone – infiltration – débit de sortie

Calcul au moyen des courbes d'intensité de la pluie
Le débit d'entrée est calculé sur la base des courbes d'intensité de la pluie selon SN 640 350 (voir annexe 2, chapitre 3). Le débit de dimensionnement correspond au débit de réglage maximum autorisé ou à la capacité d'infiltration et est admis comme constant. Le volume de stockage nécessaire correspond à la distance maximale entre la courbe cumulée du débit d'entrée et celle du débit sortant.

Cette procédure repose sur une approche fortement simplifiée et fournit de bonnes valeurs d'approximation pour des durées déterminantes de la pluie < 60 min et pour les petites installations de rétention.

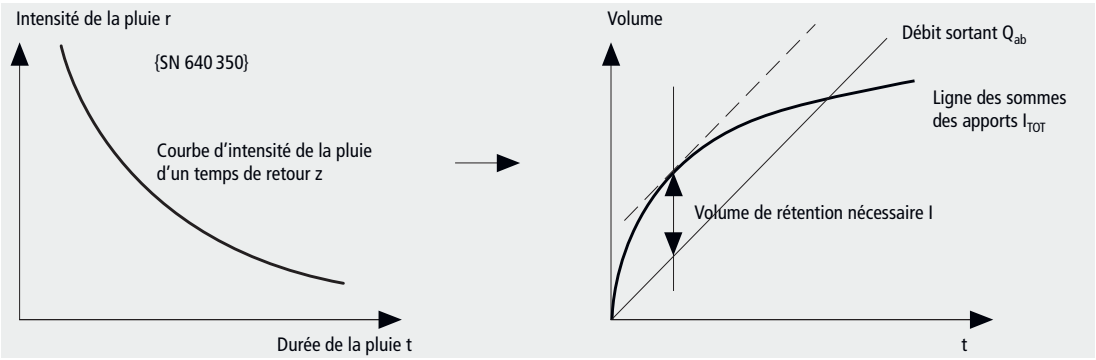


Figure DA17
Détermination du volume de rétention au moyen de courbes d'intensité de la pluie.

Calcul au moyen d'une pluie de référence
L'hydrogramme du débit d'entrée est calculé à partir d'une pluie de référence (p. ex. dans le cadre du PGEE). L'écoulement est égal aux apports jusqu'à la limite Q_{ab}, puis reste constant. Le volume de stockage nécessaire résulte de l'intégration de l'hydrogramme des apports d'eau dépassant la valeur Q_{ab}. Comme les pluies de référence sont déduites des courbes d'intensité de la pluie, cette procédure fournit des valeurs d'approximation d'une exactitude comparable à celle du calcul selon la figure DA17.

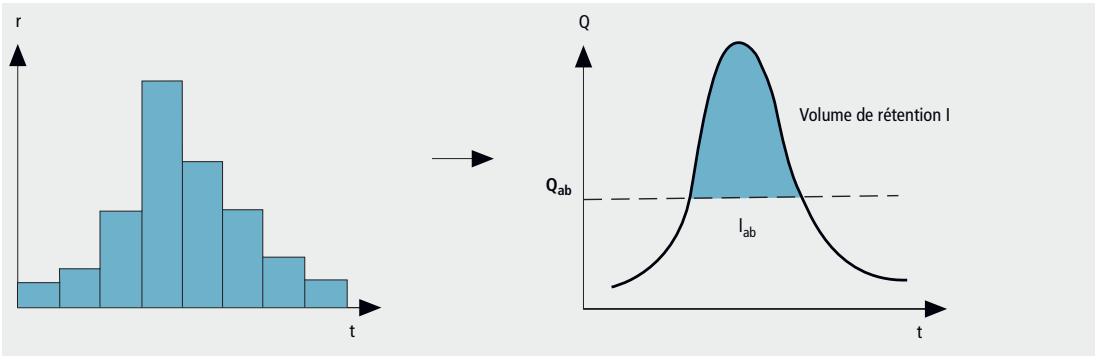


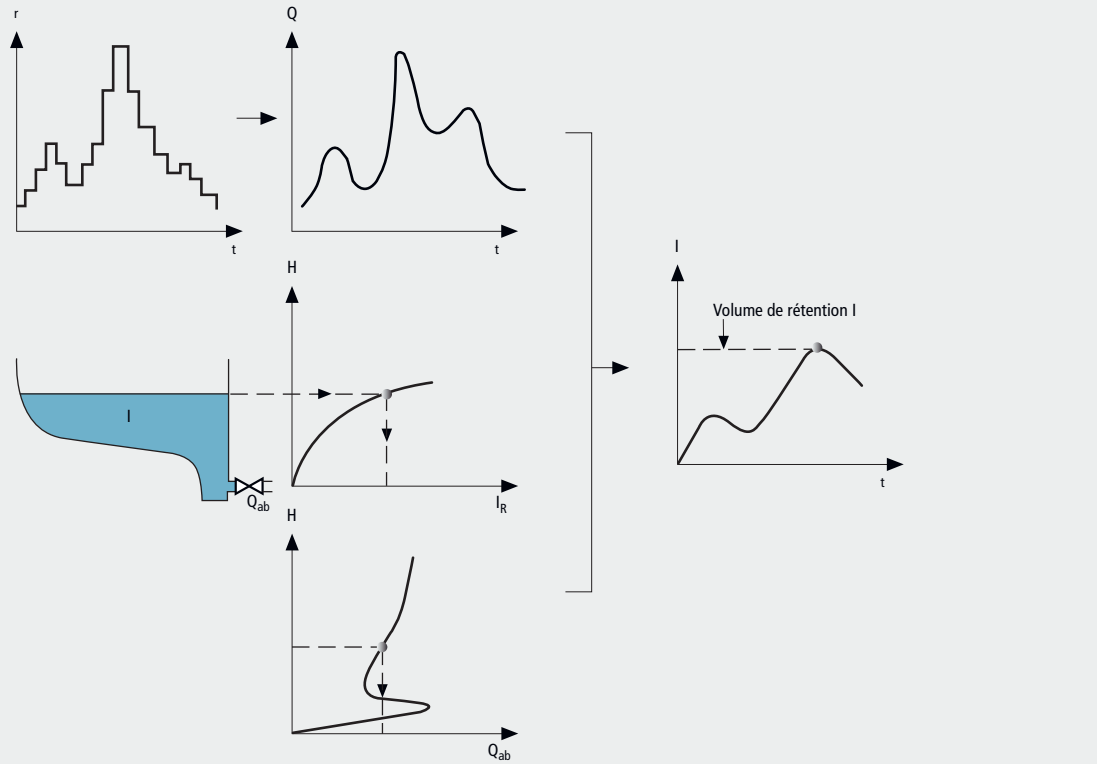
Figure DA18
Détermination du volume de rétention au moyen de pluies de référence.

Calcul au moyen de modèles de simulation numériques (figure DA19)
Les logiciels de calcul comme MOUSE resp. MIKE-URBAN, SASUM, Kalamin, etc. résolvent l'équation de bilan sur la base de pluies de référence ou de données pluviométriques historiques. Le volume de stockage nécessaire peut être déterminé de différentes façons. Par exemple en calculant pour un débit défini, à partir d'une série de pluies historiques, le plus grand volume de stockage ou – en l'absence de bassin d'accumulation – le plus grand volume de débordement. L'avantage d'un calcul au moyen de séries de

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

pluies ne réside pas a priori dans une précision supérieure, mais dans la possibilité d'identifier les caractéristiques de la pluie déterminantes pour la rétention. Mais attention : tous les modèles de simulation de longue durée ne fournissent pas de véritables calculs en continu. Cela peut entraîner, en particulier pour les petits Q_{ab}, des résultats de calcul significativement différents, car, le cas échéant, les effets résultant des superposition de pluies consécutives sur des volumes de stockage partiellement remplis ne peuvent pas être représentés.

Figure DA19
Détermination du volume de rétention au moyen de séries de pluies.



2.3.2 Recommandations pour le calcul

- Pour les grandes installations de rétention (p. ex. zones industrielles, gros lotissements, écoles, etc.), le dimensionnement doit être impérativement effectué avec un modèle hydrologique détaillé et à l'aide d'une simulation en continu de longue durée.

- Pour différentes stations (BE, LU, SG, ZH, …), des diagrammes de dimensionnement ont été élaborés au moyen de séries pluviométriques historiques. Ils fournissent des résultats valables pour les petites installations de rétention, les débits sortants $q_{ab} > 5$ l/s · $ha_{réd}$ et les temps de retour $z \geq 10$ ans. Il est recommandé de calculer de tels diagrammes spécifiques du lieu et de la région aussi pour d'autres stations et d'obtenir ainsi des bases couvrant le plus de surface possible. Pour les installations importantes ou soumises à un risque de dommage notoire en cas de surcharge, des examens et des justifications spécifiques sont nécessaires. Pour les grandes installations, on peut également utiliser les données de l'Atlas hydrologique Suisse (HADES), tableau 2.5.

- Là où des données pluviométriques locales font défaut, il faut recourir provisoirement à des pluies de référence déduites des courbes d'intensité de la pluie ou à la SN 640 350 (décembre 2000). Sur la base de la SN 640 350, des diagrammes de dimensionnement généralisés peuvent être déduits (voir annexe 2, fig. DA 21a – f). Des restrictions importantes s'appliquent cependant à ces diagrammes :

  – Ils ne devraient être utilisés que pour de petites installations de rétention.

  – Les données pluviométriques servant de base ne sont exploitées que jusqu'à une durée de pluie de 60 min. Les extrapolations sur des durées de pluie nettement plus longues sont fausses, puisque la formule à la base de la SN 640 350 ne peut être utilisée que pour de courtes durées de pluie.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

– Les diagrammes ne doivent être utilisés que pour $q_{ab} > 5$ l/s · $ha_{réd}$.

– Les courbes d'intensité régionalisées (p. ex. région «Plateau-Tessin Nord») sont déjà calculées à partir d'une bande relativement large. Les simulations en continu avec des séries de pluie locales sur plusieurs années peuvent le cas échéant donner des résultats nettement divergents.

2.3.3 Réflexions sur la sécurité

Les installations de rétention et d'infiltration sont dimensionnées en fonction d'un temps de retour déterminé. Elles sont donc surchargées lors d'épisodes de précipitations plus importantes, c.-à-d. qu'elles débordent. Le débordement peut entraîner en aval une augmentation notoire de débit, qui peut dépasser nettement le débit de dimensionnement. Il faut étudier l'effet d'un débordement et – selon le risque de dégâts – prendre les mesures de sécurité nécessaires.

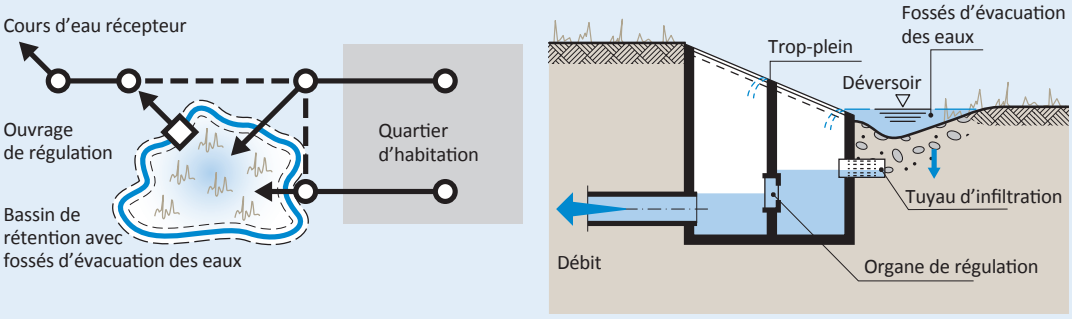
Exemples :
- trop-plein de secours (voir chapitre 1.10.4)
- mesures de protection passives contre le débordement de fossés d'infiltration (caves avec bordures et puits de lumière surélevés, fenêtres étanches, etc.)

Exemple DA8

Exemple de conception et d'exécution

Les canalisations d'eaux pluviales d'un quartier urbain périphérique dont les eaux sont évacuées en système séparatif se jettent dans un petit vallon et y provoquent une forte érosion. Une réduction de débit est nécessaire. Dans ce but, un bassin de retenue à régulation du débit, en dérivation des collecteurs principaux, est aménagé sur une surface publique du quartier.

Surface :	total 5.0 ha réduit 1.5 ha
Bassin versant :	total 7.23 ha réduit 2.17 ha
Bases hydrologiques :	z = 5 ans, déterminé sur la base des séries de pluie locales
Débit :	collecté 488 l/s (Q_{max} avec z = 5) régulé 55 l/s (valeur cible pour éviter l'érosion)
Volume :	rétention nécessaire 500 m^3
Bassin de rétention :	surface au sol 750 m^2 hauteur d'eau 0.7 m $V_{ret} = 0.7m \cdot 750\ m^2 = 525\ m^3$



La surface est aménagée en une aire de jeux végétalisée. Un petit fossé borde la surface plane ; il assure l'assèchement rapide de la surface après la vidange. La régulation s'effectue par un orifice de décharge DN 15 cm. Comme la canalisation est dimensionnée pour l'évacuation du débit non régulé Q (z = 5), elle peut évacuer un débordement de 26 cm de hauteur par dessus l'arête du trop-plein de secours de 2 m de long. De cette manière, le cas de surcharge pour un débit jusqu'à z = 5 ou supérieur peut être évacué par la canalisation existante. Il n'y a donc pas de risque de dégats par débordement dans les environs.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

ANNEXE

Annexe 1 : Dimensionnement de systèmes complets au moyen d'une équation de bilan

Le comportement du système bassin versant – rétention – installation d'infiltration peut être décrit par une équation de bilan :

Equation DA1

Précipitations contribuant à l'écoulement	–	stockage sur place	=	infiltration	+	stockage dans le bassin	+	débordement / écoulement hors du bassin
$r_{t,z} \cdot t \cdot \sum (\psi_i \cdot A_i)/1000$	–	$I_{déc}$	=	$f \cdot A_V \cdot (t+t_r)/1000$	+	$A_V \cdot H$	+	$3600 \cdot Q_d \cdot t_d$

$r_{t,z}$ intensité des précipitations de durée et de temps de retour z (mm/h)
t durée des précipitations (h)
A_i surface du bassin versant sectoriel i (m^2)
ψ_i coefficient d'écoulement du bassin versant sectoriel (ou, pour les questions du volume, utiliser de préférence le degré de renforcement DR [proportion de la surface ayant un effet sur l'écoulement] des bassins versant sectoriels à la place de ψ !)
$I_{déc}$ volume de rétention centralisé dans le bassin versant (m^3)
f potentiel d'infiltration dans une installation d'infiltration (mm/h)
A_V surface de l'installation d'infiltration (m^2)
t_r temps de réaction du bassin versant (h)
H profondeut de l'eau dans une installation d'infiltration
Q_d quantité de débordement (m^3/s)
t_d durée du débordement (h)

Cette équation de bilan peut être calculée «à la main» au moyen du diagramme intensité – durée – fréquence pour différentes durées de précipitations. Si elle est résolue en fonction du volume de stockage, il en résulte un volume maximal pour une durée de précipitations déterminée. Les modèles de simulation utilisent en principe le même algorithme et le résolvent numériquement pour différents épisodes pluvieux typiques ou des séries entières de pluie.

Exemple

Les eaux pluviales d'une construction d'une surface de 20 000 m^2 dans les Préalpes doivent être infiltrées dans une installation. Quel espace de rétention doit être mis à disposition ?

L'équation de bilan est résolue en fonction du volume de stockage I. Pour simplifier, on prend en compte avec le coefficient d'écoulement Ψ le stockage décentralisé $I_{déc}$, c.à-d. le stockage de l'eau sur des toits plats, dans des dépressions et des cavités, etc. qui influence de façon importante l'écoulement surtout lors de courts épisodes. Le temps de réaction t_r n'est pas pris en compte et on admet que le bassin ne déborde pas.

Il en résulte la formule suivante pour déterminer le volume du bassin I :

Equation DA2

$$I = A_V \cdot H = (r_{t,z} \cdot \Psi \cdot (A + A_V) - f \cdot A_V) \cdot t/1000$$

Lors de brèves précipitations, les intensités sont élevées ; les quantités absolues de pluie sont cependant faibles, de même que les quantités d'eau qui peuvent s'infiltrer dans le bassin pendant la durée des précipitations. Avec l'augmentation de la durée des précipitations, leur intensité moyenne diminue, mais les quantités d'eaux pluviales et d'eau infiltrée augmentent. Pour trouver cette durée d'événement qui apporte la quantité maximale d'eau à stocker dans le bassin, la formule DA2 doit être appliquée à différentes durées de précipitations t.

Lors du choix des valeurs des paramètres, il faut savoir que les coefficients d'écoulement Ψ utilisés dans l'évacuation des eaux des agglomérations ne sont que rarement atteints dans la pratique et que le stockage décentralisé $I_{déc}$ peut atteindre des valeurs très élevées. Le taux d'infiltration f dépend de la structure du sol du bassin et peut considérablement changer pendant la durée de vie de l'installation : les macropores peuvent notoirement augmenter le taux d'infiltration alors que le colmatage le diminue. Les essais d'infiltration permettent une estimation plus fiable de cette valeur.

Les interprétations sont présentées dans le tableau DA5 et la figure DA20. On a utilisé les courbes d'intensité de la pluie de la station du Schwarzsee (WSL, 1979), choisie comme station représentative de la région des Préalpes. Le calcul a été effectué avec des précipitations annuelles de 10 ans, un coefficient d'écoulement Ψ = 0.4, une installation d'infiltration d'une surface de 400 m^2 possédant un taux d'infiltration f = 50 mm/h.

Avec l'accroissement de la durée des précipitations, le volume nécessaire augmente jusqu'à ce qu'un maximum de 370 m^3 soit atteint pour une pluie d'une durée de 9 heures. Les épisodes de précipitations déterminants pour le dimensionnement sont souvent plus longs pour les bassins d'infiltration que pour les canalisations. Lors d'épisodes qui durent plus de 9 heures, dans le présent exemple, l'infiltration dans le bassin dépasse l'apport par écoulement des précipitations.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Analyse de sensibilité

Les paramètres Ψ et f ont une grande variabilité naturelle et ne sont pas déterminables avec précision. Mais le volume du bassin réagit de façon très sensible aux changements de ces paramètres comme le montre la figure DA20 où les coefficients d'écoulement sont compris entre 0.3 et 0.5, les taux d'infiltration entre 20 et 100 mm/h et les temps de retour des précipitations entre 2.33 et 10 ans.

Durée de la pluie t (h)	Intensité de la pluie r_t (z = 10) (mm/h)	Volume de rétention I (m³)
0.5	50	190
1	31	230
2	20	280
3	15	300
4	12.5	320
6	9.5	340
9	7.6	370
12	6	340
18	4.5	290
24	3.6	210

Tableau DA5
Volumes du bassin nécessaires pour des durées de précipitations comprises entre 30 minutes et 24 heures pour un bassin versant de 20000 m², un coefficient d'écoulement Ψ = 0.4 et un taux d'infiltration f = 50 mm/h dans l'installation d'infiltration d'une surface de 400 m².

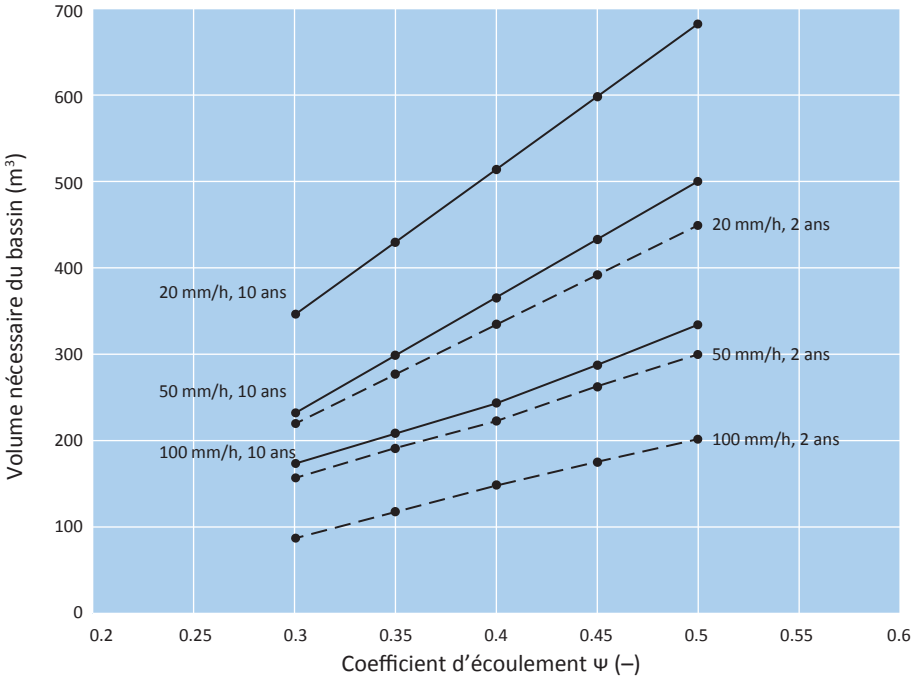


Figure DA20
Influence des paramètres Ψ (coefficient d'écoulement), f (taux d'infiltration) et z (temps de retour) sur le volume du bassin.

Même lorsque l'on effectue soigneusement le choix des paramètres, il subsiste un grand domaine d'incertitude. Il vaut donc la peine de prendre en considération les conséquences d'une surcharge de l'installation lors du dimensionnement. Si les effets de la submersion et du débordement sont faibles, on peut choisir des valeurs plus basses. Mais, si les effets sont importants, il faut choisir des valeurs proches de leur limite supérieure même si elles peuvent augmenter sensiblement les dimensions d'un bassin. Cependant, même pour les dimensionnements généreux, il faut prendre des dispositions pour minimiser les conséquences d'une surcharge des installations.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Annexe 2 : Diagrammes généraux de dimensionnement de petites installations d'infiltration et de rétention, selon SN 640 350 (édition 2000)

Figure DA21a–f
Diagrammes généraux de dimensionnement de petites installations de rétention, selon SN 640 350 (édition 2000) (q_{ab} > 5 l/s · $ha_{réd}$, durée de pluie déterminante <60 min).

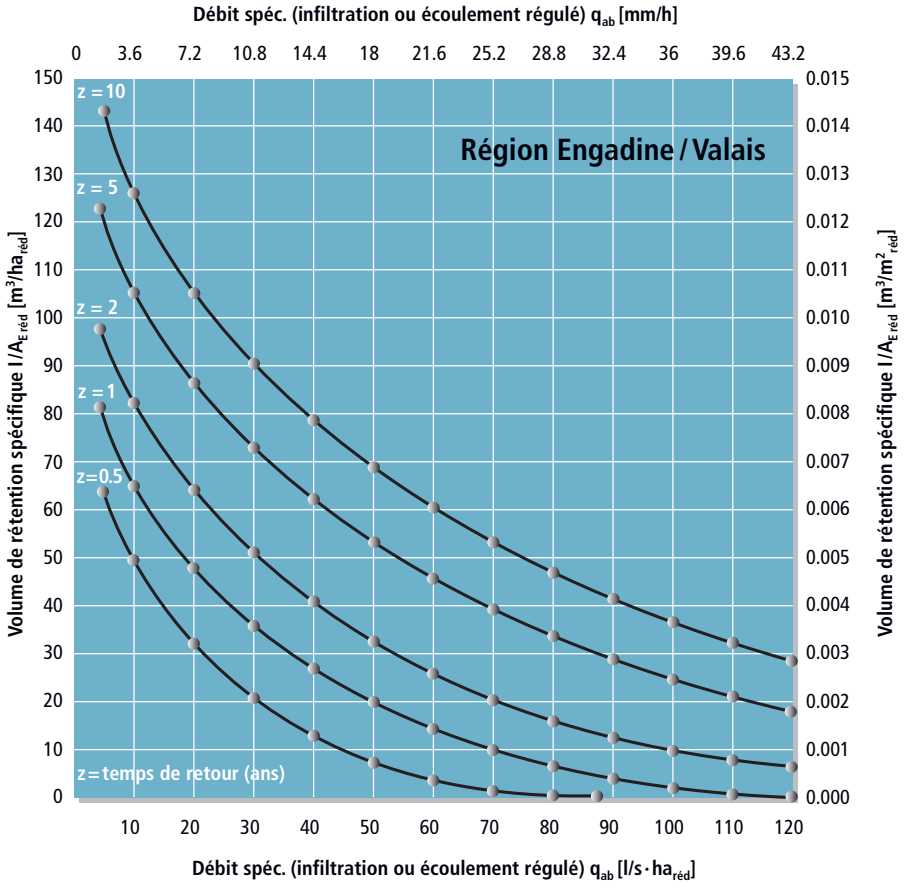


Figure DA21a
Région Engadine/Valais.

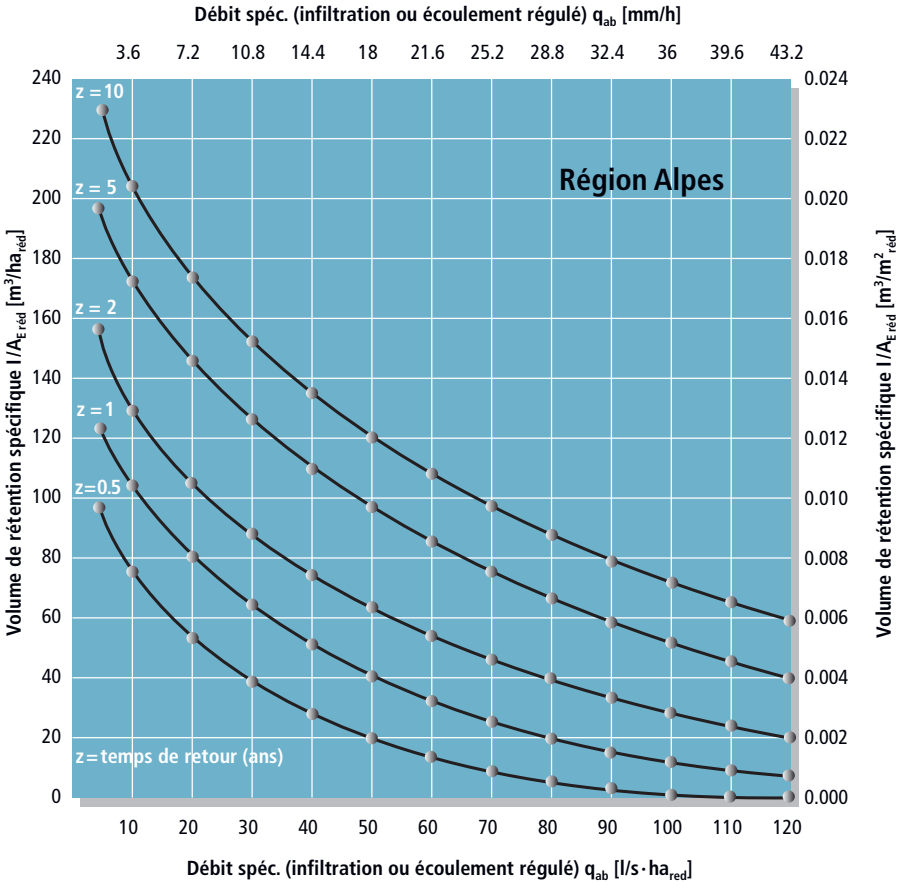


Figure DA21b
Région Alpes.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

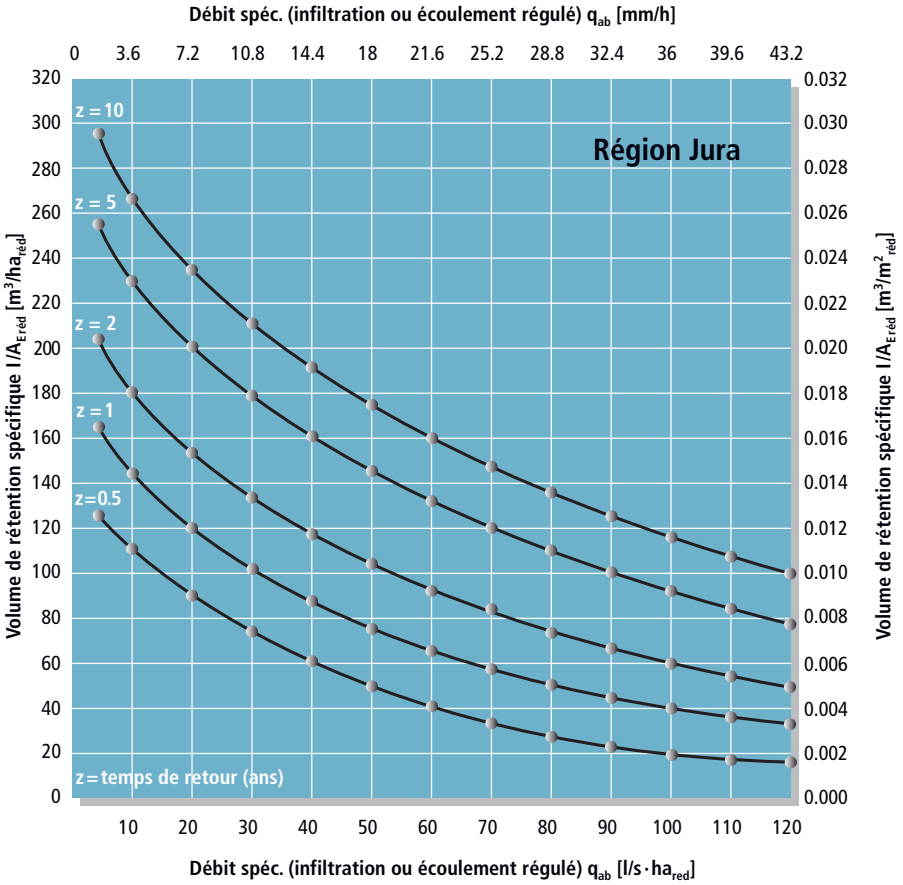


Figure DA21c
Région Jura.

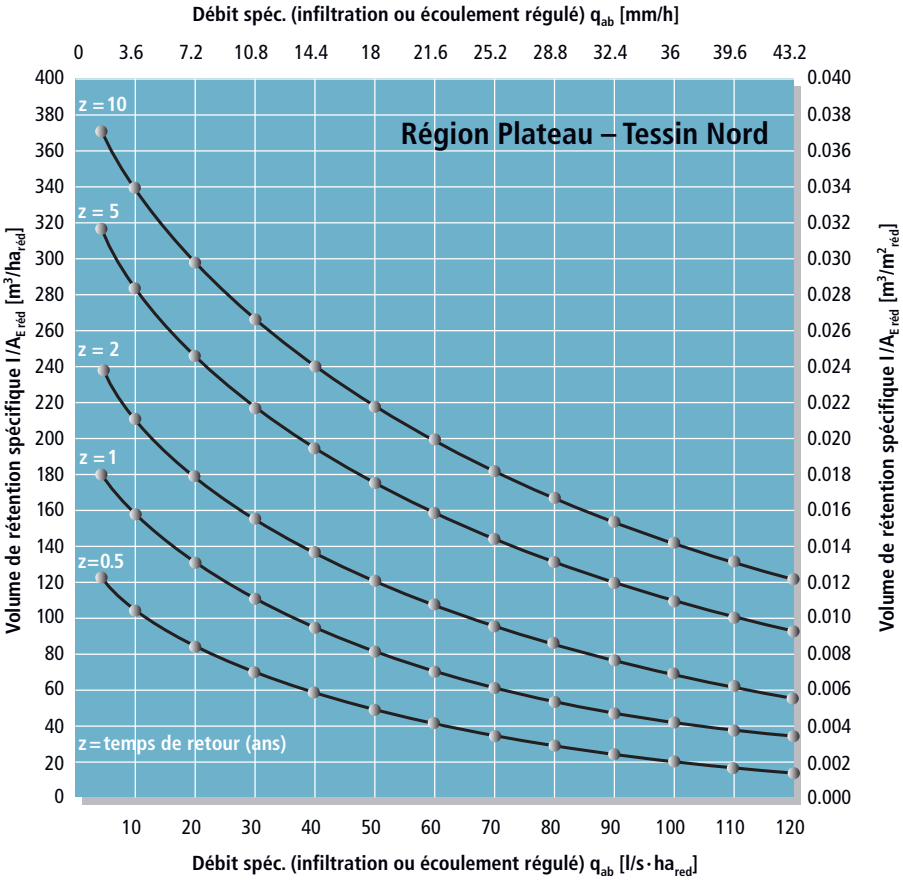


Figure DA21d
Région Plateau – Tessin Nord.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Figure DA21e
Région Préalpes.

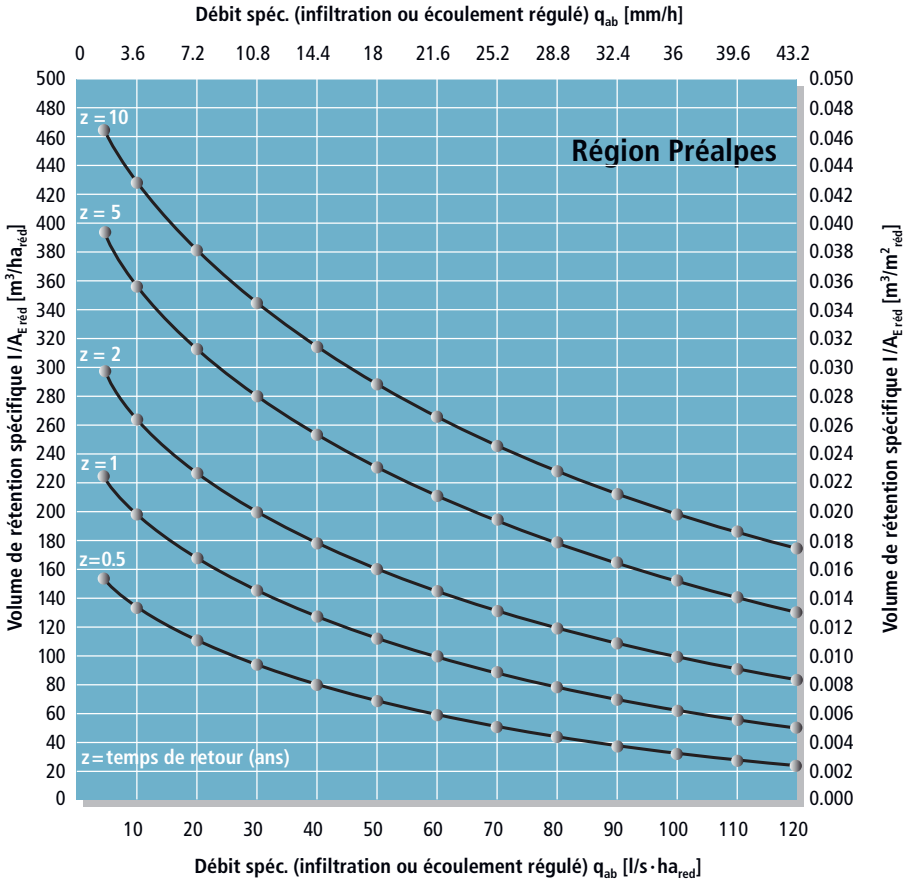
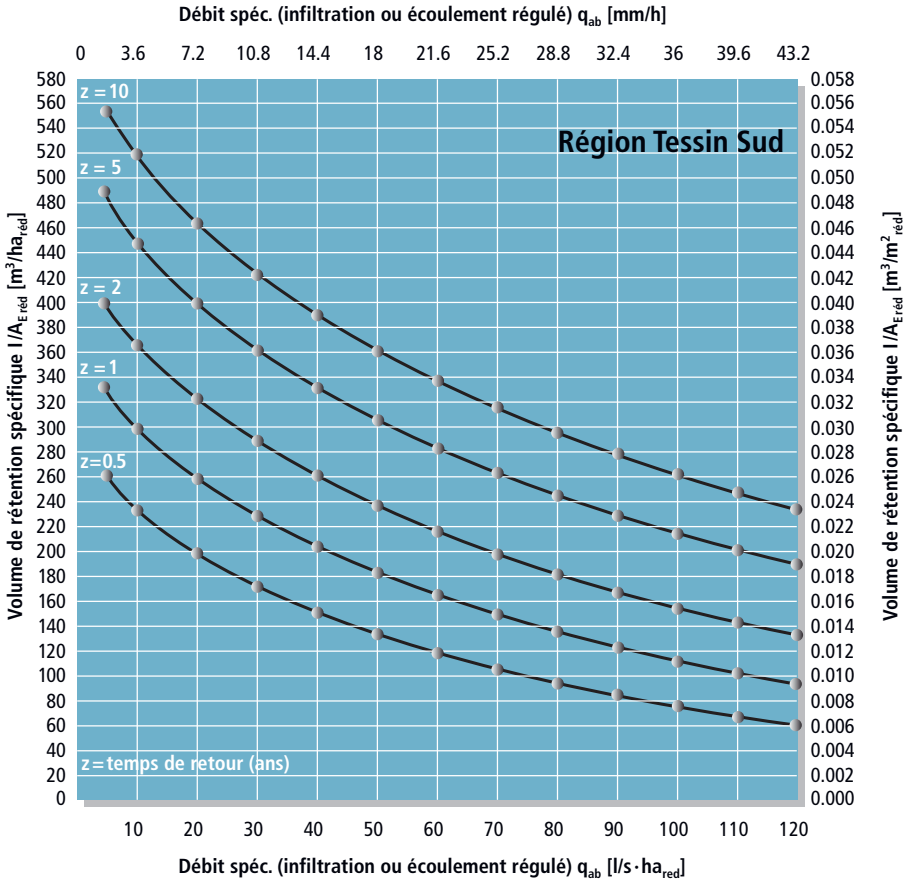
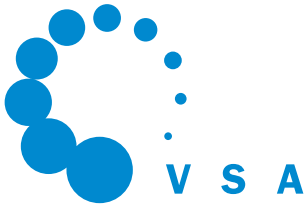


Figure DA21f
Région Tessin sud.



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020



Association suisse des professionnels
de la protection des eaux (VSA)
Europastrasse 3
Case postale, 8152 Glattbrugg
sekretariat@vsa.ch
www.vsa.ch
Tel. 043 343 70 70

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

Association suisse des professionnels de la protection des eaux

Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Swiss Water Association

VSA

GESTION DES EAUX URBAINES PAR TEMPS DE PLUIE

MODULE DIMENSIONNEMENT ET CONCEPTION
PARTIE B : INSTALLATIONS DE TRAITEMENT ET DE DÉVERSEMENT POUR LES EAUX UNITAIRES

DB

2019

Impressum

La présente publication a été élaborée avec le plus grand soin et en toute bonne foi. Nous déclinons toutefois toute responsabilité quant à son exactitude, son exhaustivité et son actualité. Toute prétention en responsabilité à l'encontre de la VSA pour des dommages matériels ou immatériels qui pourraient être causés par l'utilisation et l'application de la présente publication est totalement exclue.

Valeur juridique
Cette directive documente l'état de la technique et les bonnes pratiques suisses en matière de gestion des eaux urbaines par temps de pluie. Elle précise la législation relative à la protection des eaux et permet une mise en oeuvre uniforme. La directive s'adresse principalement aux autorités chargées de l'application et de l'autorisation et aux planificateurs de systèmes d'évacuation des eaux. Elle garantit à l'utilisateur un degré élevé de sécurité juridique. D'autres solutions sont toutefois possibles. Cependant dans le cadre de la pratique juridique ces solutions doivent être conformes au droit.

Auteurs
Daniel Baumgartner, Hunziker Betatech AG, Berne
Reto Flury, Holinger AG, Berne
Natalie Muff, Holinger AG, Berne
Silvia Oppliger, Hunziker Betatech AG, Berne
Elias Winz, Holinger AG, Berne

Membres du groupe de travail
Karlheinz Diethelm, AfU, Herisau
Patrick Fischer, OFEV, Berne
Stefan Hasler, VSA, Glattbrugg
Daniel Meister, AWEL, Zurich
Urs Reichmuth, Office des ponts et chaussées, Wangen SZ
Jörg Rieckermann, Eawag, Dübendorf
Luca Rossi, SINEF SA, Givisiez
Pierre Wyrsch, SENE, Neuchâtel
Alain Wyss, DGEau, Genève

Membres de la commission plan générela d'évacuation des eaux (2013)
Renzo Brenni, office de protection des eaux, Ct. TI, Bellinzona / Fredy Elber, AquaPlus, Zug / Werner Federer, Fischer Ingenieure AG, Arbon / Patrick Fischer, OFEV, Berne / Vladimir Krejci, Hydroconsult Krejci, Weesen SG / Roland Krummenacher, Gewässerschutzfachstelle Kt. LU, Luzern / Urs Reichmuth, Bauamt Wangen SZ, Wangen (présidence) / Jörg Rieckermann, Eawag, Dübendorf / Kurt Suter, Gewässerschutzfachstelle Kt. AG, Aarau

Éditeur
Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Photo de titre
Ramboll Studio Dreiseitl, Arkadien Winnenden

Conception
SLS Nadler, Peter Nadler, 8610 Uster

Impression
Appenzeller Druckerei AG, 9100 Herisau

Source de référence
VSA, Europastrasse 3, Postfach, CH-8152 Glattbrugg,
téléphone 043 343 70 70, sekretariat@vsa.ch, www.vsa.ch

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Brève description du présent module et destinataires

Le module dimensionnement et conception contient des indications et des exemples pour le dimensionnement et la conception correcte des installations de traitement et de déversement d'eaux unitaires. Il s'adresse principalement aux planificateurs (ingénieurs PGEE).

Abréviations utilisées pour les renvois et désignations des tableaux / figures (voir aussi module de base, chap. 1.6 « Structure de la directive »)

Abréviation pour les renvois	Titre des différents modules
B	Module de base
G	Module Analyse de la qualité de l'eau
S	Module STORM
D	Module Dimensionnement et conception
DA	Partie A : Gestion des eaux pluviales
DB	Partie B : Installations de traitement et de déversement des eaux unitaires
E	Module Systèmes d'évacuation des eaux
L	Index et listes de l'ensemble de la directive • Liste des abréviations • Bibliographie

Exemples de renvois :

- voir module G, chap. 3 = voir module « Analyse de la qualité de l'eau », chapitre 3
- voir chap. 3 (sans spécification d'un module) = voir chapitre 3 du module même
- voir également fig. B4 = voir la figure B4 dans le module de base

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

TABLE DE MATIÈRES

I	**REMARQUES PRÉLIMINAIRES**	7
I.I	Positionnement du module	7
I.II	Structure du module	7
I.III	Autres normes et directives	7
I.IV	Procédure générale de planification	8
1	**INTRODUCTION**	9
2	**PRINCIPE DE DIMENSIONNEMENT**	10
2.1	Généralités	10
2.2	Méthodes simples de dimensionnement	10
2.3	Dimensionnement à l'aide d'une simulation à long terme	11
2.4	Dimensionnement hydraulique et dimensionnement des processus techniques	12
2.4.1	Dimensionnement au moyen de formules empiriques	12
2.4.2	Dimensionnement au moyen de modèles de simulation	12
2.5	Données en matière de planification	12
3	**PROCÉDÉS DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES DANS LE RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT**	13
3.1	Vue d'ensemble	13
3.2	Rétention portant sur la réduction des débits de pointe (rétention pluviale)	14
3.2.1	Réseaux séparatifs	14
3.2.2	Réseaux unitaires	15
3.3	Rétention destinée à la retenue des substances dans les eaux usées	15
3.4	Sédimentation	16
3.4.1	Vitesse de sédimentation des particules	16
3.4.2	Conditions hydrauliques dans les installations de décantation	17
3.4.3	Substances polluantes dans les différentes fractions particulaires	18
3.5	Séparation des matières grossières dans les déversoirs d'orage	18
3.6	Séparation des matières solides à l'aide de forces centrifuges	18
3.7	Filtration	19
3.8	Processus d'hygiénisation	20
4	**TYPE D'OUVRAGES**	21
4.1	Vue d'ensemble	21
4.2	Définitions	21
4.2.1	Terminologie et abréviations	21
4.2.2	Symboles	24
5	**DÉVERSOIR D'ORAGE (DO) ET OUVRAGE DE RÉPARTITION (OR)**	27
5.1	Vue d'ensemble	27
5.2	Schéma et fonction du système	28
5.3	Conception	29
5.3.1	Installations de répartition	29
5.3.2	Dispositif de limitation des débits	30
5.3.3	Canal collecteur	31
5.3.4	Canalisation d'évacuation vers la STEP	31

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

5.3.5 Canalisation d'évacuation vers le milieu récepteur 31
5.3.6 Ouvrage de rejet 32
5.4 Dimensionnement des éléments des ouvrages 32
5.4.1 Canalisation d'entrée 32
5.4.2 Déversoir latéral avec seuil à crête haute 33
5.4.3 Lames déversantes noyées 38
5.4.4 Leaping Weir (ouverture en radier) 40
5.4.5 Canalisation d'évacuation des eaux 42
5.5 Résumé des paramètres hydrauliques clés pour les déversoirs et canaux d'évacuation 45
5.6 Proposition de procédé pour la vérification du dimensionnement des installations existantes 46

6 BASSIN D'EAUX PLUVIALES (BEP) 48
6.1 Vue d'ensemble 48
6.2 Disposition des bassins d'eaux pluviales dans le réseau d'assainissement 48
6.2.1 Raccordement direct (en série, on-line) 48
6.2.2 Raccordement en parallèle, off-line 49
6.3 Bases pour la réalisation des bassins d'eaux pluviales 49
6.4 Bassin de rétention (BdR) et canal de rétention (CdR) 50
6.4.1 Schéma du système et fonction 50
6.4.2 Dimensionnement 50
6.4.3 Conception (exemple) 52
6.5 Bassin d'orage (BdO) 52
6.5.1 Bassin de stockage (BdS) et canal de stockage (CdS) 53
6.5.2 Bassin de décantation (BdD) 56
6.5.3 Bassins combinés (BC) 59
6.5.4 Canal d'accumulation (CdA) 60
6.6 Bassin de clarification (BdC) 61
6.6.1 Schéma du système et fonction 61
6.6.2 Dimensionnement 62
6.7 Résumé des paramètres hydrauliques clés pour les bassins d'eaux pluviales 63

7 DIMENSIONNEMENT D'AUTRES PARTIES D'OUVRAGE 66
7.1 Régulation du débit 66
7.1.1 Principe et fonction de régulation du débit pour les déversoirs 66
7.1.2 Dispositifs de limitation des débits sans pièces mobiles et sans alimentation externe 68
7.1.3 Limiteurs de débits avec pièces mobiles et sans alimentation externe 69
7.1.4 Limiteurs de débits avec pièces mobiles et avec alimentation externe 70
7.1.5 Exigences imposées en matière d'équipement de limitation des débits 71
7.2 Canal collecteur (selon DWA-A 111 [252]) 72
7.3 Séparation des déchets solides 73
7.3.1 Cloisons siphoïdes 73
7.3.2 Dégrilleurs et tamis 74
7.3.3 Brosses et brosses-tamis 74
7.3.4 Informations générales 74
7.4 Déversoirs de sortie 75

Suite Table de matière voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

8 DESCRIPTION D'AUTRES OUVRAGES 77
8.1 Équipements mécaniques et électrotechniques des bassins d'eaux pluviales et des déversoirs d'orage 77
8.2 Séparateurs hydrodynamiques 77
8.3 Installations de filtration, massif filtrant, étangs 77
8.4 Nettoyage des routes/regards 77
8.5 Rétention d'eaux usées 78
8.5.1 Remarque préliminaire 78
8.5.2 Description et fonction du bassin d'eaux usées 78
8.5.3 Planification et dimensionnement du bassin d'eaux usées 79
8.5.4 Performance des installations 80

9 CONSEILS POUR LA RÉHABILITATION DES OUVRAGES 81
9.1 Remarques générales 81
9.2 Assainissement et rénovation de la structure des ouvrages 81
9.3 Adaptation des performances hydrauliques et des procédés techniques 81
9.3.1 Adaptation des déversoirs d'orage 81
9.3.2 Adaptation des bassins d'eaux pluviales 82

10 EXPLOITATION PROVISOIRE D'UN OUVRAGE AVEC SUIVI 83
10.1 Buts 83
10.2 Méthodologie 83
10.3 Limites d'applicabilité 83

11 GESTION DU RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT 84
11.1 Introduction 84
11.2 Systèmes de commande et de régulation 84
11.3 Importance de la gestion du réseau d'assainissement 86

ANNEXE 1 87
Annexe 1A : Explications de l'exemple DB2 au chapitre 5.4.3 87
Annexe 1B : Hauteur de déversoir supérieure au niveau le plus élevée de la canalisation d'entrée – notes explicatives voir chapitre 5.4.2 89

ANNEXE 2 91
Remarques sur le dimensionnement des processus techniques des bassins de décantation (système unitaire) et des bassins de clarification (système séparatif) 91

ANNEXE 3 100
Exemple de dimensionnement d'un bassin de décantation raccordé en parallèle 100

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

I REMARQUES PRÉLIMINAIRES

Ce module «Dimensionnement et conception» fait partie de la directive «Gestion des eaux urbaines par temps de pluie» de l'Association suisse des professionnels de protection des eaux (VSA). Il présente les approches et les possibilités de conception technique et de dimensionnement d'ouvrages en assainissement urbain et constitue une aide à la planification et à la mise en oeuvre de mesures concrètes.

I.I Positionnement du module

Les exigences en matière de gestion et d'évacuation des eaux pluviales et des eaux unitaires ou usées dépendent essentiellement du type et de la quantité d'eau produite. Les domaines d'application des systèmes présentés dans ce module vont de l'évacuation des eaux des bien-fonds à l'évacuation des eaux des places et des voies d'accès jusqu'au dimensionnement des systèmes appropriés pour l'ensemble des réseaux d'assainissement.

Les considérations conceptuelles et la planification qui conduisent au **choix d'une mesure appropriée** ne sont pas décrites dans ce document, mais doivent toujours être réalisées à l'avance sur la base des informations contenues dans le **module de base et le module STORM**. Une fois les mesures sélectionnées, le présent module sert à dimensionner et concevoir correctement l'installation correspondante.

I.II Structure du module

Ce module est divisé en deux parties : La **partie A** décrit les installations conçues pour l'évacuation directe des eaux pluviales provenant des biens-fonds, des voies d'accès dans la zone du bien-fonds, avec ou sans traitement. La **partie B,** en revanche, décrit les installations qui sont directement en lien avec le réseau d'assainissement, en particulier dans les systèmes unitaires avec traitement des eaux mixtes. En règle générale, elles sont pertinentes pour les plans généraux d'évacuation des eaux (PGEE) au niveau communal ou au niveau régional pour les PGEEi (PGEE intercommunaux).

Une sélection d'**exemples pratiques** pour une meilleure illustration et une définition uniforme du dimensionnement et de la conception des systèmes d'eau pluviales (en particulier l'infiltration et la rétention) peut être trouvée dans la Recommandation KBOB/VSA «Infiltration et rétention des eaux de pluviale en milieu bâti» [157]. D'autres exemples pratiques sont présentés sur la page d'accueil du VSA.

I.III Autres normes et directives

Pour les installations d'évacuation spécifiques en milieu bâti et pour les voies de communcation, il est fait référence aux normes et lignes directrices pertinentes existantes émises par les associations professionnelles et les organismes fédéraux. En milieu urbain, il s'agit notamment de la norme «Installations pour évacuation des eaux des biens-fonds» SN 592 000 [101], pour les installations ferroviaires de la norme «Évacuation des eaux des installations ferroviaires» [55] et pour les routes nationales du document «Traitement des eaux de chaussée des routes nationales» [56].

Les installations d'infiltration, de rétention et de traitement doivent répondre aux exigences de sécurité des directives en vigueur (OPA, SUVA) (en particulier, la protection contre les chutes des personnes doit être respectée).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

I.IV Procédure générale de planification

Les installations présentées dans le module DA (installation de rétention et de traitement) nécessitent les étapes de planification générale suivantes :

- détermination de la nécessité et des objectifs d'efficacité (selon le module de base) ;
- détermination des grandeurs de dimensionnement ;
- identification des sites possibles et des types d'installation appropriés ;
- prédimensionnement et conception de l'installation ;
- dimensionnement définitif, planification du projet et construction ;
- définition du suivi de l'installation.

Selon l'installation et l'emplacement, d'autres étapes de travail peuvent être nécessaires ou des étapes individuelles peuvent être écartées.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1 INTRODUCTION

Le présent volume décrit le dimensionnement et la conception des déversoirs d'orage et des bassins d'eaux pluviales ou d'installations semblables dans les réseaux d'évacuation ou à proximité d'une station d'épuration (voir figure DB1).

À l'aide du présent module, l'utilisateur disposant des bases techniques spécialisées dans le domaine de l'évacuation des eaux urbaines et de la gestion des eaux usées, doit être en mesure d'élaborer un avant-projet portant sur des solutions standards. Le présent module offre également une aide concernant la vérification des installations existantes.

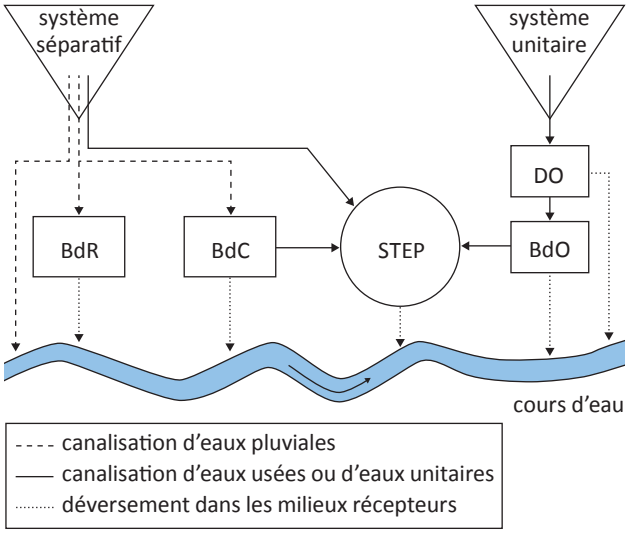


Figure DB1
Schéma illustrant la disposition des déversoirs d'orage et des bassins d'eaux pluviales dans un système d'évacuation.
BdR = Bassin de rétention
BdC = Bassin de clarification
STEP = Station d'épuration
DO = Déversoir d'orage
BdO = Bassin d'orage

Lors de l'élaboration du présent module, certaines informations et illustrations provenant de la réglementation DWA actuelle ont été utilisées avec le consentement de l'Association allemande pour la gestion des eaux, des eaux usées et des déchets (DWA). Il s'agit des fiches de travail DWA-A 111 [252] et DWA-A 166 [256]. Une simple référence à cet ensemble de règles n'est pas possible, car pour certains aspects des différences existent avec la réglementation suisse. De plus, la directive est également traduite dans les deux autres langues nationales, en français et en italien.

Lors d'une reprise d'informations ou d'illustrations, une remarque sera notifiée.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2 PRINCIPE DE DIMENSIONNEMENT

2.1 Généralités

Le ruissellement pluvial dans un bassin versant est principalement marqué par le caractère aléatoire des événements pluviaux, par la dynamique des processus (variation temporelle et amplitude) et par les différentes conditions initiales dans le système d'évacuation des eaux. Ces caractéristiques conduisent à une procédure déterminée lors du dimensionnement des installations techniques.

Le principe de ce dimensionnement repose sur le débit pluvial lors d'une certaine pluie («critique») et/ou pendant tous les événements pluviaux sur une période déterminée. Selon la nature de la tâche (type de solution, importance, coûts d'investissement), la variation temporelle des débits pluviaux et éventuellement d'autres paramètres (tels que les volumes rejetés, les concentrations et charges polluantes, etc.) seront également incorporés dans le dimensionnement.

Un paramètre important, avec une implication significative sur les coûts, s'avère être la fréquence tolérable d'une condition de fonctionnement déterminée (par exemple la fréquence de déversement d'un réseau unitaire). Sur certaines installations (comme p. ex. les dégrilleurs, les bassins d'eaux pluviales) et sur certaines parties d'installation (p. ex. la réalisation d'un déversoir), la fréquence annuelle admissible de surcharge hydraulique (avec des conséquences possibles pour les performances de l'installation) est également très importante. Ces conditions limites à remplir sont déterminées par des considérations de type émission et immission selon le Module de base et STORM. Ces valeurs de déversement et les fréquences sont déterminées dans la planification conceptuelle (PGEE, PGEEi, PREE), dans le concept d'évacuation des eaux en matière de dimensionnement des installations techniques par temps de pluie, différents modèles de simulation sont généralement utilisés. Ces modèles peuvent prendre en compte le caractère statistique de la pluie, la dynamique des processus et les différentes conditions initiales dans le système. Au moyen de simulations, il est également possible de travailler avec des formules empiriques simples, des tableaux et diagrammes comportant des indications spécifiquement régionales et pouvant être utilisées pour la planification d'installations simples et de petite taille. Cependant, la simulation des débits au niveau local ainsi qu'éventuellement la simulation des processus techniques sont indispensables à la planification des installations importantes et de grande taille.

La décision quant au type de support de calcul relatif au dimensionnement (application de modèles de simulation ou non) ainsi qu'au choix d'un modèle et d'un programme de simulation dépend de la nécessité de celui-ci et du rapport coûts-bénéfice du mode de calcul choisi. Le choix doit être argumenté et documenté.

Concernant le choix des modèles et les indications détaillées sur la calibration des modèles il faut se référer au cahier des charges PGEE [150].

Le dimensionnement des solutions techniques par temps de pluie est chargé d'incertitudes (par exemple en termes de coûts et de performance). Ces dernières devraient être évaluées numériquement dans le contexte de la planification (p. ex. à l'aide de l'analyse de sensibilité). Si des modèles de simulation de type stochastique-probabiliste sont disponibles, ils doivent être utilisés. Ces indications devraient également être utilisées pour la planification du contrôle d'efficacité.

2.2 Méthodes simples de dimensionnement

En tant que procédé simple de dimensionnement, on retiendra l'évaluation des débits sur la base de courbes d'intensité pluviale régionales ou au moyen de diagrammes de dimensionnement pour chaque région de Suisse. Ce type d'évaluation (p. ex. débit de sortie, volume de rétention) est adapté aux petites installations et aux bassins versants simples.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Les installations pouvant être dimensionnées au moyen de méthodes hydrologiques simples comprennent les petits installations de rétention et d'infiltration (voir module Dimensionnement et conception, partie A) ainsi que les petites installations de dégrillage.

Compte tenu des incertitudes de cette méthode de dimensionnement, on renoncera provisoirement à la prise en compte d'autres facteurs hydrologiques (p. ex. la répartition spatiale de la pluie, l'état de l'installation au début de la pluie, etc.).

2.3 Dimensionnement à l'aide d'une simulation à long terme

Lors du dimensionnement au moyen d'une approche par modélisation hydrologique, l'ordre naturel des événements pluviaux ainsi que la superposition possible de processus de remplissage et de vidange dans les installations peuvent être saisis mathématiquement au moyen de simulations à long terme en utilisant des séries pluviométriques historiques. L'utilisation de modèles hydrodynamiques pour la simulation du comportement des systèmes d'assainissement permet également de reproduire la rétention et le refoulement dans le système d'assainissement. Dans ce cas, la simulation de séries pluviométriques à long terme peut par exemple être utilisée. Ce procédé est appliqué en particulier à des installations de grande taille et à des bassins versants complexes et relativement plats.

Les conditions d'application du procédé de simulation à long terme sont les suivantes :

- Les calculs effectués par les modèles de simulation doivent être impérativement validés. A cet effet, des données locales (pluie, débits, hauteur d'eau, etc.) et des observations in-situ sont nécessaires.

- Les relevés pluviométriques provenant de données historiques ne peuvent pas être inférieurs à la périodicité pour laquelle le but est fixé et en principe ne doivent pas être inférieurs à 10 ans. Pour les relevés pluviométriques, une période 2 à 3 fois plus longue que celle de la périodicité d'atteinte tolérable doit être visée.

- La résolution temporelle des données pluviométriques doit être ≤10 minutes.

- Le débit par temps sec (eaux usées et eaux claires parasites) dans les systèmes unitaires est calculé au moyen du débit annuel moyen.

- Les résultats de la simulation à long terme sont normalement présentés sous forme de classements des événements individuels. La périodicité correspondant à la longueur de la série pluviométrique est assignée à la plus grande valeur de ce classement. Cette valeur peut cependant s'écarter de la périodicité effective. Ce fait doit être pris en compte et dans les cas justifiés, une évaluation statistique approfondie doit avoir lieu. Concernant cette évaluation, différents procédés hydrologiques destinés à l'adaptation des fonctions de distribution sont disponibles (voir figure DB13).

- À l'aide d'une simulation à long terme et des séries pluviométriques historiques, des calculs se rapportant à une analyse d'exploitation sont également effectués, même pour des installations évaluées au moyen d'autres méthodes (p. ex. installations de dégrillage). Ainsi, des informations relatives aux données d'exploitation peuvent-elles être obtenues durant une période de temps déterminée (p. ex. débit ou volume, durée et fréquence de déversement). Ces informations peuvent également être significatives pour le contrôle d'efficacité.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2.4 Dimensionnement hydraulique et dimensionnement des processus techniques

2.4.1 Dimensionnement au moyen de formules empiriques

Le dimensionnement à l'aide de formules empiriques s'applique généralement à l'évaluation hydraulique d'éléments d'installation (comme par exemple la longueur de la lame déversante d'un déversoir d'orage) ou à une simple évaluation (comme p. ex. l'évaluation de dispositifs de sédimentation). Les formules appropriées ainsi que les paramètres d'évaluation pour les différentes installations et mesures techniques sont fournis dans les chapitres qui suivent.

2.4.2 Dimensionnement au moyen de modèles de simulation

Au cas où on ne pourrait pas décrire le comportement hydraulique ou le processus technique au moyen de formules simples, les bases de dimensionnement peuvent être déterminées par des installations pilotes expérimentales ou par des simulations mathématiques. Lors des simulations hydrauliques, il peut également s'agir de modèles d'écoulement multidimensionnels. Ainsi peut-on également calculer les trajectoires et les vitesses des particules dans un volume donné.

De telles simulations de flux multidimensionnelles exigent un nombre considérable de calculs et par conséquent ne conviennent pas aux simulations de longues séries de pluie. Leur application s'effectue de manière judicieuse sur la base d'un objectif de calcul clairement défini. Actuellement, l'application des modèles 3-D appartient à l'état de la technique pour le traitement des tâches complexes d'ingénierie dans le domaine de l'hydromécanique et des technologies environnementales [366]. Dès lors, l'utilisation de ces modèles sera également encouragée en cas de problèmes importants relevant du traitement des eaux de ruissellement. Pour des applications complexes, la combinaison d'un modèle 3-D (modèle numérique) avec un modèle physique est une solution judicieuse. Des indications et recommandations plus précises relatives à l'application de modèles particuliers ou de logiciels de simulation ne sont pas encore disponibles.

2.5 Données en matière de planification

Puisque la planification des installations est basée sur les résultats de l'examen conceptuel, les sources de données provenant de la planification conceptuelle pour le dimensionnement et la réalisation du projet des installations techniques et autres mesures sont également reprises. Entre la planification conceptuelle de l'assainissement urbain (par exemple dans le cadre d'un PGEE) et le projet d'installations de traitement des eaux de ruissellement, plusieurs années peuvent s'écouler. Dès lors, il convient d'examiner, dans chaque cas, l'actualité des bases de données de l'étude conceptuelle. Selon les circonstances, elles doivent être adaptées à l'état actuel. À cette occasion, il faut également examiner à quel degré d'actualité les résultats et les recommandations de l'étude conceptuelle correspondent.

Il existe également des données se rapportant spécifiquement au dimensionnement et à la conception du projet et qui, à ce stade, doivent être intégrées à la planification. Dans ce cas, il s'agit de données devant être à nouveau partiellement collectées ou fournies en tant qu'indications selon la présente directive. La décision quant à la nécessité d'une éventuelle campagne de mesure ou d'une autre étude expérimentale dépend principalement de l'importance et des coûts de l'installation planifiée. Ces informations sont présentées dans les chapitres relatifs aux indications détaillées en matière de planification de différentes installations techniques et mesures.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

3 PROCÉDÉS DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES DANS LE RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT

3.1 Vue d'ensemble

Dans ce chapitre, les différents procédés de traitement des eaux usées dans le réseau d'assainissement sont brièvement présentés. La palette des installations ainsi que les principes applicables à l'évaluation et à la planification des mesures sont exposés dans le module Vérification des mesures selon STORM (module STORM, chapitre 5). Des instructions détaillées pour le dimensionnement des installations figurent dans les chapitres 5 à 7 du présent module.

Le tableau DB1 résume les caractéristiques des différents procédés décrits pour le traitement des eaux usées dans le système d'évacuation des eaux.

Tableau DB1
Caractéristiques des procédés de traitement des eaux usées (eaux unitaires et eaux de ruissellement provenant des zones urbaines).

Procédés de traitement des eaux usées dans le réseau d'assainissement	Variantes de procédé	Principaux paramètres du procédé	Objectif principal du procédé	Exemples d'installations
Stockage visant la réduction des débits de pointe	Rétention centralisée resp. décentralisée	Volume de stockage, limitation du débit de vidange, volume de stockage en règle générale >10 mm de débit pluvial	Protection des installations de traitement des eaux usées ou des cours d'eau contre les surcharges hydrauliques	Bassins de rétention pluviaux, rétention associée à d'autres procédés, tels que par exemple filtration, infiltration, hygiénisation
Stockage visant la retenue des substances dans les eaux usées	1. Stockage des rejets par temps sec ou des eaux résiduaires industrielles 2. Stockage du volume des eaux pluviales résiduaires dans le système séparatif et unitaire (tant que les bassins de rétention ne débordent pas) 3. Rétention des substances polluantes lors d'accidents (en particulier pour les eaux de chaussées)	Volume de stockage, limitation du débit de vidange, volume de stockage en règle générale <5 mm de débit pluvial	Protection des eaux (rétention de toutes les substances, important surtout en présence de matières dissoutes polluantes et visuellement gênantes ainsi que lors de problèmes hygiéniques)	1. Stockage des eaux résiduaires polluées dans le bassin versant du réseau unitaire 2. Bassin d'eaux pluviales 3. Bassin d'avarie
Sédimentation	Avec ou sans produits chimiques, avec ou sans aménagements dans le secteur de sédimentation (p. ex. séparateur lamellaire)	Vitesses de sédimentation et matières polluantes associées à différentes fractions particulaires, charge de surface hydraulique, facteurs de perturbation de la sédimentation (turbulence ou écoulement non uniforme)	Protection des eaux (prévention du colmatage, de l'accumulation de sédiments écotoxiques et en anaérobiose, limitation de la turbidité)	Bassin d'orage, bassin de clarification

Suite Tableau DB1 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau DB1

Procédés de traitement des eaux usées dans le réseau d'assainissement	Variantes de procédé	Principaux paramètres du procédé	Objectif principal du procédé	Exemples d'installations
Séparation des matières grossières	Dégrilleur, rétention hydraulique ou mécanique des matières grossières	Espacement des grilles, taille et forme des trous, profondeur des cloisons siphoïdes, fréquence de nettoyage	Protection des eaux (prévention contre les impacts visuels dans les eaux)	Dégrilleurs, tamis, brosses, cloisons siphoïdes
Séparation des matières solides à l'aide de forces centrifuges	Séparateur par mouvement tourbillonnaire Bassins pluviaux de type hydrocyclone	Taille et masse des différentes fractions particulaires, vecteurs des forces centrifuges, taille, volume et forme du réacteur	Protection des eaux (prévention du colmatage, de l'accumulation de sédiments écotoxiques et en anaérobiose, limitation de la turbidité	Différents types de séparateur de type hydrocyclones et séparateurs par mouvement tourbillonnaire, comme p. ex. Swirl Concentrator, StormKing, FluidSep, etc. Pratiquement aucune application en Suisse
Filtration	Filtration à travers un volume donné, filtration de surface	Vitesse de filtration, hauteur de charge utilisable, matériel de filtration, rinçage	Protection des eaux (importante rétention des matières polluantes particulaires)	Différents types d'installation de filtration à travers des substrats techniques et filtres en surface, «sol filtrant»
Hygiénisation	Hygiénisation physique ou chimique	Intensité du traitement (dosage), temps de contact	Protection des eaux (surtout pour la qualité des eaux de baignade)	Un sujet généralement complexe à traiter. En Suisse, pas d'application jusqu'à présent

3.2 Rétention portant sur la réduction des débits de pointe (rétention pluviale)

Le stockage peut avoir lieu ou en dérivation (en parallèle, off-line) ou en direct (en série, on-line). Dans les deux cas, un volume de rétention est créé. Le volume de rétention nécessaire pour le déversement hydraulique est généralement compris entre 10 et 20 mm de débit pluvial. Le stockage peut également avoir lieu au moins partiellement avant le rejet dans le réseau d'égouts (par exemple, par inondation temporairement tolérable de partie de zone industrielle).

3.2.1 Réseaux séparatifs

Lors du stockage des eaux de ruissellement peu polluées visant la réduction des débits de pointe, il s'agit principalement d'éviter la surcharge hydraulique des ouvrages situés en aval, de la prévention des inondations dans les zones urbaines et industrielles ainsi que de la protection des organismes aquatiques face au stress hydraulique dans les petits cours d'eau. Le stockage intermédiaire s'effectue dans des ouvrages de rétention. Après l'atténuation de la pointe de débit, la totalité du volume des eaux de ruissellement stockées est rejetée, généralement sans traitement, dans le milieu naturel ou dans une installation d'infiltration.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

3.2.2 Réseaux unitaires

Afin de réduire les pointes de rejet dans le système unitaire, il est possible d'utiliser des déversoirs d'orage (DO) et des bassins d'orage. Une partie des eaux unitaires est temporairement stockée dans ces bassins et évacuée à la station d'épuration après les précipitations.

Pour les cas de surcharge, un trop-plein doit être aménagé dans chaque système de rétention. Celui-ci doit être dimensionné en fonction de l'évaluation des apports (par exemple pour un temps de retour z = 10 ans), auquel cas les conditions hydrauliques en entrée et sortie (apport et rejet) doivent être prises en compte. Le rejet s'effectue généralement dans le milieu naturel. Les voies de sortie possibles de l'eau (bouche d'égout ou avaloirs routiers) doivent être prises en compte et un rejet sans conséquences doit être démontré. L'évaluation hydraulique est effectuée selon les bases usuelles pour l'évaluation des déversoirs d'orage.

3.3 Rétention destinée à la retenue des substances dans les eaux usées

Lors du stockage associé au traitement des eaux usées, la rétention d'un certain volume d'eaux usées pour un traitement ultérieur (par exemple dans une station d'épuration ou dans une autre installation de traitement) est généralement souhaitée. Le volume de rétention nécessaire pour ce type de stockage est généralement inférieur à 5 mm de débit pluvial [315].

Le stockage dans le système unitaire a pour but la réduction de la fréquence des déversements, de la durée ainsi que de la quantité des rejets des eaux unitaires. Ainsi les impacts sur les milieux récepteurs sont diminués. En parallèle, des polluants qui ne sont généralement pas traités ou ne peuvent pas être traités dans une station d'épuration (en particulier les substances dissoutes, les micropolluants, etc.) sont également retenus.

Au-delà du rejet purement hydraulique, le stockage offre d'autres avantages dans le système unitaire. Citons notamment la réduction des conséquences lors d'avaries et autres incidents ainsi que la gestion de l'assainissement urbain par temps de pluie. Ce stockage doit cependant être coordonné avec l'exploitation de la station d'épuration des eaux usées.

Le stockage appartient aux procédés non sélectifs (ou à large action), ce qui signifie que tous les composants des eaux usées sont traités de la même manière.

Le stockage peut être combiné avec un autre traitement des eaux unitaires : le plus souvent avec la sédimentation (p. ex. dans un bassin de décantation), plus récemment également avec la filtration (p. ex. dans un massif filtrant en relation avec l'évacuation des eaux des voies de communications), ou avec d'autres procédés dans des installations spéciales.

L'aménagement de stockage peut être réalisé soit en mode off-line ou en mode on-line. La priorité est généralement mise sur le mode off-line. Lors du stockage en mode on-line, le volume existant dans le système d'assainissement peut être utilisé pour autant que cette solution ne génère pas de dépôts par temps sec ou des problèmes de refoulements dans les canalisations en amont.

Le stockage dans le raccordement en parallèle requiert toujours un volume supplémentaire. Lors de la planification des installations de stockage en mode off-line, le potentiel de stockage dans le système d'assainissement existant doit toujours être pris en compte.

La performance d'une installation de stockage peut être évaluée individuellement (par exemple comme réduction des déversements dans une section de canalisation ou dans une section de cours d'eau déterminée). Cependant, dans la plupart des cas, il est nécessaire d'évaluer la performance et l'efficacité des installations de stockage dans tout le système d'assainissement (par exemple dans le cadre de la vidange de toutes les installations de stockage et de la capacité de la STEP). Cela permet non seulement la planification et l'exploitation des installations de stockage individuelles, mais également l'optimisation de la pla-

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

nification et de l'exploitation des installations situées en aval. Cette optimisation concerne également les installations pour le traitement ultérieur des eaux usées stockées (principalement la STEP).

Exemples d'installations de stockage :

- Rétention des eaux usées (cf. chapitre 8.5) : stockage complet des débits résiduaires (p. ex. industrie, hôpitaux, etc.) pendant un événement de pluie dans le bassin versant d'un réseau unitaire, afin d'éviter le rejet des substances par un déversoir d'orage. Après la pluie, les eaux résiduaires sont déversées de manière contrôlée dans la canalisation et entièrement traitées dans la station d'épuration [329, 330].

- Bassins de stockage : stockage partiel ou total des eaux unitaires jusqu'au remplissage du bassin de rétention. La vidange s'effectue soit automatiquement (bassin en série, en fonction de l'état actuel et de la capacité résiduelle du réseau d'assainissement en aval) ou de manière ciblée par gravité ou par pompage (selon la situation dans le réseau de d'assainissement et dans la station d'épuration).

- Bassins de décantation : stockage partiel des eaux résiduaires lors d'événements pluviaux avec débordement du bassin ; stockage complet des eaux unitaires lors d'épisodes pluvieux sans débordement du bassin.

- Bassin de rétention / filtration : stockage complet de la fraction d'écoulement qui est traitée par infiltration ; le régime d'infiltration est déterminé par les dimensions de l'installation et le niveau d'eau dans l'installation de rétention.

3.4 Sédimentation

Par sédimentation, on entend la séparation de particules en suspension dans les liquides sous l'influence de la gravité. La sédimentation fait partie des procédés sélectifs du traitement des eaux usées. Elle a pour but la rétention de substances particulaires décantables, y compris les composants liés à ces particules. Le processus de sédimentation dans une installation de décantation est influencé par :

- la vitesse de sédimentation des particules et
- les conditions hydrauliques dans l'installation de décantation au cours de la sédimentation.

Lors de l'évaluation des installations de décantation des matières particulaires, ces deux aspects importants doivent être pris en compte de manière conséquente. En outre, les substances polluantes contenues dans les différentes fractions particulaires doivent être considérées.

3.4.1 Vitesse de sédimentation des particules

La vitesse de sédimentation des particules dans les eaux résiduaires est fonction de la densité, de la taille, de la forme et de la capacité des particules à l'agrégation (formation de flocs). Elle peut être très variable et dépend de différents paramètres locaux spécifiques. L'origine et la granulométrie des particules font parties des facteurs influents les plus importants [365].

Pour les particules sphériques, qui conservent leur forme et dont le volume n'est pas augmenté par la floculation, il est possible de déterminer des vitesses de sédimentation théoriques. Ces conditions ne s'appliquent cependant pas pour les matières particulaires dans les eaux résiduaires. A titre d'information, des indications sur les relations entre la densité des particules, le diamètre et la vitesse de sédimentation peuvent être trouvées dans la littérature (voir par exemple [365]).

Pour les raisons invoquées, la vitesse de décantation dans les eaux résiduaires est déterminée expérimentalement. Divers procédés et appareils ont été développés à cette fin, allant de simples colonnes ou des entonnoirs conventionnels jusqu'à des appareillages plus complexes.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Les résultats des études expérimentales montrent une forte variation et soulignent la problématique de la transposition des résultats d'un endroit à un autre. L'origine de ces résultats très différents se trouve en premier lieu dans les méthodes complexes et fréquemment différentes de caractérisation des particules, destinées à la détermination des vitesses de sédimentation. De plus, les différentes conditions locales ainsi que la complexité et la dynamique de transport des matières polluantes par temps de pluie viennent encore influencer ces résultats.

Malgré cette variabilité, il est judicieux d'évaluer les installations de décantation (p. ex. les bassins de clarification) sur la base des vitesses de sédimentation des particules.

3.4.2 Conditions hydrauliques dans les installations de décantation

Comparé à la décantation primaire et secondaire dans une station d'épuration, la variation du flux dans un bassin de décantation pour le traitement des eaux unitaires est considérable, aussi bien lors de différents événements pluviaux qu'au cours d'un seul. Au-delà de l'effet de décantation, le stockage peut également jouer un rôle important quant à la performance de l'installation.

Pour garantir une sédimentation aussi efficace que possible dans une telle installation, le processus de décantation doit être le moins possible perturbé.

Les installations de décantation peuvent être subdivisées hydrauliquement et structurellement en quatre composantes :

- ouvrage d'entrée et de distribution,
- chambre de sédimentation,
- zone de stockage des boues,
- ouvrage de déversement.

Les ouvrages d'entrée et de distribution doivent être conçus de telle sorte que dans la zone d'entrée de l'installation, un écoulement régulier et stable s'ajuste rapidement.

La chambre de sédimentation est généralement libre de tout obstacle, afin de ne pas perturber l'écoulement uniforme. L'insertion éventuelle de cloisons de séparation ou d'un séparateur lamellaire constitue une exception. L'évaluation de la performance de la chambre de sédimentation est basée principalement sur la vitesse de sédimentation des particules qui doit être respectée selon le degré d'épuration à atteindre.

Dans les installations de décantation, la zone de stockage des boues n'est pas séparée structurellement de la chambre de sédimentation. Jusqu'à présent, son dimensionnement a également été intégré dans le dimensionnement de la chambre de sédimentation. Dans la documentation technique (p. ex. concernant le dimensionnement des bassins de décantation) il n'existe aucune recommandation relative au dimensionnement spécifique de la zone de stockage des boues dans une installation de décantation liée au traitement des eaux unitaires. Les expériences montrent que la hauteur de la couche de boue peut varier considérablement après un événement pluvial et dépend à la fois de l'emplacement et des caractéristiques de l'événement pluvial.

Par le biais du déversoir de sortie, l'eau traitée parvient dans le milieu naturel. Avant le seuil du déversoir, une cloison siphoïde destinée à la rétention des déchets flottants doit être installée (voir chapitres 3.5 et 7.3). Le seuil du déversoir doit être aussi long que possible afin de maintenir le débit du déversement à un faible niveau (par mètre linéaire d'arête) et assurer un écoulement dans une direction constante et uniforme (sans turbulences). Le déversoir doit être conçu sous forme d'une lame déversante dénoyée (soit pas de retour dans la chambre de stockage suite à reflux du cours d'eau, voir chapitre 5.4.3).

Le cas échéant, le déversoir doit être conçu de telle façon à former une restriction hydraulique afin d'éviter une surcharge hydraulique de la chambre de sédimentation et une remise en suspension des boues lors de fortes pluies.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

3.4.3 Substances polluantes dans les différentes fractions particulaires

Le fractionnement des particules à l'aide des données sur la vitesse de sédimentation constitue la base pour l'évaluation de l'efficacité des installations de sédimentation par rapport à la rétention des matières polluantes (comme p. ex. des métaux lourds ou des substances polluantes organiques) liées aux particules dans l'eau usée. Malgré une grande variabilité, ces indications doivent être utilisées à l'avenir comme base de référence pour le dimensionnement des installations de décantation. En vue de la prise en compte de l'approche de type immission exigée en Suisse, le dimensionnement global (par exemple basé sur la charge hydraulique) doit être abandonné.

3.5 Séparation des matières grossières dans les déversoirs d'orage

Les problèmes esthétiques dans les cours d'eau liés aux rejets d'eaux usées unitaires sont parmi les impacts par temps de pluie les plus fréquemment connus. Les études de l'Eawag [363] ont montré que pour éviter ces impacts, toutes les matières solides, visibles et reconnaissables à une distance de 5 à 10 m, ne doivent pas être introduites dans les milieux récepteurs. Il s'agit de matières solides ayant des dimensions de l'ordre d'environ 1 cm.

Les problèmes esthétiques sont surtout causés par les rejets d'eaux unitaires sans traitement, p. ex. les DO. Bien entendu, les cours d'eau sont également contaminés par les rejets des bassins pluviaux.

Pour éviter ces problèmes, différents équipements techniques sont utilisés. Il s'agit notamment de
- cloisons siphoïdes,
- dégrilleurs, tamis et
- brosses ou installations similaires.

Pour les détails, voir le chapitre 7.3.

3.6 Séparation des matières solides à l'aide de forces centrifuges

La séparation de matières solides à l'aide de forces centrifuges est basée sur l'hypothèse selon laquelle une force agit sur un élément particulaire qui est transporté par l'eau dans un champ centrifuge. Lorsque deux particules sont situées côte à côte dans un voisinage immédiat et qu'elles se déplacent avec la même vitesse et dans le même sens de (rotation)-écoulement, les particules les plus lourdes sont alors séparées plus tôt de cette trajectoire que les plus légères.

Lorsque cette théorie est appliquée dans une installation technique avec un mélange d'eau et de matières solides, un «flux transversal» ou une «circulation transversale», dans lequel/laquelle les particules les plus lourdes sont séparées des plus légères est recherché lors de la conception de l'installation.

L'avantage de ces installations comparées aux chambres de sédimentation classiques réside dans leur petit volume, l'inconvénient dans les pertes de charge et dans des conditions hydrauliques complexes et variables. En particulier, le rejet de l'eau unitaire vers la station d'épuration doit être assuré pendant toute la durée de fonctionnement de l'installation.

Cependant, dans son application pratique, cette théorie ne s'est pas imposée en Suisse. Les séparateurs tourbillonnaires, peu nombreux jusqu'à présent, fonctionnent plutôt dans une combinaison de sédimentation et de stockage.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

3.7 Filtration

La filtration est un procédé de séparation permettant de séparer les constituants d'un mélange (suspension) qui possède une phase liquide et une phase solide au travers d'un milieu filtrant.

La filtration permet la séparation des matières solides en suspension, soit à l'aide d'une couche filtrante mince (filtration de surface), ou alors d'une matrice poreuse tridimensionnelle, généralement constituée d'un lit de matériau granulaire (filtration tridimensionnelle). Les mécanismes de séparation des filtres de surface sont principalement de nature physique, alors que les processus par filtration tridimensionnelle sont non seulement physiques mais également chimiques.

Les systèmes de filtration se différencient également en fonction de leur type en filtre mécanique (FM) et filtre de sol (FS). Les filtres mécaniques séparent les matières particulaires. Une élimination de substances complémentaires n'est pas documentée jusqu'à présent, tandis que les filtres de sol éliminent en outre également des matières dissoutes. Cette technique prend de plus en plus d'importance, notamment pour la rétention ciblée des matières polluantes adsorbées sur les particules.

Filtration tridimensionnelle (filtration à lit profond)
La filtration tridimensionnelle classique est caractérisée par le fait que la séparation des particules dans le corps du filtre mène à une accumulation spatiale de matières solides, de sorte que la filtration devient un processus de séparation complexe, non stationnaire. Les particules déposées pénètrent dans le milieu filtrant. En général, les filtres ne peuvent pas fonctionner en continu, mais atteignent des points de fonctionnement définis pour lesquels soit la qualité du filtrat devient insuffisante, soit la perte de charge atteint la hauteur de pression disponible.

Le dimensionnement des filtres tridimensionnels comprend généralement :
- le type de filtre, la taille et le nombre d'unités,
- la vitesse de filtration,
- la hauteur de pression utilisable,
- le système du contrôle d'écoulement,
- la taille du grain filtrant, la hauteur de la couche filtrante, les combinaisons de matériaux,
- le système et le mode de rinçage.

Dans le domaine du traitement des eaux usées et particulièrement du traitement des eaux pluviales et des eaux unitaires, l'utilisation de filtres tridimensionnels est limitée. Pour éviter le colmatage des systèmes de filtration, les eaux unitaires, selon le type et la composition, doivent être acheminées à travers une ou plusieurs installations de prétraitement avant qu'elles puissent être filtrées.

Filtration de surface
La séparation des particules en suspension est réalisée par filtration ou par des supports à effet filtrant. En fonction de la dimension des particules, les matières à séparer ne peuvent pas pénétrer dans les pores du milieu filtrant ; la séparation a lieu à l'extérieur de celui-ci.

Le procédé de filtration et les matériaux du filtre sont adaptés à la dimension des particules à séparer.

Lors de la filtration de surface, si la suspension à filtrer se déplace parallèlement à la couche filtrante, on parle alors de filtration à flux transversal (cross flow filtration) ; en revanche si la suspension à filtrer se déplace perpendiculairement au plan de la couche filtrante, on parle alors de «dead end filtration». Les filtres de surface peuvent fonctionner avec ou sans pré-filtre. Lorsque le filtre de surface est utilisé avec un pré-filtre, la matière solide séparée de la suspension forme au-dessus du milieu filtrant une couche poreuse dont l'épaisseur augmente constamment au cours du processus de filtration.

Elle génère une amélioration croissante de l'efficacité de filtration, mais provoque simultanément une augmentation de perte de charge et ainsi une réduction de débit du filtrat. À des intervalles de temps réguliers, cette accumulation de matière sur la surface de filtration doit par conséquent être éliminée du

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

milieu filtrant (régénération par rétro-rinçage). Les filtres de surface sans pré-filtre généralement utilisés sont les filtres textiles pour les opérations d'épuration en continu ou de manière discontinue.

Les procédés de séparation par membrane, dans lesquels les molécules ou les ions sont séparés de l'écoulement, sont aujourd'hui de plus en plus utilisés. Ce procédé est basé sur un différentiel de pression avant et après le filtre, ce qui conduit à une séparation. Selon le mécanisme de séparation, ces pressions peuvent être très différentes. La dimension des particules détermine le choix du procédé de séparation (microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration ou osmose inverse).

La filtration membranaire est de plus en plus appliquée dans le domaine des eaux usées pour le traitement par temps sec. Actuellement on ne peut pas encore répondre à la question de son efficacité dans le traitement par temps de pluie.

Des informations plus détaillées concernant l'application, la construction, le dimensionnement et le fonctionnement seront présentées dans le chapitre 8.3.

3.8 Processus d'hygiénisation

L'objectif de l'hygiénisation de l'eau consiste à réduire le potentiel de risque des maladies bactériologiques et d'origine virale dans les eaux unitaires qui alimentent le milieu naturel par temps de pluie.

La suppression des bactéries, des virus et d'autres agents pathogènes peut être obtenue par différents processus. Il s'agit notamment de l'utilisation de la chaleur, des rayons ultraviolets ou gamma, de métaux bactéricides et algicides tels que l'argent et le cuivre, de bases et des acides forts, de substances tensioactives (détergents) et d'agents d'oxydation chimiques. Une autre possibilité réside dans la stérilisation biologique par des filtres à sable lents.

L'effet de ces différentes solutions dépend de plusieurs facteurs, à savoir :

- le type et le dosage de l'agent désinfectant,
- les types et concentrations des micro-organismes,
- le temps de contact,
- d'autres substances contenues dans l'eau qui peuvent influencer les processus et les réactions.

Contrairement au traitement de d'eau potable, par exemple, ou au traitement des eaux usées, l'hygiénisation des eaux unitaires est rarement utilisée par temps de pluie. Les difficultés inhérentes à l'hygiénisation sont liées en particulier à la grande variabilité dans les débits des eaux unitaires, à la fréquence et au profil des concentrations ainsi qu'à la gestion des mélanges généralement très complexes. Une hygiénisation n'est possible que si les eaux unitaires ont préalablement subi une ou plusieurs étapes de traitement.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

4 TYPE D'OUVRAGES

4.1 Vue d'ensemble

Le tableau suivant (figure DB2) présente les installations les plus utilisées en Suisse.

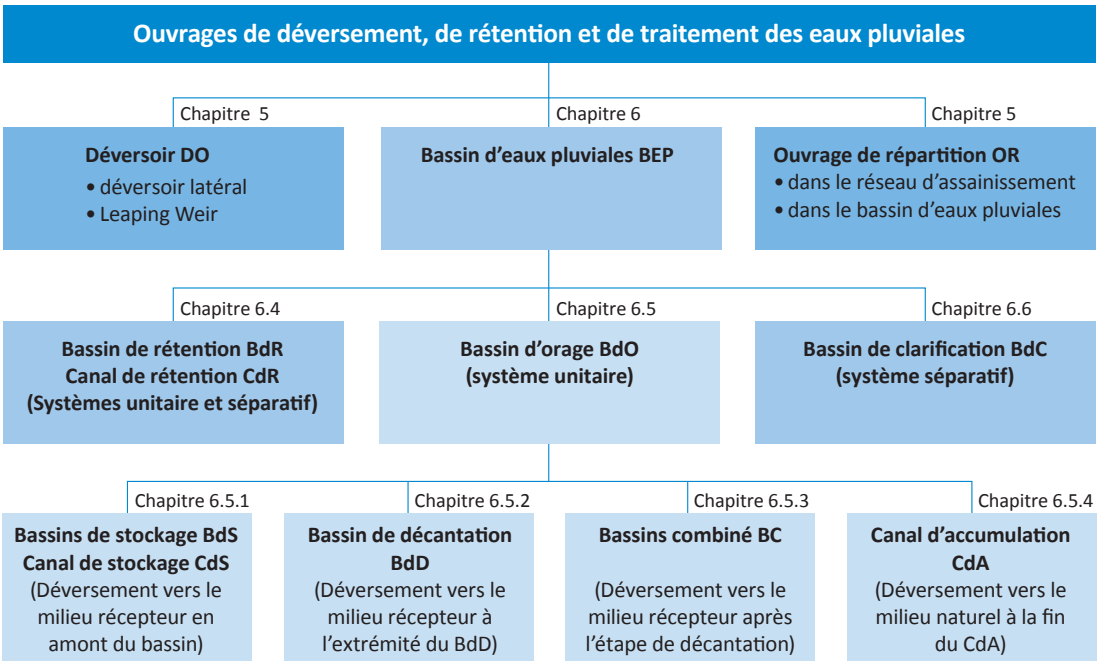


Figure DB2
Ouvrages de déversement, de rétention et de traitement des eaux pluviales.

4.2 Définitions

4.2.1 Terminologie et abréviations

Dans le présent module, la terminologie, les abréviations et les définitions suivantes sont utilisées en matière d'ouvrages et de composants des déversoirs d'orage, ouvrages de séparation et des bassins d'eaux pluviales :

Terminologie	Abréviation	Définition
Bassin combiné	BC	Combinaison d'un bassin de stockage et d'un bassin de décantation, avec séparation des deux fonctions
Bassin d'orage	BdO	Terme générique pour les bassins avec fonction de déversement ainsi que de stockage et/ou de traitement des eaux unitaires
Bassin d'eaux pluviales	BEP	Terme générique pour des installations de stockage et/ou de traitement des eaux pluviales et des eaux unitaires ; p. ex. bassin de clarification, bassin d'orage, bassin de rétention et canal de rétention
Bassin de clarification des eaux pluviales	BdC	Bassin de décantation situé dans le réseau des collecteurs d'eaux pluviales d'un système séparatif, pour la clarification grossière des eaux pluviales et la retenue des matières flottantes et en suspension
Bassin de décantation	BdD	Bassin d'eaux pluviales comprenant une chambre de sédimentation ainsi qu'un déversoir de sortie et le cas échéant un trop-plein, pour la dérivation des eaux unitaires décantées dans le milieu récepteur
Bassin de rétention	BdR	Bassin destiné à l'accumulation d'eaux pluviales sans fonction de déversement, cependant avec trop-plein de secours

Tableau DB2
Terminologies, abréviations et définitions des déversoirs d'orage, des ouvrages de répartition et des bassins d'eaux pluviales.

Suite Tableau DB2 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau DB2

Terminologie	Abréviation	Définition
Bassin de stockage	BdS	Bassin d'eaux pluviales avec chambre de stockage et trop-plein
Canal collecteur (goulotte)		Canal / rigole situé en aval d'une surverse ou d'un trop-plein afin de collecter et évacuer les eaux déversées dans le canal de déversement
Canal d'accumulation	CdA	Tronçon de collecteur surdimensionné avec déversement situé à un niveau intermédiaire respectivement en fin
Canal d'accumulation avec déversement en fin		Canal d'accumulation avec trop-plein disposé à proximité de l'ouvrage de limitation
Canal d'accumulation avec décharge en tête		Voir canal de stockage
Canal d'accumulation avec déversement situé à un niveau intermédiaire		Canal d'accumulation avec trop-plein disposé dans le sens d'écoulement nettement avant l'ouvrage de limitation
Canal d'accumulation en cascade		Canal d'accumulation dont le volume d'accumulation se rempli par tronçon
Canal d'amenée		Canal d'entrée d'un déversoir d'orage ou d'un bassin d'eaux pluviales
Canal de déversement		Canal destiné à évacuer les eaux déversées vers le milieu récepteur ou vers un autre ouvrage
Canal de rétention	CdR	Dans un système séparatif, tronçon de collecteur surdimensionné sans fonction de déversement
Canal de stockage	CdS	Volume de stockage tubulaire avec décharge située en tête
Canalisation d'évacuation		Canalisation pour évacuer le débit limité à l'aval d'un déversoir d'orage ou d'un bassin d'orage
Chambre d'accumulation		Volume d'accumulation disposé en amont du déversoir d'un canal d'accumulation
Chambre d'un bassin		Terme générique pour les zones de stockage et de sédimentation
Chambre de sédimentation		Composant d'un bassin d'eaux pluviales permettant la sédimentation des matières en suspension contenues dans les eaux unitaires ou dans les eaux pluviales
Chambre de stockage		Composant d'un bassin d'eaux pluviales permettant le stockage temporaire d'eaux unitaires ou d'eaux pluviales
Cloison siphoïde		Cloison verticale, en partie immergée dans un bassin afin de retenir les matières flottantes
Disposition en parallèle		Disposition du bassin d'eaux pluviales sans raccordement hydraulique direct à la chambre et au réseau de collecteurs aussi bien lors du remplissage que de la vidange. La chambre se vide indépendamment du débit dans les collecteurs.
Disposition en série		Disposition du bassin d'eaux pluviales avec raccordement hydraulique direct à la chambre et au réseau de collecteurs aussi bien lors du remplissage que de la vidange. La chambre et les collecteurs se remplissent, respectivement se vident, simultanément.
Contrainte érosive	τ	La contrainte érosive τ est une grandeur déterminée expérimentalement, indiquant la force de l'eau par unité de surface du lit du canal étudié, avec laquelle elle agit sur le fond du canal et déplace ainsi des sédiments mobiles vers l'avant. Par conséquent, il s'agit d'une mesure de résistance à l'érosion du fond du canal. Dans le domaine des eaux usées, lors de la conception des composants d'installation subissant une sédimentation, la contrainte érosive peut jouer un rôle important. Par la contrainte érosive critique τ_{crit} on entend la contrainte érosive minimale nécessaire au déclenchement d'un mouvement des particules de sédiment sur le fond du canal.

Suite Tableau DB2 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau DB2

Terminologie	Abréviation	Définition
Déversoir à seuil latéral		Déversoir disposé longitudinalement
Déversoir d'orage	DO	Ouvrage de décharge sans volume d'accumulation supplémentaire, pour le transfert du débit critique d'eaux unitaires dans les égouts
Déversoir de crue (Ce terme ne doit plus être utilisé à l'avenir)	DC	Voir déversoir d'orage
Déversoir de sortie (d'eaux clarifiées)		Partie d'un bassin de décantation destinée à dériver par débordement les eaux unitaires ou pluviales décantées vers le milieu récepteur
Dispositif de limitation du débit		Ensemble des ouvrages et organes de limitation du débit
Installation de dérivation		Elément constitutif d'un ouvrage de déversement ou de dérivation
Installation de stockage-restitution		Installation destinée à l'accumulation d'eaux pluviales ou unitaires sans fonction de déversement, cependant avec trop-plein de secours bassin de rétention ou canal de rétention)
Leaping Weir	LW	Déversoir d'orage avec ouverture en radier (séparation verticale)
Organe de limitation du débit		Dispositif limitant le débit d'écoulement
Orifice calibré, vanne guillotine		Rétrécissement fixe/réglable de la section transversale limitant l'écoulement
Ouverture en radier		Partie d'un Leaping Weir au travers de laquelle les eaux sont dirigées vers la STEP
Ouverture de fond		Voir Leaping Weir
Ouvrage d'entrée d'un bassin de décantation		Ouvrage destiné à réduire la vitesse d'écoulement et la répartition uniforme des eaux avant la sédimentation dans le bassin de décantation
Ouvrage de dérivation		Ouvrage destiné à la dérivation du flux des eaux
Ouvrage de déversement		Terme générique utilisé pour les ouvrages destinés à la séparation de l'écoulement d'eaux (eaux unitaires ou eaux pluviales) vers la décharge et vers la canalisation d'égout, p. ex. un déversoir à seuil ou un Leaping Weir
Ouvrage de limitation		Ouvrage abritant l'organe de limitation du débit
Rainure de sortie		Orifice de surverse de forme oblongue
Ressaut hydraulique		Transition soudaine d'un écoulement torrentiel à un écoulement fluvial dans un canal
Séparateur hydrodynamique		Bassin circulaire raccordé en série, avec entrée tangentielle, trop-plein par le haut et déversement central
Station d'épuration	STEP	Installation destinée à l'épuration des eaux polluées
Tronçon d'étranglement		Section de canal limitant l'écoulement par l'interaction des pertes d'entrée, de frottement et de sortie
Trop-plein	TP	Dispositif de déversement disposé avant un bassin d'orage afin d'éviter la surcharge hydraulique de l'installation
Trop-plein de secours		Partie d'ouvrage destinée aux déversements non planifiés d'une installation de rétention d'eaux pluviales
Trop-plein du volume d'accumulation		Ouvrage de déversement des canaux d'accumulation avec déversement situé à un niveau intermédiaire, respectivement en fin d'ouvrage
Vidange de secours		Dispositif pour la vidange d'un bassin d'eaux pluviales en cas de dérangement

Suite Tableau DB2 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau DB2

Terminologie	Abréviation	Définition
Zone d'amenée d'un ouvrage de déversement		Tronçon de canal avant l'entrée des eaux dans l'ouvrage de déversement, dans lequel un écoulement à faibles turbulences est souhaité
Zone d'entrée d'un bassin de décantation		Alentours de l'entrée du bassin où la turbulence de l'eau entrante doit être diminuée pour assurer les conditions d'écoulement permettant la sédimentation dans le bassin de décantation
Zone de clarification		Composants d'un bassin combiné destinés à la décantation
Zone de débordement (zone de déversement)		Élément de l'ouvrage du déversoir où se situe le trop-plein (lors d'un déversement) ou le rejet (dans le cas d'un Leaping Weir)
Zone de limitation du débit		Partie d'installation comprenant la limitation du débit en direction de la STEP (organe de limitation ou tronçon d'étranglement)
Zone de sortie d'un bassin de décantation		Alentours du déversement d'eau décantée, où un écoulement turbulent peut localement se produire
Zone de stockage		Composants d'un bassin combiné destinés au stockage

4.2.2 Symboles

Remarque : Pour des raisons de compatibilité, les symboles utilisés dans les équations sont identiques dans la version allemande et la version française.

Tableau DB3
Symbole, unité et explication des abréviations utilisées.

Symbole	Unité	Explication
A	m^2	section d'écoulement (voir aussi F*)
b	m	largeur du plan d'eau
$b_{öff}$	m	largeur de l'ouverture de fond
b_{pr}	m	largeur de profil d'un canal collecteur
C_{da}	–	coefficient de ruissellement moyen
c_w	–	coefficient de la forme du déversoir et disposition du plan horizontal
D	m	diamètre du tube circulaire
D_d	m	diamètre de l'écoulement dans la zone de limitation du débit d'un déversoir latéral
DL		ligne de charge
D_o	m	diamètre de l'entrée vers une lame déversante
D_u	m	diamètre de l'écoulement dans le Leaping Weir
$D_ü$	m	diamètre de l'évacuation du trop-plein dans le Leaping Weir
EL		ligne d'énergie
F*	m^2	section d'écoulement dans l'équation selon Hager (voir équation DB9)

Symbole	Unité	Explication
Fr	–	nombre de Froude
g	$m\,s^{-2}$	accélération due à la gravité
H	m	niveau d'énergie
h	m	niveau d'eau, profondeur de l'eau
Δh	m	différence de niveau d'eau, différence de profondeur d'eau
h_{krit}	m	profondeur critique
H_m	m	niveau d'énergie moyen
h_m	m	profondeur d'eau moyenne
h_{NA}	m	profondeur d'eau à débit normal
H_{NA}	m	niveau d'énergie à débit normal
h_o	m	niveau d'eau à l'extrémité supérieure d'un déversoir latéral
h_{Pr}	m	hauteur de profil dans le canal d'évacuation
HQ_x	m^3s^{-1}	débit de crues avec une périodicité de x années
h_u	m	niveau d'eau à l'extrémité inférieure d'un déversoir latéral
$h_ü$	m	hauteur de la lame déversante
$h_{ü,m}$	m	hauteur de la lame déversante (moyenne) comme valeur moyenne le long du seuil d'une lame déversante

Suite Tableau DB3 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau DB3

Symbole	Unité	Explication
$h_{ü,o}$	m	hauteur de la lame déversante (amont) au début d'un seuil de lame déversante
$h_{ü,u}$	m	hauteur de la lame déversante (aval) à la fin d'un seuil de lame déversante
h'	m	différence entre la cote de la lame déversante à la hauteur moyenne et le niveau d'eau immergé, h' ≥ 0
J_E	–	pente des lignes d'énergie
$J_{E,o}$	–	pentes des lignes d'énergie (amont) avant une lame déversante
$J_{E,u}$	–	pentes des lignes d'énergie (aval) après une lame déversante
J_s	–	pente du radier
$J_{s,min}$		pente minimale du radier
$J_{s,o}$	–	pente du radier (amont) dans le canal d'entrée en direction d'un ouvrage de déversement
$J_{s,s}$	–	pentes du radier dans la zone de la lame déversante
$J_{s,u}$	–	pente du radier (aval) dans le canal d'évacuation (après un ouvrage de déversement)
k_{St}	$m^{⅓}s^{-1}$	coefficient selon Maning-Strickler
L	m	longueur
ΔL	m	longueur du seuil de lame déversante (variable de dimensionnement selon Hager)
n*	–	nombre de seuils de lame déversante (côté évacuation) pour un déversoir latéral selon Hager [374]
n	–	facteur de prise en compte de la forme de la crête du déversoir lors d'une lame déversante noyée
n_η	–	facteur de court-circuitage hydraulique dans l'installation de décantation
O_h	$m\,h^{-1}$	charge hydraulique superficielle
Q	m^3s^{-1}	écoulement, débit, flux volumétrique
Q_{ab}	m^3s^{-1}	débit de dimensionnement en direction de la STEP (à partir du PGEE)
Q_{an}	m^3s^{-1}	débit en direction de la STEP au moment du début du déversement
$Q_d = Q_u$	m^3s^{-1}	débit dérivé
Q_{Entl}	m^3s^{-1}	débit de rejet = $Q_o - Q_{ab}$
Q_{krit}	m^3s^{-1}	débit de dimensionnement du réducteur juste avant que la lame déversante entre en fonction

Symbole	Unité	Explication
Q_o	m^3s^{-1}	débit à l'entrée d'une lame déversante
Q_{RW}	m^3s^{-1}	débit par temps de pluie
Q_{TW}	m^3s^{-1}	débit par temps sec
$Q_u = Q_d$	m^3s^{-1}	débit dérivé
q_u	–	intensité de débit selon Hager [374], voir chapitre 5.4.2.1
$Q_ü$	m^3s^{-1}	quantité déversée
$q_ü$	$ls^{-1}m^{-1}$	charge de seuil spécifique
Q_{zu}	m^3s^{-1}	débit vers l'installation
r_{hy}	m	rayon hydraulique
Δs	m	dénivelé du radier
T_n	Jahre	années/temps de retour (périodicité) en n années
V	m^3	volume
v	ms^{-1}	vitesse moyenne d'écoulement dans une section
$v_{B,o}$	ms^{-1}	vitesse moyenne d'écoulement au début du déversoir latéral
$v_{B,u}$	ms^{-1}	vitesse moyenne d'écoulement à la fin du déversoir latéral
v_{krit}	ms^{-1}	vitesse moyenne d'écoulement à l'état critique
v_{NA}	ms^{-1}	vitesse moyenne d'écoulement à débit normal
$v_{NA}^2/2g$	m	hauteur de la vitesse moyenne à écoulement normal
v_o	ms^{-1}	vitesse moyenne d'écoulement à l'entrée de la lame déversante
$v_o^2/2g$	m	hauteur moyenne de la vitesse dans la canalisation d'entrée au début d'un déversement (dans la section d'entrée)
$v_{s\,krit}$	ms^{-1}	vitesse de sédimentation critique
v_u	ms^{-1}	vitesse d'écoulement moyenne à l'entrée de la limitation du débit
$v_u^2/2g$	m	hauteur de la vitesse moyenne à la fin d'un déversement
v_{voll}	ms^{-1}	vitesse d'écoulement moyenne à pleine capacité dans la canalisation de rejet
$v_{voll}^2/2g$	m	hauteur de vitesse moyenne à pleine capacité dans le canal de rejet
w	m	hauteur du déversoir
W	–	hauteur relative du déversoir W/H dans le déversoir latéral
w_m	m	hauteur moyenne du déversoir

Suite Tableau DB3 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau DB3

Symbole	Unité	Explication
w_o	m	hauteur supérieure du déversoir
w_u	m	hauteur inférieure du déversoir
x	m	longueur de la zone de la lame déversante
y	–	profondeur d'eau relative h/H dans le déversoir latéral
y_o	–	remplissage partiel relatif à l'entrée du Leaping Weir h_o/D_o
Δz_E	m	perte d'énergie
β	–	Largeur relative de l'ouverture de fond $b_{öff}/D_o$
ξ	–	coefficient de perte (général)
ξ_E	–	coefficient de perte pour les pertes d'entrée
τ	$N \cdot m^{-2}$	contrainte érosive

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

5 DÉVERSOIR D'ORAGE (DO) ET OUVRAGE DE RÉPARTITION (OR)

5.1 Vue d'ensemble

Les déversoirs d'orage dans les réseaux unitaires d'évacuation des eaux sont des ouvrages qui, à des endroits appropriés du système d'évacuation, réduisent le débit fortement variable des eaux unitaires à une valeur plus modérée. Le débit ainsi réduit est acheminé à travers un profil de canalisation plus petit en direction de la STEP. Les coûts de construction des canalisations peuvent ainsi être réduits. Les eaux unitaires sont déversées dans le milieu récepteur, soit sans traitement, respectivement avec une éventuelle retenue des matières grossières (= rejet direct) ou alors après traitement (= combiné avec une installation de rétention ou de traitement pour eaux unitaires).

Lors du rejet direct du volume déversé dans un milieu récepteur, il s'agit d'un déversoir d'orage. Si un déversement est aménagé dans une installation de traitement des eaux unitaires ou au sein d'un réseau d'évacuation distribuant le débit dans différents réseaux, il s'agit d'un ouvrage de répartition (voir la figure DB3). Ce cas sera traité en termes hydrauliques ci-après de la même façon que le déversoir d'orage.

Les déversoirs d'orage sans traitement des eaux unitaires peuvent être équipés de tamis, de dégrilleurs ou de brosses afin de retenir les matières grossières. Le dimensionnement hydraulique des déversoirs avec de tels équipements doit être entrepris séparément, il ne peut pas être réalisé au moyen des formules présentées dans ce volume !

Quant à la prévention d'un accident dans le domaine de l'assainissement des eaux en milieu urbain (p. ex. accident de la circulation impliquant des substances dangereuses pour l'environnement), les déversoirs d'orage peuvent être complétés avec un bassin d'avarie. Les bassins d'avarie ne sont pas traités dans le présent volume. Pour la conception et le dimensionnement de ces bassins voir également les éventuelles directives d'exécution fédérales et cantonales.

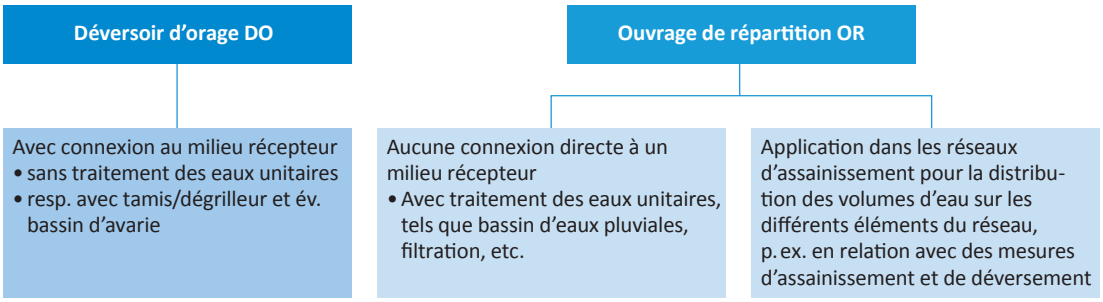


Figure DB3
Distinction entre déversoir et ouvrage répartition.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

5.2 Schéma et fonction du système

Deux types de déversoirs d'orage de forme fondamentalement différentes sont utilisés dans la pratique en suisse :

- l'ouvrage avec déversoir latéral et déversement unilatéral ou bilatéral par l'intermédiaire d'un seuil fixe (lame déversante), le déversoir latéral, et

- l'ouvrage avec ouverture de radier, le Leaping Weir ainsi nommé ou ouverture en radier.

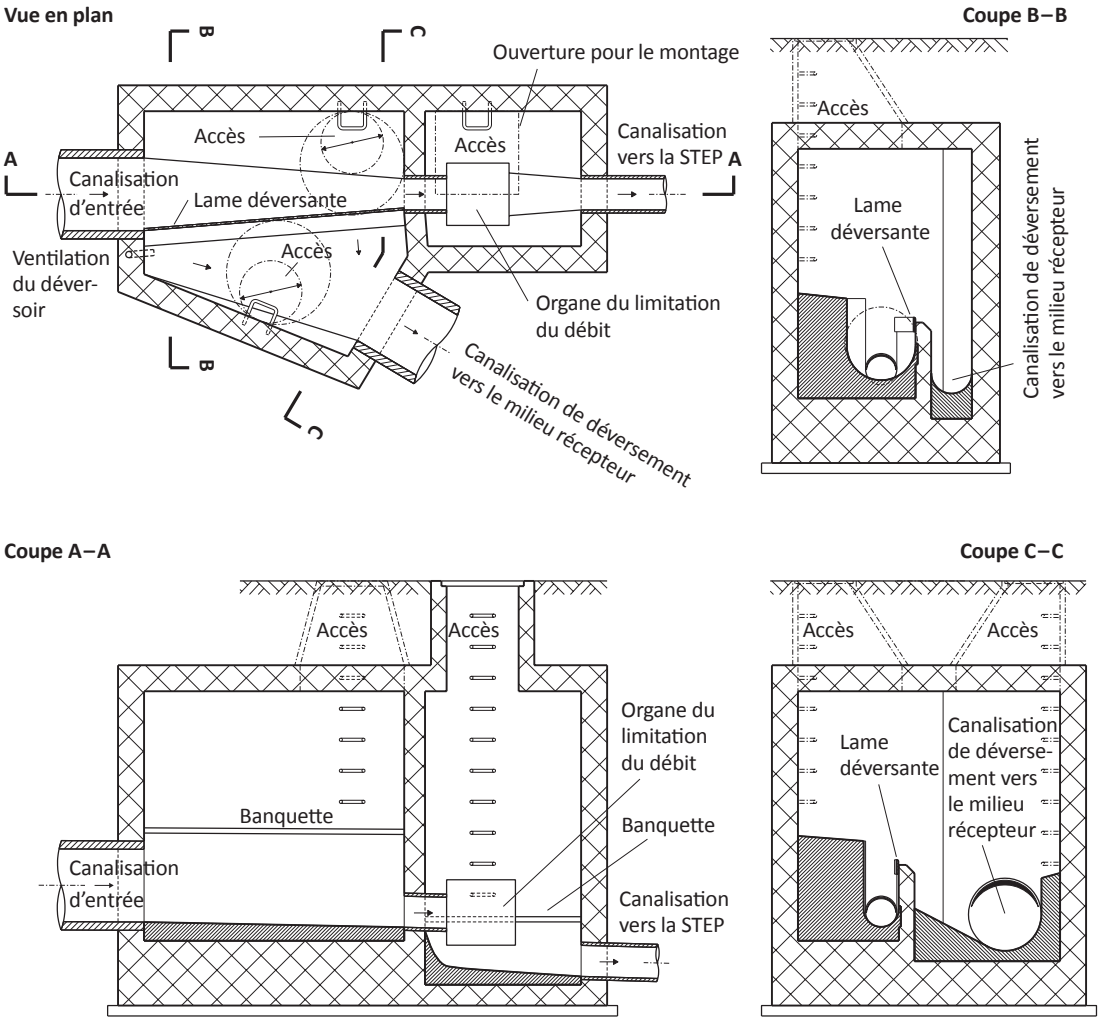
Les déversoirs d'orage et les ouvrages de répartition doivent présenter une bonne sélectivité, ce qui signifie qu'indépendamment du débit vers l'ouvrage d'évacuation, le débit aval doit correspondre le plus précisément possible à la valeur prévue.

Une sélectivité élevée est particulièrement importante dans les dernières installations de traitement en amont d'une STEP. Cette condition peut être remplie par l'insertion de dispositifs d'étranglement et de limitation du débit de différents types (voir chapitre 7.1).

Pour l'insertion d'éventuelles cloisons siphoïdes dans les déversoirs latéraux, voir le chapitre 7.3.1.

La construction de l'ouvrage doit garantir que l'effet de déversement satisfasse aux exigences locales et que le risque d'une défaillance ou d'une mauvaise manipulation soit réduit au minimum. L'installation doit pouvoir être adaptée aux fluctuations du débit à long terme.

Figure DB4
Exemple d'un déversoir latéral avec seuil à crête haute.



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

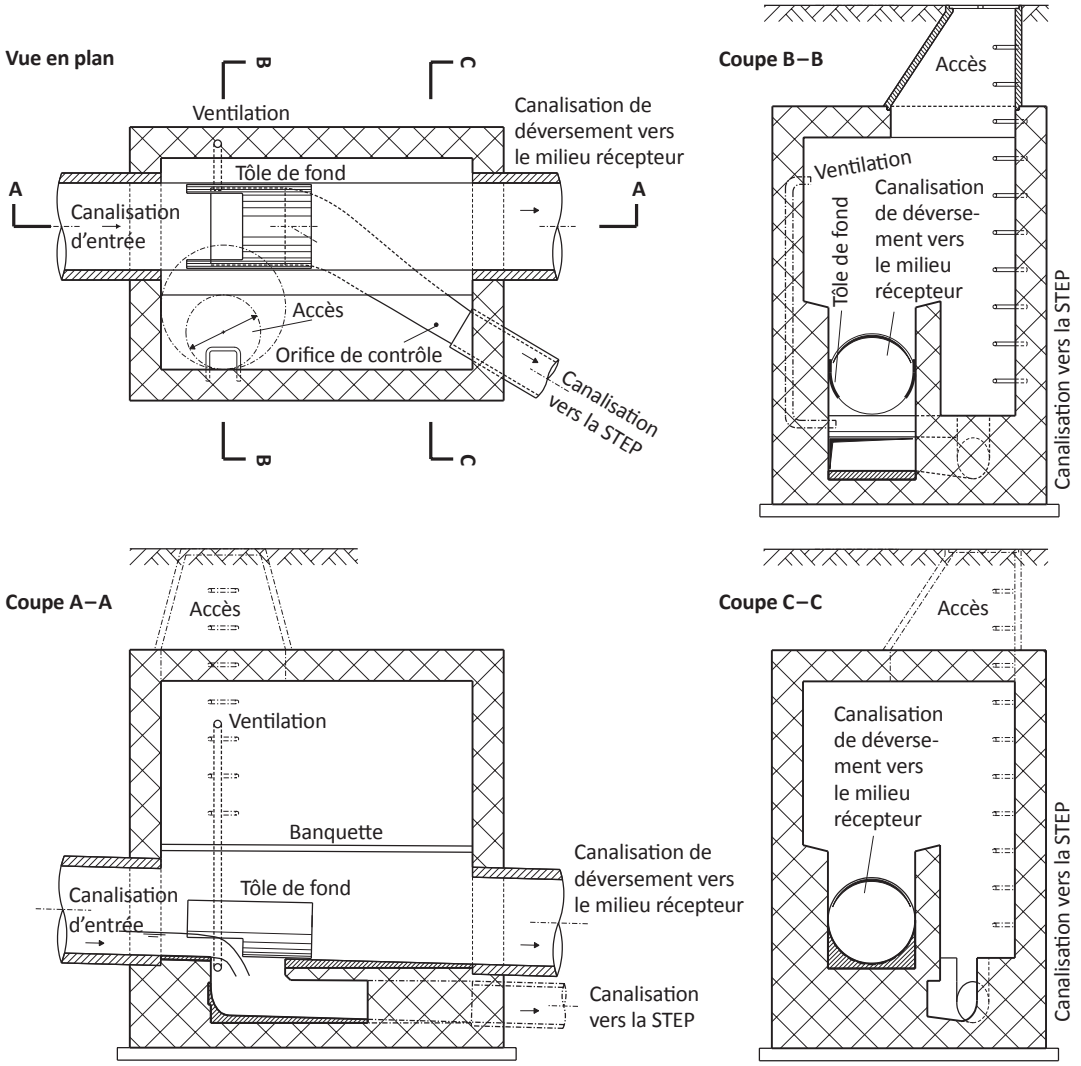


Figure DB5
Schéma d'un Leaping Weir.

5.3 Conception

Le déversoir est généralement constitué des éléments suivants :

- Canalisation d'entrée (chapitre 5.4.1)
- Installation de répartition (généralement le déversoir ou un autre type d'ouvrage de répartition) (chapitre 5.3.1)
- Limitation du débit évacué vers la STEP (chapitres 5.3.2 et 7.1)
- Canal collecteur des eaux (chapitre 5.3.3)
- Canalisation d'évacuation vers la STEP (chapitre 5.3.4)
- Canalisation d'évacuation vers le milieu récepteur (chapitre 5.3.5)
- Ouvrage de rejet dans les eaux superficielles (chapitre 5.3.6)

En outre, lors des déversements directs dans un lac ou un cours d'eau, des installations complémentaires ainsi qu'une modification éventuelle de l'ouvrage par rapport à la rétention de matières grossières (dégrilleurs, tamis, brosses) et à la rétention de liquides dangereux provenant d'accidents de la circulation (bassin d'avarie) peuvent s'avérer indispensables.

5.3.1 Installations de répartition

5.3.1.1 Déversoirs latéraux

Dans les canalisations unitaires, les déversoirs latéraux à apport longitudinal sont les plus couramment utilisés. Le long du seuil de lame déversante, une profondeur d'eau variable est ajustée et ainsi également

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

une hauteur variable de la lame déversante. Lors d'un débit d'apport important, la hauteur variable de la lame déversante peut être approximativement représentée par une parabole. D'autres indications concernant les questions hydrauliques relatives aux ouvrages déversoirs sont mentionnées dans les chapitres 5.4.2 et 5.4.3 .

Les déversoirs latéraux avec seuil à crête haute et ouvrage de limitation des débits en aval provoquent un refoulement dans la canalisation d'amenée qui peut également être utilisé comme volume de rétention dans des proportions appropriées. Le profil transversal de la canalisation le long du déversoir latéral se présente généralement en forme de U, et la transition entre l'entrée et la restriction hydraulique est en général formée d'un canal linéaire rétréci. Dans la zone du déversoir latéral, le fond du canal est en pente, c'est à dire qu'il doit comporter une différence de hauteur de $\Delta s = 3-5$ cm, de sorte que les faibles débits d'apport, inférieurs à la capacité de limitation du débit par rétrécissement de la canalisation, ne provoque plus de refoulement dans le canal d'entrée.

La zone de la lame déversante peut être conçue de façon unilatérale ou bilatérale (seuil simple ou double). La forme bilatérale est généralement plus avantageuse en raison de la diminution de longueur du déversoir ainsi que de la rotation du flux influançant l'évacuation des sédiments lourds sur le fond. Le seuil de la lame déversante doit être horizontal et formé d'une tôle réglable en hauteur pour des ajustements ultérieurs, p. ex., avec des trous oblongs permettant un réglage précis et fixe afin d'empêcher toute manipulation incorrecte. Les seuils à arêtes vives ne sont pas appropriées à la mesure des débits déversés sans étalonnage préalable.

Pour les dispositifs de déversement autorégulés comme p. ex. les déversoirs mobiles, le fournisseur de l'installation doit être consulté pour la partie hydraulique.

Les déversoirs latéraux à crête basse (hauteur de déversoir plus petit que $0.6 \cdot D_o$) sont moins faciles à concevoir en raison des conditions d'écoulement complexe des calculs unidimensionnels [373]. Leur utilisation n'est plus recommandée aujourd'hui.

5.3.1.2 Leaping Weir (ouverture de fond)

Les Leaping Weirs sont des installations de déversement dans lesquels l'écoulement en direction de la STEP se fait par une ouverture au niveau du radier. Le débit déversé submerge celle-ci. La construction de ces installations s'avére être une solution simple et avantageuse lors de conditions torrentielles stables.

Les expériences acquises jusqu'à présent avec les Leaping Weirs – principalement dans les petites installations avec des bassins versants peu étendus – mettent différents problèmes en évidence. Les Leaping Weirs ont tendance à favoriser l'accumulation de déchets flottants sur la plaque de répartition avec pour conséquences une obstruction par temps sec. Une partie des eaux usées peut ainsi se retrouver dans les cours d'eau et les lacs par temps sec. Les ouvertures de radier doivent ainsi être dimensionnées correctement. Les indications relatives au dimensionnement hydraulique des Leaping Weirs sont données dans le chapitre 5.4.4.

5.3.2 Dispositif de limitation des débits

L'ouvrage d'étranglement ou de limitation du débit est la partie du déversoir d'orage DO et de l'ouvrage de répartition qui limite l'écoulement vers la canalisation d'évacuation suivante. Le type de dispositif de limitation a été fondamentalement modifié par rapport au passé. Les sections de limitation des débits construites dans le passé (= sections de canalisation conçues et dimensionnées pour limiter le débit) sont de plus en plus remplacées par des organes de limitation. Le dimensionnement hydraulique de la section de limitation classique est lié à de grandes incertitudes. En outre, les exigences hydrauliques sur la section de limitation ne peuvent souvent pas être garanties dans la pratique. Aucune flexibilité n'existe pour des modifications ultérieures du débit d'évacuation. Par conséquent, de nombreuses sections de limitation ne fonctionnent pas comme prévu dans les projets. Il n'existe qu'une possibilité limitée de modifier ultérieurement les débits. Les sections de limitation de débit ne devraient plus être utilisées dans de nouvelles installations de déversement.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Les différentes options et installations de limitation des débits sont traitées dans le chapitre 7.1.

5.3.3 Canal collecteur

Dans les déversoirs latéraux, la tâche du canal collecteur consiste à collecter les eaux déversées et les amener dans la canalisation d'évacuation. Les canaux collecteurs mal dimensionnés ou mal construits peuvent réduire la capacité d'écoulement, qui se manifeste par un effet de mise en charge non admissible, avec pour conséquence une longueur de lame déversante pas complétement utilisée sur le seuil du déversoir. Cela peut conduire à une réduction des performances du déversoir latéral jusqu'au refoulement dans la canalisation d'entrée. Pour le dimensionnement du canal collecteur, voir le chapitre 7.2.

5.3.4 Canalisation d'évacuation vers la STEP

La canalisation d'évacuation est raccordée à l'organe de limitation et amène l'écoulement par temps sec ou les eaux unitaires vers la STEP jusqu'au débit de dimensionnement Q_{ab}.

Elle est généralement dimensionnée comme canalisation à écoulement gravitaire. En l'occurrence, une réserve doit également être planifiée pour une augmentation future des apports. Indépendamment de cette condition, le diamètre nominal minimum doit être de 300 mm.

Pour éviter les dépôts dans la canalisation d'évacuation, les mêmes exigences que pour le canal d'entrée s'appliquent également ici pour la vitesse d'écoulement minimale (voir équation DB3, chapitre 5.4.2). Si on doit s'attendre à des dépôts, leur formation doit être évitée ou réduite par des mesures d'exploitation, p. ex. un entretien régulier des canalisations.

Selon le type de dispositif de limitation des débits, des conditions d'écoulement instables peuvent se produire dans la canalisation d'évacuation à la suite d'une ventilation insuffisante. Pour éviter cet effet, il faut prévoir une ventilation suffisante de la canalisation de sortie.

5.3.5 Canalisation d'évacuation vers le milieu récepteur

Le canal d'évacuation vers le milieu récepteur doit être dimensionné, comme l'ouvrage de déversement, pour des conditions d'exploitation lors d'un débit maximal dans le milieu récepteur, en tenant compte du niveau de crue caractéristique.

Les indications sur le niveau de crue déterminant sont définies dans le plan général d'évacuation des eaux PGEE. En l'absence de ces informations, celles-ci doivent être complétées en tenant compte des particularités locales, des conditions initiales, de la périodicité des crues et des dommages potentiels qui peuvent survenir.

Lors d'un refoulement permanent ou périodique des eaux du milieu récepteur dans la canalisation d'évacuation ou jusqu'à l'installation de déversement, des contrôles hydrauliques supplémentaires s'avèrent nécessaires :

- Contrôle des lignes de charge entre le milieu récepteur et la canalisation d'évacuation sur le site de déversement.
- Évaluation de la probabilité du reflux sur la base des caractéristiques de crue du milieu récepteur.
- Détermination de la hauteur du seuil de la lame déversante par rapport aux temps de retour des niveaux d'eau dans le milieu récepteur.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

- Mise en place d'éventuels équipements pour la prévention des refoulements (clapets anti-retour et vannes passives ou commandées, portails de protection contre les crues, seuils flottants, etc.).

- Etude des problèmes et des risques possibles lors de la mise en place d'équipements pour la prévention du refoulement.

5.3.6 Ouvrage de rejet

La conception de l'ouvrage de rejet doit être basée sur les conditions naturelles et le profil du milieu récepteur. Des berges plates sont préférables aux murs verticaux avec balustrades de sécurité. La consolidation du lit du cours d'eau doit être façonnée au moyen d'un assortiment de blocs de pierres naturelles sans béton et mortier apparent. Les alentours de l'ouvrage de rejet doivent être reboisés avec des essences indigènes afin de reproduire un environnement naturel.

Lors de rejets générant une vitesse d'écoulement importante, une attention suffisante doit être également portée à la protection de la rive opposée afin qu'elle ne subisse aucun dégât d'érosion.

Le flux évacué devrait se rejeter dans le milieu récepteur avec un angle aigu par rapport à la direction de l'écoulement du cours d'eau. L'exutoire doit être intégré à la berge et équipé d'une grille de protection que l'on peut ouvrir et fermer en cas de besoins. L'espacement entre les barreaux de la grille doit être inférieur à 120 mm.

Afin de réduire le stress hydraulique et les débits de pointe dans les cours d'eau, une analyse doit être effectuée afin de déterminer si des mesures techniques sont à appliquer dans le bassin versant ou p. ex. dans les installations de rétention en aval d'un rejet.

Les instances cantonales compétentes pour la protection des eaux et les constructions hydrauliques doivent être toujours impliqués pour la conception et le dimensionnement de ces ouvrages. Des exemples de réalisation et des indications pour de petits sites de rejet peuvent être trouvés par exemple dans [385].

Concernant des problèmes hydrauliques possibles, voir également les remarques au chapitre 5.3.5.

5.4 Dimensionnement des éléments des ouvrages

Aucun modèle mathématique spécifique n'est disponible pour le calcul hydraulique des déversements. Il existe une série d'équations et de méthodes de calcul qui, au moyen de paramètres de modèles empiriques, décrivent approximativement la situation.

5.4.1 Canalisation d'entrée

La canalisation d'entrée de l'ouvrage de déversement doit être conçue sur une distance de 20 à 30 fois son diamètre (D_o) de manière rectiligne et sans apports latéraux, afin que des conditions d'écoulement hydraulique fluvial et stables prévalent.

Selon Hager [373. 374], le calcul du nombre de Froude Fr pour un profil circulaire peut être simplifiée :

Équation DB1

$$Fr = Q/(g \cdot D \cdot h^4)^{½}$$

Les déversoirs latéraux ne fonctionnent parfaitement qu'en cas d'écoulement fluvial et stable. Cela signifie que dans la canalisation d'entrée partiellement remplie, pour le débit de dimensionnement, le nombre de Froude Fr = 0.75 ne doit pas être dépassé sur une longueur d'au moins $20-30 \cdot D_o$. Pour le descriptif des abréviations utilisées, voir la figure DB6. Si cette condition ne peut être respectée, voir les remarques dans le chapitre 5.6, exemple DB5.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Pour le Leaping Weir, le débit en amont doit correspondre à un écoulement torrentiel stable avec un nombre de Froude Fr >1.5.

Si les conditions susmentionnées pour un débit uniforme et stable ne peuvent pas être respectées sur un tronçon de canalisation suffisamment long, alors le régime d'écoulement déterminant pour l'installation de déversement doit être établi au moyen du calcul des courbes de remous.

L'étude des courbes de remous est également recommandée en cas de déversoirs latéraux surélevés, si le refoulement qui en résulte peut affecter le bassin versant situé en amont.

Lors de conditions complexes, en particulier lorsque dans le voisinage de l'installation de déversement une confluence de canalisations est présente ainsi qu'en cas d'installations importantes et de grande taille, il est recommandé d'utiliser l'expertise d'un centre de recherche hydraulique et/ou d'appliquer les modèles de simulation tridimensionnels (modèles 3D), afin que les résultats du modèle puissent éventuellement être inclus dans le dimensionnement de l'ouvrage.

5.4.2 Déversoir latéral avec seuil à crête haute

Le dimensionnement hydraulique de déversoirs d'orage proposé dans la présente directive technique se base sur une approche standard simple et normalisée. Les conditions hydrauliques initiales, en particulier le respect d'un nombre de Froude Fr ≤ 0.75 dans la zone d'entrée, assurent que la formule de dimensionnement fournit des résultats corrects.

Si ces conditions initiales ne sont pas respectées, le dimensionnement et la construction doivent être réalisés avec un suivi par un expert en hydraulique. Les conséquences possibles pour les installations avec un nombre de Froude supérieur à 0.75 sont décrites à la fin de ce chapitre.

Le déversoir latéral typique avec seuil à crête haute et débit latéral peut être subdivisé en quatre zones :

1. Zone d'entrée, transition entre la canalisation d'entrée (le plus souvent de profil circulaire avec diamètre D_o et débit Q_o) et zone de déversement,

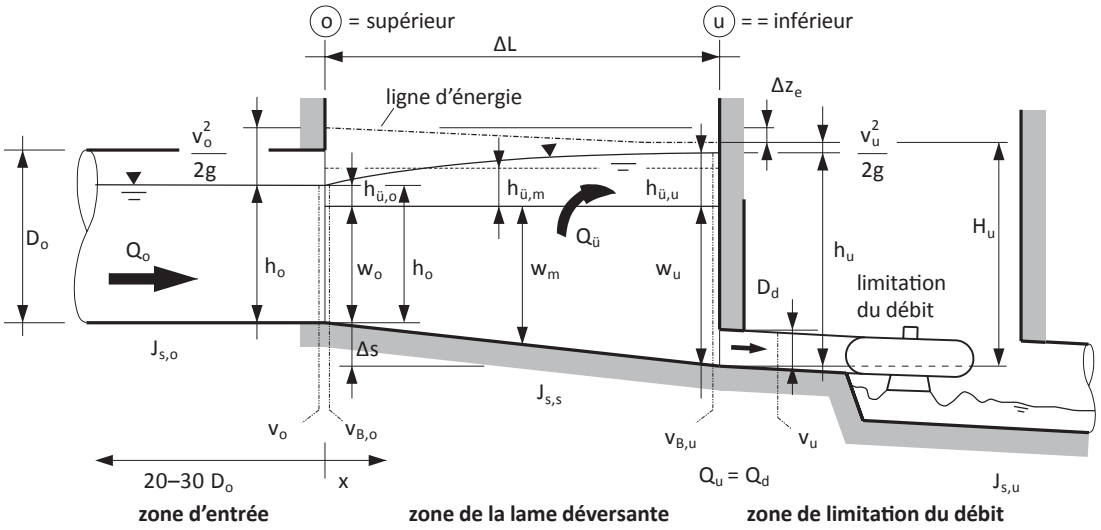


Figure DB6
Le déversoir latéral typique avec un seuil à crête haute et ses trois zones : la zone d'entrée, la zone de la lame déversante et la zone de limitation du débit.

Nomenclature

Variables de dimensionnement du concept d'évacuation (PGEE)

Q_{zu} = débit de dimensionnement du déversoir d'orage (Valeur fournie par le PGEE)

Q_{ab} = débit de dimensionnement en direction de la STEP (Valeur fournie par le PGEE)

Q_{krit} = débit dans la restriction hydraulique au moment où la lame déversante n'est juste pas encore en fonction (valeur unique) = Q_{an} (dans la littérature de Hager Q_{an} est assimilée à Q_{krit})

Variables de dimensionnement pour le calcul

Q_o = débit (variable)

Q_u = Q_d = débit dans la limitation (variable)

$Q_ü$ = déversoir (variable)

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2. Zone de déversement, avec seuil de lame déversante horizontale de longueur ΔL, hauteur moyenne du déversoir W_m, pente de fond $J_{s,s} = \Delta s/\Delta L$,

3. Zone de limitation du débit (dans la figure suivante, caractérisé par le débit réduit $Q_d = Q_u$ et le diamètre de la restriction D_d),

4. Canal collecteur dans lequel les eaux déversées sont collectées et amenées à l'exutoire dans des conditions hydrauliques stables.

Les eaux unitaires déversées tombent généralement unilatéralement ou bilatéralement **sans refoulement latéral** (= lame déversante dénoyée) dans le canal de déversement.

Les eaux usées s'écoulent par le dispositif de limitation des débits dans la canalisation d'évacuation en direction de la STEP.

Dans le fonctionnement du déversoir, on peut établir une distinction entre trois situations :

1. Par temps sec, le débit s'écoule sans limitation par l'installation en direction de la STEP.

2. Lors du débit Q_{krit} le déversoir latéral n'est pas encore en fonction, de sorte que la totalité du flux s'écoule à travers l'organe de limitation vers la STEP.

3. Lors du débit de dimensionnement Q_{zu}, le déversoir latéral entre en fonction et le débit dimensionné Q_{ab} s'écoule à travers le limiteur de débit vers la STEP. Pour la sélectivité, c'est à dire la différence entre Q_{ab} et Q_{krit}, une valeur de moins de 20 à 30 % du Q_{krit} doit être visée.

Zone d'entrée

Dans la zone d'entrée du déversoir latéral, la hauteur du déversoir W_o est fixée, la pente du fond Δs est calculée et testée de manière à ce que la vitesse moyenne d'écoulement v_m prévienne la formation de dépôts :

- La hauteur du déversoir doit se situer entre 0.6 et $0.8 \cdot D_o$ (selon Hager [374]). Il en résulte des conditions optimales pour la canalisation d'entrée et le déversement.

- L'expérience pratique montre que la hauteur du déversoir peut également être située au-dessus du plafond du conduit d'entrée. Ceci présuppose que la sécurité en cas de refoulement, la ventilation et d'autres aspects opérationnels n'ont pas d'impacts sur le réseau situé en amont. Dans ce cas spécifique, les équations DB5 à DB11 ne sont pas valides. Pour plus d'informations, voir l'annexe 1B.

- La section transversale à l'entrée de l'ouvrage ne doit pas dépasser la valeur du nombre de Froude Fr_o 0.75 . Si cette condition initiale ne peut pas être respectée, il faut procéder selon les remarques à la fin de ce chapitre

- La pente entre l'entrée et la sortie du déversoir doit comporter un Δs d'au moins 3–5 cm et doit être choisie de telle sorte qu'avec le débit par temps sec Q_{TW} une force d'entraînement suffisante soit présente le long du déversoir latéral.

- Afin d'éviter des dépôts dans les zones d'entrée et de déversement lors d'un remplissage partiel de 50 %, la vitesse moyenne d'écoulement v_m par rapport au diamètre doit se monter à :

Équation DB2

$$v_m\ [ms^{-1}] \geq 0.5 + 0.55 \cdot D,\ D \text{ en m}$$

À 10 % de remplissage partiel, la vitesse moyenne nécessaire du débit doit augmenter d'environ 10 % (Hager [374]). Ces exigences avec un débit minimum ne seront toutefois atteintes que dans de rares cas. Par conséquent, l'exigence suivante (selon Hager [374]) peut être appliquée, selon laquelle la vitesse d'écoulement minimale dans la zone d'entrée d'un déversoir latéral peut être réduite jusqu'à

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

v_{min} [ms^{-1}] = 0.5 – 0.03 · J_s, J_s en ‰
0 ‰ ≤ J_s ≤ 15 ‰

Équation DB3

- la pente minimale se calcule avec

$J_{s,min}$ = 1 / D [–], D en mm

Équation DB4

5.4.2.1 Zone de déversement

Lors d'un déversement, le débit arrive de biais par rapport à la lame déversante. Cette caractéristique est différente du déversoir à seuil frontal, à partir duquel les formules habituelles de déversement sont basées. Dans les calculs se rapportant au dimensionnement suivant, les paramètres d'écoulement variables locaux sont pris en compte :

- profondeur de l'eau,
- vitesse d'entrée,
- angle de sortie,
- géométrie de la canalisation et
- disposition de la lame déversante.

Toutes les longueurs sont normalisées par rapport au niveau d'énergie H = H(u), à savoir la profondeur d'eau relative y = h/H et la hauteur relative du déversoir W = w/H (Hager [374]).

Selon Hager [374], l'écoulement à travers les déversoirs latéraux normalisés peut être calculé de la manière suivante. La méthode de calcul suivante tient compte d'un niveau d'eau incurvé et donc variable sur toute la longueur du seuil de déversement. La méthode de calcul reflète mieux les ouvrages qui présentent de plus grands volumes de déversement :

$$dQ/dx = -0.6 \cdot n^* \cdot c_w \cdot (g \cdot H^3)^{1/2} \cdot (y-W)^{3/2} \cdot [(1-W)/(3-2y-W)]^{1/2}$$

Équation DB5

dQ/dx = profil de la lame déversante [m^{2}s^{-1} = m^{3}s^{-1}m^{-1}]
n* = nombre de côtés déversant
c_w = effet de la forme du seuil
$(g \cdot H^3)^{1/2} \cdot (y-W)^{3/2} = g^{1/2} \cdot (h-w)^{3/2} = g^{1/2} \cdot (h_ü)^{3/2}$ influence notable de la hauteur de la lame déversante
$[(1-W)/(3-2y-W)]^{1/2}$ = influence de la vitesse d'écoulement et de la direction d'écoulement

auquel cas les influences de la géométrie du seuil sont combinées dans le paramètre cw considéré comme constant. Pour le cas normal d'un déversoir latéral à arêtes vives, presque prismatique, avec une lame déversante parfaite, c_w = 1.

L'influence du rétrécissement latéral et de la pente du fond peut être négligée. Pour d'autres géométries de seuils, se référer à la littérature spécialisée (Hager [373, 374]).

Le dimensionnement peut être effectué selon les hypothèses suivantes :

- La profondeur moyenne de l'eau dans la zone de déversement h_m est supérieure à la moyenne arithmétique $(h_o + h_u)/2$:

$$h_m = h_o + \tfrac{2}{3}(h_u - h_o)$$

Équation DB6

L'influence de la vitesse de l'écoulement est plus ou moins compensée par le flux oblique,

- La géométrie du canal et la disposition de la lame déversante (en simplifiant, le profil en U du déversoir latéral avec seuil à crête haute peuvent être considérés comme un canal rectangulaire),

- $\Delta z_E \approx \Delta s$ et $H_o = H_u$

Selon le théorème de Bernoulli :

$$h_o + v_{B,o}^2/2g = h_u + v_{B,u}^2/2g$$

Équation DB7

En supposant une vitesse moyenne $v_{B,u}$ dans la section transversale à l'extrémité de la zone de déversement (voir figure DB6) de $v_{B,u} \leq 0.5$ m s^{-1}, on obtient $v_{B,u}^2/2g \leq 1.3$ cm. Les valeurs dans cet ordre de grandeur peuvent être négligées.

Exemple DB1

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Comme Δs est généralement plus grand que la somme de toutes les pertes d'énergie, la vitesse sous l'eau $v_{B,u}^2/2g$ est très faible (négligeable) et peut être estimée à $v_{B,o} = v_o$ et la profondeur de l'eau ho peut être calculée avec :

Équation DB8

$$h_o = h_u - Q_o^2/(2gF^{*2})$$

où

Équation DB9

$$F^* = (\pi/8)D_o^2 + (h_o - D_o/2)D_o \approx D_o h_o \approx D_o h_u$$

Remarque : La surface F* considérée ici est précisément un profil en U et correspond de façon simplifiée à une section rectangulaire de largeur D_o. L'importance de cette hypothèse respectivement de cette simplification doit être vérifiée de cas en cas. Calculer initialement F* avec h_u, puis dans une deuxième itération avec la première valeur de h_o (équation DB9, formule exacte).

Compte tenu de l'équation DB5, il en résulte la relation de la lame déversante :

Équation DB10

$$\Delta Q/\Delta L = 0.6 \cdot n^* \cdot c_w \cdot g^{1/2} \cdot (h_m - w_m)^{3/2} \cdot [(H_m - w_m)/(3H_m - 2h_m - w_m)]^{1/2}$$

$\Delta Q/\Delta L\ [m^2 s^{-1}] = (Q_o - Q_u)/\Delta L$
n^* = nombre de côtés déversant
c_w = paramètre global (lors d'une lame déversante parfaite et une arête vive $c_w = 1$)
H_m = hauteur moyenne de la pente d'énergie
$h_m = w_m + h_{ü,m}$ = profondeur d'eau moyenne
w_m = hauteur moyenne du déversoir = $w_o + \Delta s/2$

ou en appliquant $h_u = H_u$ en raison de la petite vitesse sous la surface

Équation DB11

$$\Delta Q/\Delta L = 0.2 \cdot n^* \cdot c_w \cdot g^{1/2} \cdot (h_o + 2h_u - 3w_m)^{3/2} \cdot [(h_u - w_m)/(5h_u - 2h_o - 3w_m)]^{1/2}$$

(Recommandation DWA-A 166 [256] : $\Delta Q/\Delta L \leq 300\ l \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$)

Le champ d'application de l'équation DB11 peut être estimé au moyen la figure DB7 ci-dessous. Cette figure montre la longueur relative du déversoir latéral λ_s par rapport à la relation entre la hauteur moyenne du déversoir w_m et h_u pour différentes intensités de débit $q_u = \Delta Q/(gD_o^2 h_u^3)^{1/2}$ pour des débits Q_u proportionnellement petit ($Q_u < \Delta Q \rightarrow$ de façon simplifiée $Q_u \rightarrow 0$; Hager [374]).

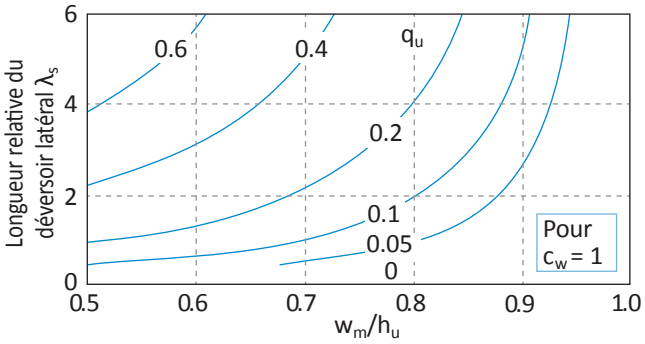


Figure DB7
Représentation du domaine d'application de l'équation DB11 [373, 374] pour cw = 1. Longueur relative du déversoir latéral $\lambda_s = n^* \cdot c_w \cdot \Delta L/D_o$.

Pour les grands ouvrages de déversement avec des longueurs de déversoirs latéraux >10–20 m, il est nécessaire d'obtenir un relevé précis par voie de calcul des lignes de niveau d'eau. Dans de tels cas, de très grandes quantités d'eau sont considérées avec des vitesses d'écoulement correspondantes, qui nécessitent une analyse en profondeur (p. ex. calculs itératifs par sections des hauteurs de la lame déversante, modèles 3D, maquettes en laboratoire).

Pour l'explication du calcul, voir l'exemple DB2.

5.4.2.2 Calcul du déversoir latéral dans des modèles de simulation

Les simulations hydrodynamiques unidimensionnelles ne peuvent pas prendre en compte ou que de façon insuffisante les particularités énergétiques des ouvrages. Les résultats du calcul des logiciels de simulation sont suffisants pour l'évaluation des installations de déversement dans le contexte général d'un calcul en réseau. Le dimensionnement des installations à lame déversante doit cependant être exécuté à la main, en tenant compte de toutes les conditions initiales.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

5.4.2.3 Cas de dimensionnement dans le domaine des écoulements critiques (0.75 < Froude < 1.5)

Pour les cas de dimensionnement dans le domaine des débits critiques (études de Hager [374] lors du dépassement du nombre de Froude Fr > 0.75 dans la zone de la lame déversante), on doit s'attendre à des alternances de saut hydraulique, à des ondes stationnaires ainsi qu'à la formation de vagues et autres instabilités hydrauliques (voir figure DB10). Ces effets hydrauliques défavorables peuvent avoir des conséquences indésirables, non seulement sur l'ouvrage lui-même, mais encore sur la canalisation d'entrée, le collecteur ainsi que sur la canalisation de sortie.

Si lors du dimensionnement, le nombre de Froude Fr < 0.75 ne peut pas être respecté, celui-ci peut être réduit par

- la surélévation du seuil de lame déversante,
- dans les nouveaux ouvrage par l'élargissement de la section d'écoulement dans la zone d'entrée.

Les conséquences possibles des perturbations de la fonction déversante peuvent consister en :

- un niveau d'eau fortement variable le long du seuil de la lame déversante qui engendre une lame déversante disparate le long de l'arête déversante,
- une mauvaise utilisation de la longueur du seuil,
- une hauteur de pression fluctuante à l'extrémité du seuil de la lame déversante pouvant affecter l'écoulement vers la STEP lors d'une absence de commande ou de régulation du débit. Cette perturbation ne peut pas ou que difficilement être décrite mathématiquement.

Les perturbations mentionnées précédemment sont particulièrement importantes pour la section de limitation des débits classique. Lors d'installations commandées ou régulées, celles-ci deviennent beaucoup moins perceptibles. Elles n'ont pas d'incidence sur la protection des eaux.

Dans le même temps la fréquence des situations comportant un Fr > 0.75 dans la zone d'entrée doit également être prise en compte. Le dimensionnement spécifié ci-dessus est généralement effectué pour un débit d'entrée maximal (p. ex. avec la périodicité pluriannuelle). Lors d'un débit entrant plus faible avec des conditions hydrauliques inchangées dans la zone d'entrée et une hauteur de déversoir constante, la vitesse d'écoulement et le nombre de Froude sont considérablement réduits dans la zone d'entrée. Par conséquent, lors de la plupart des événements, les exigences requises pour des conditions hydrauliques stables dans la zone d'entrée (Fr < 0.75) peuvent être satisfaites. Le dépassement du nombre de Froude de 0.75 dans la zone d'entrée peut être accepté aux conditions suivantes :

- Le nombre de Froude ne peut pas dépasser la valeur 1.0 dans la zone d'entrée (pas de débit torrentiel, en relation avec le ressaut attendu à l'entrée ou dans la zone de la lame déversante de l'installation).

- Les conséquences des éventuels problèmes hydrauliques locaux dans les zones d'entrée et de la lame déversante doivent être testées (sur la base de l'évolution du niveau d'énergie) et des mesures contre des dommages éventuels dans la zone de l'ouvrage doivent être appliquées en tenant compte de la fréquence de l'occurrence.

- La hauteur de la vitesse maximale admise en fonction de la vitesse du flux ne doit pas dépasser l'ordre de grandeur de 0.5 à 1.0 m, de sorte que la sécurité de l'ouvrage et de son environnement ne soit pas compromise.

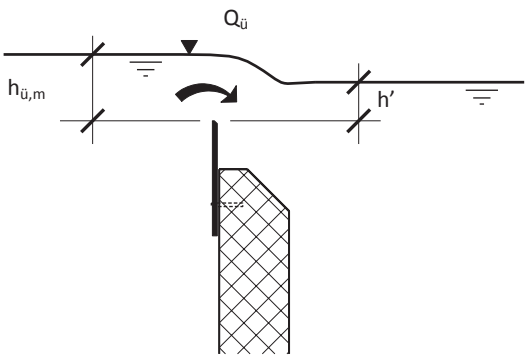
Le traitement de cette situation doit être confié à un spécialiste.

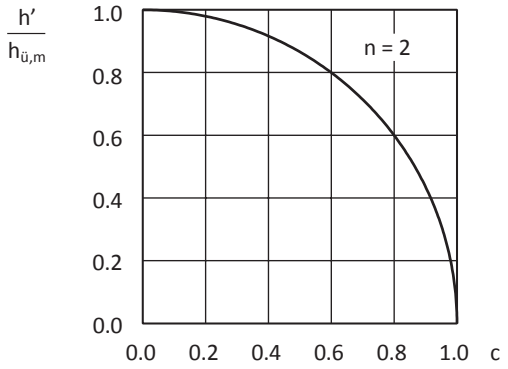
lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

5.4.3 Lames déversantes noyées

Pour les déversoirs d'orage latéraux, une lame déversante dénoyée doit en principe être recherchée. Dans le cas d'une lame déversante dénoyée et d'un seuil à arête vive, le paramètre global, c_w s'élève à $c_w = 1.0$ (équations DB10 et DB11).

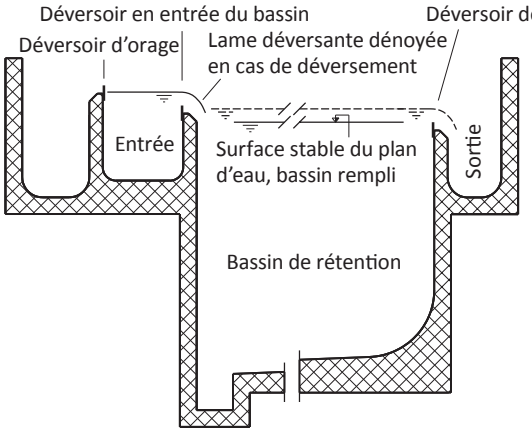
Figure DB8
Schéma d'une lame déversante noyée avec graphique d'atténuation du coefficient pour un déversoirs à arête vive [252].



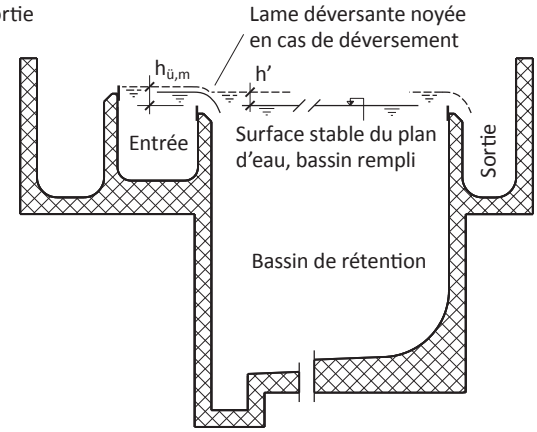


Coefficient d'atténuation c pour déversoir à arête vive lors d'une lame déversante noyée

Figure DB9
Représentation d'une lame déversante dénoyée (image de gauche) et noyée (image de droite).



La cote du déversoir de sortie est inférieure à la cote du déversoir en entrée.



La cote du déversoir de sortie est supérieure ou égale à la cote du déversoir en entrée.

Si l'hypothèse d'une lame déversante dénoyée ne peut être concrétisée (dans des cas exceptionnels, ou au moins temporairement), un niveau d'eau plus élevé doit être planifié dans les zones de déversement et d'entrée d'un déversoir latéral (voir également chapitre 5.4.5). Le paramètre global cw peut être déterminé au moyen de l'équation suivante (DWA-A-111 [252]) :

Équation DB12

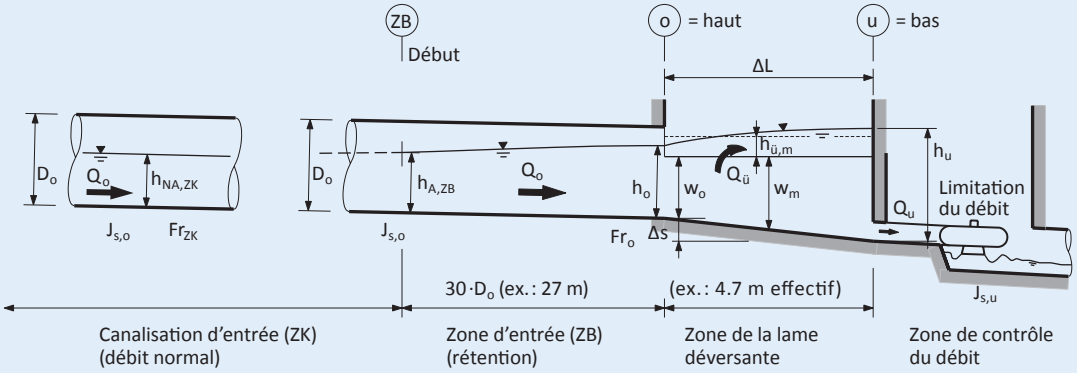
$$c_w = c = [1-(h'/h_{ü,m})^n]^{½}$$

c_w = paramètre global [–] dans équation DB10 et équation DB11
h' = niveau sous l'eau après le déversement (mesuré à la hauteur au-dessus de la crête du déversoir). h' > 0 en cas de déversoir noyé (voir aussi figure DB8)
$h_{ü,m}$ = hauteur moyenne de la lame déversante (voir figure DB6).
n = exposant lié à la forme du déversoir (n = 2 pour une arête de déversoir vive, n = 3 pour une arête de déversoir arrondie et n = 4 pour une arête de déversoir large)

Pour les ouvrages de répartition dans les bassins pluviaux se trouvant éventuellement en état de refoulement, la réduction des performances associées à la lame déversante noyée et l'augmentation du refoulement dans la canalisation d'entrée qui en résulte doivent également être prises en compte.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Un déversoir latéral unilatéral existant, à crête basse et d'une longueur de seuil du déversoir de ΔL = 4.7 m doit être transformé en un déversoir à crête haute. Les dimensions de l'objet, en particulier la longueur du seuil du déversoir doivent dans la mesure du possible être maintenues.



Données :

$Q_o = 1.00\ m^3s^{-1}$	$D_o = 0.90$ m	$J_{S,o}$ dans la zone d'entrée = 4‰	$k_{St} = 85\ m^{⅓}s^{-1}$
$Q_u = 0.07\ m^3s^{-1}$	$\Delta L = 4.70$ m	n* = 1 lame déversante unilatérale	$\Delta s = 0.05$ m

Conditions initiales :

1. $w_o = 0.6$ à $0.8 \cdot D_o \approx 0.55$ à 0.7 m
2. $Fr_o < 0.75$ (dans la plage entre «o» et «ZB»)
3. $\Delta Q/\Delta L \leq 300\ l\,s^{-1}m^{-1}$ (recommandation selonDWA-A 166 [256])
4. $q_u < 0.6$ [–] (intensité du flux sortant selon [373], [374])

Procédure :

Le processus de calcul suivant est le résultat final du même exemple présenté dans l'annexe 1A, qui conduit par un calcul itératif au résultat.

1. Choix de h_u (point de départ pour le calcul lors d'un d'écoulement fluvial) : $h_u = 0.85$ m
2. Choix de w_m : $w_m = 0.58$ m
3. Calcul et optimisation (p.ex. en utilisant un tableur) :

$\Delta Q = 1.0 - 0.07$	$= 0.93\ m^3s^{-1}$			
h_{NA} dans la canalisation d'entrée	≈ 0.6 m			
Fr_{ZK} dans la canalisation d'entrée	≈ 0.93			

Détermination de la hauteur de remplissage partiel au début de la zone d'entrée $h_{A,ZB} \approx 0.69$ m par le calcul de la courbe de remous

$Fr_{A,ZB}$	$= 0.70$	écoulement fluvial		
w_o	$= 0.58 - ½ \cdot 0.05 = 0.555$ m			
w_o/D_o	$= 0.62$		→	condition initiale 1 respectée
F*	$= 0.765\ m^2$	selon éq. DB9		
v_o	$= 1.31\ ms^{-1} = Q_o/F^*$			
h_o	$= 0.763$ m	selon éq. DB8		
Fr_o	$= 0.58$ →	selon éq. DB1 à l'entrée vers DO	→	condition initiale 2 respectée
h_m	$= 0.821$ m	selon éq. DB6		
$\Delta Q/\Delta L$	$= 0.202\ m^3s^{-1}m^{-1}$	selon éq. DB11	→	condition initiale 3 respectée
ΔL	$= 4.61$ m	selon éq. DB11		
$h_{ü,m}$	$= 0.24$ m			

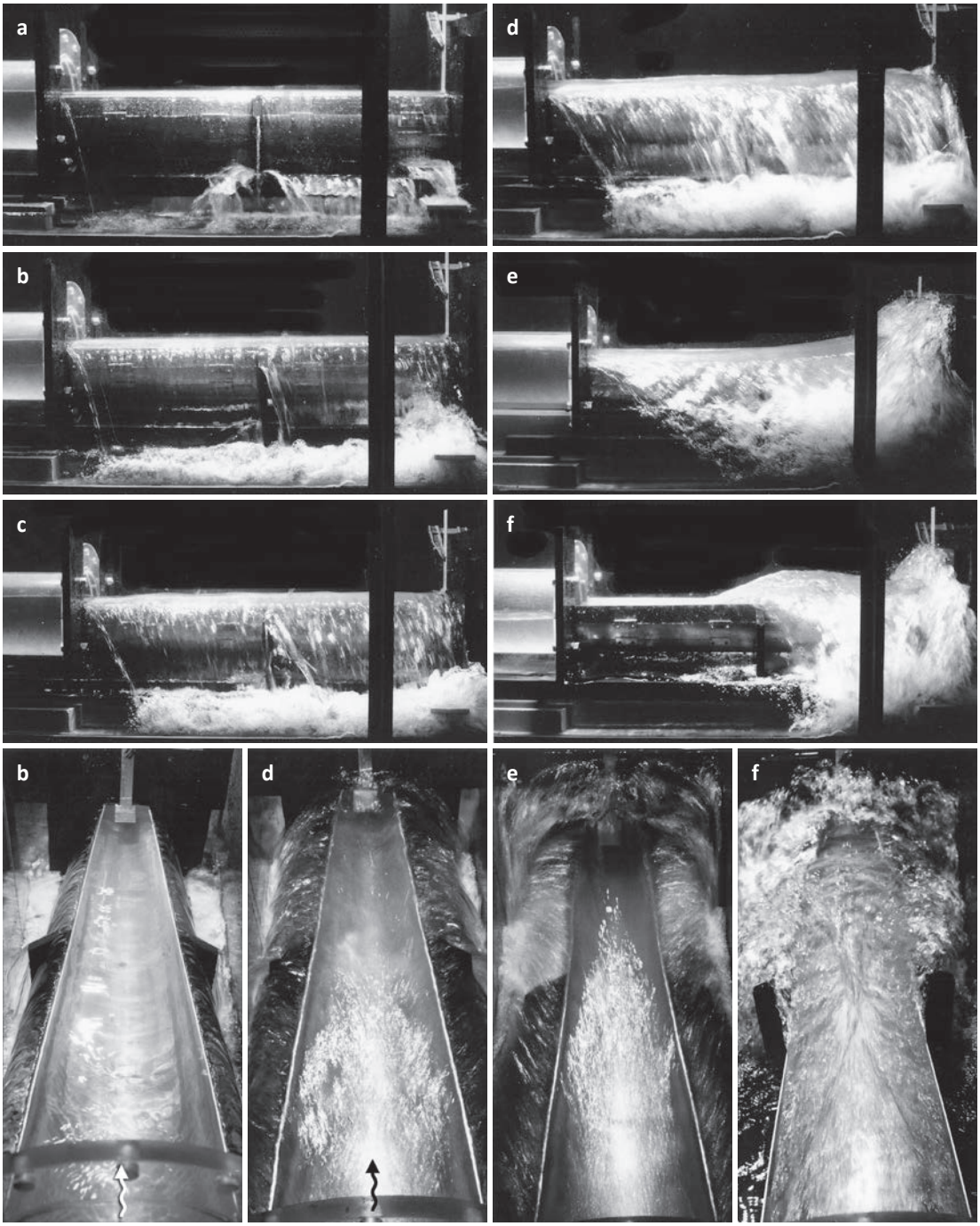
4. Contrôle du respect de la condition initiale

q_u	$= 0.421$	$q_u = \Delta Q/(g \cdot D_o^2 \cdot h_ü^3)^{½}$	→	condition initiale 4 respectée
w_m/h_u	$= 0.58/0.85 = 0.68$			
λ_s	$= 5.124$	$\lambda_s = n^* \cdot c_w \cdot \Delta L/D_o$		
longueur SE	$= 27$ m →	condition $30 \cdot D_o$		

Résultat : La longueur du seuil de déversoir de 4.7 m peut être conservée.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Figure DB10
Les illustrations (de Hager [374]) présentent le déversoir latéral le long du seuil avec différents nombres de Froude dans la zone d'entrée.
Cela s'applique pour $y_o = h_o/D_o \approx 0.7$; $w/D_o = 0.6$ et pour Fr_o = (a) 0.13, (b) 0.30, (c) 0.50, (d) 0.75, (e) 1.25, (f) 2.50.



5.4.4 Leaping Weir (ouverture en radier)

5.4.4.1 Zone d'entrée

Les Leaping Weirs sont utilisés lors d'un débit d'entrée torrentiel stable. Le nombre de Froude pour l'entrée doit correspondre à Fr_o >1.5 (Taubmann [375]). Sur une longueur d'environ $20-30 \cdot D_o$, un flux stable doit s'établir (= déclivité constante du fond de la canalisation, Hager [374]) ; de plus aucune interférence et si possible et aucun changement de direction ne devrait être présent.

5.4.4.2 Zone de la lame de déversement

L'ouverture au sol est rectangulaire (largeur $b_{öff}$ et longueur ΔL), la canalisation d'écoulement de l'ouverture en radier doit être ventilée. Elle ne doit pas être plus haute que le radier de la canalisation d'entrée. Il faut garantir la possibilité d'adapter la longueur de l'ouverture en radier. De même un simple accès pour le contrôle et l'entretien doit être assuré. Les conditions hydrauliques sont les suivantes :

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

- Le débit d'entrée $Q \leq Q_{krit}$ doit être entièrement dirigé vers la STEP.
- Lors du débit de dimensionnement Q_{zu}, le débit de sortie dimensionné Q_{ab} s'écoule par le dispositif de limitation vers la STEP. Pour l'efficacité de la répartition, c'est à dire la différence entre Q_{ab} et Q_{krit}, une valeur inférieure à 20–30 % de Q_{krit} est souhaitable.
- Une fonction unique $Q(h_{o,krit})$ est utilisée lors du calcul.

Le remplissage partiel lors du débit critique vers la STEP $y_{o,krit} = h_{o,krit}/D_o$ se situe généralement à une valeur inférieure à 30 %. Pour $0.1 < y_o < 0.35$ la longueur de l'ouverture en radier est donnée par la formule selon Oliveto [36] (cité par Hager [374]) :

$$\Delta L = h_{o,krit} \cdot Fr_{o,krit}$$

Équation DB13

ΔL = Longueur de l'ouverture en radier en m
$h_{o,krit}$ = Profondeur lors du débit critique vers la STEP
$Fr_{o,krit}$ = Nombre de Froude lors du débit critique vers la STEP

Le processus exacte de l'écoulement de sortie dans les Leaping Weirs est complexe (structure 3D, ondes de choc, vitesses transversales, angle de déversement).

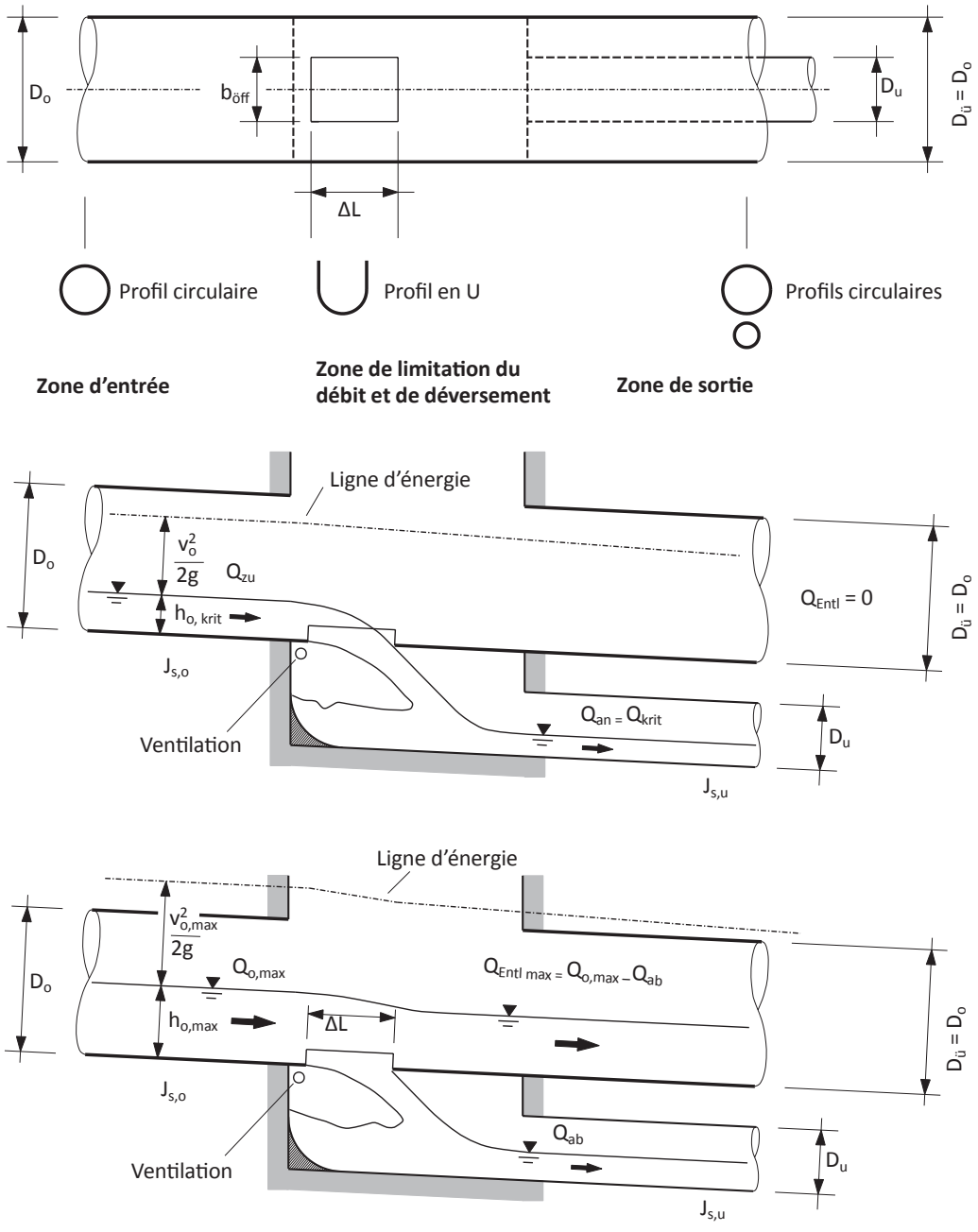


Figure DB11
En haut : Leaping Weir avec débit dimensionnel Q_{krit} lors duquel le déversement n'entre juste pas en fonction.
En bas : Ouverture du fond pleine lors du débit maximal Q_o.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Exemple DB3

Données :
Le diamètre D_o de la canalisation d'entrée = 900 mm = 0.9 m
Débit critique Q_{krit} = 200 l s^{-1} = 0.2 m^{3}s^{-1}
$h_{o,krit}$ = 0.12 m

Calculé au moyen d'une formule simple (équation DB1 & DB13):
$Fr_{o,krit} = Q_{krit} / (g \cdot D_o \cdot h_{o,krit}^4)^{½}$ = 4.67 (écoulement torrentiel stable)
ΔL = 0.56 m

Un modèle simple basé sur la vitesse du flux $v_{o,krit} = (2gh_o)^{½}$ et la surface de sortie $b_{öff} \cdot \Delta L$ (= surface de l'ouverture en radier) donne :

Équation DB14

$$Q_{krit} = C_{da} \cdot b_{öff} \cdot (2gh_{o,krit})^{½} \cdot \Delta L$$

Basé sur l'expérimentation (Hager [374]), le coefficient d'écoulement moyen C_{da} est déterminé par :

Équation DB15

$$C_{da} = 0.61 - 0.1 \beta^{½} y_{o,krit}^{½} (D_o/\Delta L) Fr_{o,krit} ; \beta = b_{öff}/D_o$$

ou par la résolution de la valeur relative β et le nombre de Froude

Équation DB16

$$C_{da} = 0.61 - 0.1 \cdot (b_{öff}/D_o)^{½} \cdot (h_{o,krit}/D_o)^{½} \cdot (D_o/\Delta L) \cdot Q_{krit} / (g \cdot D_o \cdot h_{o,krit}^4)^{½}$$

Oliveto et Hager [51] ont vérifié que pour $0.5 - 0.6 \leq \beta \leq 0.8$, la condition pour l'efficacité de la répartition est toujours satisfaite. Cette géométrie se traduit également par un écoulement de sortie stable et un ouvrage hydraulique simple.

Exemple DB4

Données :
Le diamètre D_o de la canalisation d'entrée = 900 mm = 0.9 m

Pente du canal d'entrée $J_{s,o}$ = 70 ‰

Débit critique en entrée Q_{krit} = 200 l s^{-1} = 0.2 m^3 s^{-1} (dans le dessin également désigné par Q_{an})
$h_{o,krit}$ = 0.12 m
ΔL (calculée avec une formule simple, voir l'exemple DB3)
Fr_o (voir l'exemple DB3)
$\beta = b_{öff}/D_o$ = 0.6

Calculé à l'aide des équations DB15 oder DB16 :
C_{da} = 0.397
$b_{öff}$ = 0.54 m
Q_{krit} = 0.185 m^3 s^{-1}

Avec l'augmentation de la valeur $\beta = b_{öff}/D_o$ de 0.68, la largeur de l'ouverture est de 0.6 m et $Q_{krit} \approx 0.2$ m^3 s^{-1} (le calcul par itération peut s'effectuer p. ex. au moyen d'un tableur). L'ouverture au sol choisie est d'environ 0.6 m × 0.6 m.

5.4.4.3 Calcul hydraulique du Leaping Weir à l'aide de modèles de simulation

Pour le Leaping Weir, l'énoncé du chapitre 5.4.2.2 **Calcul du déversoir latéral dans des modèles de simulation** est applicable par analogie. Comme les programmes de simulation relatifs à ce type de déversement ne peuvent de toute façon que représenter une aide auxiliaire, un calcul pas à pas à l'aide des moyens accessoires appropriés ainsi que de feuilles de calcul est certainement nécessaire. Dans les modèles de simulation l'utilisation d'une fonction de déversoir de type Q = f(h) peut être utilisée.

5.4.5 Canalisation d'évacuation des eaux

5.4.5.1 Canalisation d'évacuation du déversoir latéral (selon DWA-A 111 [252])

L'eau déversée est généralement collectée dans une chambre après son passage par le déversoir. A partir de ce point, elle entre par la suite dans la canalisation d'évacuation vers le milieu récepteur. Le niveau d'eau dans cette chambre permet d'évaluer si le déversoir à lame déversante dispose d'un écoulement noyé ou dénoyé.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Une lame déversante imparfaite, noyée, augmente le niveau d'eau en amont du déversoir et doit être prise en compte dans le calcul de l'ouvrage de déversement. En effet, la hauteur admissible du refoulement est souvent limitée dans la canalisation d'évacuation.

Par le fait que les pertes de charge en entrée jouent un rôle majeur dans la canalisation d'évacuation et dans la charge dynamique en ce lieu, il ne suffit pas de négliger celles-ci et d'accepter que le niveau d'eau dans la chambre collectrice soit égale à la hauteur du remplissage partiel de la première section de la canalisation d'évacuation. En réalité, le courant présente un aspect tridimensionnel dans la chambre collectrice. On peut cependant admettre une approximation en considérant une vitesse nulle dans la chambre de déversement et considérer les pertes hydrauliques qui s'y produisent comme une perte d'entrée dans la canalisation pour le calcul.

Un calcul de la canalisation d'évacuation peut être effectué à partir d'une valeur de débit constante, il faut cependant prendre en compte des effets tels que les courants spécifiques, les jaillissements et la présence de ressauts hydrauliques ainsi qu'un refoulement possible des eaux. Les influences des ouvrages dans la canalisation d'évacuation telles que des grilles ou des clapets anti-refoulement doivent être prises en compte séparément.

Le niveau d'eau h_o avant l'entrée de la canalisation d'évacuation est le paramètre recherché.

Le point de départ pour les calculs hydrauliques est fixé par le dimensionnement du déversoir $Q_{ü}$, le type d'écoulement (nombre de Froude Fr) et le niveau de l'eau h dans la canalisation d'évacuation. En fonction des pertes de charge en entrée de la canalisation d'évacuation, le niveau d'eau de la chambre de déversement h_o est calculé.

Immédiatement après la sortie de la chambre de déversement, le débit entrant dans la canalisation d'évacuation doit permettre un remplissage partiel de celle-ci.

Cas n° 1 :
Lors **d'un écoulement fluvial** dans le canal d'évacuation, le niveau d'eau ho dans la chambre de déversement est calculé comme suit :

$$h_o = h_{NA} + (1+\xi_E)\, v_{NA}^2 / 2g$$

Équation DB17

h_o = niveau d'eau dans la chambre de déversement
h_{NA} = niveau d'eau lors d'un écoulement normal dans la canalisation d'évacuation
ξ_E = perte de charge en entrée dans la canalisation d'évacuation (0.45 selon DWA 111 [252])
v_{NA} = vitesse moyenne lors d'un débit normal dans la canalisation d'évacuation

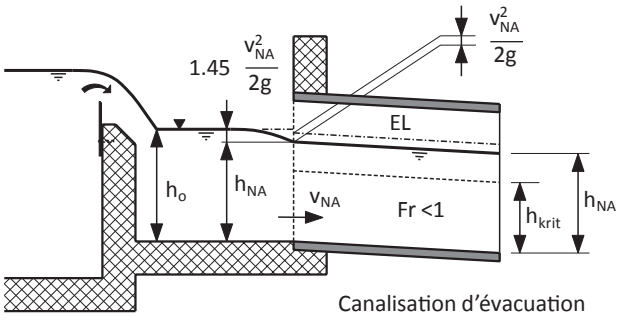


Figure DB12
Paramètres hydrauliques servant au dimensionnement de la canalisation d'évacuation lors d'un écoulement fluvial (cas n° 1). La profondeur du débit normal est ici supérieure à la profondeur critique $h_{NA} > h_{krit}$. Elle est appliquée à l'entrée de la canalisation. À cela s'ajoutent les pertes de charge en entrée.

Cas n° 2 :
Lors d'un état **d'écoulement torrentiel** dans la canalisation d'évacuation, le débit normal varie en fonction de la transition de l'écoulement de fluvial à torrentiel dans la partie inférieure du canal d'évacuation. Le niveau d'eau h_o dans la chambre de déversement est calculé comme suit :

$$h_o = h_{krit} + (1+\xi_E)\, v_{krit}^2 / 2g$$

Équation DB18

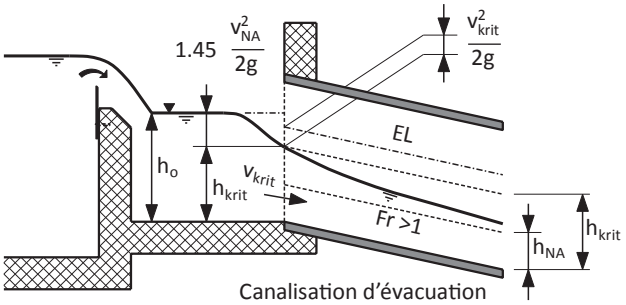
h_o = niveau d'eau dans la chambre de déversement
h_{krit} = profondeur critique pour le débit de dimensionnement et la géométrie de la canalisation
ξ_E = perte de charge en entrée dans la canalisation d'évacuation (0.45 selon DWA 111 [252])
v_{krit} = vitesse d'écoulement moyenne pour l'état critique lors du débit de dimensionnement dans le canal d'évacuation

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

L'écoulement normal est torrentiel ($H_{NA} < h_{krit}$). Par approximation on peut considérer dans ce cas la profondeur critique h_{krit} à l'entrée de la canalisation. Les pertes de charges se calculent de la même manière que dans le cas 1.

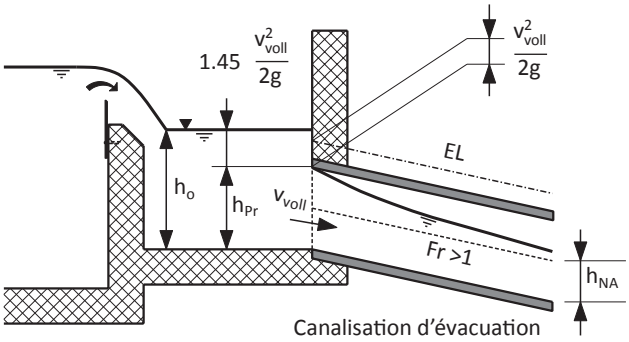
D'autres situations hydrauliques peuvent encore se produire, comme p. ex. une mise en charge de la canalisation d'évacuation dans le cas d'une lame déversante noyée. Ces situations sont à éviter dans la pratique. Si nécessaire, cette situation doit être réglée individuellement.

Figure DB13
Paramètres hydrauliques pour le dimensionnement de la canalisation d'évacuation lors d'un état d'écoulement torrentiel (cas n° 2).



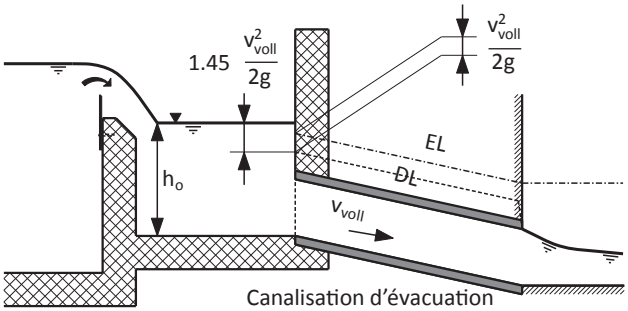
Cas n° 3 :
Lors d'une **canalisation d'évacuation en charg**e avec forte déclivité, la profondeur critique est instable (h_{krit} est juste un peu inférieure à la hauteur du profil h_{Pr}) et la canalisation se met en charge. À l'entrée de la canalisation, la ligne de pression est placée à hauteur du pic.

Figure DB14
Paramètres hydrauliques pour le dimensionnement de la canalisation d'évacuation avec forte déclivité (cas n° 3)



Cas n° 4 :
Lors d'une **canalisation d'évacuation en charge déterminée par le calcul,** la ligne de charge à l'entrée de la canalisation d'évacuation dépend des conditions initiales en sortie de canalisation (sortie à nappe libre, ligne de charge DL au niveau du sommet de la conduite).

Figure DB15
Paramètres hydrauliques pour le dimensionnement lors d'une conduite d'évacuation en charge (cas n° 4).



5.4.5.2 Canalisation d'évacuation du Leaping Weir

L'eau déversée accède généralement après son passage au dessus de l'ouverture en radier directement dans la canalisation d'évacuation vers le cours d'eau ou le lac. Dans la zone de l'ouvrage d'évacuation, la canalisation d'évacuation doit présenter les mêmes conditions géométriques (largeur nominale, pente) que la canalisation d'arrivée. De cette façon, il peut être exclu que des perturbations hydraulique provenant de l'eau s'écoulant sous le radier se répercutent sur l'ouverture au niveau du radier.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Pour du calcul de la canalisation d'évacuation, on peut admettre l'hypothèse que le débit de dimensionnement est constant. Cependant, des effets tels que des turbulences, des rejaillissements, l'apparition de ressauts hydrauliques, ainsi qu'un refoulement possible du milieu récepteur doivent être pris en compte.

Les effets d'équipements dans la canalisation d'évacuation, tels que des grilles ou des clapets anti-refoulement doivent être pris en compte séparément. Le niveau d'eau h_o avant l'entrée de la canalisation de déversement est le paramètre recherché.

Le point de départ pour les calculs hydrauliques est donné par le débit de déversement dimensionné $Q_ü$, le type d'écoulement (nombre de Froude Fr_o) et le niveau d'eau h dans la canalisation d'évacuation. La perte de charge en entrée du canal d'évacuation peut être négligée.

Immédiatement après la sortie de la chambre de déversement, le débit entrant dans la canalisation d'évacuation doit permettre un remplissage partiel de celle-ci. Lors d'état d'écoulement fluvial ou torrentiel dans la canalisation d'évacuation, voir les remarques au chapitre 5.4.1, équation DB17 et suivantes.

5.5 Résumé des paramètres hydrauliques clés pour les déversoirs et canaux d'évacuation

Tableau DB4
Paramètres hydrauliques pour différents types de déversoirs d'orage et canaux d'évacuation avec des informations sur les paramètres clés et les valeurs cibles.

Type de DO	Composants de l'ouvrage	Critères à considerer	Paramètres clés	Valeurs cibles	Remarque
Déversoir latéral chap. 5.4.2	Zone d'entrée longueur : 20 à 30 · D_o	Niveau d'eau, h_{max}	$Q_{RW,max}$	$h_{max} < 0.85 \cdot D$ (à viser selon les possibilités)	Gujer W. [365]
		Débit tranquilisé, peu de turbulences	$Q_{RW,max}$	$Fr_o < 0.75$	Équation DB1
		Vitesse d'écoulement moyenne	$Q_{TW,24}$	v_m	Équation DB2
		Vitesse d'écoulement minimale	$Q_{TW,24}$	v_{min}	Équation DB3
	Zone de la lame déversante	Hauteur du déversoir	$Q_{RW,max}$	$w_o = 0.6 - 0.8 \cdot D_o$	Hager [373], voir aussi chap. 5.4.2.1
		Différence de hauteur du fond		$\Delta s = 3 - 5$ cm	Recommandation
		Vitesse d'écoulement moyenne	$Q_{TW,24}$	v_m	Équation DB2
		Vitesse d'écoulement minimale	$Q_{TW,24}$	v_{min}	Équation DB3
		Hauteur maximale de la lame déversante	$Q_{RW,max} - Q_d$	$h_{ü,max}$	Recommandation
		Lame déversante dénoyée	$Q_{RW,max} - Q_d$	$h'/h_{ü,max} = 0$	Définition h' voir chap 4.2.2
		Lame déversante noyée	$Q_{RW,max} - Q_d$	$h'/h_{ü,max} > 0$	Définition h' voir chap. 4.2.2
		Charge spécifique du seuil de déversement	$q_ü$	$\leq 300\ l\,s^{-1}\,m^{-1}$ $\leq 700\ l\,s^{-1}\,m^{-1}$ en cas de seuil au-dessus du sommet de la canalisation	DWA-A 166 [256] recommandation) voir chap. 5.4.2.1
	Zone de contrôle du débit	Ecart admissible par rapport à Q_{an}	$Q_{d,ist} - Q_d$	≤ 10 %	DWA-A 166 [256]
		Débit minimal	$Q_{d,min}$	$Q_{d,min} = 25\ l\,s^{-1}$	Systèmes tourbillonnaires et appareils de commande DWA-A 166 [256]

Suite Tableau DB4 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau DB4

Type de DO	Composants de l'ouvrage	Critères à considerer	Paramètres clés	Valeurs cibles	Remarque
Déversoir latéral (suite)	Zone de contrôle du débit (suite)	Débit minimal	$Q_{d,min}$	$Q_{d,min} = 10\ l\,s^{-1}$	Pompes et organes de réglage DWA-A 166 [256]
		Diamètre nominal minimal	$D_{d,min}$	$D_{d,min}$ = 300 mm	Vanne de limitation DWA-A 166 [256]
		Refoulement dans la zone de la lame déversante	$1.2 \cdot Q_{TW}$	pas de refoulement	DWA-A 166 [256]
		Aucun refoulement dans la canalisation en amont à Q_{TW}			
Leaping Weir chap. 5.4.4	Zone d'entrée, longueur : 20 à 30 · D_o	Écoulement normal, surface libre, h_{max}	$Q_{RW,max}$	$h_{max} < 0.85 \cdot D$	Gujer W. [356]
		Débit d'apport torrentiel stable	$Q_{RW,max}$	$Fr_o > 1.5$	Équation DB1
		Vitesse d'écoulement moyenne	$Q_{TW,\,24}$	v_m	Équation DB2
		Vitesse d'écoulement minimale	$Q_{TW,\,24}$	v_{min}	Équation DB3
	Zone de la lame déversante	Condition pour la force de cisaillement	$Q_{RW,max}$	$\beta = b_{öff} / D_o = 0.5 - 0.6$	Oliveto et Hager [376]
Canalisation de sortie		Vitesse d'écoulement moyenne	$Q_{TW,\,24}$	v_m	Équation DB2
		Vitesse d'écoulement minimale	$Q_{TW,\,24}$	v_{min}	Équation DB3
		Diamètre nominale minimal		MS : DN 300	DWA-A 166 [256]
		Capacité	$1.5 \cdot Q_d$	$1.5 \cdot Q_d < Q_{voll}$	DWA-A 166 [256]
		Ligne de pression	Q_d	Limitation du débit sans refoulement par le débit aval	DWA-A 166 [256]
Canalisation d'évacuation après le déversoir latéral chap. 5.4.5.1	Chambre d'évacuation	Surface de l'eau	$Q_{RW,max} - Q_d$	$h'/h_{ü,max} = 0$ (valable pour une lame déversante dénoyée)	Si $h'/h_{ü,max} > 0$ év. nouveau calcul de la longueur du seuil de la lame déversante
	Conduite d'évacuation	Ligne d'énergie	$Q_{RW,max} - Q_d$	Ecoulement à surface libre (doit être visé)	aucun refoulement des eaux lors de HQ_x
Canalisation d'évacuation après le Leaping Weir chap. 5.4.5.2	Conduite d'évacuation	Diamètre, pente	$Q_{RW,max} - Q_d$	Ecoulement à surface libre (doit être visé)	aucun refoulement des eaux lors de HQ_x

5.6 Proposition de procédé pour la vérification du dimensionnement des installations existantes

Dans le cadre du plan général d'évacuation des eaux PGEE, l'ensemble des ouvrages de déversement et de répartition doit en règle générale être vérifié par calcul. Ce travail constitue une base pour les détails hydrauliques, les calculs du concept d'évacuation des eaux et permet de documenter les ouvrages spéciaux de manière détaillée.

La plupart des déversoirs d'orage construits dans le passé ne répondent pas aux exigences hydrauliques actuelles. En conséquence, il existe, au moins théoriquement, un besoin d'adaptation et de réhabilitation

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

considérable. Toutefois, la plupart des installations d'évacuation fonctionnent «d'une manière ou d'une autre» bien qu'elles aient été planifiées et construites de manière insatisfaisante. Si aucune contamination du milieu récepteur ou de perturbation fonctionnelle significative n'est identifiée, on procédera à l'évaluation selon l'exemple DB5.

La vérification des exigences de protection des eaux selon le module STORM est également souvent associée à de grandes incertitudes. Les expériences indiquent que malgré l'utilisation de modèles de calcul détaillés le fonctionnement réel des installations d'évacuation des eaux n'est souvent pas appréhendé correctement. Les raisons de cette réalité reposent aussi bien sur des données de base inexactes ou incorrectes (p. ex. surfaces connectées, coefficients de ruissellement, eaux claires parasites) que sur les calculs hydrauliques et sur les processus eux-mêmes. Citons par exemple l'estimation des débits acheminés vers une STEP où généralement des restrictions hydrauliques à ouverture fixe sont utilisées, qui ne correspondent pas au fonctionnement réel d'un déversoir d'orage.

Exemple DB5

Étapes de travail pour la vérification du calcul

- Vérifier que le type d'installation de déversement en place DL (déversoir latéral) ou LW (Leaping Weir) corresponde au régime d'écoulement fluvial ou torrentiel souhaité
- Si non, passer au cas B

Cas A : si oui = Installation d'évacuation «hydrauliquement régulière»	**Cas B : si non** = Type d'installation d'évacuation diffère des exigences hydrauliques de base
• **Vérifier les conditions d'évacuation :** – Sortie en nappe libre, aucune entrave → pas de contrôle supplémentaire – Déversement dans un cours d'eau ou un lac → prise en compte du refoulement nécessaire ? – Déversoir latéral – canal collecteur : vérifier la performance / les conditions hydrauliques en lien avec la canalisation d'évacuation – Déversoir latéral – hauteur de seuil du déversoir : lors d'une hauteur de seuil insuffisante, étudier des mesures correctives (accroissement du seuil à min. $0.5 - 0.6 \cdot D_o$, contrôle des effets sur la canalisation en amont) • **Vérifier les conditions d'acheminement :** – Capacité de la canalisation d'évacuation / ligne de charge – Eventuelle mise en charge / refoulement par les conditions en aval – Établir la courbe caractéristique du dispositif de limitation des débits – Déterminer la capacité de passage de l'ouverture en radier pour LW – Contrôle du risque d'obstruction du limiteur de débit DL / ouverture en radier LW • **Vérifier les conditions de débit :** – Capacité / conditions d'écoulement dans la canalisation d'entrée – Examiner les éventuels facteurs de perturbation possibles (jonction, modification de direction / pente) – En cas de besoin, calcul de la courbe de remous dans la canalisation d'entrée – Contrôle des risques de refoulement pour les raccordements situés en amont • **Vérifier les conditions d'écoulement lors de DL :** – Problèmes de sédimentation à la suite de refoulements en raison d'une pente insuffisante.	• **Vérification générale du fonctionnement de l'installation :** – Importance locale de l'installation et importance pour le système dans son ensemble – Impact relatif à la sécurité du système • **Le fonctionnement du système peut-il être évalué d'un point de vue hydraulique ?** – avec des limites oui → passer au cas A – décision concernant des mesures de transformation / remplacement, en fonction de l'importance de l'installation.

Le contrôle du fonctionnement d'un déversoir d'orage est principalement conditionné par une connaissance fiable des processus hydrologiques et hydrauliques. Ainsi, les contrôles détaillés nécessaires doivent être effectués (selon l'importance de l'installation) avant l'identification des besoins. Ces contrôles doivent être complétés par des calculs hydrologiques-hydrauliques pour l'état réel et non pas (comme c'est souvent le cas) pour la planification future, sans possibilité de validation des calculs.

Cette situation démontre la problématique du contrôle de l'identification des besoins et les erreurs pouvant se produire. Ces erreurs peuvent influencer le choix d'un investissement éventuel très coûteux.

Cependant, si un besoin d'adaptation ou de remplacement d'une installation d'évacuation devait s'avérer nécessaire, le renouvellement de l'installation devrait être mis en place sur la base de cette directive.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

6 BASSIN D'EAUX PLUVIALES (BEP)

6.1 Vue d'ensemble

Le bassin d'eaux pluviales (BEP) est un terme générique désignant les installations en assainissement urbain destinées au stockage et/ou au traitement des eaux de ruissellement des zones urbaines.

En tenant compte de la fonction et de la méthode de construction, une distinction est faite entre :

- Systèmes de stockage pour le délestage hydraulique d'un système d'assainissement :
  - Bassin de rétention des eaux pluviales (BdR)
  - Canaux de rétention des eaux pluviales (CdR)
- Installations de stockage et de traitement pour réduire la pollution de l'eau par temps de pluie :
  - Bassin d'orage dans un système unitaire (BdO)
  - Bassin de clarification dans un système séparatif (BdC)

Les bassins d'orage dans un système unitaire peuvent être divisés selon leur fonction en :

- Bassin de stockage (BdS) et canal de stockage (CdS) → Stockage.
- Bassin de décantation (BdD) et canal d'accumulation (CdA) → Traitement des eaux unitaires par sédimentation des substances décantables et rétention des matières flottantes ainsi que stockage partiel des eaux unitaires.
- Bassin combiné (BC) → Combinaison des installations ci-dessus avec le stockage de la première partie du volume des eaux unitaires dans la section de rétention et avec stockage partiel des eaux usées unitaires restantes dans la section de clarification.

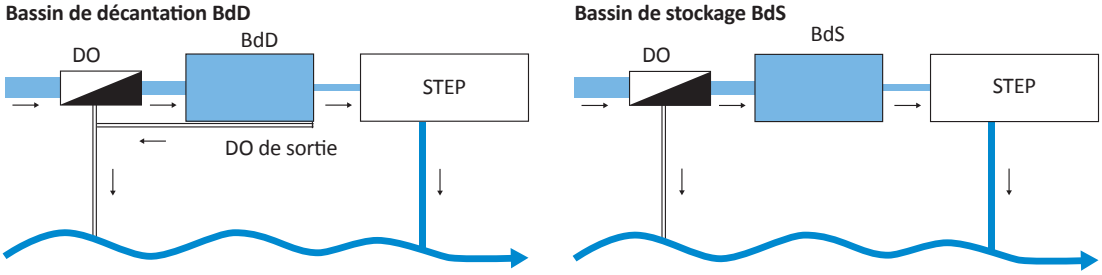
6.2 Disposition des bassins d'eaux pluviales dans le réseau d'assainissement

Jusqu'à présent, les bassins d'eaux pluviales ont été raccordés directement au réseau principal (en série, on-line) ou en dérivation (en parallèle, off-line).

6.2.1 Raccordement direct (en série, on-line)

La définition la plus courante de la disposition des bassins raccordés directement sur le réseau est formulée ainsi : «Lors d'un raccordement en série, le débit acheminé vers la STEP est dirigé vers le bassin.» Cette définition est encore précisée dans la feuille de travail DWA-A 166 [256] : «Le raccordement en série correspond à une disposition dans laquelle le bassin d'eaux pluviales et le système d'évacuation sont hydrauliquement couplés, la chambre de rétention du bassin est remplie ou vidée simultanément avec la canalisation d'évacuation.»

Figure DB16
Disposition des bassins d'eaux pluviales en série [377].



Vidange par gravité, écoulement en direction de la STEP à travers le BdD.

Vidange par gravité, écoulement en direction de la STEP par le BdS.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

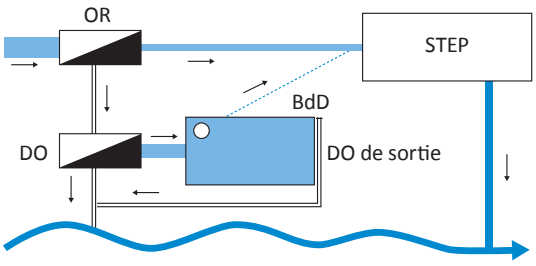
Ce fait joue un rôle particulièrement important dans les systèmes d'évacuation complexes et rend notamment la gestion du réseau d'évacuation plus difficile. Un autre inconvénient de cet agencement réside dans des accidents avec des liquides présentant un risque pour les eaux (pas de rétention temporaire possible).

Il est recommandé de disposer les bassins d'eaux pluviales en parallèle. Font exception à cette règle les canaux de stockage, les canaux d'accumulation, les bassins de rétention, les canaux de rétention et les bassins de clarification.

6.2.2 Raccordement en parallèle, off-line

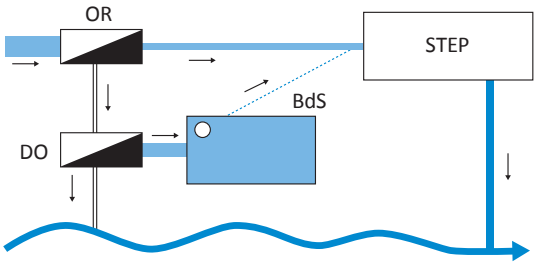
Le raccordement en parallèle est défini comme étant un agencement dans lequel la chambre de rétention du bassin d'eaux pluviales et le réseau d'évacuation sont découplés hydrauliquement, aussi bien lors du remplissage que de la vidange [377]. Le remplissage du bassin s'effectue par l'intermédiaire d'un seuil plus élevé dans un ouvrage de répartition, la vidange s'effectue soit par pompage, soit par un orifice régulé. Cette disposition est impérative pour la gestion du réseau de canalisation dans les systèmes d'évacuation plus complexes ainsi que pour le stockage temporaire des liquides présentant un risque pour les eaux (p. ex. lors accidents de la route et des chemins de fer).

Bassins de décantation



Vidange par pompe, écoulement séparé en direction de la STEP.

Bassin de stockage



Vidange par pompe, écoulement séparé en direction de la STEP.

Figure DB17
Disposition des bassins d'eaux pluviales raccordés en parallèle [377].

6.3 Bases pour la réalisation des bassins d'eaux pluviales

Lors de la réalisation d'un bassin, les conditions d'entretien (vue d'ensemble, contrôle et espace de travail) ainsi que les coûts d'investissement et l'emplacement (utilisation du terrain, aspects esthétiques, accessibilité, etc.) jouent un rôle essentiel.

Dans les installations de rétention pures, les aspects hydrauliques (conditions d'écoulement dans l'installation) sont d'une importance moindre. Ceci permet une plus grande liberté dans la réalisation de ces installations.

Pour les installations de traitement avec processus de sédimentation, les aspects hydrauliques jouent au contraire un rôle central dans l'efficacité de l'installation. Cette condition initiale réduit le degré de liberté lors du dimensionnement et de la construction de ces installations et de leurs composants.

La construction en surface est généralement moins chère. Elle permet une meilleure vue d'ensemble du fonctionnement des installations et, dans certains cas, peut également participer à une valorisation paysagère (p. ex. avec des parties de l'installation remplies en permanence d'eaux pluviales). Cet effet peut être fortement perturbé par des déchets jetés délibérément ainsi que par l'eutrophisation. Un besoin en surface plus important et des émissions d'odeurs peuvent constituer un autre inconvénient.

La construction souterraine est particulièrement avantageuse dans les zones urbaines, voir même la seule option. Elle exige généralement une plus petite surface et permet également une utilisation complémentaire du terrain (espace vert, parking, route, etc.).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Pour des raisons de coût, les canaux de rétention, les canaux de stockage et d'accumulation sont uniquement adaptés pour des volumes de stockage plus petits. Cependant, il n'est pas exclu que les installations existantes (les galeries par exemples) soient utilisées comme espace de stockage efficace pour la rétention temporaire.

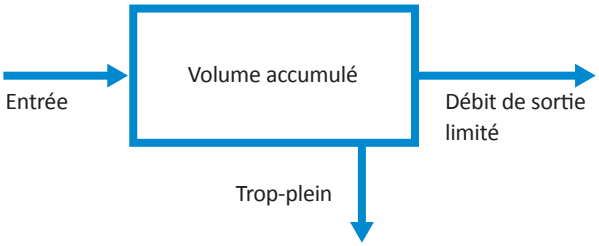
D'autres indications concernant les différents types de bassins d'eaux pluviales sont mentionnées dans les chapitres spécifiques suivants.

6.4 Bassin de rétention (BdR) et canal de rétention (CdR)

6.4.1 Schéma du système et fonction

La figure suivante représente le schéma du système d'un bassin de rétention.

Figure DB18
Esquisse d'un bassin de rétention (BdR) en série.



Les bassins de rétention (BdR) et les canaux de rétention des eaux pluviales (CdR) sont utilisés pour le stockage temporaire des débits de pointe par temps de pluie. Par ce fait, on favorise principalement les déversements hydrauliques des installations sous-jacentes dans la canalisation et éventuellement dans les petits cours d'eau.

Les BdR et CdR peuvent être aménagés à la fois dans le système unitaire et dans le système séparatif. Les BdR sont habituellement aménagés en série (on-line) et équipés uniquement d'un ouvrage de limitation des débits et d'un trop-plein de sécurité. Une vidange gravitaire doit être favorisée. Le nettoyage des bassins peut être effectué sous certaines conditions hydrauliques (pente et débits adéquats) sans l'aide d'équipement mécanique. Cependant, la perte de charge par temps sec est beaucoup plus grande que lors d'un aménagement éventuel avec raccordement en parallèle.

Les BdR ouverts en surface (uniquement dans le système séparatif ou pour l'évacuation des eaux de chaussées) peuvent également être exploités avec un plan d'eau permanent. La zone riveraine située sur la zone d'accumulation peut également être végétalisée (p. ex. ceinture de roseaux).

6.4.2 Dimensionnement

Le débit provenant du bassin versant amont et la détermination du débit de sortie constituent les bases permettant de déterminer le volume de rétention nécessaire. Deux méthodes sont principalement utilisées pour cette détermination :

6.4.2.1 Méthode simple

Le dimensionnement au moyen de la méthode simple est basé sur des données pluviométriques statistiques et est valable pour les petites installations et les bassins versants à structure simple. Le principe du dimensionnement repose sur la détermination de la différence maximale entre les débits d'apport et d'évacuation. Pour simplifier, on suppose que la périodicité de la courbe d'intensité pluviométrique utilisée corresponde également à la périodicité des débits calculés.

Pour d'autres conditions, publications et détails, voir également les éventuelles directives d'exécution ou recommandations cantonales.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Les conditions d'application de la méthode simple sont les suivantes :

- Pour la détermination de la surface contributive, le coefficient de ruissellement global (rapport entre le volume de ruissellement et le volume de précipitations) sera utilisé.
- La surface maximale connectée ne doit pas dépasser 2 ha_{eff}.
- Le temps maximal d'écoulement jusqu'à l'installation ne doit pas dépasser 15 minutes.
- Le débit par temps sec (eaux résiduaires et eaux claires parasites) dans les systèmes unitaires est calculé à partir du débit annuel moyen.
- Compte tenu des incertitudes liées à cette méthode de dimensionnement, on renoncera à prendre en compte d'autres facteurs hydrologiques (p. ex. répartition spatiale de la pluie, état du bassin au début des précipitations, etc.).

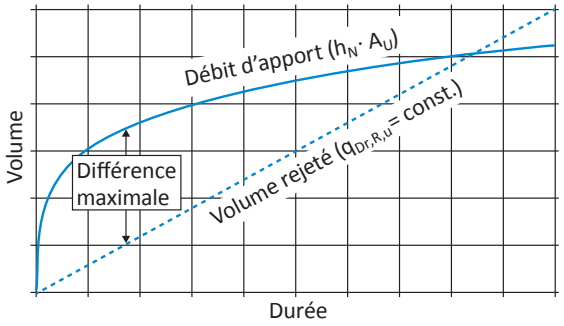


Figure DB19
Le schéma de principe pour la détermination du volume de rétention par la méthode simple. Cette méthode est décrite dans la directive DWA-A 117 [253] et dans le manuel d'enseignement de W. Gujer, Gestion des eaux urbaines [365].

6.4.2.2 Simulation à long terme

Lors du dimensionnement du BdR et du CdR au moyen d'une simulation à long terme et de séries pluviométriques historiques, l'enchainement des événements pluviaux et la superposition possible des processus de remplissages et de vidanges peuvent être calculés mathématiquement. La rétention et le refoulement dans le système d'évacuation des eaux peuvent être saisis d'une façon plus réaliste par l'utilisation de modèles hydrodynamiques. Des simulations basées sur des séries temporelles de longue durée peuvent ainsi être utilisées. Ce procédé est appliqué principalement dans les grandes installations, les bassins versants complexes et à faible pente.

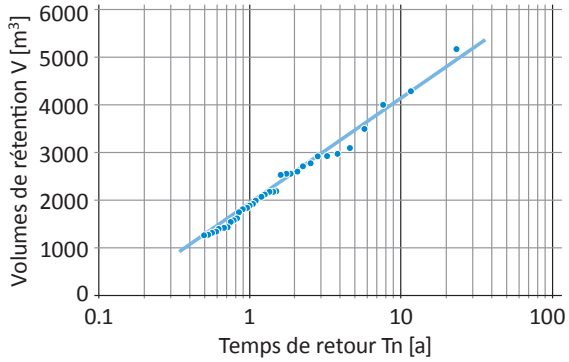


Figure DB20
Exemple de détermination de la périodicité estimée (période de retour T_n) d'une grandeur caractéristique examinée (dans ce cas volume de rétention) résultant d'une simulation à long terme. Les points de la figure montrent les résultats de la simulation (= les valeurs de rétention nécessaire pour les événements particuliers et leur périodicité dans la période de simulation). La ligne représente la durée probable basée sur la fonction de distribution admise. (selon DWA-A 117 [253]).

Les conditions initiales pour l'application de la méthode de simulation à long terme sont :

- Les modèles de simulation doivent être validés, les programmes de calcul calibrés et vérifiés. Pour cette raison, des données locales (données de pluie, mesures de débit) s'avèrent nécessaires.
- Les séries pluviométriques provenant de données historiques ne peuvent pas être inférieures à la périodicité pour laquelle un but est formulé et en principe ne devrait pas être inférieures à 10 ans. Pour la série pluviométrique, une période 2 à 3 fois plus longue que la périodicité tolérable de défaillance du système doit être recherchée.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

- La résolution temporelle des données pluviométriques devrait être ≤10 minutes (recommandation : 5 à 10 minutes).

- Les résultats de la simulation à long terme sont généralement présentés sous forme d'un classement d'événements particuliers. La périodicité correspondant à la longueur de la série pluviale est assignée à la valeur la plus haute de ce classement. Cette valeur peut cependant s'écarter de la périodicité réelle. Si c'est le cas et dans des cas justifiés, une évaluation statistique complémentaire doit être effectuée. Divers processus hydrologiques (fonctions de distribution) sont disponibles pour cette évaluation.

- Le débit par temps sec (eaux résiduaires et eaux claires parasites) doit être modélisé de façon réaliste.

La détermination de la limitation nécessaire du débit se base sur la capacité hydraulique du système d'évacuation situé en aval (= la réduction du débit du BdR ou du CdR).

6.4.3 Conception (exemple)

La marge de manœuvre dans la conception des installations d'accumulation est relativement importante et dépend essentiellement des conditions du site. Les aspects hydrauliques (l'écoulement dans le bassin) jouent un rôle plutôt mineur. En plus de la limitation hydraulique, l'installation doit également être équipée d'un trop-plein de secours. Les détails doivent être tirés de projets similaires et / ou de la littérature.

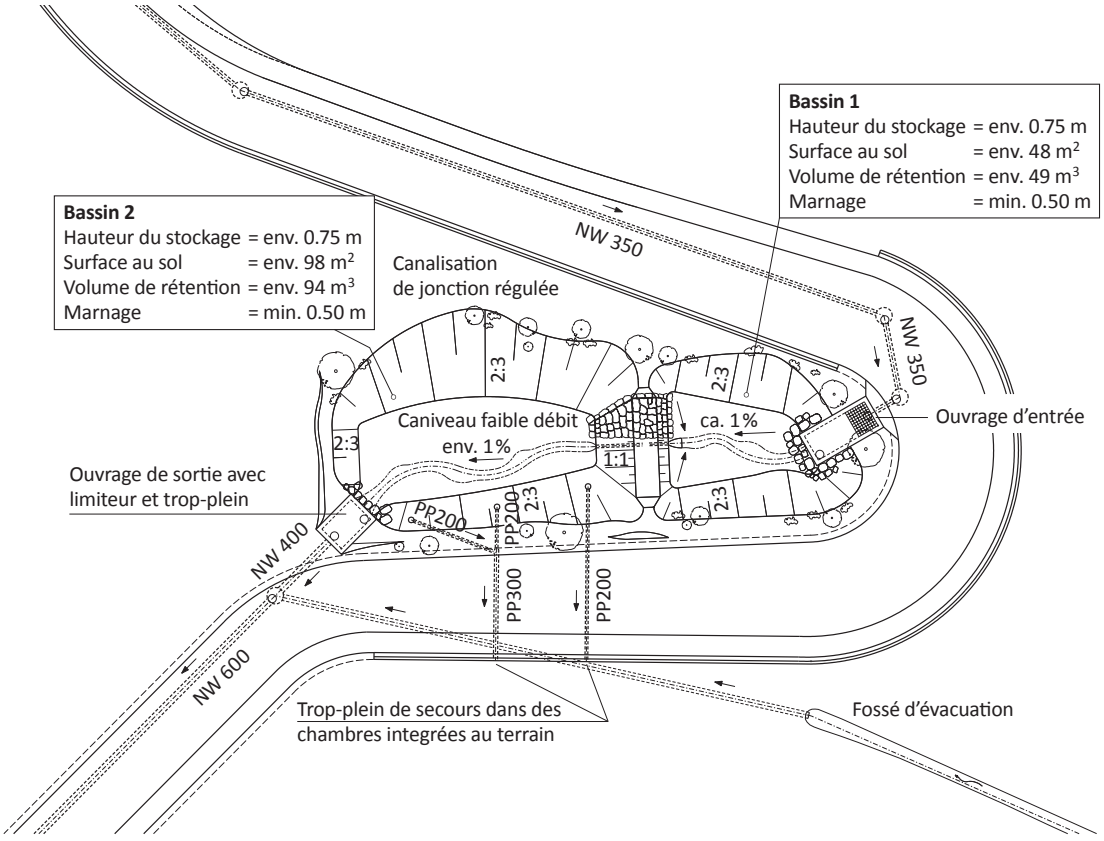


Figure DB21
Exemple d'une nouvelle construction de BdR dans la commune de Wangen SZ [378].

6.5 Bassin d'orage (BdO)

Les bassins d'orage (BdO) dans le système unitaire sont principalement utilisés pour la protection des milieux récepteurs par temps de pluie. De telles installations peuvent également avoir une grande importance en cas d'avaries.

Remarque : La pratique antérieure consistait à aménager les bassins aussi bien en série qu'en parallèle. Mais la pratique a démontré que l'agencement des bassins en série présentait de graves faiblesses

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

conceptuelles. De tels bassins ne peuvent d'une part pas être gérés ou uniquement avec des restrictions et d'autre part, ils ne peuvent pas être utilisés comme volume de rétention en cas d'avaries. Les bassins en parallèle présentent en revanche des avantages évidents. Comme il n'existe aucune raison de poursuivre la mise en place de bassins en série, on renoncera à cette solution.

6.5.1 Bassin de stockage (BdS) et canal de stockage (CdS)

6.5.1.1 Schéma du système et fonction

Les BdO en tant que bassins de stockage (BdS) ou en tant que canaux de stockage (CdS) ont exclusivement une fonction de stockage des eaux unitaires. Dès que le débit d'apport des eaux unitaires dépasse la capacité de stockage du BdS ou du CdS, un déversement des eaux unitaires non traitées se produit dans le milieu récepteur. La détermination du volume de stockage nécessaire s'effectue dans le cadre de la planification conceptuelle selon le module STORM. Comme il s'agit d'un stockage pur, les conditions hydrauliques jouent un rôle mineur dans le BdS. L'auteur du projet dispose donc d'un degré de liberté élevé lors de la conception de l'ouvrage.

Les bassins de stockage doivent toujours être disposés en parallèle. Les canaux de rétention peuvent être disposés en série ou en parallèle.

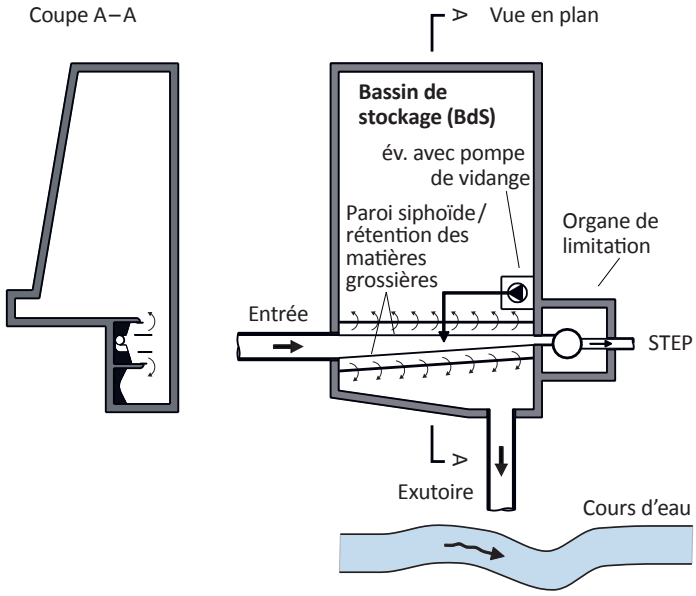


Figure DB22
Représentation schématique d'un bassin de stockage en raccordement parallèle.

Lors d'une disposition en série, aucun apport important d'eaux unitaires ne peut avoir lieu entre le dispositif de limitation du débit et le déversoir des eaux unitaires, afin d'empêcher un reflux des eaux unitaires vers déversoir. Pour les canaux de stockage en raccordement parallèle, une attention particulière doit

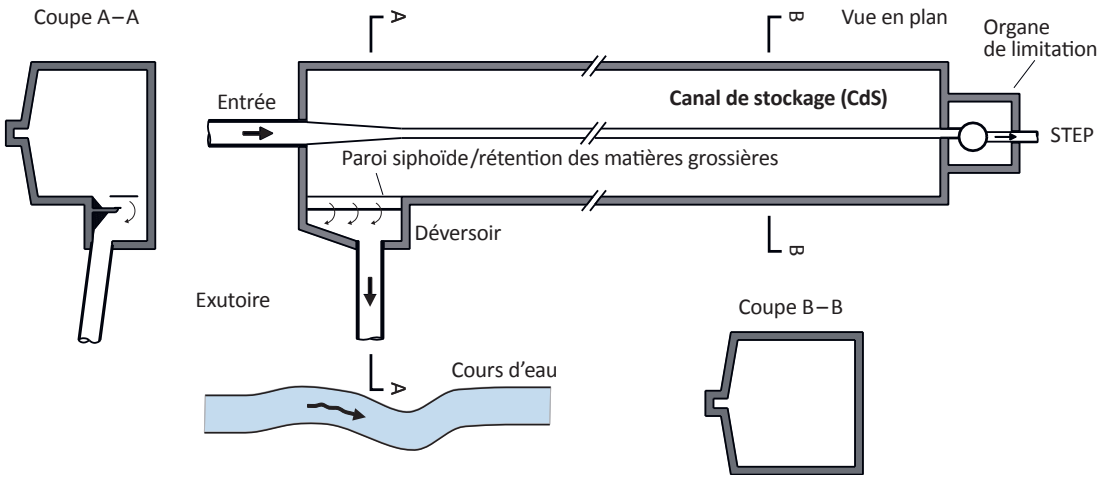


Figure DB23
Représentation schématique d'un canal de stockage avec déversement en amont, raccordement en série.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

être portée au nettoyage. Les canaux de stockage doivent être accessibles et la distance séparant les regards ne doit pas être trop grande (<80–100 m).

En principe, les bassins de stockage ne doivent pas être placés en aval de bassins de décantation et de bassins combinés.

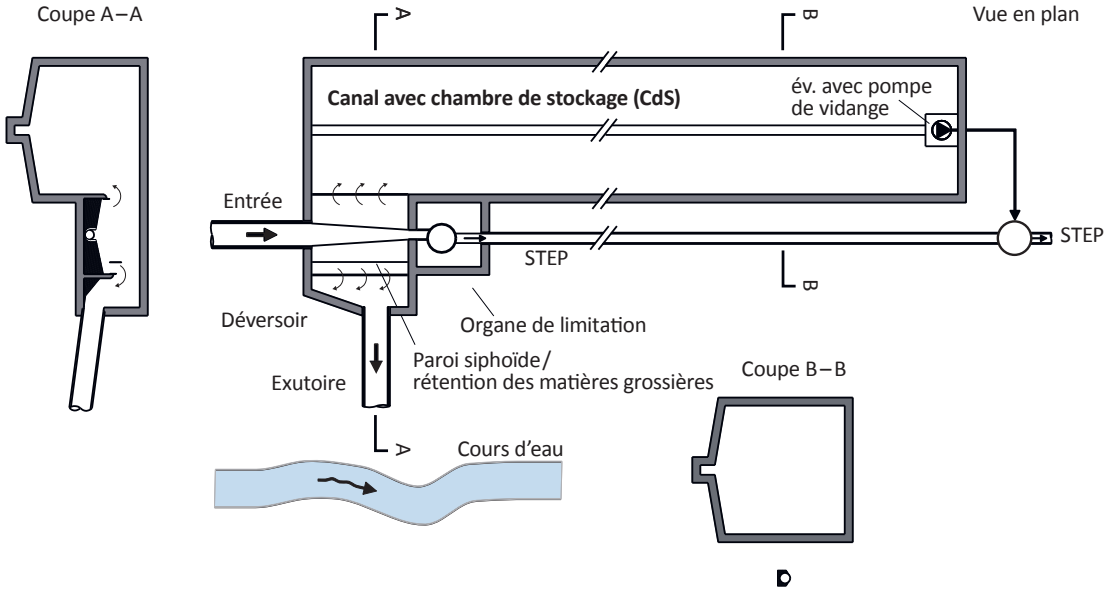


Figure DB24
Représentation schématique d'un canal de stockage avec déversement en amont, raccordement parallèle.

6.5.1.2 Dimensionnement

La fonction d'un bassin de stockage consiste à stocker un volume d'eaux unitaires particulièrement polluées provenant des égouts et qui sera ensuite épuré à la STEP. Cet apport d'eaux unitaires particulièrement pollué se produit souvent dans la première phase de ruissellement des eaux pluviales, par effet de lessivage.

L'une des définitions parmi les plus connues de ce phénomène se base sur la représentation adimensionnelle de la masse polluante cumulée par rapport au volume de ruissellement cumulé d'un événement pluvial (p. ex. Gujer [365]). Cette représentation est dénommée relation masse-volume dans la littérature spécialisée (relation M-V ou pollutogramme M-V). Elle est établie sur la base des données de concentration et de débit à partir desquelles le flux pollutif est déterminé.

Lorsque le pollutogramme M-V (somme résultante) est situé au-dessus de la bissectrice (diagonale), on parle d'effet de lessivage. Plus l'effet de lessivage est prononcé, c.-à.-d. plus la part de contamination au début d'un épisode pluvial est importante par rapport à la masse totale, plus le graphe s'écarte fortement de la bissectrice.

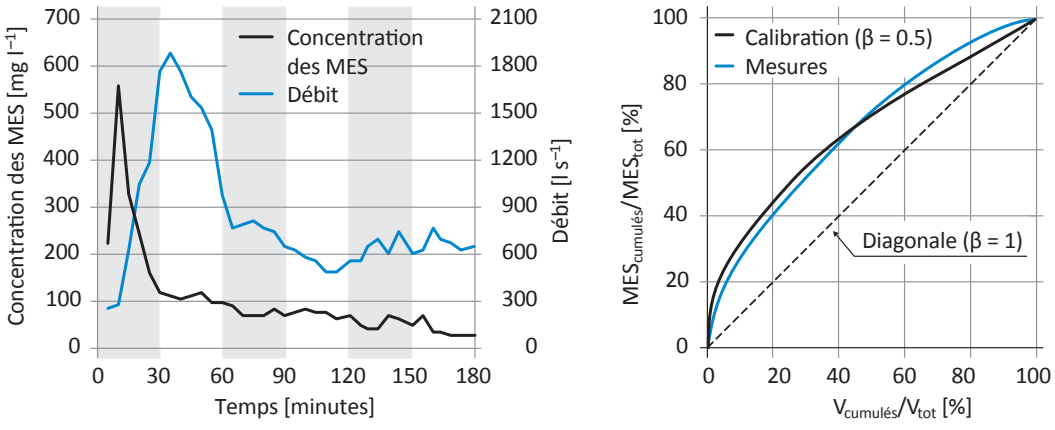


Figure DB25
Evolution des concentrations de MES au cours d'un épisode pluvial (exemple d'un événement mesuré) et évolution du cumul des MES par rapport à l'évolution du cumul du volume de la pluie ou des eaux unitaires pour le même épisode (exemple d'un pollutogramme mesuré et d'un autre calculé) [315], β = coefficient pour l'effet de lessivage.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

La majorité des nombreuses études sur l'effet de lessivage utilise ce type de représentation, les divers auteurs interprètent cependant différement l'écart entre la bissectrice et la caractéristique du pollutogramme M-V. Ainsi, Geiger [379] p. ex. voit un effet de lessivage, lorsqu'un écart de plus de 20 % est constaté. Plusieurs auteurs définissent l'effet de lessivage, lorsque l'écart entre la bissectrice et le pollutogramme M-V se situe entre 30 et 40 %. Une définition encore plus restrictive de l'effet de lessivage a été proposée par Saget et al. [380]. Celle-ci stipule qu'on ne parle d'effet de lessivage que lorsque 30 % du volume d'écoulement a transporté au moins 80 % des masses polluantes.

Il est généralement admis que plus le temps d'écoulement est court, plus l'effet de lessivage est prononcé. Plus le temps d'écoulement est long, plus les eaux unitaires fortement chargées sont diluées par les eaux pluviales «relativement propres» provenant du bassin versant (ancien document «Arbeitspapier für die Bemessung, die Gestaltung und den Betrieb von Regenüberlaufbecken», VSA 1979). Cependant, l'effet de lessivage est encore influencé par d'autres facteurs, tels que l'intensité pluviale variant localement et temporellement, le type de polluant, le temps écoulé depuis le dernier épisode pluvial, ainsi que par les mesures de dépollution appliquées dans le bassin versant et son état.

Jusqu'à présent, les bassins de stockage ont été évalués sur la base de ce qu'on appelle des conditions préalables à l'interception (ancienne directive «Empfehlung für die Bemessung, die Gestaltung und den Betrieb von Regenüberlaufbecken», VSA 1979). Elles sont basées sur des observations et en partie également sur des mesures et elles prennent notamment en compte le temps d'écoulement dans le bassin versant, la vitesse moyenne dans les canalisations par temps sec et la localisation du bassin d'orage dans le réseau d'assainissement. L'importance de cette évaluation reposait principalement sur le choix du type de bassin d'orage en tant qu'investissement initial. Actuellement, il est cependant souvent question de remplacement ou d'extension d'installations existantes. À cet effet, il convient d'utiliser autant que possible d'autres informations et expériences locales au sujet de l'effet du lessivage, en se basant sur des études expérimentales ou un calcul. Pour l'instant, il existe peu de données fiables pour le dimensionnement des bassins de stockage. Il est recommandé, lors d'adaptations ou de nouvelles constructions d'installations importantes, de relever les données appropriées.

Sur la base des connaissances acquises préalablement et des données découlant de la littérature, les conditions pour la rétention sont définies dans la présente directive dans le tableau DB5.

Prérequis pour rétention	Condition
bon	Lorsque l'on retrouve dans les premiers 20 % du flux des eaux unitaires, au moins 40 % des apports totaux en MES dans plus de 50 % des épisodes pluviaux
moyen	Lorsque l'on retrouve dans les premiers 20 % du flux des eaux unitaires au moins 30 % des apports totaux en MES dans plus de 50 % des épisodes pluviaux
mauvais	Lorsque l'on retrouve dans les premiers 20 % du flux des eaux unitaires moins de 30 % des apports totaux en MES

Tableau DB5
Formulation des conditions pour la classification des bassins de stockage dans les catégories bon, moyen et mauvais.

Les logiciels actuels permettent de simuler largement l'effet de lessivage. Toutefois, des informations ou des indications concernant les mécanismes des effets du lessivage devraient être connus. Sur cette base, des informations importantes peuvent être obtenues pour le dimensionnement d'un bassin de rétention à partir d'une simulation à long terme.

La retenue du premier flot de lessivage est optimale lorsque le bassin de rétention est raccordé en parallèle.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

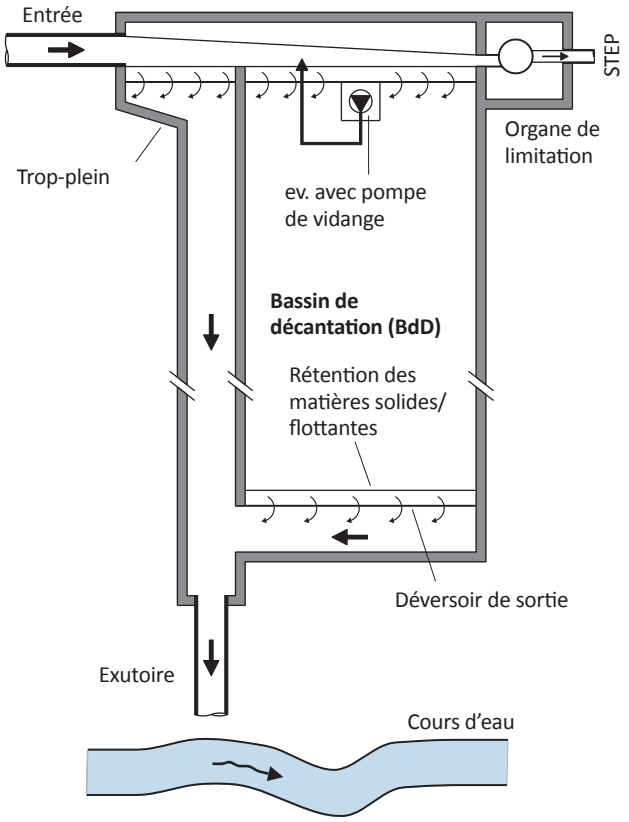
6.5.2 Bassin de décantation (BdD)

6.5.2.1 Schéma du système et fonction

La disposition du bassin doit en principe s'effectuer en parallèle.

Dans les bassins de décantation (BdD), en plus de la rétention des eaux unitaire, une partie de la matière particulaire est sédimentée. La grande partie des matières solides flottantes (matières grossières) doit être retenue. En comparaison avec les bassins de stockage (BDS), l'ensemble des eaux résiduaires unitaires est traitée dans le BdD.

Figure DB26
Représentation schématique d'un bassin de décantation en parallèle avec év. un trop-plein de sécurité en amont.

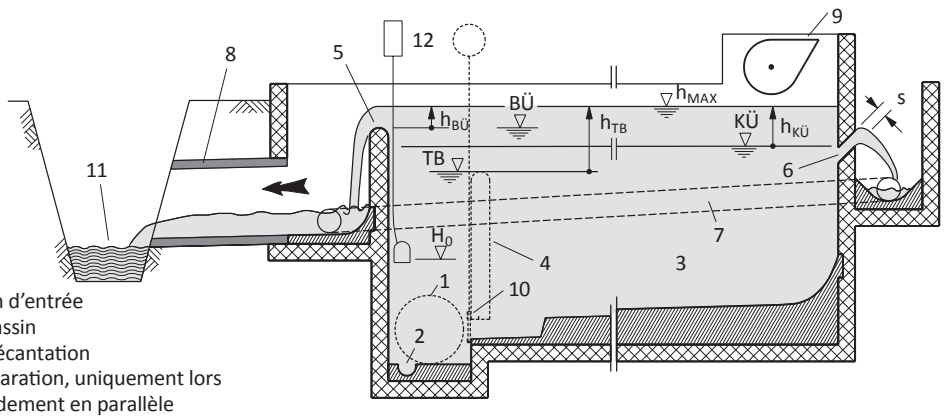


6.5.2.2 Dimensionnement

Remarques préliminaires

Les bases relatives au dimensionnement des bassins de décantation, en particulier le degré d'efficacité nécessaire pour la retenue des matières particulaires et les indications concernant le volume de stockage de l'installation seront proposées lors de la planification conceptuelle selon le module STORM.

Figure DB27
Coupe longitudinale d'un bassin de décantation conventionnel avec orifice de déversement (exemple adapté de [381]).



1 Canalisation d'entrée
2 Sortie du bassin
3 Bassin de décantation
4 Seuil de séparation, uniquement lors d'un raccordement en parallèle
5 Trop-plein
6 Déversoir de sortie (orifice)
7 Sortie de l'eau épurée vers le cours d'eau
8 Exutoire
9 Nettoyage du bassin avec système de chasse
10 Système de vidange
11 Cours d'eau
12 Dispositif de contrôle du bassin

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

La phase de dimensionnement hydraulique et technique de l'installation ne s'effectue cependant que dans le cadre du projet. En l'occurrence, la conception de l'installation (bassins circulaires ou rectangulaires, conception de l'entrée, répartition de l'eau et déversoirs à la sortie des zones de sédimentation) joue un rôle essentiel pour l'obtention d'une sédimentation optimale dans les conditions données. Les principes de procédure sont présentés dans l'annexe 2.

La sédimentation de la matière particulaire dans les bassins d'eaux pluviales peut être accompagnée par des mesures supplémentaires. Celles-ci comprennent, p. ex., la mise en place de lamelles destinées à améliorer les conditions hydrauliques de décantation ainsi que le dosage de produits chimiques pour accélérer la sédimentation. Au moyen de ces mesures, les performances des installations existantes peuvent être accrues et une éventuelle extension peut ainsi être évitée. L'utilisation de cette «optimisation» doit toutefois être examinée avec soin et les coûts d'exploitation supplémentaires doivent être pris en considération. Jusqu'à présent, ces mesures n'ont été appliquées que de façon sporadique dans le domaine du traitement des eaux pluviales, il est donc recommandé de chercher un soutien professionnel chez les spécialistes (p. ex. dans l'industrie). Ces mesures ne sont pas traitées dans la présente directive.

Pour le dimensionnement hydraulique et le processus technique de l'installation lié à la sédimentation de la matière particulaire, il existe différentes formules empiriques. Ces formules constituent la base du dimensionnement des bassins de décantation selon la présente directive. Elles peuvent être utilisées pour le dimensionnement de petites et moyennes installations (environ <1000 m^3 de volume utile).

Le dimensionnement hydraulique et le processus technique des grands bassins de décantation comportant un volume utile d'environ 1000 – 5000 m^3 doit être pris en charge (en particulier pour des milieux récepteurs sensibles) par un modèle de simulation approprié. Cependant, le dimensionnement des bassins de décantation à l'aide des modèles de simulation 3-D n'appartient pas encore à l'état de la technique. Par conséquent, il n'est pas traité dans la présente directive. Ce type de dimensionnement doit être réalisé avec le soutien de spécialistes.

Dimensionnement des différentes zones d'un bassin de décantation
Le dimensionnement d'un bassin de décantation concerne les zones du bassin suivantes :

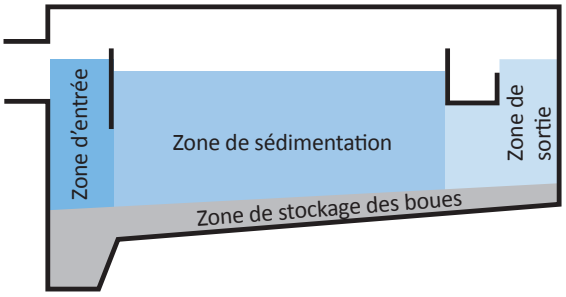


Figure DB28
Différentes zones d'un bassin de décantation.

Dimensionnement des zones d'entrée et de sortie
La zone d'entrée a pour fonction de réduire la vitesse du débit et de repartir uniformement l'eau sur toute la largeur du bassin. Cette zone peut permettre une sédimentation mais constitue un secteur perturbé en termes hydrauliques et **ne doit pas** être incluse dans le dimensionnement de la zone de sédimentation.

La zone de sortie a pour fonction de collecter l'eau évacuée de la zone de sédimentation de manière aussi uniforme que possible. À cet effet, il faut éviter que des courants localement importants surviennent, ce qui pourrait conduire à emporter les déchets flottants ou les matières sédimentées vers le milieu récepteur.

Dimensionnement de la zone de sédimentation
Le principe du dimensionnement est basé sur la comparaison des émissions de MES autorisées (= masse déversée) selon l'étude conceptuelle du module STORM avec les émissions de MES déterminées par le calcul provenant du bassin de décantation dimensionné (= preuve de fonctionnement). La charge pol-

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

luante calculée comporte à la fois les charges provenant du déversoir d'orage en aval de la zone de sédimentation et d'un éventuel trop-plein. Si la différence entre les charges déversées estimées dans l'analyse conceptuelle (STORM) et la «preuve de fonctionnement» est inférieure à 20 %, le dimensionnement peut être considéré comme correct. Le procédé de dimensionnement est illustré à l'aide d'un exemple dans l'annexe 3.

La détermination par calcul de l'efficacité de la zone de sédimentation est basée sur l'aptitude à la décantation (= vitesse de sédimentation) d'une «fraction critique» des matières en suspension (MES). Cette fraction doit être définie dans le cadre de l'étude conceptuelle selon STORM et appliquée au dimensionnement de la zone de sédimentation.

L'aptitude à la décantation des différentes fractions de MES dépend en premier lieu de la charge hydraulique superficielle dans la zone de sédimentation de l'installation. L'efficacité d'une zone de sédimentation est calculée à partir de la relation entre la vitesse de décantation «critique» v_s (vitesse limite entre la fraction décantable et non décantable de MES) et la charge superficielle O_h.

En tenant compte des court-circuits hydrauliques de l'installation (facteur de court-circuit n avec des valeurs de 1 à 5), le coefficient d'efficacité de la zone de sédimentation est calculé avec des conditions hydrauliques constantes :

Équation DB19

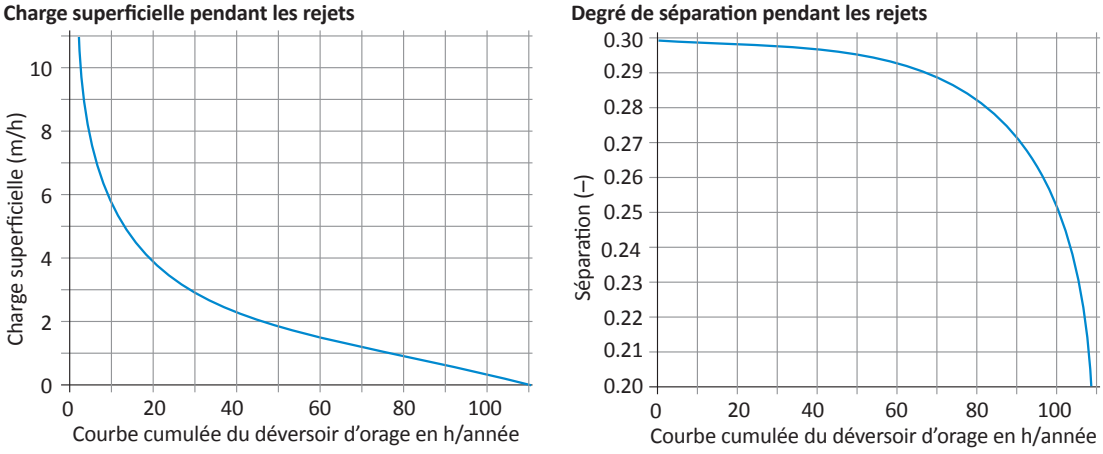
$$\eta = \varepsilon \cdot (1-X) = (1-[1+v_{s\,krit} \cdot 3600/\{n_\eta \cdot O_h\}]^{-n}) \cdot (1-X)$$

η = coefficient d'efficacité total [–]
ε = coefficient d'efficacité «dynamique» de l'installation de décantation [–]
$v_{s\,krit}$ = vitesse de sédimentation «critique» en $m\,s^{-1}$
n_η = «facteur de court-circuit» de l'installation de décantation [–] voir annexe 2. $n_\eta = 1$ → perturbation importante, $n_\eta = 5$ → perturbation mineure
O_h = charge hydraulique superficielle en $m\,h^{-1}$
X = fraction [–] de matières particulaires ou fraction de matières polluantes liées aux particules qui ne sédimentent pas dans le bassin de décantation ($v_s < v_{s\,krit}$)

Le contrôle mathématique de l'efficacité de la sédimentation est réalisé au moyen d'un modèle de simulation. Pour le pré-dimensionnement de cette zone de sédimentation, le volume de stockage provenant de l'étude conceptuelle est repris comme valeur de départ. Les dimensions de la zone de sédimentation (longueur, largeur, profondeur) sont choisies en fonction de valeurs expérimentales (voir annexe 3).

Lors d'écarts importants entre la performance nécessaire et calculée de l'installation (= différence par rapport à la masse polluante déversée calculée >20 %), les dimensions du bassin doivent être modifiées et le procédé de dimensionnement recommencé (p. ex. par itération). Dans ce cas, le débit maximal d'apport dans le bassin peut également être adapté (trop-plein en amont du bassin).

Figure DB29
Exemple de la répartition de la charge superficielle réelle d'une zone de sédimentation et du degré d'efficacité dynamique de la sédimentation durant une année moyenne. La charge superficielle maximale résultant du dimensionnement est dans cet exemple d'environ 10 m/h. Pendant 90 % de la durée de fonctionnement (déversoir de sortie, pendant environ 10 h/a), la charge superficielle s'élève à moins de 5 m/h. Pendant cette durée, le degré d'efficacité varie entre 20 – 30 % (voir également l'annexe 3).



Il convient de noter que la charge hydraulique superficielle de la zone de sédimentation varie considérablement selon la nature des épisodes pluviaux individuels. Les conditions d'exploitation de la zone de sédimentation (comme p. ex. la charge hydraulique superficielle, la vitesse de l'écoulement horizontal, le niveau du seuil du déversoir de sortie et le degré d'efficacité dynamique de la sédimentation) peuvent

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

être présentées sous forme d'une courbe cumulée à l'aide d'une simulation à long terme. Sur cette base, les conditions hydrodynamiques pour la sédimentation peuvent être considérées comme favorables si elles surviennent pendant 80 à 90% de la durée de fonctionnement (voir figure DB22). Des informations détaillées et des exemples sont présentés dans l'annexe 3.

Comme alternative à la justification du fonctionnement à l'aide de la charge superficielle, le parcours d'une particule critique dans la chambre de sédimentation du bassin peut être simulé (voir annexes 2 et 3).

Dimensionnement de la zone de stockage des boues
Le stock de boue situé au-dessous de la zone de sédimentation doit être éliminé. L'augmentation de la boue décantée ne doit pas réduire la zone de sédimentation réelle, sans quoi l'efficacité de la sédimentation de l'installation planifiée sera réduite.

La hauteur moyenne de la zone de stockage des boues se situe en dessous de 30–50 cm et n'influence pas le dimensionnement de la chambre de sédimentation.

6.5.3 Bassins combinés (BC)

6.5.3.1 Schéma du système et fonction
Le bassin combiné (voir figure DB30) est une combinaison de bassins de stockage et de décantation. Au début d'un événement pluvial, cette installation doit permettre la retenue du premier flot d'orage (first-flush) dans le bassin de stockage et l'évacuation des eaux unitaires qui suivent dans le bassin de décantation.

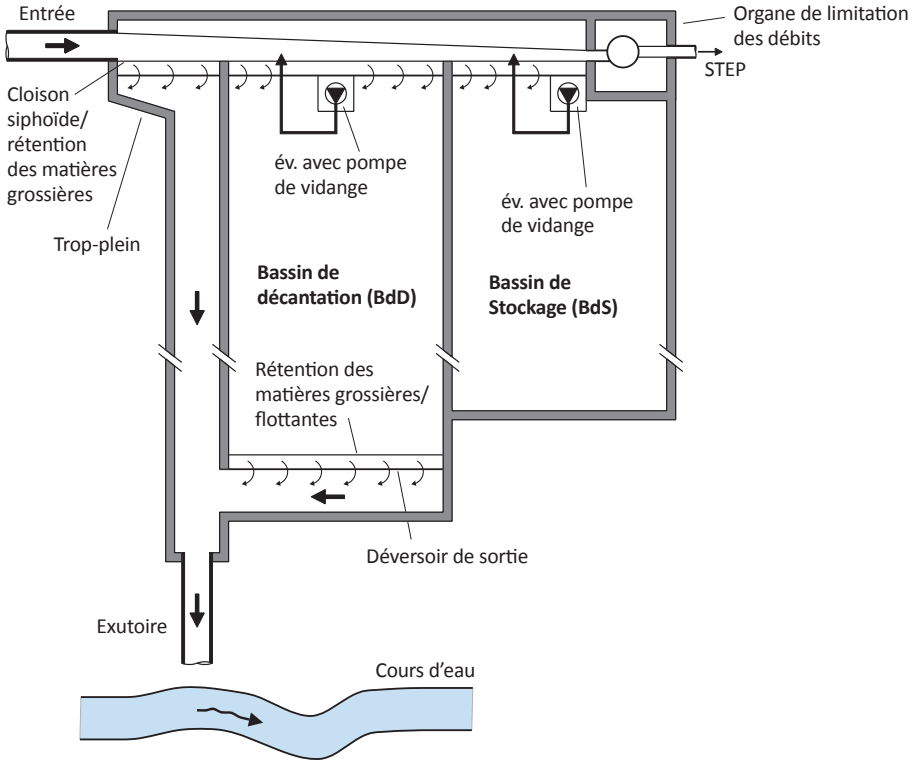


Figure DB30
Représentation schématique d'un bassin combiné avec disposition en parallèle et déversoir en amont.

6.5.3.2 Dimensionnement
En principe, les deux fonctions stockage et décantation peuvent être dimensionnées/évaluées selon les mêmes principes que ceux des bassins de stockage et de décantation. Comme l'interaction de ces deux fonctions peut conduire à une réduction supplémentaire de la charge déversée, il est possible de réduire en conséquence les paramètres de dimensionnement principaux relatifs à la rétention et à la décantation (voir chapitres 6.5.1.2 et 6.5.2.2) en fonction de la pondération des conditions de réduction. Le volume total d'un bassin combiné (BC) ne devrait pas différer de manière significative de la capacité d'un bassin de stockage ou de décantation seul.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

6.5.4 Canal d'accumulation (CdA)

6.5.4.1 Schéma du système et fonction

Le canal d'accumulation (au niveau régional, également dénommé canal de stockage) fonctionne en principe comme un bassin de décantation en série. La performance dépend essentiellement des conditions hydrauliques spécifiques de la sédimentation. En général, ce n'est pas «un nouveau» canal avec chambre de stockage qui doit être construit, mais une utilisation optimale de la capacité d'un ouvrage existant.

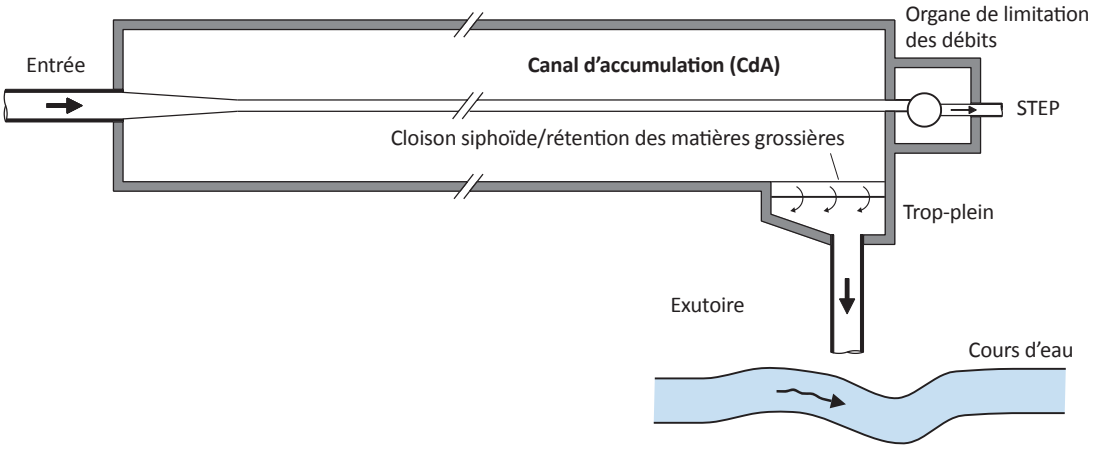


Figure DB31
Représentation schématique d'un canal d'accumulation avec évacuation en aval, disposition en série.

En fonction de considérations principalement économiques, la disposition peut être conçue en série. En cas de possibilité et si cela s'avère utile, il est cependant préférable que le raccordement s'effectue en parallèle. Une attention particulière doit être portée à l'aspect du nettoyage.

En plus du stockage des eaux unitaires, une partie des matières particulaires est déposée dans les canaux d'accumulation (CdA). Les déchets flottants (matières grossières) doivent en grande partie être retenus. Par rapport aux bassins de stockage (BdS) et aux canaux de stockage (CdS), le canal d'accumulation permet de traiter l'ensemble de l'apport des eaux unitaires.

Le gros inconvénient du canal d'accumulation est la présence de vitesses d'écoulement élevées lors de fortes précipitations. Les boues déjà déposées peuvent ainsi être remobilisées et évacuées par le trop-plein à l'extérieur du bassin.

6.5.4.2 Dimensionnement

Le dimensionnement du canal d'accumulation s'effectue en fonction de l'objectif, selon les principes de dimensionnement présentés dans le chapitre 6.5.2.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

6.6 Bassin de clarification (BdC)

Les bassins de clarification (BdC) dans le système séparatif sont principalement liés à la protection des eaux par temps de pluie. Contrairement aux BdR/CdR, leur importance en lien avec la capacité hydraulique du système d'assainissement situé en aval est généralement négligeable, cependant ces installations peuvent avoir un impact considérable en cas d'avarie.

6.6.1 Schéma du système et fonction

Un BdC (figure DB25) fonctionne comme un bassin de décantation en série. Il est dédié à la rétention des matières particulaires (matières flottantes et décantables).

Le BdC peut être construit et exploité :

- en rétention permanente : Le bassin est constamment rempli d'eau et la boue déposée ainsi que les matières flottantes ne sont éliminées que dans des intervalles de temps plus espacés,
- sans rétention permanente : Le bassin est entièrement vidé après chaque remplissage et le contenu du bassin est pompé dans une canalisation et dirigé vers la STEP.

Les BdC en rétention permanente sont pourvus non seulement d'un trop-plein mais encore d'un système d'élimination des boues. Ils sont généralement utilisés dans les systèmes séparatifs pour les eaux pluviales avec la présence d'un écoulement permanent ou temporaire par temps sec. Les boues déposées doivent être éliminées sans dommage.

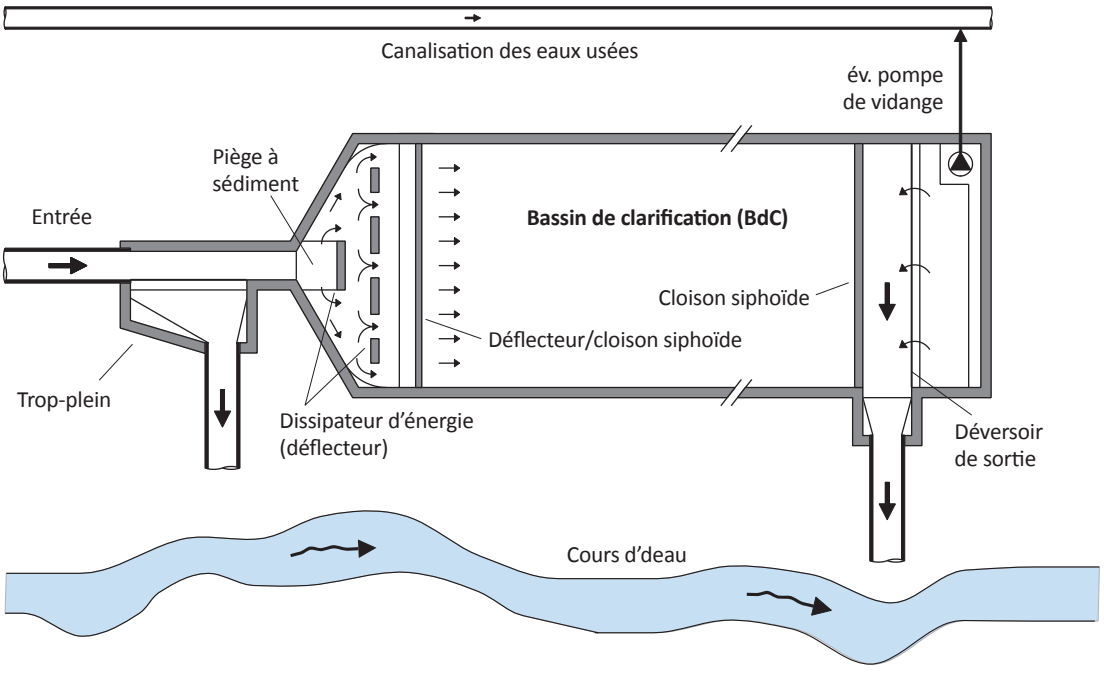


Figure DB32
Représentation schématique d'un bassin de clarification.

Un BdC en rétention permanente peut provoquer un phénomène anoxique pendant la durée d'utilisation, de sorte qu'après un nouvel événement pluvial, des eaux désoxygénées seront évacuées. Ce processus peut entraîner une importante pollution des eaux. Pour éviter ce problème, le mode de fonctionnement du bassin peut être modifié et le contenu du bassin peut être rejeté dans la canalisation des eaux usées après la pluie. De cette manière, le système séparatif est converti en système unitaire [382].

L'expérience montre qu'en rétention permanente, les BdC sont sujet à des problèmes esthétiques à la surface de l'eau (matériaux flottants, algues, huiles et graisses). Par conséquent, il faut veiller au main-

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

tien d'un état esthétique acceptable dans le bassin, en particulier s'il s'agit d'une installation située dans un environnement naturel.

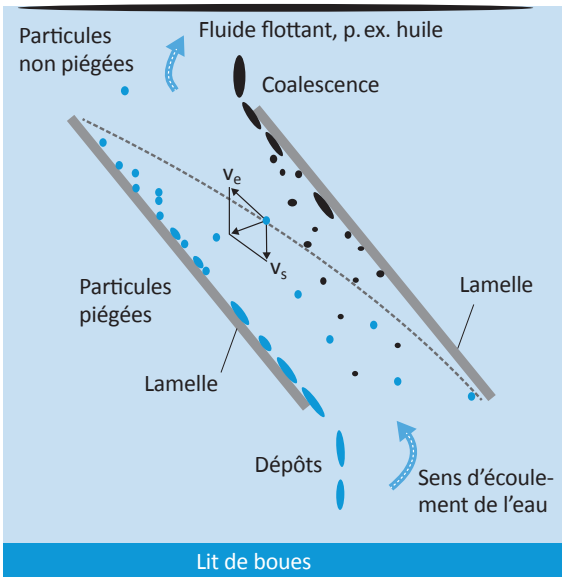
Les BdC peuvent être utilisés avec plusieurs avantages pour le traitement des eaux pluviales provenant de zones industrielles, de voies de communication et de places publiques. En comparaison avec d'autres pays (p. ex. Etats-Unis, Allemagne), cette technique n'est utilisée que sporadiquement en Suisse (p. ex. parking au bord du lac à Genève, sortie de l'autoroute à Lachen SZ).

Le degré d'efficacité de la décantation des BdC pour les MES se situe entre 20 à 30 %. Le BdC sans rétention permanente peut également être équipé d'un séparateur lamellaire. Ainsi, par un dimensionnement correct et de bonnes conditions hydrauliques, le degré d'efficacité par rapport aux MES peut être augmenté jusqu'à 55 % [64]. Un autre avantage du séparateur lamellaire provient de son faible encombrement.

Grâce à l'utilisation d'un séparateur lamellaire (lamelles fixes ou mobiles) le débit total Q est divisé en plusieurs flux partiels visant si possible un écoulement sans turbulence. Ce procédé permet de meilleures conditions hydrauliques pour la décantation des matières particulaires. (voir figure DB26).

Les séparateurs lamellaires conviennent également au prétraitement des eaux pluviales, lorsqu'ils sont placés avant les installations d'infiltration, les massifs filtrants, etc.

Figure DB33
Principe de fonctionnement d'un séparateur lamellaire [118].



6.6.2 Dimensionnement

Le BdC est en principe dimensionné comme un bassin de décantation selon la description du chapitre 6.5.2. Au cas où un séparateur lamellaire devait être utilisé, le choix de celui-ci et le dimensionnement de l'installation doivent être effectués avec l'aide du fabricant ou du fournisseur.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

6.7 Résumé des paramètres hydrauliques clés pour les bassins d'eaux pluviales

Les bassins d'eaux pluviales peuvent être globalement divisés en deux domaines :

- les installations avec une fonction exclusivement de stockage (p. ex. le bassin de stockage et les canaux de stockage),
- les installations avec combinaison de sédimentation des matières solides et de stockage de la totalité des polluants.

Dans le tableau suivant, les bassins combinés (et en partie également d'autres installations) ne sont pas mentionnés. Les indications données s'appliquent à la fonction prévue du composant de ces installations.

Tableau DB6
Résumé des paramètres hydrauliques pour différents types de bassins pluviaux, leurs composants et leurs équipements

Type de BEP	Composants d'ouvrage	Paramètres clés	Etude / dimensionnement	Valeurs cibles	Remarque
tous	canalisation d'entrée	contrainte érosive à Q_{TW}, actuel	géométrie et pente	$\tau > 0.5$ N m^{-2}	selon DWA-A 166 [256]
	canalisation de sortie	contrainte tractive à Q_{TW}, actuel	géométrie et pente	$\tau > 0.5$ N m^{-2}	selon DWA-A 166 [256]
		ligne de pression	système de limitation des débits	exploitation du système de limitation des débits sans refoulement	selon DWA-A 166 [256]
		diamètre nominal minimal	géométrie et pente	système unitaire DN 300 système séparatif DN 250	
Bassin de stockage chapitre 6.5.1	ensemble de l'ouvrage : décision quant au choix	effet de lessivage (matière déterminante : en général MES)	pollutogramme : charge cumulative de MES [kg ou t] vs. volume cumulé d'eau [m^3] à l'entrée de l'ouvrage pour des événements pluviaux spécifiques	au moins 40 % de la charge en MES dans les premiers 20 % du volume d'eau lors de plus de 50 % des événements	justification fondée sur une simulation à long terme (5 – 10 ans)
	chambre de stockage	émission admissible (matière déterminante : en général MES)	dimensionnement du volume de stockage en m^3	charge rejetée (moyenne de la charge annuelle), dérivée des valeurs de référence d'immission selon STORM	justification fondée sur une simulation à long terme (5 – 10 ans)
	trop-plein	contrainte spécifique pour le seuil	dimensionnement du déversoir	$q_u \leq 300$ l·s^{-1}· m^{-1}	selon DWA-A 166 [256]
	cunette de débit par temps sec pour bassins en série	contrainte érosive à remplissage partiel et Q_{TW}, actuel	pente du fond, géométrie de la rigole d'écoulement	contrainte tractive τ_{min} = 0.5 N m^{-2} τ_{empf} = 0.8 N m^{-2}	selon DWA-A 166 [256]
		niveau de remplissage partiel		aucun refoulement	
Canal de stockage et canal avec chambre d'accumulation chapitres 6.5.1, Kap. 6.5.4	ensemble de l'ouvrage	voir bassin de stockage			
	chambre de stockage	Volume : voir bassin de stockage			
		contrainte érosive à remplissage partiel et Q_{TW}, actuel	pente du fond géométrie de la rigole d'écoulement	contrainte tractive τ_{min} = 0.5 N m^{-2} τ_{empf} = 0.8 N m^{-2}	selon DWA-A 166 [256]
		niveau de remplissage partiel		aucun refoulement	
	«trop-plein»	voir bassin de stockage			

Suite Tableau DB6 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau DB6

Type de BEP	Composants d'ouvrage	Paramètres clés	Etude/ dimensionnement	Valeurs cibles	Remarque
Bassins de décantation chapitre 6.5.2	ensemble de l'ouvrage : décision quant au choix	aucun effet de lessivage (matière déterminante : en général MES)			
	chambre de stockage et de sédimentation	émission admissible (matière déterminante : MES)	dimension du volume total en m^3 et les dimensions (longueur, largeur, hauteur) de la chambre de sédimentation	charge déversée (charge annuel moyenne) découlant des valeurs de référence d'immission selon STORM	justification au moyen d'une simulation à long terme (5–10 ans)
	chambre de sédimentation		détermination des dimensions : longueur L, largeur B et la hauteur H de la chambre de sédimentation	recommandation concernant les dimensions : $10 < L/H < 15$ $3 < L/B < 4.5$ $2 < B/H < 4$ des disparités sont possibles. Le facteur décisif est la rétention des polluants, déterminée au moyen d'une simulation à long terme	
			détermination de la vitesse critique de sédimentation v_s [m/s ou m/h] et la proportion X de MES non sédimentables	indications provenant de l'examen conceptuel STORM	
		stockage des boues	détermination de la profondeur	recommandation : hauteur de la chambre de stockage +30 à 50 cm	
		émissions admissibles (matière déterminante : MES)	analyse des charges hydrauliques superficielles Oh paramètres de O_h : longueur L [m] largeur B [m] Q_{krit} [$m^3 \cdot s^{-1}$ ou $m^3 \cdot h^{-1}$] v_s [$m \cdot s^{-1}$ ou $m \cdot h^{-1}$]	$L \times B > Q_{krit}/v_s$	interprétation de la courbe de durée afin de déterminer la fréquence durant toute la période de fonctionnement en ce qui concerne la conformité des performances requises de l'installation
			analyse de la vitesse d'écoulement horizontale v_{hor} paramètres de v_{hor} : largeur B [m] Hauteur H [m] Q_{krit} [$m^3 \cdot s^{-1}$ ou $m^3 \cdot h^{-1}$]	$v_{hor,max} < 0.05\ m \cdot s^{-1}$	
			détermination du facteur de court-circuit	n_η = 1 à 5 1 : perturbation significative 5 : légère perturbation	l'influence du facteur de court-circuit doit être examinée par une analyse de sensibilité à l'aide d'un modèle de simulation (voir exemple dans l'annexe 3)

Suite Tableau DB6 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau DB6

Type de BEP	Composants d'ouvrage	Paramètres clés	Etude / dimensionnement	Valeurs cibles	Remarque
Bassins de décantation (Suite)	déversoir de sortie	charge hydraulique du seuil de la lame déversante	paramètres de dimensionnement : longueur du seuil de la lame déversante et Q_{krit}	$q_{krit} < 75\ l \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$	détails hydrauliques relatifs au déversoir de sortie et au collecteur : voir chapitre 7.4
	déversoir de sortie avec et sans régulation	Q_{krit}	hydraulique dans la zone de la lame déversante	absence de refoulement	selon DWA-A 166 [256]
	déversoir de sortie sans limitation			lame déversante dénoyée	
	trop-plein	charge spécifique de seuils $q_{ü}$ lorsqu $Q_{zu} > Q_d + Q_{KÜ}$ $Q_{ü} = Q_{zu} - (Q_d + Q_{KÜ})$	détermination des dimensions du déversoir	$q_{ü} \leq 300\ l \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$	selon DWA-A 166 [256] objectif : lame déversante dénoyél
		niveau d'eau		Wsp. lors de $Q_0 + Q_{KÜ}$ < OK seuil du déversoir	selon DWA-A 166 [256]
	cunette de débit par temps sec pour bassins en série	contrainte érosive lors d'un remplissage partiel et Q_{TW}, actuel	pente de fond, géométrie du canal d'évacuation	contrainte érosiv $\tau_{min} = 0.5\ N\ m^{-2}$ $\tau_{empf} = 0.8\ N\ m^{-2}$	selon DWA-A 166 [256]
		hauteur de remplissage partiel		absence de refoulement	
Équipement/éléments d'installation	organes de limitation des débits	Q_d	écart admissible	< 10 %	
			débit minimal	dispositifs tourbillonnaires : $25\ l \cdot s^{-1}$ organes de commande : $25\ l \cdot s^{-1}$ organes de régulation : $10\ l \cdot s^{-1}$ pompes : $10\ l \cdot s^{-1}$	selon DWA-A 166 [256]
			dimension minimale	vanne de limitation ≥ DN 300	selon DWA-A 166 [256]
	pompes de vidange et conduites en charge	Q_P	diamètre minimal de passage	D ≥ 80 mm	
			diamètre intérieur nominal minimum pour conduites en charge	DN 100	
			vitesse d'écoulement de la conduite en charge	$1.0 < v < 2.4\ m \cdot s^{-1}$	selon DWA-A 166 [256]
	ouvrage de déversement dans les cours d'eau et les lacs (site de déversement)	$Q_{KÜ} + Q_{BÜ}$ év. uniquement $Q_{BÜ}$	vitesse d'écoulement dans l'ouvrage de sortie	recommandation : $v < 1\ m \cdot s^{-1}$	selon DWA-A 166 [256]
			vecteur de la vitesse d'écoulement perpendiculaire à la direction d'écoulement de l'eau	recommandation : $0.3 < v < 1.0\ m \cdot s^{-1}$	

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7 DIMENSIONNEMENT D'AUTRES PARTIES D'OUVRAGE

Cette section spécifie le dimensionnement des composants de l'installation et des éléments d'ouvrage pouvant se présenter dans les équipements décrits dans les chapitres 5 et 6.

7.1 Régulation du débit

La plupart des informations fournies dans les sections suivantes proviennent des directives allemandes DWA-A 111 [252] et DWA-A 166 [256], de la littérature spécialisée et d'informations sur les produits provenant de l'industrie. Elles ont été complétées par des expériences pratiques réalisées en Suisse.

7.1.1 Principe et fonction de régulation du débit pour les déversoirs

La régulation du débit fait partie intégrante de chaque ouvrage déversoir. Dans la canalisation unitaire la régulation du débit limite le débit vers la STEP, dans la canalisation séparative, le débit vers le cours d'eau ou le lac. La valeur du débit recherchée, qui dans la pratique suisse est désignée par Q_{an} ou Q_{ab} correspond à un écoulement devant être respecté lorsque, devant l'organe de régulation, le niveau d'eau atteint le seuil du déversoir. Dans les sections de régulation traditionnelles (= limitation par le diamètre) le débit, dans la section rétrécie, varie en fonction du niveau de pression avant le dispositif de limitation et des pertes de charge dans la conduite rétrécie ainsi que dans d'éventuels organes de régulation supplémentaires.

Cette variabilité du débit évacué a été pris en compte lors du dimensionnement de la conduite de régulation traditionnelle par le biais de l'estimation du soi-disant «débit supplémentaire» (p. ex. SIA [254, 338]). Cependant, il existe aujourd'hui des dispositifs et des équipements régulateurs d'évacuation disposant d'une plus grande sélectivité, peu dépendante du niveau de pression avant le dispositif de régulation.

Le débit Q_{ab} recherché peut être atteint par un processus actif ou passif. Cette limitation peut être réalisée de façon purement hydraulique (sans énergie externe) ou avec l'intervention d'énergie externe (p. ex. vannes motorisées ou dispositifs d'entraînement pneumatiques (figure DB36).

Dans la limitation passive (p. ex., avec une canalisation rétrécie, figure DB34), le limiteur de débit ne réagit pas à la modification des conditions hydrauliques (p. ex., au niveau de pression). Ce fait conduit à un écoulement variable dans la section de régulation.

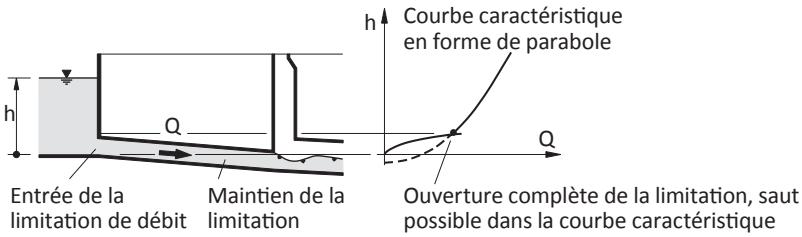


Figure DB34
Régulation du débit par canalisation rétrécie et caractéristique hydraulique [119].

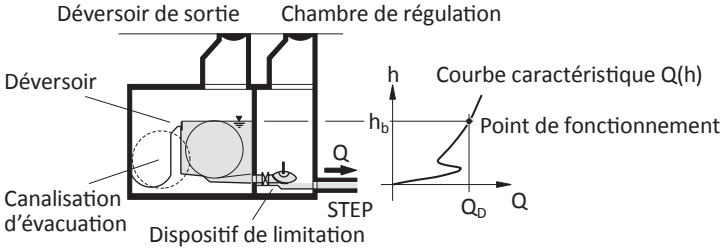


Figure DB35
Dispositif de limitation du débit et caractéristique hydraulique [384].

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Dans les dispositifs de régulation actifs, le système de régulation répond à une variation du niveau d'eau (= niveau de pression) dans l'installation

- par la variation des conditions hydrauliques dans le système de limitation, par exemple par des pertes de charge variables (p. ex., pour les différentes soupapes tourbillonnaires = commande de débit) ou

- par la modification de la surface de section transversale, de sorte que le débit reste approximativement constant dans la zone concernée (p. ex. dans la régulation du débit).

Lors du réglage, le débit actuel est mesuré et en cas d'écarts par rapport à la valeur de consigne, le dispositif de réglage corrige la différence. Cette intervention active (p. ex., la modification de la position de la vanne) est obtenue par un dispositif de mesure et un organe de réglage. Le réglage peut être réalisé avec ou sans la participation d'énergie externe (voir également la figure DB36). Le chapitre 11 contient des remarques générales sur le contrôle et la gestion des débits en assainissement urbain.

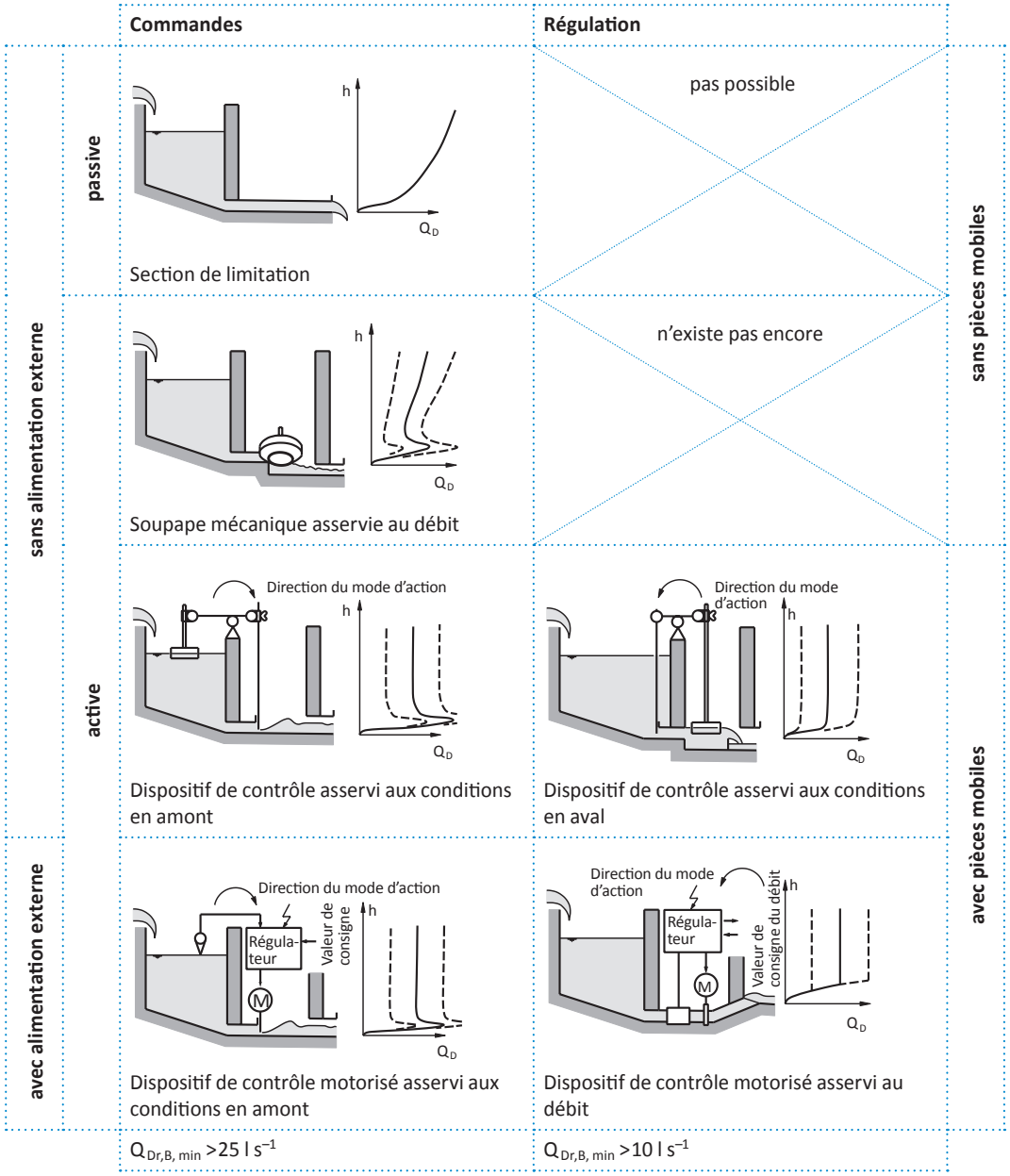


Figure DB36
Classification des dispositifs de limitation des débits selon DWA-A 166 [256].

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7.1.2 Dispositifs de limitation des débits sans pièces mobiles et sans alimentation externe

Les paragraphes suivants présentent plusieurs exemples d'installations de régulation des débits sans pièces mobiles et sans alimentation externe.

7.1.2.1 Sections rétrécies

Les sections rétrécies (limitation par le diamètre, tronçon d'étranglement) sont les limiteurs de débit traditionnels. Leur sélectivité n'est pas satisfaisante, car l'écoulement régulé varie fortement en fonction de la hauteur de la ligne d'énergie avant le tube rétréci. Les sections tubulaires peuvent être sujettes à l'engorgement, provoquant ainsi un déversement des eaux usées, même par temps sec. Le fait qu'ils ne soient pas réglables en fonction des conditions variables dans le bassin versant, constitue un inconvénient majeur. Leur diamètre nominal devant être au moins de 250 mm [254, 338], ils ne sont pas appropriés pour des débits faibles. Ce type de limiteur de débit n'est plus recommandé dans les applications futures.

7.1.2.2 Vannes de limitation, diaphragmes

Les vannes et les diaphragmes de limitation ajustés à une valeur donnée, sont semblables en ce qui concerne la sélectivité. Cependant, comparés aux sections rétrécies, ils peuvent être ajustés manuellement lors de la modification des conditions dans le bassin versant. En raison du risque d'engorgement, ils ne doivent être utilisés que pour de grands débits et des niveaux de pression réduits. Les vannes et les diaphragmes devraient comporter des niveaux d'ouverture prédéfinis permettant un réglage précis de l'ouverture.

La vanne de limitation est généralement constituée d'un passage circulaire pouvant être resserré par un diaphragme en forme de u ou rectangulaire.

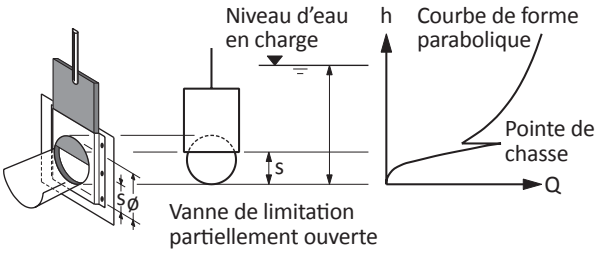


Figure DB37
Vanne de limitation, à gauche : la structure, à droite : une courbe typique de débit (schématique ; Hager [373]).

Concernant les conditions hydrauliques, on fait la distinction entre les niveaux se trouvant en dessous ou au-dessus de l'arête supérieure du diaphragme :

- Lors d'une grande vitesse d'écoulement et que le diaphragme n'obstrue pas encore l'écoulement, l'eau peut jaillir sous le diaphragme et produire un pic dans la courbe Q-h.

- Après obstruction, l'écoulement est limité et le débit n'augmente que lentement proportionnellement au niveau de pression (figure DB37).

La hauteur minimale de l'ouverture doit être de 10 à 15 cm avec un diamètre d'au moins 200 mm (Hager [373]).

Au niveau hydraulique, la vanne de limitation a été étudiée entre autres par Hager. Avec un diaphragme circulaire dans le tube circulaire ou profilé en U, le débit peut être calculé de la façon suivante (Hager [373]) :

Équation DB20

$$Q = c_d \cdot F_D [2g(H-s)]^{1/2}$$

c_d = oefficient d'écoulement = 0.69 ± 0.02
F_D = surface de section transversale dans un orifice circulaire ou en forme de U (section d'étranglement)
H = hauteur énergétique ($h_o + v_o^2/2g$)
s = ouverture axiale du diaphragme

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7.1.2.3 Contrôle de débit tourbillonnaire

Les limiteurs de débits de type tourbillonnaires/soupapes tourbillonnaires sont essentiellement des organes de commande passifs. Ils ne disposent d'aucune pièce mobile et fonctionnent en grande partie sans entretien. Ils offrent cependant une meilleure sélectivité que les sections rétrécies ou les vannes de limitation non régulées. Un diaphragme interchangeable permet, dans certaines limites, l'ajustement du débit nécessaire. Les paramètres requis pour le choix et pour les conditions d'utilisation d'un limiteur de débit tourbillonnaire dans des conditions spécifiques doivent être convenues avec les fournisseurs.

7.1.2.4 Tubes de limitation flexibles et soupapes à asservissement mécanique

Les tubes de limitation de débits flexibles sont des dispositifs qui compriment automatiquement la section d'une membrane tubulaire en fonction de l'augmentation de pression (= commande active selon le principe de l'équation de Bernoulli, figure DB38). La membrane flexible est bridée sur le tube de limitation des débits. Les caractéristiques d'écoulement sont pratiquement constantes. Le limiteur de débit à tube flexible est adapté aux petites installations avec un débit supérieur à 25 l/s.

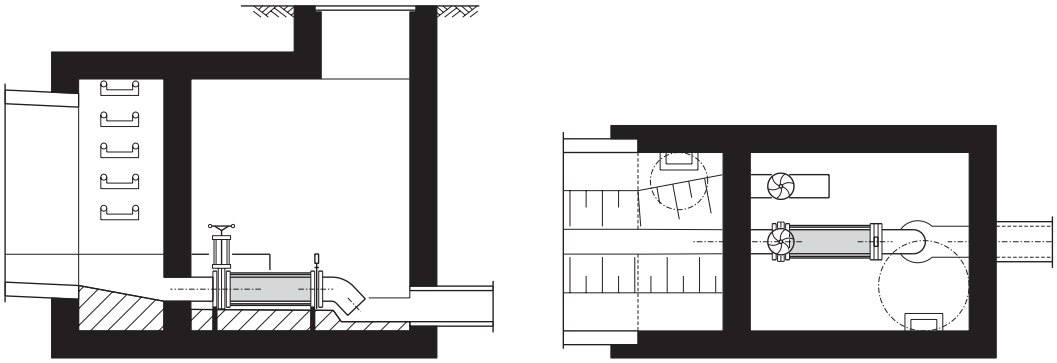


Figure DB38
Tube de limitation variable dans une chambre spéciale (Hager [373]).

Les soupapes à asservissement mécanique au flux sont des dispositifs actifs de commande de débit sans pièces mobiles, utilisant deux effets d'écoulement. Elles commutent automatiquement d'avant en arrière en fonction du niveau d'eau du bief supérieur entre petite et grande résistance d'écoulement (figur DB39). La courbe de débit résultante est en forme de S. Avec une canalisation circulaire de 200 mm et un niveau de remplissage des bassins d'eaux pluviales habituels, il est possible de limiter les débits jusqu'à environ 25 l/s. Puisqu'il n'y a pas d'usure et que la section de régulation reste constamment ouverte, ces soupapes se sont révélées fiables et durables. Elles ne produisent que peu de refoulement par temps sec et permettent ainsi leur utilisation dans des réseaux d'assainissement à faible déclivité. Les diaphragmes de sortie sont interchangeables.

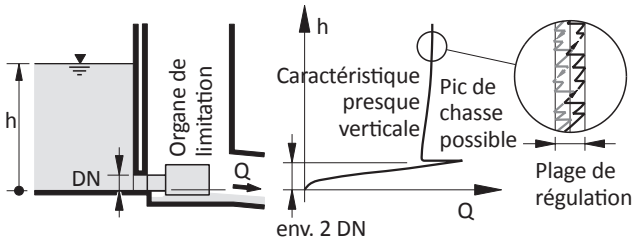


Figure DB 39
Caractéristique typique de commande et régulation mécanique de débit [384].

7.1.3 Limiteurs de débits avec pièces mobiles et sans alimentation externe

Lorsque les limiteurs de débits sont commandés par le bief supérieur, le niveau de ce bief influence un flotteur et la section transversale de la sortie est modifiée mécaniquement par une plaque coulissante ou un dispositif rotatif. Ces dispositifs font partie des systèmes de commande de débit actifs avec pièces mobiles et fonctionnent sans alimentation externe. En raison des risques de dérèglement, le débit limité ne doit pas être inférieur à 25 l/s.

Lors d'une régulation des débits par le bief inférieur, le débit est mesuré dans le bief inférieur. Le signal de mesure est converti mécaniquement en interne en un mouvement de l'actionneur. Les régulateurs de

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

débit sans alimentation externe doivent déplacer l'actionneur avec un minimum d'énergie. Ce procédé nécessite une structure complexe, délicate et précise ainsi qu'un entretien régulier. Mais ils ont l'avantage de l'adaptation automatique aux variations de niveau.

En général, le débit peut être facilement adapté à l'évolution des conditions initiales. Le débit minimum recommandé est de l'ordre de 10 l/s.

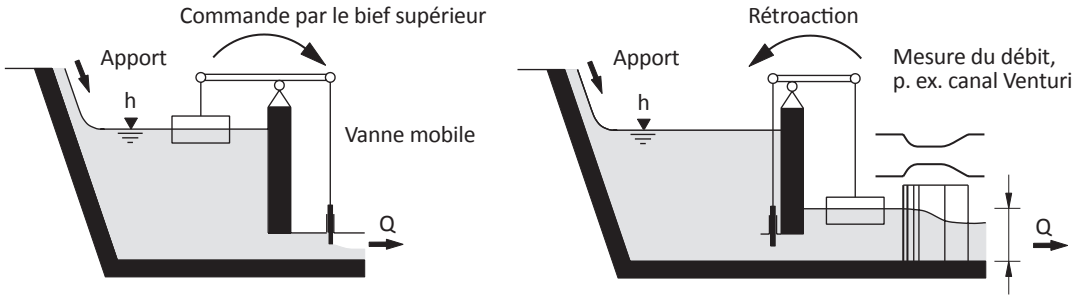


Figure DB 40
Schéma de principe de la commande de débit (en haut) et de la régulation de débit (en bas) [384].

7.1.4 Limiteurs de débits avec pièces mobiles et avec alimentation externe

7.1.4.1 Pompes utilisées comme limiteurs de débit

Les pompes peuvent – si les eaux usées doivent être relevées de toute façon ou uniquement p. ex. lors d'apport d'eaux pluviales être actionnées et simultanément servir de limiteur de débit. La courbe caractéristique de la pompe doit cependant être respectée.

Le débit peut augmenter en fonction de la pression hydrostatique. Lors du débit minimum de pompage un passage circulaire de 80 mm doit être garanti (DWA-A 134 [254]). Des petits débits peuvent être obtenus par un fonctionnement intermittent de la pompe.

7.1.4.2 Organes de limitation des débits régulés avec un entraînement motorisé

Dans ce groupe, on classe les vannes régulées en fonction du débit, les clapets d'étranglement et les contacteurs. Dans ce cas, l'organe de limitation est combiné avec le débitmètre et le régulateur. Une telle installation permet un débit relativement constant. En général, la précision de la régulation dépasse celle des dispositifs de limitation travaillant de façon purement hydraulique, cependant elle dépend principalement du procédé et de la technique de mesure. Les avantages des vannes régulées en fonction du débit sont :

- courbe caractéristique à pente forte et sélectivité élevée,
- suivi et optimisation des opérations grâce à la possibilité de transmission des données à un système de contrôle de processus,
- réinitialisation automatique lors de variation d'ouverture de la vanne,
- option de rinçage périodique des dépôts programmable,
- avec l'utilisation d'un système de mesure adéquat, par exemple des mesures ultrasoniques de différence de temps de transit ou des mesures de débit magnéto-inductives, pas de dépendance du débit par rapport à un éventuel refoulement du bief inférieur.

Les avantages sont à mettre en relation avec l'augmentation des coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance.

Lors de la mesure du débit dépendant du niveau de l'eau dans le bief inférieur, celle-ci s'effectue au moyen p. ex. d'un système à ultrason (p. ex. avec Venturi). Ce procédé nécessite des conditions hydrauliques appropriées : un écoulement turbulent, un remplissage partiel du tube défini, une section calme et suffisamment longue ainsi qu'un organe de régulation approprié au temps d'écoulement.

Les débitmètres magnéto-inductifs «classiques» (DMI) fonctionnant en charge, avec une paire d'électrodes détectant la vitesse d'écoulement, pour ainsi déterminer le débit au moyen de la section définie, ont fait leurs preuves. La mise en charge peut être obtenue par un siphon inversé. Si la vitesse d'écoulement

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

dans la canalisation de mesure – même lors d'un débit par temps sec – est suffisamment élevée pour que la section de mesure reste libre de dépôts, le débit total peut être maintenu en permanence avec une grande précision au moyen de la technique de mesure, même par temps sec. Lors de faibles débits respectivement de faibles vitesses d'écoulement, des moyens de rinçage automatiques sont à prévoir.

Une alternative consiste à utiliser des dispositifs de mesure DMI traditionnels avec une paire d'électrodes sans siphon inversé, lorsque en cas de pluie, la mise en charge de la canalisation de mesure est forcée par une vanne. Avec cette combinaison d'appareil, l'organe de limitation des débits doit toujours être placé après l'appareil de mesure.

Les débitmètres électromagnétique (MID) à remplissage partiel et les débitmètres à ultrasons ou les débitmètres combinés qui traitent les signaux de vitesse d'écoulement et de niveau sont de plus en plus courants dans la pratique. Les MID fonctionnant avec une canalisation en charge nécessitent la sélection d'un diamètre nominal fixe difficile à définir. Par conséquent, la plage de contrôle des MIDs en charge est plus restreinte que celle des systèmes de mesure fonctionnant avec un remplissage partiel. Pour les MID, une forte augmentation des coûts est à prévoir avec l'augmentation de la section transversale.

7.1.5 Exigences imposées en matière d'équipement de limitation des débits

Concernant la sécurité d'exploitation des installations, des conditions minimales doivent être respectées. Selon le type de régulation des débits, le diamètre intérieur nominal ne doit pas être inférieur à DN 200 jusqu'à DN 300. Les limiteurs de débits doivent pouvoir évacuer sans refoulement 1.2 fois le débit de l'écoulement par temps sec. Avec les limiteurs de débit < 25 l/s, une attention particulière doit être accordée au risque de dépôts dans la zone de refoulement. Dans le cas d'un contrôle du débit, le limiteur de débit sélectionné doit pouvoir évacuer au moins 25 l/s, lors d'une régulation de débit au moins 10 l/s.

À l'avenir, la planification devraient prévoir des limiteurs à débit réglable et dont l'équipement pourrait être renouvelé ultérieurement et être interchangeables. La durée de vie d'un organe de limitation des débits peut être évaluée à environ 20 ans.

Le fournisseur assume la responsabilité du dimensionnement hydraulique de l'organe de limitation des débits ainsi que sa fonction prévue. Les fabricants de systèmes de limitation des débits doivent prouver que la mesure du débit ne dépasse pas la tolérance de 5 % pour les bassins d'eaux pluviales ou 10 % pour les déversoirs d'orage. Le dimensionnement hydraulique comprend également la prise en compte d'un éventuel refoulement et le calcul de la force d'entraînement. En outre, le fabricant doit être en mesure de fournir l'écart par rapport à la mesure du débit réel.

Il est recommandé de placer une plaque d'identification dans chaque chambre de limitation des débits indiquant le fabricant, l'année de fabrication, le type, le genre de construction, le diamètre nominal, le débit de dimensionnement, la hauteur de rétention et les autres grandeurs caractéristiques.

Indépendamment du type de limitation, toutes les installations doivent comporter une vanne placée avant le système de limitation des débits. La vanne est indispensable au test de l'installation, à l'entretien, aux réparations éventuelles ainsi qu'à l'utilisation de la chambre de rétention en cas d'accidents et d'avaries. Chaque installation de limitation des débits nécessite une dérivation (by-pass), permettant le détournement des eaux usées lors des travaux d'entretien. La dérivation est également essentielle pour la vidange ou pour assurer un fonctionnement provisoire de l'installation en cas de dysfonctionnement.

En complément des points précédents, une limitation de débit peut être atteinte par d'autres dispositifs, p. ex. par pompage.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7.2 Canal collecteur (selon DWA-A 111 [252])

Par canal collecteur on entend des ouvrages qui collectent l'eau arrivant latéralement et l'achemine en direction longitudinale. Les canaux se situent, p. ex., à l'arrière des seuils de lames déversantes ainsi qu'à l'arrière des déversoirs de différents bassins dans une STEP.

Dans les canaux collecteurs, l'écoulement longitudinal augmente d'un volume correspondant environ au volume d'entrée, ce qui occasionne des mouvements de rotation troublant l'écoulement dans la direction principale. En raison de la superposition des flux longitudinaux et transversaux, la détermination du niveau de l'eau le long du collecteur s'avère très difficile au moyen de principes énergétiques. Par conséquent, on appliquera le théorème de l'impulsion pour déterminer la dérivée de l'équation de mouvement. Les informations détaillées sont données dans la littérature (p. ex., Hager [374]).

Le niveau d'eau h_o à l'extrémité supérieure du collecteur, nécessaire notamment pour la détermination de la hauteur du seuil de déversement, peut être calculé à l'aide de l'équation suivante (DWA-A 111 [252]) :

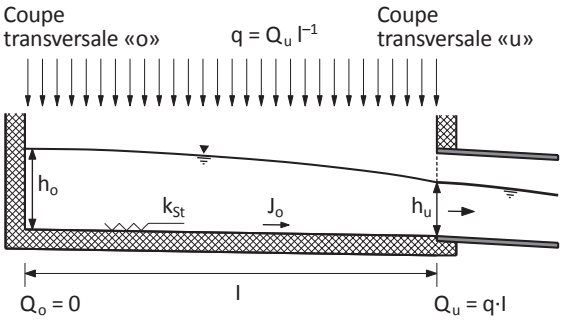
Équation DB21

$$h_o = h_u \left\{ \left[2 \left(\frac{h_{krit}}{h_u} \right)^3 + \left(1 - \frac{J_o \, l}{3 \, h_u} \right)^2 \right]^{1/2} - \frac{2 \, J_o \, l}{3 \, h_u} \right\}$$

Le niveau d'eau hu à l'extrémité inférieure du collecteur est déterminé par calcul hydraulique du système de canalisation en aval, tel que la canalisation d'évacuation.

Ce calcul définit la profondeur déterminante $h_u > h_{krit}$ lors d'un écoulement fluvial dans le collecteur. Si dans la canalisation d'évacuation en aval un écoulement torrentiel devait se produire, la profondeur limite h_{li} doit être utilisée.

Figure D41
Schéma hydraulique d'un canal collecteur [252].



Dans le cas normal, la canalisation d'évacuation doit être de taille suffisante et dimensionnée en tant que conduite à surface libre. Lors d'un refoulement dans la canalisation de déversement ou lors de la présence d'ouvrages de répartition au sein du système d'assainissement, d'autres aspects peuvent encore s'appliquer. Ces deniers doivent être intégrés à la vérification hydraulique en respectant les conditions initiales correspondantes.

En présence d'une section rectangulaire, on considère pour h_{krit} avec b_{Pr} comme largeur du canal :

Équation DB22

$$h_{krit} = \left(\frac{Q_u^2}{g \, b_{Pr}^2} \right)^{1/3}$$

Dans l'équation DB22 les pertes par frottement sont ignorées, elles ne jouent généralement aucun rôle pour les collecteurs courts, en regard des autres incertitudes. Si nécessaire, elles peuvent être estimées, conformément à la figure DB42, comme un accroissement de pourcentage de h_o. Le coefficient de ruissellement selon Strickler peut être fixé à $k_{St} = 85 \; m^{1/3} s^{-1}$ pour les canaux en béton.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

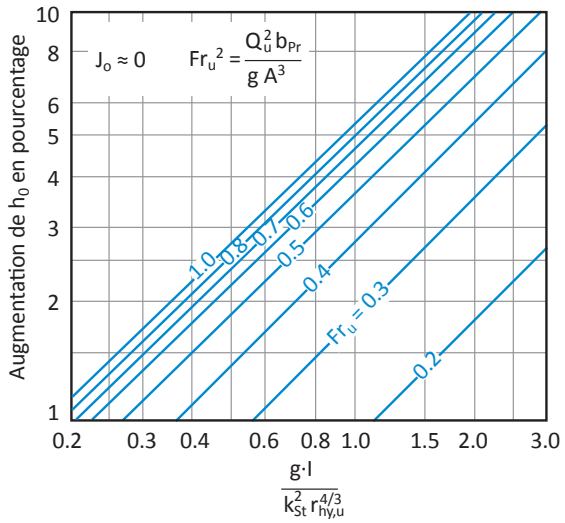


Figure DB42
Augmentation de la profondeur initiale h_o par l'influence du frottement [252].

7.3 Séparation des déchets solides

Il n'existe pas encore en Suisse de directives relatives aux dégrilleurs et aux tamis. C'est pourquoi nous renvoyons au document de travail allemand, DWA-A 166 [266] «Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung – Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung» de la Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

Les problèmes esthétiques qui se posent dans les eaux lors de décharges d'eaux unitaires font partie des atteintes aux eaux les plus fréquentes par temps de pluie. Les études menées par l'Eawag [363] ont montré que, pour éviter ces atteintes, il fallait empêcher toutes les matières solides visibles et reconnaissables à une distance de 5 à 10 mètres de parvenir dans les eaux. Il s'agit plus précisément de particules d'une granulométrie d'environ 1 cm.

Différentes installations techniques sont utilisées pour éviter ces problèmes. Elles comprennent notamment :

- cloisons siphoïdes
- dégrilleurs, tamis et
- brosses et brosses-tamis

7.3.1 Cloisons siphoïdes

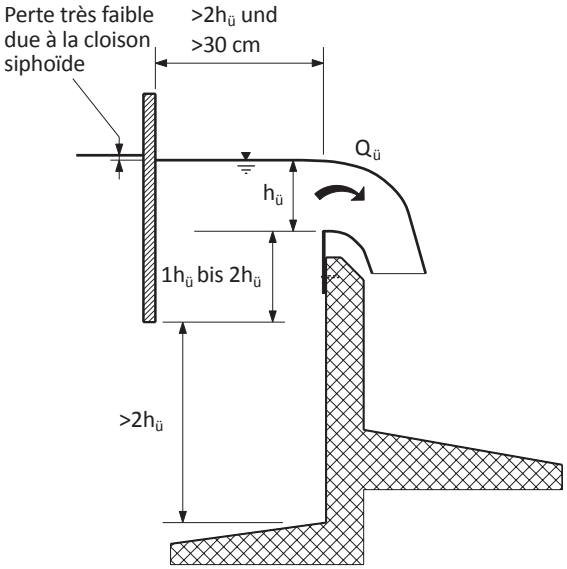
Les cloisons siphoïdes ou parois plongeantes sont des constructions fixes ou mobiles destinées à retenir les matières grossières fflottantes et, en partie également, des solides en suspension (p. ex. papier). Elles plongent dans les eaux usées entrantes ou à dépolluer et retiennent les matières grossières qui se trouvent près de la surface. Les cloisons mobiles s'adaptent au niveau de l'eau et améliorent ainsi l'efficacité de l'installation si le niveau varie fortement. Lorsque le débit est important (forte charge hydraulique vers les seuils de déversoirs), les matières grossières, qui ne flottent alors pas uniquement à la surface, peuvent passer en dessous des cloisons et parvenir dans les eaux.

L'aménagement de cloisons siphoïdes dans les installations de déversoir latéral doit être soigneusement examiné. Un montage incorrect peut produire un effet d'aspiration devant la cloison siphoïde, qui emporterait les matières flottantes et les réintroduirait dans le milieu naturel. En outre, les cloisons siphoïdes ne sont généralement pas prises en compte dans les formules de dimensionnement hydraulique.

Il existe des structures mobiles ou comportant plusieurs parties pour les cloisons siphoïdes. Comme celles-ci affectent hydrauliquement la lame déversante, elles doivent être dimensionnées conformément aux indications du fabricant. Selon DWA-A 111 [252], il est recommandé de dimensionner les cloisons siphoïdes aménagées devant les déversoirs fixes selon la figure DB 43 (voir page suivante).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Figure DB43
Cloison siphoïde devant un déversoir fixe (selon [252]).



7.3.2 Dégrilleurs et tamis

Les installations de dégrilleurs et de tamis sont disposées sur toute la largeur de l'arrivée d'eau ou du déversement ; elles retiennent aussi bien les matières grossières flottantes que celles qui sont en suspension dans l'eau. Les installations plus récentes sont en règle générale équipées d'un dispositif de nettoyage mécanique, qui permet de garder continuellement propres les dégrilleurs ou les tamis. Le degré d'efficacité visé est déterminé par la taille des trous ou des fentes dans la tôle du tamis ou de la distance entre les tiges métalliques parallèles du dégrilleur. En Suisse, ces ouvertures sont en général de l'ordre de 4 à 6 mm.

7.3.3 Brosses et brosses-tamis

Les brosses et brosses-tamis, qui ne sont utilisées que depuis 10 à 15 ans pour le traitement des eaux mixtes en Suisse, empêchent que des matières grossières ne parviennent dans l'exutoire, grâce à la rotation des brosses dans le sens contraire du flux de l'eau. Les matières solides sont retenues et restent dans le canal d'entrée. La rotation est entretenue par les eaux usées qui se déversent.

7.3.4 Informations générales

Les expériences faites en Suisse montrent que

- le degré d'efficacité des dégrilleurs et des tamis avec des ouvertures d'une taille de 4 à 6 mm est suffisant pour remédier aux problèmes esthétiques dans les eaux,
- le dimensionnement hydraulique s'appuyant sur un événement pluvial d'un temps de retour d'un à deux ans était en règle générale suffisant,
- le dimensionnement d'une installation ne disposant pas d'un nettoyage constant des dégrilleurs et des tamis était très difficile ; c'est pourquoi on n'utilise plus aujourd'hui que des installations équipées en conséquence et nettoyant continuellement les dégrilleurs et les tamis, pendant le fonctionnement (= pendant le déversement).
- les installations de dégrillage et de tamisage peuvent être installées soit en entrée de bassin de rétention des eaux pluviales, soit dans le déversoir de sortie. Une disposition à l'entrée du bassin présente l'avantage d'éviter les problèmes de fonctionnement des pompes (p. ex. les blocages dus aux lingettes humides). Ceci permet d'optimiser l'exploitation et la maintenance.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7.4 Déversoirs de sortie

Pour les bassins de décantation, le déversoir d'orage en entrée et le déversoir de sortie doivent être ajustés hydrauliquement les uns aux autres. Le démarrage du déversement en sortie doit être garanti lorsque le débit critique Q_{krit} est dépassé dans la canalisation d'entrée du bassin. Le bassin de décantation ne doit cependant pas être hydrauliquement surchargé, à défaut de quoi la sédimentation des matières particulaires est perturbée et les particules déposées peuvent éventuellement être remises en suspension. Les débits d'entrée dépassant le débit nominal sont directement rejetés dans le milieu naturel par l'intermédiaire du trop-plein.

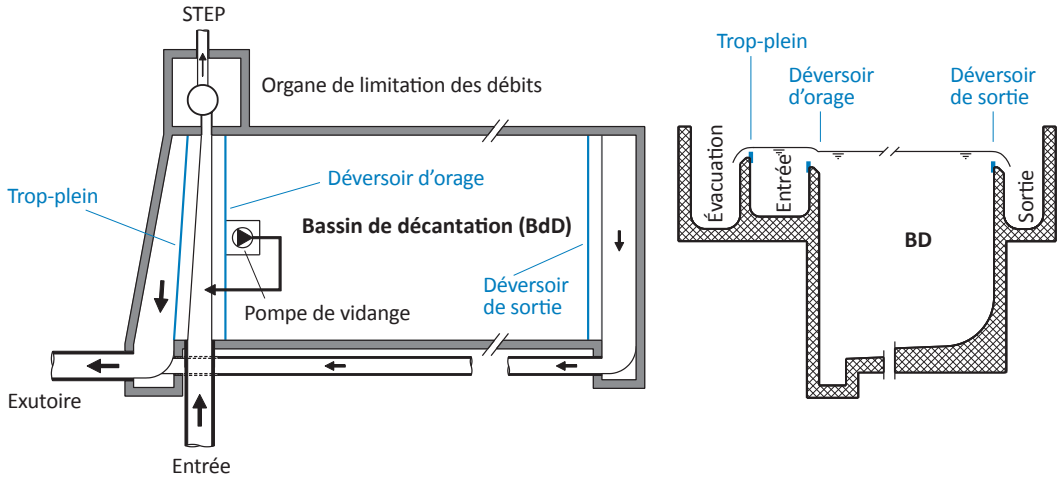


Figure DB44
Définition de déversoir d'orage, déversoir de sortie, trop-plein, dans un bassin de décantation.

La mise en place de déversoir d'orage et déversoir de sortie en tant que deux déversoirs fixes à des niveaux différents ne suffit cependant pas à empêcher la surcharge hydraulique du bassin de décantation. Certes, le trop-plein ne démarrera que lorsque le débit critique sera atteint. Mais le débit critique sera également dépassé sur le déversoir d'orage, ce qui peut conduire à des perturbations importantes sur les processus de sédimentation.

Le réglage du déversoir de sortie peut être conçu, par exemple, au moyen d'orifices dans la zone de sortie. Le volume déversé est ainsi partiellement limité et une surcharge du bassin peut être évitée. Cepen-

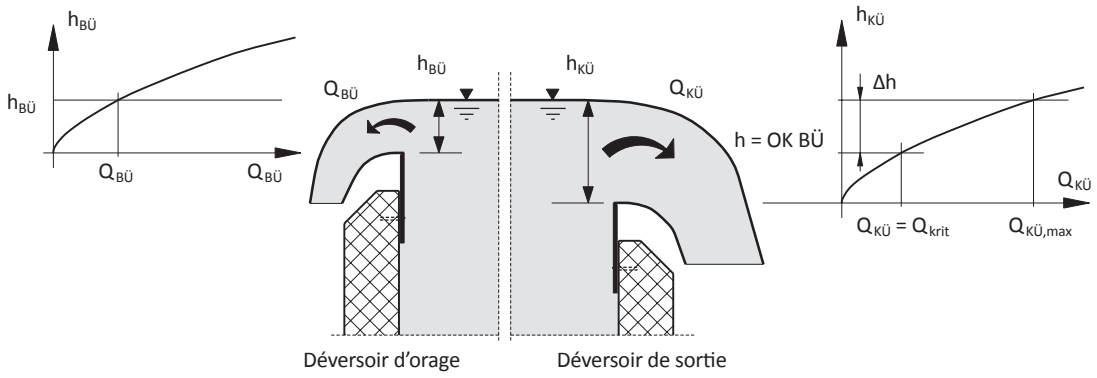


Figure DB45
Déversoir d'orage et déversoir de sortie en tant que déversoirs fixes (Weiss [384]).

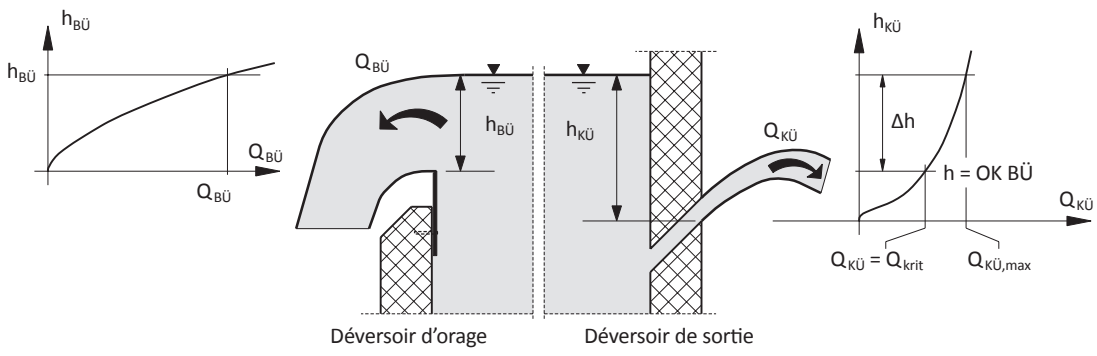
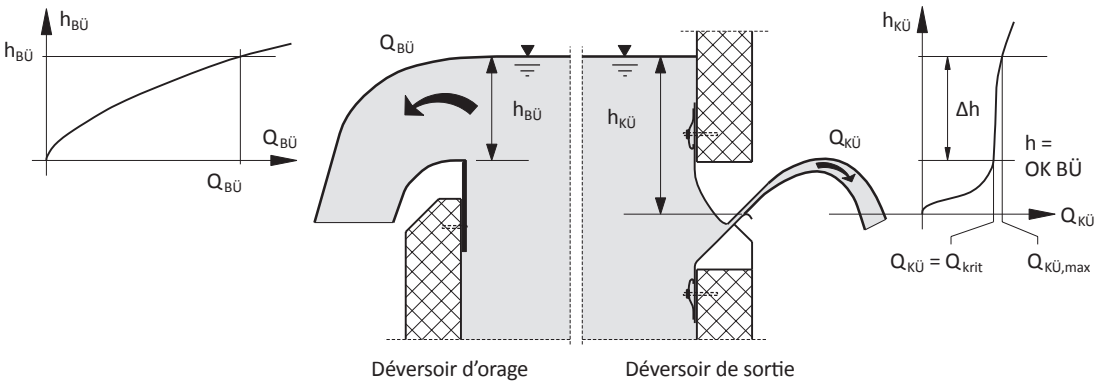


Figure DB46
Cette figure présente l'exécution d'un déversoir de sortie sous forme d'un orifice ascendant servant simultanément de cloison siphoïde (Weiss [384]).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

dant, l'écoulement à travers l'orifice fixe dépend également de la charge et présente aussi une courbe parabolique de sorte que le débit via le déversoir de sortie varie encore considérablement (figur DB46 selon Weiss [384]).

Figure DB47
Cette figure illustre l'exécution d'un déversoir de sortie autorégulé avec une courbe de débit approximativement verticale (Weiss [384]).



Une amélioration peut être obtenue par exemple en assurant un niveau constant de l'eau dans le bassin (p. ex., en contrôlant le flux d'entrée dans la chambre de sédimentation). Une autre possibilité (et peut-être une option avantageuse) consiste à assurer autant que possible la fonction constante Q-h sur le déversoir de sortie, par exemple en utilisant des installations techniques. Il s'agit par exemple, d'un étranglement de sortie en forme d'orifice avec pièces mobiles. Celles-ci sont dimensionnées, respectivement réglées, sur le débit souhaité par le constructeur. Cependant, l'ajustement sur le trop-plein est ici également essentiel (Weiss [384]).

Aucun refoulement ne doit se produire, aussi bien sur le trop-plein que sur le déversoir de sortie. Dans le cas contraire, le déversoir de sortie doit être dimensionné en tenant compte du refoulement. Dans le canal collecteur en aval, une absence de refoulement doit toujours prévaloir sur toute la longueur du déversoir, sans quoi la charge du seuil du déversoir d'orage peut être très inégale.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

8 DESCRIPTION D'AUTRES OUVRAGES

8.1 Équipements mécaniques et électrotechniques des bassins d'eaux pluviales et des déversoirs d'orage

Il n'existe pas encore de directives concernant les équipements mécaniques et électrotechniques des bassins d'eaux pluviales et des déversoirs d'orage. C'est pourquoi nous renvoyons au document de travail allemand, DWA-A 166 [256]

8.2 Séparateurs hydrodynamiques

Les séparateurs hydrodynamiques sont une forme particulière de bassins de clarification. L'amenée tangentielle empêche la stagnation permanente, en créant un courant circulaire stable. Étant donné qu'il n'existe pas encore de directive suisse sur les séparateurs hydrodynamiques, nous renvoyons là encore à un document de travail allemand DWA-A 166 [256]. L'installation de traitement doit être dimensionnée selon [343/346] et [430].

8.3 Installations de filtration, massif filtrant, étangs

Il n'existe pas encore en Suisse de directives relatives aux installations de filtration et aux massifs filtrants. C'est pourquoi nous renvoyons au document de travail allemand DWA-M 178

Dans le cas du dimensionnement d'étangs, nous renvoyons à un autre document de travail allemand, DWA-A 201.

8.4 Nettoyage des routes/regards

D'une manière générale, le sable, les gravillons, le gravier et les autres matières grossières charriées doivent être tenues à l'écart des canalisations et des eaux superficielles. C'est la fonction que doivent remplir les regards d'égout équipés d'un sac à boue et d'un siphon de déversement (Nassgully).

L'effet de ces collecteurs de boue est toutefois contesté. Des études ont montré que ces dispositifs, s'ils sont vidés régulièrement et que le débit maximal est inférieur à 5 l/s, permettraient l'élimination de plus de 80% des substances décantables ; toutefois, les flux, souvent supérieurs, provoquent des tourbillons et les matières fines qui s'étaient déposées sont ainsi entraînées avec l'eau. Globalement, on estime que les collecteurs de boue parviennent à retenir 5 à 10 % des matières solides se trouvant dans les eaux de chaussée des zones urbaines. Ces dispositifs permettent en particulier d'empêcher les matières grossières et les déchets d'entrer dans les canalisations. À l'occasion d'assainissements complets des réseaux enterrés et des routes, il peut être indiqué d'étudier l'utilité de séparateurs centralisés (c.-à-d. que plusieurs bouches d'égout sont raccordées à un grand collecteur de boue présentant des propriétés hydrauliques optimisées).

Le nettoyage mécanique régulier des routes est bien plus efficace pour limiter les quantités de boues s'écoulant des routes. Il permet de réduire notablement la charge polluante dans les eaux de chaussée.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

8.5 Rétention d'eaux usées

8.5.1 Remarque préliminaire

Le bassin d'eaux usées est un élément servant à retenir, par temps de pluie, des eaux usées fortement polluées. Les eaux usées sont produites comme à l'accoutumée, mais ne sont déversées dans les canalisations que si les conditions sont favorables (p. ex. pas de rejets par les DO ou les bassins d'orage ou capacité suffisante à la STEP).

8.5.2 Description et fonction du bassin d'eaux usées

Le système unitaire permet de mélanger des eaux usées présentant différents degrés de pollution. Par temps de pluie, de grandes quantités d'eaux pluviales peu polluées se mélangent donc avec des eaux usées, domestiques et industrielles, fortement chargées. Il en résulte que lors de déversements d'eaux pluviales, des quantités de polluants parfois considérables sont déversées dans les eaux superficielles ; il s'agit de réduire ces déversements d'eaux unitaires, en aménageant des bassins ou en prenant d'autres mesures appropriées.

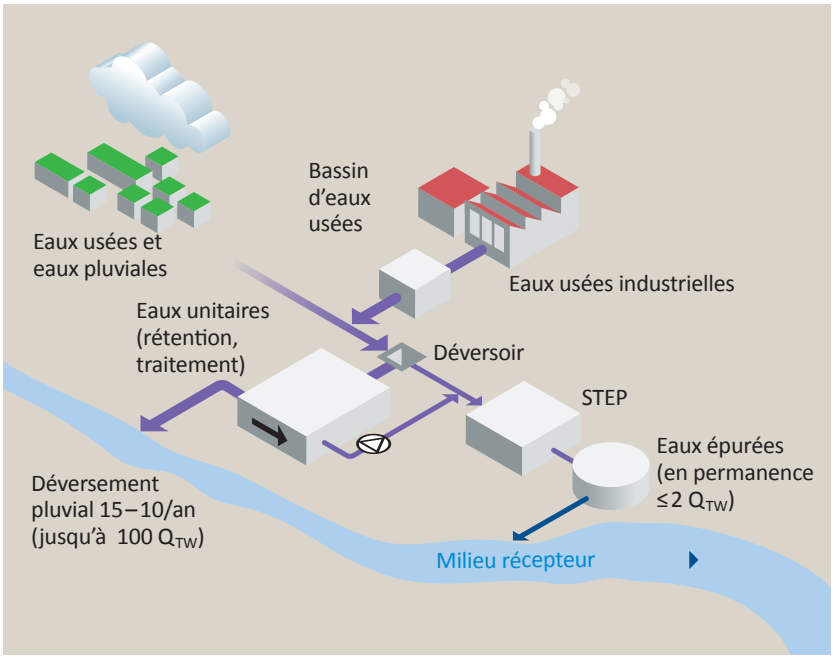
L'idée du bassin d'eaux usées est de stocker les eaux usées fortement chargées par temps de pluie afin d'empêcher qu'elles ne soient mélangées aux eaux pluviales. La pollution des eaux unitaires peut ainsi être nettement réduite, ce qui diminue également les charges déversées et la concentration des polluants. En comparaison des bassins d'eaux pluviales, il est ainsi possible, sous certaines conditions, d'obtenir un même effet à l'aide d'un volume de stockage bien inférieur.

Les eaux usées sont retenues dans le bassin par temps de pluie et ne sont déversées dans le système unitaire qu'après les averses, à savoir lorsque le risque de débordement est écarté.

Il faut d'une manière générale un pilotage du bassin, qui se fait en fonction de la pluie ou du niveau d'eau dans le déversoir d'orage en aval. Il est possible de prévoir un décalage dans le temps pour les processus de remplissage et de vidange afin de tenir compte du temps d'écoulement vers le déversoir d'orage.

La durée de stockage maximale dépend de la composition des eaux usées. Un traitement de ces eaux usées peut être souhaitable, mais il est très onéreux. Dans le cas des bassins d'eaux usées de l'industrie, il est conseillé d'intégrer l'ouvrage au traitement des eaux industrielles ou de combiner les deux.

Figure DB48
Conception du bassin d'eaux usées en prenant l'exemple d'une entreprise industrielle.



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

8.5.3 Planification et dimensionnement du bassin d'eaux usées

8.5.3.1 Généralités

Aucun bassin d'eaux usées n'a été aménagé dans le système séparatif à ce jour. Ceux-ci pourraient être utilisés, par exemple, pour une alimentation plus régulière de la STEP. Les entreprises industrielles recourent souvent à des bassins tampon afin de pouvoir traiter les eaux usées, produites par à-coups, dans une installation d'épuration fonctionnant en permanence ou de réguler le débit des eaux usées. Nous n'avons toutefois connaissance d'aucun bassin tampon qui serait piloté en fonction de la pluie, de manière à réduire les déversements pluviaux. Les bassins tampon peuvent d'une manière générale être utilisés pour le stockage d'eaux usées. Leur capacité n'atteint cependant pas celle d'un bassin aménagé spécialement pour retenir les eaux usées.

Si les processus de production d'une entreprise sont à l'origine de quantités variables d'eaux usées, avec des charges en polluants différentes, modifier ces processus de production peut être une mesure tout aussi appropriée pour réduire par moments le débit d'eaux usées.

Les conditions techniques relatives au bassin d'eaux usées sont connues et suffisamment éprouvées. Les techniques de mesure, de pilotage et de régulation ne sont pas très complexes ; une riche expérience existe déjà pour différentes technologies, venant du domaine des canalisations et du génie des procédés. Les technologies d'épuration, d'aération et de traitement sont également bien éprouvées ; aucun nouveau développement technique n'est par conséquent nécessaire pour réaliser un bassin d'eaux usées.

8.5.3.2 Limites, exigences, conditions cadres

Il convient de tenir compte des points suivants :

- Lorsque la surface drainée par un système séparatif est inférieure à 35 %, les bassins d'eaux usées sont inefficaces ; dans ce cas, mieux vaut n'utiliser que des bassins d'eaux unitaires. Lorsqu'elle est comprise entre 35 % et 65 %, une combinaison de bassins d'eaux unitaires et d'eaux usées paraît judicieuse ; lorsque elle dépasse 65 %, il faudrait recourir uniquement aux bassins d'eaux usées.

- Il convient de tenir compte de l'effet de précipitations irrégulières dans le bassin versant, en procédant à une simulation (modèle numérique) ; sinon, le résultat obtenu grâce au bassin d'eaux usées risque d'être sous-estimé.

- Un tel bassin ne peut être pleinement efficace que si la durée d'écoulement jusqu'au prochain déversement est inférieure au temps de concentration dans le bassin versant ; autrement, il faudra éventuellement déverser des eaux industrielles qui avaient déjà été rejetées dans les canalisations avant la pluie.

- Le pilotage du bassin d'eaux usées est difficile lorsque les durées d'écoulement dans les canalisations sont longues. S'il se fait en fonction de la pluie, il n'est pas aisé de trouver la valeur limite optimale. S'il se fait en fonction du niveau d'eau dans le déversoir d'orage en aval, le bassin d'eaux usées doit être activé sur la base de la tendance à l'augmentation du niveau et du niveau effectif.

- Les eaux usées domestiques ne devraient pas être stockées plus de 4 heures dans le bassin d'eaux usées, car il risque de se créer un milieu anoxique ou anaérobie, qui peut déboucher sur la formation de sulfure d'hydrogène (H_2S). Un traitement chimique, par exemple avec du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), peut maintenir le milieu aérobie, mais augmente considérablement les charges d'exploitation du bassin.

- L'efficacité du bassin d'eaux usées dépend dans une large mesure de diverses conditions cadres, par exemple de la stratégie de pilotage, des concentrations respectives d'eaux pluviales, d'eaux usées et d'eaux usées industrielles ainsi que du volume du bassin. Des remarques sur les stratégies liées à la gestion du réseau d'assainissement de manière dynamique sont données au chapitre 11.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

8.5.3.3 Planification et dimensionnement

La modélisation du bassin d'eaux usées peut se faire à l'aide d'un modèle stochastique-probabiliste ou d'un modèle déterministe avec analyse de la sensibilité.

Son objectif est d'estimer la réduction des charges polluantes pouvant être obtenue au niveau du déversoir d'orage en aval. Ces données permettent de comparer les résultats escomptés de cette mesure à ceux d'autres interventions possibles.

Variables pour le dimensionnement :

- V_{BP} [m^3/ha] : volume de stockage spécifique
- r_{ab} [l/s/ha] : écoulement du bassin d'eaux pluviales vers la STEP
- Q_{EI} [m^3/d/ha] : quantité d'eaux usées industrielles
- Concentrations respectives EP/EU/EI

8.5.4 Performance des installations

La performance du bassin d'eaux usées est élevée lorsque les concentrations sont grandes dans les eaux usées industrielles et faible lorsque les différences de concentration sont petites entre eaux pluviales, eaux usées et eaux industrielles.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

9 CONSEILS POUR LA RÉHABILITATION DES OUVRAGES

9.1 Remarques générales

Sous le terme de réhabilitation, on entend la réparation, la modernisation, l'extension des capacités et l'augmentation de la performance des DO et BEP.

Elle entre en ligne de compte lorsque :

- l'état les ouvrages et/ou les dispositifs électromécaniques de l'installation nécessitent un assainissement,
- une vérification des performances hydrauliques actuelles et des procédés techniques en lien avec la protection des eaux exige une adaptation,
- les conditions de fonctionnement dans le réseau d'assainissement et dans la STEP sont insuffisantes.

En principe, lors des réhabilitations, l'auteur du projet devrait également se documenter sur les innovations et – dans la mesure du possible – tenir compte des dispositions de la présente directive. Cependant, avant chaque réhabilitation, le besoin d'assainissement doit être vérifié et les coûts justifiés. En l'occurrence, la rentabilité du projet doit également être prouvée.

9.2 Assainissement et rénovation de la structure des ouvrages

La présente directive ne traite pas de la planification et de la mise en œuvre de mesures visant à remettre en état des déversoirs et bassins d'eaux pluviales existants. À ce propos, nous renvoyons aux documents allemands suivants :

- Arbeitsblatt DWA-A 166 [256] «Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung – Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung»
- Merkblatt DWA-M 176 «Hinweise zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung»

9.3 Adaptation des performances hydrauliques et des procédés techniques

Les bases en matière d'adaptation de la performance hydraulique et des procédés techniques des installations sont traitées dans le cadre de l'application du module STORM ou de l'examen de l'admissibilité simplifié selon le module de base. Cette adaptation peut se produire p. ex. après identification d'un problème actuel ou dans le cadre du PREE ou de PGEE.

9.3.1 Adaptation des déversoirs d'orage

Des mesures et des contrôles doivent (si possible) être effectués en collaboration avec des spécialistes dans les cas suivants : lors de l'examen du fonctionnement et d'une éventuelle adaptation des déversoirs d'orage existants avec un débit situé dans une fourchette allant d'un écoulement fluvial jusqu'à

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

faiblement torrentiel ($0.75 < Fr_o < 1.5$), pour des déversoirs avec des courbures dans la zone d'entrée, pour d'autres constructions spéciales et lors de limitation des débits inadaptée.

9.3.2 Adaptation des bassins d'eaux pluviales

Les bases pour définir le volume de rétention nécessaire peuvent être déterminées à l'aide du procédé STORM. En l'occurrence on tiendra compte non seulement d'une seule installation, mais de l'ensemble du système d'assainissement. De plus, des modifications peuvent également s'imposer dans la disposition des bassins (en série ou en parallèle) et dans le type de bassins (stockage, décantation et bassins combinés). Ces décisions doivent être prises dans le cadre conceptuel de la résolution des problèmes selon le module STORM.

L'extension du volume peut être obtenue par l'augmentation de la hauteur de rétention des bassins, par la prise en compte du volume de la canalisation d'entrée, par la construction de chambres supplémentaires ou par la combinaison de ces options. Lors de la construction d'ouvrages supplémentaires, une méthode de construction compacte devrait également être recherchée.

Lors du renouvellement d'un bassin d'eaux pluviales, une attention particulière doit être accordée à la limitation des débits. Les tronçons (sections) d'étranglement existants et généralement difficilement calculables au niveau hydraulique devraient être remplacées par des organes de limitation.

Les exigences hydrauliques de la présente directive doivent être prises en compte. La fonction hydraulique du bassin d'eaux pluviales et de ses composants doit être prouvée par calcul et représentée dans une coupe longitudinale.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

10 EXPLOITATION PROVISOIRE D'UN OUVRAGE AVEC SUIVI

10.1 Buts

Le but de l'exploitation provisoire avec suivi est le choix de la mesure la plus appropriée avec le meilleur rapport coût-bénéfice pour un problème donné. En particulier, il permet d'obtenir une meilleure base de connaissance lorsque des données de bases font défaut. Il est utilisé lorsque l'option STORM ne donne lieu à aucune mesure proportionnée par laquelle les exigences minimales peuvent être satisfaites ou si l'équipe interdisciplinaire prend la décision que les connaissances existantes ne sont pas suffisantes pour planifier d'autres actions. Dans ce cas l'amélioration du suivi de l'installation peut être une mesure rentable pour améliorer la base de connaissances. Plusieurs pistes montrent que de meilleures bases de planification mènent souvent à des solutions techniques mieux adaptées et plus rentables [433].

10.2 Méthodologie

L'exploitation provisoire devrait fournir une meilleure base pour i) la «détermination de la charge de déversement» (cf. module B 8.2), et ii) la vérification des mesures selon STORM. Cela permet de confirmer les résultats des modèles numériques de simulation de charge polluantes utilisés, et de réduire ainsi les incertitudes dans la planification. Un exemple typique serait la modélisation d'un déversoir d'orage avec des déversements importants dans un petit cours d'eau. L'analyse est la suivante: premièrement, les exigences minimales (module B 8.5) ne sont pas respectées mathématiquement. Deuxièmement, les analyses sur le cours d'eau ne révèlent toutefois aucune dégradation. Troisièmement, une réduction des paramètres de déversement nécessiterait des mesures coûteuses. Le suivi hydraulique et des charges polluantes montre dans ce cas des valeurs réelles significativement inférieures à celles du modèle. Des solutions plus économiques peuvent ainsi être planifiées. Le suivi concerne généralement les débits (précipitations, ruissellement et volume) et les polluants (concentrations, charges), mais aussi la connaissance des précipitations locales, une meilleure prise en compte du débit du cours d'eau et plus d'information sur les paramètres sensibles du modèle et sur les variables utilisées.

10.3 Limites d'applicabilité

L'exploitation provisoire ne peut se substituer aux mesures. Il ne peut pas non plus s'appliquer sur plusieurs années pour retarder leur mise en œuvre. Un suivi des mesures réalisées est soumis à l'examen des performances en matière d'émissions (cf. module B, annexe 1). Le coût du monitoring est évalué lors du projet et son financement est assuré. Il doit respecter le principe de proportionnalité prescrit dans la loi.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

11 GESTION DU RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT

11.1 Introduction

Les interventions opérationnelles dans les processus d'assainissement urbain et de traitement des eaux usées en temps réel (RTC «Real Time Control») sont généralement qualifiées dans la pratique de gestion dynamique des débits ou gestion dynamque des réseaux d'assainissement. Elles représentent une variété de mesures qui peuvent être utilisées pour contrôler un phénomène instantané et temporel (c'est-à-dire utilisation maximale de la capacité disponible) dans un système existant. L'objectif le plus courant est de réduire l'impact sur l'environnement des rejets des réseaux d'assainissement dans les milieux récepteurs ou de réduire les sections de réseau soumises à une surcharge hydraulique. En outre, les coûts d'exploitation et d'entretien doivent également être limités. Avec l'assistance d'appareils de commande et de régulation, les processus d'écoulement dans le réseau d'assainissement sont activement influencés. Cela a un impact sur le réseau de canalisation lui-même, sur le milieu naturel et sur la station d'épuration des eaux.

11.2 Systèmes de commande et de régulation

Dans la gestion dynamique du réseau d'assanissement, une distinction technique peut être faite entre le commande et la régulation :

Dans le système de commande, les variables de sortie (p. ex. le débit régulé) sont commandées en fonction des variables d'entrée (p. ex. niveau d'eau dans le réservoir d'eaux pluviales) au moyen d'un actionneur/actuateur (p. ex. limitateur de débit).

Le système de commande fournit également un retour d'information, puisque la valeur de la grandeur réglée est mesurée (valeur réelle) et comparée à une valeur de consigne. L'écart par rapport à la valeur de consigne est calculé à l'aide des valeurs spécifiées et est automatiquement corrigé (avec un élément de contrôle final). En raison de ce retour d'information de la grandeur réglée par l'intermédiaire d'un élément de mesure et d'un régulateur, une boucle fermée est créée (boucle de régulation). La boucle fermée se distingue clairement d'un système de régulation (système ouvert, pas de retour d'information).

Dans la pratique, une distinction est faite entre les systèmes suivants :

- Systèmes de commande statiques (figure DB49) avec régulation constante, p. ex. vortex ou tuyaux d'étranglement. Avec ces systèmes, la valeur de contrôle est physiquement prédéterminée et n'est pas modifié, ou seulement légèrement, lors d'un événement pluvial.

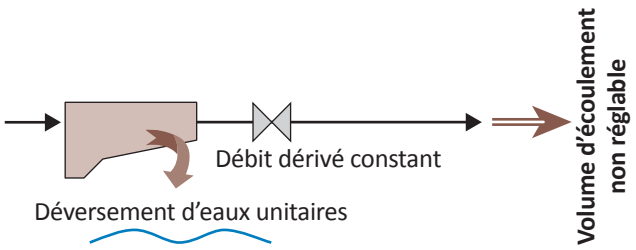


Figure DB49
Exemple d'un régulateur statique.

- Les commandes locales (figure DB50), qui se composent d'un élément de réglage (par exemple une vanne), d'un régulateur avec une valeur de contrôle fixe et une mesure, sont définies à l'aide de prescriptions locales. Pendant l'épisode de pluie, l'élément de réglage est positionné par le régulateur conformément à une commande mathématique spécifique (p. ex. proportionnelle à la valeur actuelle du débit entrant). La valeur de contrôle est normalement paramétrable et peut être adaptée à de nouvelles conditions

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

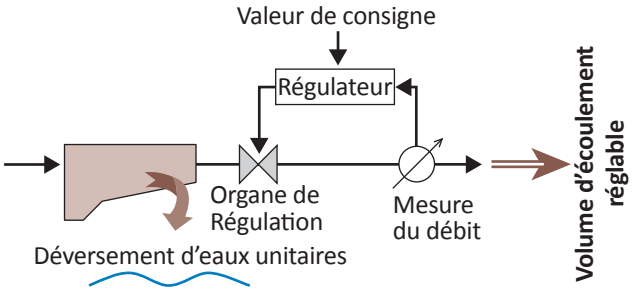


Figure DB50
Exemple d'une régulation locale.

- Dans le cas des systèmes de contrôle globaux (figure DB51), appelés aussi communément systèmes de contrôle centralisés, les informations de tous les ouvrages sont collectées de manière centralisée. Sur la base de l'état de fonctionnement actuel, les valeurs de commande des différentes structures sont coordonnées et déterminées en permanence. Avec les commandes interconnectées, on s'assure par exemple, que tous les volumes de rétention existants sont remplis avant qu'un déversement dans le milieu récepteur se produise. De telles approches sont particulièrement adaptées aux grands réseaux d'assainissement avec des volumes de rétention important car, par exemple, dans le cas d'une pluviométrie non uniforme sur le bassin versant, les fonctions de tous les systèmes peuvent être adaptées aux événements spécifiques. Les informations provenant des stations météo radar peuvent également être intégrées dans des systèmes de contrôle de régulation afin d'obtenir la meilleure efficacité possible. Les systèmes de gestion interconnectés sont actuellement principalement utilisés en fonction des émissions. Il serait également souhaitable à l'avenir que la gestion dynamique des réseaux soit axée sur les immissions, ce qui permettra de contrôler les charges polluantes.

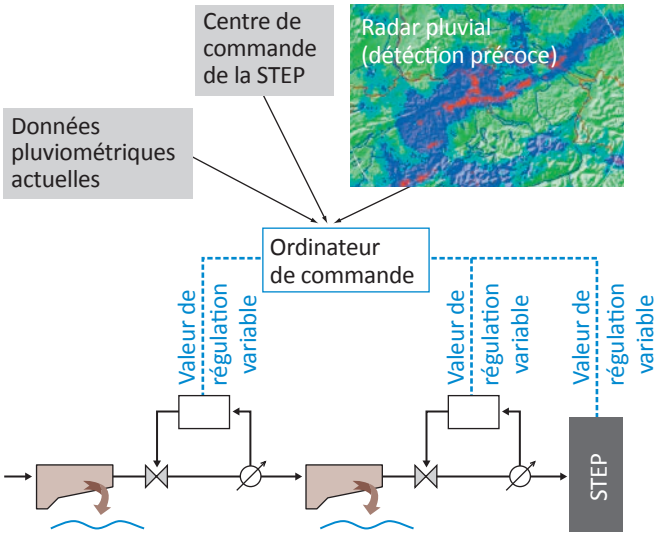


Figure DB51
Exemple d'une régulation interconnectée.

Les commandes peuvent être actionnées manuellement (par le personnel opérateur) ou automatiquement (rarement jusqu'à présent, sur la base de calculs de modèles parallèles, ou de «simulations on-line»).

Pour la plupart des interventions, il est possible de contrôler la quantité d'eau (en fonction du niveau ou du débit) ou la charge polluante (en fonction d'un ou plusieurs paramètres de charge polluante). Actuellement, les modes de gestion dépendant de la charge polluante sont une exception dans le domaine de la gestion des eaux pluviales.

Les systèmes de gestion statiques et les systèmes de régulation locaux sont plus considérés comme des systèmes de limitation des débits que des systèmes de gestion dynamique des réseaux d'assainissement.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

11.3 Importance de la gestion du réseau d'assainissement

La gestion du réseau d'asainissement poursuit essentiellement les objectifs suivants :

- Réduction de la pollution du milieu récepteur par une utilisation adaptée du volume de stockage existant sur le réseau.

- Adaptation des apports d'eau dans la station d'épuration par rapport à la capacité maximale (lissage des pointes de rejets).

- Optimisation du fonctionnement du réseau d'assainissement (limitation des surcharges dans le réseau d'assainissement).

Il est fort possible que les objectifs mentionnés se contredisent parfois. Mais la première priorité devrait être accordée à maintenir les objectifs de protection des eaux. A condition de ne pas provoquer de perturbation au système d'assainissement.

La gestion des réseaux d'assainissement est particulièrement utile dans les réseaux plats de grande dimension. Mais même dans un petit système, un effet positif peut être obtenu avec peu d'effort [320]. Cette mesure nécessitera, dans la plupart des cas, l'activation et la gestion ciblée des systèmes existants de stockage.

Jusqu'à présent, les systèmes de régulation de débit sont basés sur des valeurs de mesure hydrauliques telles que le débit et le niveau de remplissage. Les données de mesure sont également utilisées pour obtenir un aperçu du fonctionnement de l'appareil de mesure et de la performance des installations. Une bonne qualité des données est importante pour le contrôle et l'évaluation, permettant non seulement une meilleure planification (p. ex. contrôle de plausibilité des modèles) mais aussi un contrôle de performance pour les autorités de protection de l'eau. A l'avenir, on utilisera également des systèmes de gestion orientés vers le transport de la charge polluante. L'objectif est d'améliorer le fonctionnement des ouvrages en réseaux unitaires, dont les performances dépendent de la charge hydraulique. Les propriétés spécifiques du réseau d'assainissement doivent être utilisées lors du transport des polluants, comme l'interception des pics de concentration dans les espaces de stockage en certains points, afin de limiter le déversement de substances polluantes.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

ANNEXE 1

Annexe 1A

Explications de l'exemple DB2 au chapitre 5.4.3

Les sections suivantes illustrent le calcul itératif du dimensionnement hydraulique d'un déversoir latéral selon Hager [373, 374] à l'aide un exemple simple. Le résultat du même exemple est également présenté dans le chapitre 5.4.2 du présent module.

1. Données du problème

Un déversoir unilatéral existant à crête basse avec une longueur de seuil du déversoir L = 4.70 m doit être converti en un déversoir à crête haute. Les dimensions de l'objet doivent être si possible maintenues, en particulier la longueur du seuil du déversoir.

Donné :

$Q_o = 1.00\ m^3s^{-1}$	$D_o = 0.90$ m	$J_{S,o}$ dans la zone d'entrée = 4 ‰	$k_{St} = 85\ m^{1/3}s^{-1}$
$Q_u = 0.07\ m^3s^{-1}$	$\Delta L = 4.70$ m	n* = 1 déversoir unilatéral	$\Delta s = 0.05$ m

Conditions initiales :

1. Hauteur du seuil du déversoir $w_o = 0.6$ à $0.8\ D_o \approx 0.55$ à 0.7 m
2. Nombre de Froude Fr dans la zone d'entrée < 0.75 (dans la plage entre «o» et «ZB»)
3. Charge hydraulique du seuil du déversoir $\Delta Q/\Delta L \leq 300\ ls^{-1}m^{-1}$ (recommandation selon DWA-A 166 [256])
4. $q_u < 0.6$ [–] (intensité de débit selon Hager [373, 374]). En cas de non respect de cette condition initiale, les résultats du calcul sont incorrects [374].

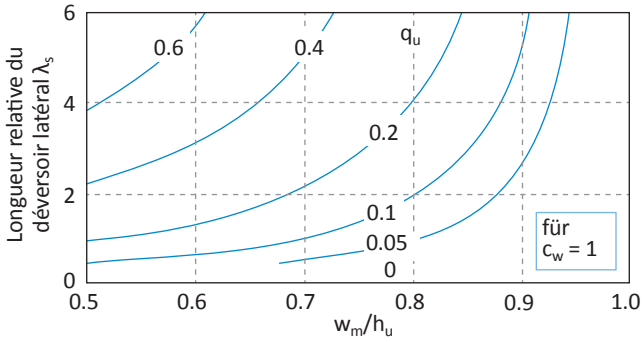


Figure DB52
La représentation correspond à l'estimation du champ d'application de l'équation DB11 [373, 374] pour $c_w = 1$, longueur relative du déversoir latéral $\lambda_s = n^* \cdot c_w \Delta L/D_o$.

2. Analyse de la situation

Pour le traitement de ce cas, 4 zones hydrauliques représentées dans la figure suivante sont prises en considération :

- Dans la zone de contrôle du débit, le débit admissible en direction de la station d'épuration est fixé à $Q_u = 0.07\ m^3s^{-1}$ (valeur donnée).

- Dans la zone de la lame déversante, les dimensions de l'installation pour le cas donné (déversoir unilatéral) sont calculées avec une longueur de seuil du déversoir de $\Delta L \approx 4.70$ m. À cet effet, les conditions initiales 1, 3 et 4 doivent être respectées. Les variables pour ce calcul sont la hauteur moyenne du seuil du déversoir w_m et le niveau d'eau h_u à la limite inférieure du seuil du déversoir.

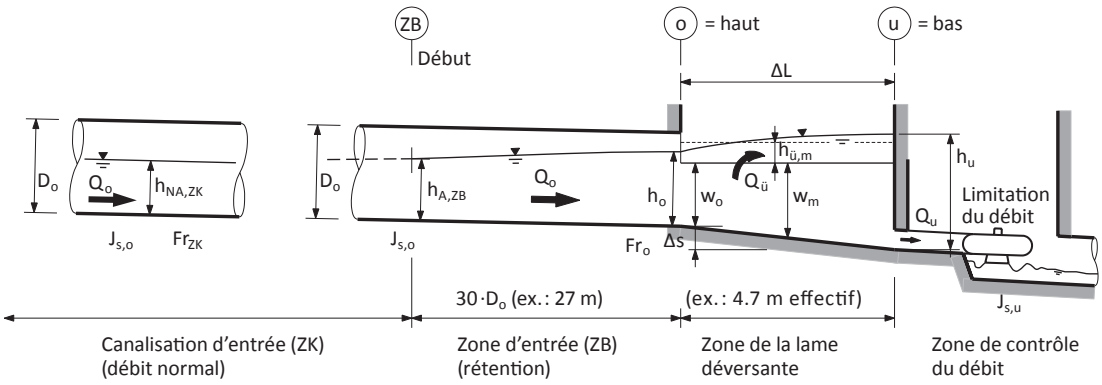
- Dans la zone d'entrée ($30 \cdot D_o = 27$ m), le respect des conditions d'écoulement quant à sa stabilité (flux stable, Fr < 0.75) est vérifié. A cet effet, le nombre de Froude est calculé au début ($Fr_{A,ZB}$) et à la fin (Fr_o)

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

de la zone d'entrée. Cette vérification exige le calcul des profondeurs d'eau au début $h_{A,ZB}$ et à la fin h_o de la zone d'entrée (au moyen d'une courbe de remous).

- Grâce au contrôle des conditions d'écoulement dans la canalisation d'entrée (écoulement fluvial, torrentiel) la présence d'un ressaut est vérifiée (et si oui sa position est déterminée).

Figure DB53
(correspond à la figure de l'exemple DB 5.2 dans le chapitre 5.4.2).



3. Calcul

Le calcul (itération) peut être effectué, par exemple à l'aide d'un tableur.

1ère étape de calcul

1. Choix de h_u et w_m (point de départ pour le calcul avec écoulement fluvial) :
   h_u = 0.80 m et w_m = 0.60 m

2. Résultats du 1er calcul

ΔQ	= 1.0 – 0.07 = 0.93 m^3s^{-1}		
w_o	= 0.60 – ½ · 0.05 = 0.575 m		
w_o/D_o	= 0.64		→ condition initiale 1 respectée
F*	= 0.72 m^2	selon équation DB9	
v_o	= 1.39 $m\,s^{-1}$		
h_o	= 0.701 m	selon équation DB8	
Fr_o	= 0.68	selon équation DB1 à l'entrée du DO	→ condition initiale 2 respectée
h_m	= 0.767 m	selon équation DB6	
ΔQ/ΔL	= 0.111 $m^3s^{-1}m^{-1}$	selon équation DB11	→ condition initiale 3 respectée
ΔL	= 8.36 m > 4.70 m	selon équation DB11	→ adaptation de h_u et/ou w_m nécessaire → 2ème étape de calcul
$h_{ü,m}$	= 0.167 m		

2ème étape de calcul

1. Choix de h_u et w_m (point de départ pour le calcul avec écoulement fluvial) :
   h_u = 0.85 m et w_m = 0.6 m

2. Résultats du 2ème calcul :

ΔQ	= 1.0 – 0.07 = 0.93 m^3s^{-1}		
w_o	= 0.60 – ½ · 0.05 = 0.575 m		
w_o/D_o	= 0.64		→ condition initiale 1 respectée
F*	= 0.76 m^2	selon équation DB9	
v_o	= 1.31 $m\,s^{-1}$		
h_o	= 0.763 m	selon équation DB8	
Fr_o	= 0.58	selon équation DB1 à l'entrée du DO	→ condition initiale 2 respectée
h_m	= 0.821 m	selon équation DB6	
ΔQ/ΔL	= 0.176 $m^3s^{-1}m^{-1}$	selon équation DB11	→ condition initiale 3 respectée
ΔL	= 5.29 m > 4.70 m	selon équation DB11	→ adaptation de h_u et/ou w_m nécessaire → 3ème étape de calcul
$h_{ü,m}$	= 0.221 m		

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

3ème étape de calcul

1. Choix de h_u et w_m (point de départ pour le calcul avec écoulement fluvial) : h_u = 0.85 m und w_m = 0.58 m

2. Résultats du 3ème calcul :

ΔQ	$= 1.0 - 0.07 = 0.93\ m^3 s^{-1}$		
w_o	$= 0.58 - ½ \cdot 0.05 = 0.555$ m		
w_o/D_o	= 0.62		→ condition initiale 1 respectée
F*	$= 0.76\ m^2$	selon équation DB9	
v_o	$= 1.31\ m s^{-1}$		
h_o	= 0.763 m	selon équation DB8	
Fr_o	= 0.58	selon équation DB1	
		à l'entrée du DO	→ condition initiale 2 respectée
h_m	= 0.821 m	selon équation DB6	
$\Delta Q/\Delta L$	$= 0.202\ m^3 s^{-1} m^{-1}$	selon équation DB11	→ condition initiale 3 respectée
ΔL	= 4.61 m ≈ 4.70 m	**La concordance numérique est suffisamment précise concernant le choix de w_m.**	
$h_{ü,m}$	= 0.241 m		

3. Vérification du respect des conditions initiales :
Détermination de la hauteur du remplissage partiel au début de la zone d'entrée $h_{A,ZB}$ ≈ 0.69 m (calcul des courbes de remous en direction opposée à l'écoulement)
Longueur de la zone d'entré = 27 m condition $30 \cdot D_o$

$Fr_{A,ZB}$	= 0.70	écoulement fluvial stable	→ condition initiale 2 respectée
q_u	= 0.421 m	$q_u = \Delta Q/(g \cdot D_o^2 \cdot h_ü^3)^{½}$	→ condition initiale 4 respectée
w_m/h_u	= 0.682		
λ_s	= 5.124	$\lambda_s = n^* \cdot c_w \cdot \Delta L/D_o$	

4. Conditions d'écoulement dans la canalisation d'entrée :
Profondeur de l'eau (débit normal) dans la canalisation d'entrée h_{NA} ≈ 0.62 m
Fr = 0.93 dans le canal d'entrée
Aucun ressaut hydraulique dans la canalisation d'entrée

4. Résultat

Pour h_u = 0.85 m et w_m = 0.58 m, la longueur du seuil de déversoir de 4.70 m peut être maintenue.

Annexe 1B

Hauteur de déversoir supérieure au niveau le plus élevée de la canalisation d'entrée – notes explicatives voir chapitre 5.4.2

Un déversoir situé au-dessus du niveau le plus élevé de la conduite d'entrée constitue un cas également rencontré dans la pratique en Suisse. Pour cette application, les équations DB5 à DB11 n'ont aucune validité.

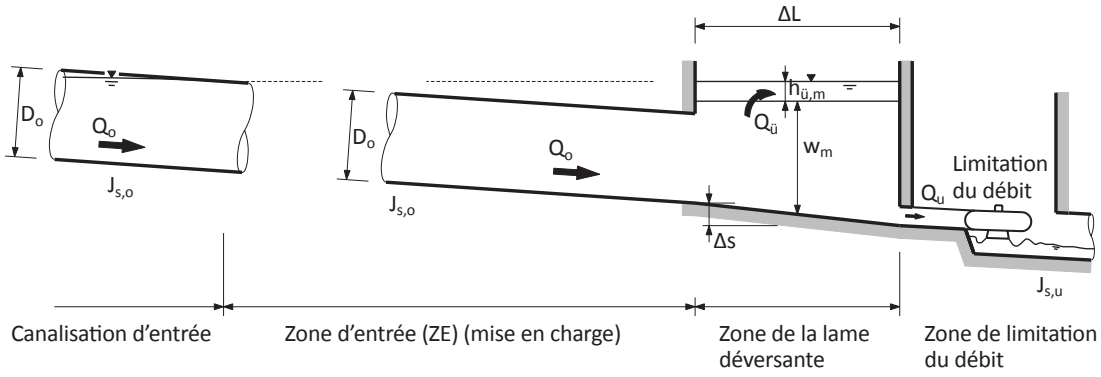


Figure DB54
Installation d'évacuation avec seuil de déversoir au-dessus du niveau le plus élevé de la conduite d'entrée.

La zone d'entrée fonctionne en tant que conduite en charge. Dans la zone de la lame déversante, toutes les particules d'eau reçoivent une impulsion verticale. Cette action a un impact sur les conditions hydrauliques au niveau du seuil de déversement, qui ne sont pas comparables à celles du déversoir à courant latéral et niveau d'eau libre dans le canal d'entrée.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Concernant le dimensionnement, on choisira, en première approche un déversoir fixe à entrée verticale. Ce type de déversoir peut être calculé selon la formule de Poleni.

Équation DB23

Avec un débit de déversement $Q_ü = Q_o - Q_u$ connu et une longueur ΔL admise, on peut calculer la hauteur $h_{ü,m}$ de la lame déversante :

$$h_{ü,m} = [3 \cdot Q_ü / (2 \cdot \mu \cdot c \cdot \Delta L \cdot (2g)^{½})]^{⅔}$$

Équation DB24

Si la longueur de la lame déversante doit être déterminée, avec un débit de déversement $Q_ü$ connu et une hauteur $h_{ü,m}$ admise, on obtient

$$\Delta L = 3 \cdot Q_ü / (2 \cdot \mu \cdot c \cdot \Delta L \cdot [2g]^{½} \cdot h_{ü,m}^{3/2})$$

μ = coefficient de la lame déversante tenant compte de la crête du déversoir, sans dimension
c = coefficient tenant compte de la lame déversante noyée, sans dimension
$h_{ü,m}$ = valeur moyenne calculée pour la hauteur du niveau d'eau dans la canalisation unitaire au-dessus de la crête du déversoir en m

Dans le calcul hydraulique selon [252], on introduira pour le coefficient de la lame déversante :

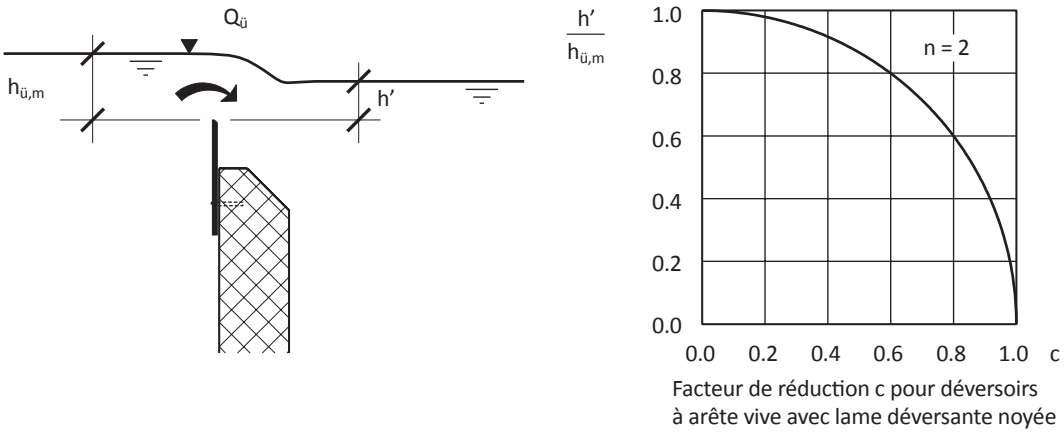
- $\mu = 0.62$ pour un déversoir à arête vive et ventilé,
- $\mu = 0.50$ pour tous les autres formes réalisées, sans indications particulières

Pour des cas particuliers (p. ex. des expériences sur maquette) d'autres valeurs de coefficients sont possibles.

Lors d'une lame déversante dénoyée, la valeur de c = 1 sera considérée. Pour une lame déversante noyée la valeur de c sera abaissée en fonction du niveau du bief inférieur h'. Voir figure DB55.

Pour d'autres formes de déversoir (couronne ronde, large, etc.), voir la littérature correspondante.

Figure DB55



Facteur de réduction c pour déversoirs à arête vive avec lame déversante noyée

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

ANNEXE 2

Remarques sur le dimensionnement des processus techniques des bassins de décantation (système unitaire) et des bassins de clarification (système séparatif)

1. Introduction

Les bassins de décantation (BdD) et les bassins de clarification (BdC) sont principalement destinés à la rétention des particules décantables provenant des eaux unitaires, respectivement des eaux pluviales, provenant des surfaces urbaines et de voies de communication. En plus de la sédimentation des matières particulaires, la rétention permet également la retenue partielle des matières particulaires dissoutes et des matières non décantables. Ainsi les BdD et BdC appartiennent aux procédés à actions plus larges ou partiellement sélectives du traitement des eaux usées.

Le dimensionnement des BdD et BdC est basé sur le respect des charges admissibles (émissions) déversées dans le milieu récepteur. Les deux processus de sédimentation et rétention sont ainsi pris en compte. Les émissions admissibles sont tirées de l'étude conceptuelle selon le module STORM. En général, il s'agit des indications suivantes :

- Charges annuelles des émissions autorisées (valeur de 20 %, 50 % et 80 % de la courbe cumulée des charges de MES admissibles déversées dans le milieu récepteur).

- Type de polluants déterminants (p. ex. métaux lourds) et leur pourcentage par rapport à l'ensemble des matières en suspension (charge en MES).

- Vitesse de sédimentation critique $v_{s\,krit}$ des MES. Il s'agit de la vitesse de décantation de la fraction «critique» c.-à-d. des particules les plus petites de la fraction, qui doivent être retenues par sédimentation dans le BdD ou le BdC.

- Le degré d'efficacité choisi et la capacité de rétention des BdD et BdC proviennent de l'étude conceptuelle (module STORM). Ces données (colmatage, sédiments en anaérobiose et sédiments toxiques) ont été utilisées pour la détermination des immissions admissibles. Elles peuvent également être utilisées en tant que valeurs indicatives dans le dimensionnement proprement dit. Ces données ne fournissent cependant aucun chiffre clé (p. ex. pour la dimension de l'installation). Les caractéristiques réelles, adaptées aux conditions locales de l'installation, sont plus détaillées et peuvent également différer sensiblement des données de l'étude conceptuelle.

Sans ces indications, les BdD et BdC ne peuvent pas être dimensionnés conformément à la présente directive.

Pour les petites installations, la conception et le dimensionnement hydraulique peuvent être réalisés au moyen de solutions types et d'indications empiriques de dimensionnement. Pour les grandes installations, des solutions sur mesure, validées par des essais pilotes et/ou par des modèles de simulation sont indiquées.

2. Base de calcul de la sédimentation dans une installation technique (tirée de [365])

En raison des hypothèses fortement simplifiées suivantes :

- le courant dans une chambre de sédimentation est laminaire,
- la vitesse d'écoulement sur toute la section transversale est identique,
- la sédimentation se passe dans un bassin rectangulaire,

le procédé de dimensionnement peut être décrit de façon simple (voir également la figure DB56).

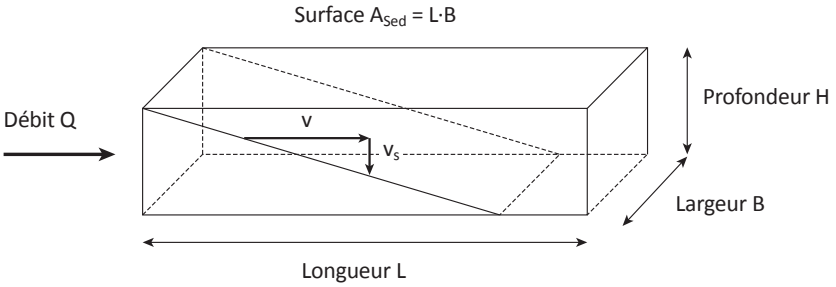
lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

La vitesse d'écoulement v [ms^{-1}] de l'eau est déduite du débit Q [m^3s^{-1}] et de la surface transversale de la chambre de sédimentation $B \cdot H$ [m^2] pour $v = Q/(B \cdot H)$. Le temps t_s nécessaire pour qu'une particule, avec la vitesse de sédimentation v_s se dépose de la surface au fond du bassin est déterminé par :

Équation DB25

$$t_s = H/v_s$$

Figure DB56
Processus de décantation et définition des variables géométriques dans un volume rectangulaire avec une vitesse d'écoulement laminaire et uniforme v [365].



Toutes les particules atteignant le sol avant que l'eau ne sorte du bassin de sédimentation, sont considérées comme retenues. Le temps d'écoulement θ_h (durée du séjour hydraulique, V/Q) à travers le bassin s'élève à :

Équation DB26

$$\theta_h = L/v$$

Toutes les particules sont ainsi précipitées, l'équation suivante peut alors s'appliquer :

Équation DB27

$$t_s < \theta_h \text{ ou } H/v_s < L/v = L \cdot B \cdot H/Q = V/Q$$

En transformant cette formule et en tenant compte de la surface du bassin de sédimentation $A_{Sed} = L \cdot B$ on obtient pour les particules atteignant la surface du sol :

Équation DB28

$$v_s > Q/(L \cdot B) = Q/A_{Sed} = v_o = (O_h)$$

v_o a la dimension d'une vitesse et est qualifiée de charge superficielle ($O^h = Q/A$) qui est définie dans l'équation DB28 donnée ci-dessus. Théoriquement, toutes les particules, dont la vitesse de sédimentation est supérieure à la charge superficielle O_h sont déposées. Toutes les particules avec $v_s < v_o$ (O_h) ne sont que partiellement précipitées (la proportion des particules précipitées est v_s/v_o). Il est frappant de constater que la profondeur du bassin H ou le temps de séjour hydraulique θ_h ne jouent aucun rôle. Indépendamment de la forme du bassin de sédimentation (ronde, rectangulaire, etc.), on peut démontrer que l'équation DB28 peut s'appliquer lorsque le flux est laminaire et que toutes les particules d'eau séjournent pendant la même durée θ_h dans le bassin. Ainsi, la charge hydraulique superficielle (O_h) devient la grandeur de dimensionnement la plus importante du bassin de sédimentation. Les écarts par rapport à la prévision théorique surviennent en raison des conditions d'écoulement qui ne sont jamais idéales.

3. Calcul de la sédimentation dans la présente directive

Le dimensionnement effectif du BdD et du BdC selon la présente directive est fondé sur l'examen du comportement de décantation de la fraction particulaire critique. Le comportement de décantation est examiné pour tous les évènements pluviaux conduisant à un déversement du bassin de clarification. Le «degré d'efficacité dynamique» de l'installation (= efficacité de la sédimentation pendant le fonctionnement du déversoir du bassin de clarification) est examiné au moyen d'une simulation à long terme, constituant une partie du dimensionnement. En l'occurrence, on suppose que le facteur perturbateur de la sédimentation, c.-à-d. le facteur de court-circuit n de l'installation, reste le même pour toutes les charges hydrauliques de l'installation.

L'examen de la sédimentation par voie de calcul conformément à la présente directive est fondé selon la théorie de Hazen sur les processus de décantation, sur l'équation de G.M. Fair (Harward University), et de J.C. Geyer (John Hopkins University). Toutes ces références se trouvent dans [397], (équation 22.19 à la page 600 dans l'édition allemande de 1961.)

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

$$\varepsilon = 1-(1+v_s \cdot 3600/[n_\eta \cdot O_h])^{-n}$$

Équation DB29

ε = degré d'efficacité «dynamique» du bassin de décantation [–]
v_s = vitesse de sédimentation en $m \cdot s^{-1}$
n_η = «facteur de court-circuit» du bassin de décantation [–]
O_h = charge hydraulique superficielle (Q/A) en $m \cdot h^{-1}$

Degré de séparation de l'installation de traitement

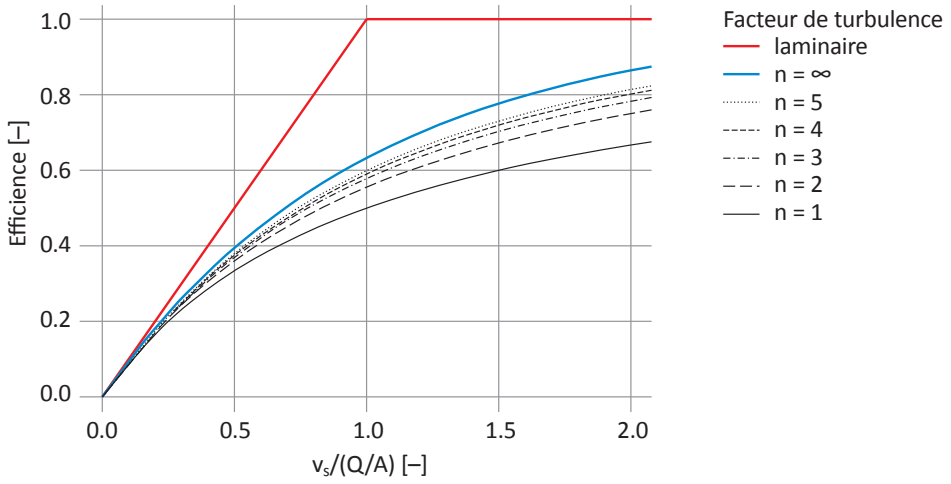


Figure DB57
Degré d'efficacité d'une installation de sédimentation selon Fair et Geyer [397] en fonction de la vitesse de sédimentation (v_s) par rapport à la charge superficielle (O_h) en tenant compte des différents facteurs de turbulence. Le cas idéalisé de l'écoulement laminaire est représenté en couleur rouge.

Dans la présente directive, l'équation DB29 a été légèrement adaptée. En l'occurrence, il a été également tenu compte de la partie non décantable des fractions de particules avec une vitesse de sédimentation critique $v_{s\,krit}$. Le degré d'efficacité de l'installation est calculé de la façon suivante :

$$\eta = \varepsilon \cdot (1-X) = (1-[1+v_{s\,krit} \cdot 3600/\{n_\eta \cdot O_h\}]^{-n}) \cdot (1-X)$$

Équation DB30

η = efficacité globale, en tenant compte de la partie non décantable des fractions de particules
ε = efficacité «dynamique» du bassin de décantation [–]
$v_{s\,krit}$ = vitesse de sédimentation «critique» en $m \cdot s^{-1}$
n_η = «facteur de court-circuit» du bassin de l'installation de décantation [–]
O_h = charge hydraulique superficielle (Q/A) en $m \cdot h^{-1}$ pour Q_{krit}
X = fraction de la matière particulaire, ou les polluants liés aux matières particulaires avec des vitesses de décantation plus faibles que $v_{s\,krit}$ [–] (compte tenu des incertitudes, la plage X_{min} jusqu'à X_{max} doit être prise en compte dans le calcul)

Pour le calcul, un facteur de court-circuit «n_η» reflétant la perturbation du processus de sédimentation par des impacts hydrauliques locaux doit être choisi.

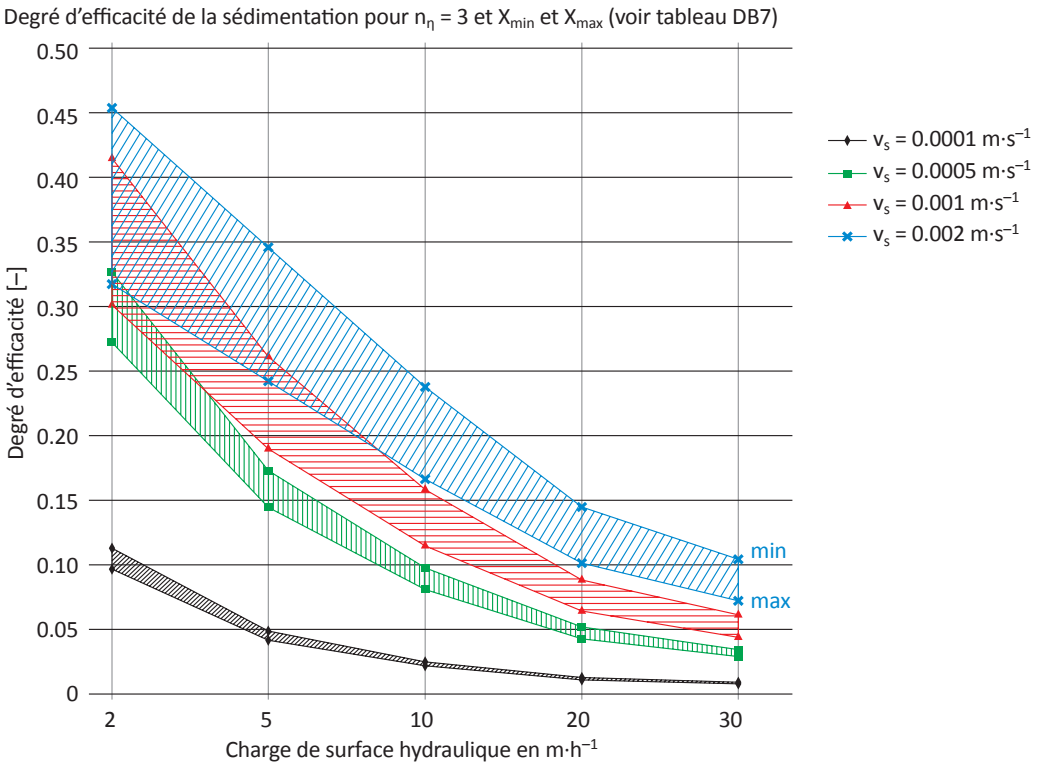
Exemple numérique

ε = efficacité «dynamique» de l'installation de sédimentation en termes de MES [–]
$v_{s\,krit}$ = vitesse de sédimentation «critique» : 0.004 $m \cdot s^{-1}$
n_η = «facteur de court-circuit» de l'installation de sédimentation : $n_\eta = 3$
O_h = charge hydraulique superficielle pour Q_{krit} : 10 $m \cdot h^{-1}$
X = fraction de la matière particulaire, ou polluants liés aux particules avec des vitesses de décantation plus faible que $v_{s\,krit}$: 0.75 (la plage pour X $v_{s\,krit}$ = 0.004 $m \cdot s^{-1}$ se situe entre 0.65 à 075 ; pour des raisons de simplification, elle a été négligée dans cet exemple)
η = $(1-[1+0.004 \cdot 3600/\{3 \cdot 10\}]^{-3}) \cdot (1-0.75) = 0.17$

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

La figure suivante (figure DB58) représente l'éventail des degrés d'efficacité dynamiques calculés en fonction de différentes charges superficielles et des vitesses de sédimentation critiques $v_{s\,krit}$:

Figure DB58
Degré d'efficacité dynamique en fonction de différentes charges superficielles et des vitesses de sédimentation critiques.

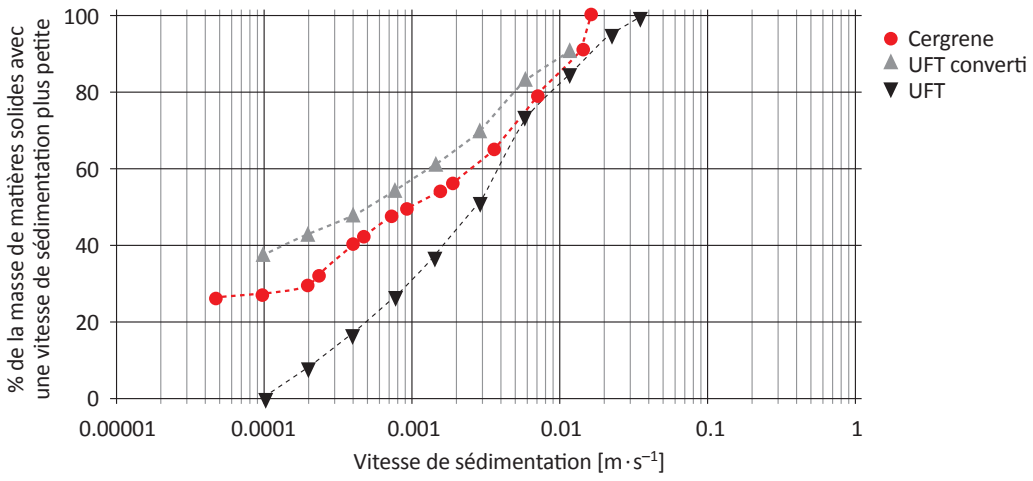


4. Vitesse de sédimentation des matières particulaires

La vitesse de sédimentation des matières particulaires dans les eaux usées est fonction de la densité des particules, de leur taille, de leur forme et de la capacité des particules à l'agrégation (formation de flocs). Elle peut être très variable et dépend de différents paramètres spécifiquement locaux. L'origine et la distribution granulométrique des particules constituent les facteurs influents les plus importants.

Pour les particules sphériques, qui conservent leur forme et n'augmente pas leur taille par floculation, il est possible de déterminer des données théoriques fondées sur la vitesse de sédimentation. Cette hypothèse ne s'applique cependant pas aux matières particulaires dans les eaux usées. Des données sur les relations entre la densité des particules, le diamètre et la vitesse de décantation peuvent être trouvées à titre informatif dans la littérature [365]. C'est la raison pour laquelle la décantation dans les eaux résiduaires est déterminée expérimentalement. A cet effet, divers procédés et appareils ont été développés, en commençant par des colonnes ou de simples entonnoirs conventionnels [398, 399], jusqu'aux appareillages les plus complexes [400 – 404].

Figure DB59
Vitesses de sédimentation déterminées par la méthode UFT comparée à la méthode française Cergrene (tirée de [405]). En tenant compte des différences méthodologiques, les valeurs déterminées par UFT ont été converties (la conversion des «matières décantables» en MES est indiquée dans la figure par ▲).



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

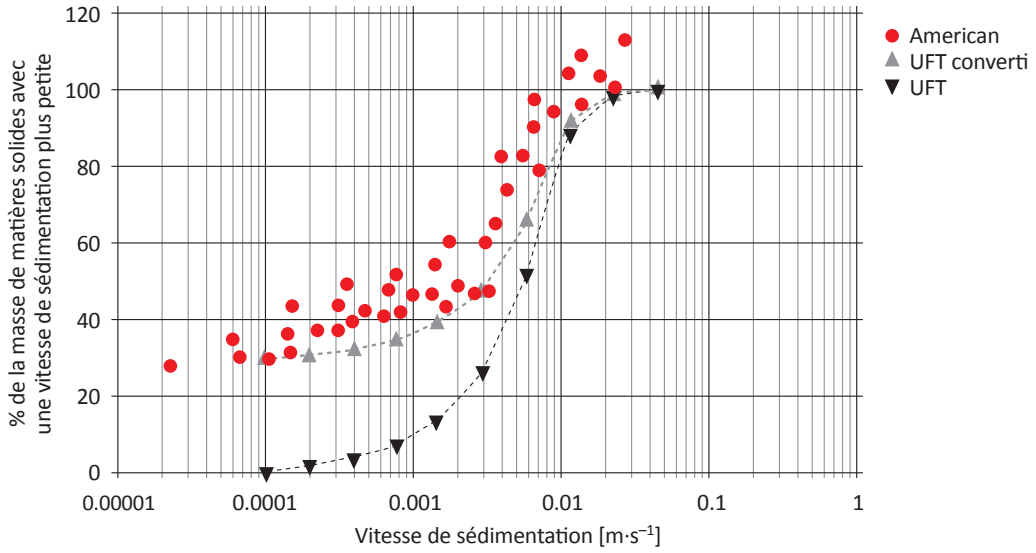


Figure DB60
Vitesses de sédimentation déterminées par la méthode UFT en comparaison avec les études américaines (tiré de [405]). En tenant compte des différences méthodologiques, les valeurs déterminées par UFT ont été converties (la conversion des «matières décantables» en MES est indiquée dans la figure par ▲).

Les méthodes d'analyse de la vitesse de sédimentation peuvent être essentiellement divisées en deux catégories :

a) méthodes statiques dans des appareils où les eaux résiduaires restent au repos et
b) méthodes dynamiques appliquée dans des appareils où les eaux usées sont en mouvement pour reproduire artificiellement le mouvement du fluide lors de la sédimentation.

Parmi les méthodes statiques, on compte principalement la méthode UFT (entonnoir Imhoff dans [399]) ou les méthodes françaises VICTOR, VICPOL ou VICAS (cylindre, approvisionnement avec pompe à vide [402]). Les problèmes rencontrés avec ces méthodes sont pour la plupart situés dans la répartition homogène des particules au début des expériences, dans la prise en compte inexacte du transport des particules rapidement décantables et dans la reproductibilité des résultats dans des installations techniques. A cet effet, les vitesses de sédimentation établies sont corrigées par des coefficients (p. ex., 0.65 à 0.85 [398]) qui doivent permettre de valider les vitesses de sédimentation dans les installations techniques.

Parmi les méthodes dynamiques on relèvera particulièrement la méthode selon [409], testée par [406], modifiée et utilisée dans les analyses de [403]. À l'origine, cette méthode a été développée pour l'étude de la sédimentation dans les cours d'eau («elutriation apparatus»). La dernière version de cette méthode est constituée d'un assemblage de 8 chambres de sédimentation. Les eaux usées sont introduites au niveau de la base de la chambre la plus élevée, s'écoulent vers le haut pour sortir de la chambre et être introduites au niveau de la base de la chambre suivante située en aval. Les particules avec une vitesse de sédimentation plus élevée que la vitesse ascendante de la suspension se déposent dans les différentes chambres. Les dimensions des différentes chambres croissent dans le sens de l'écoulement de 25 à

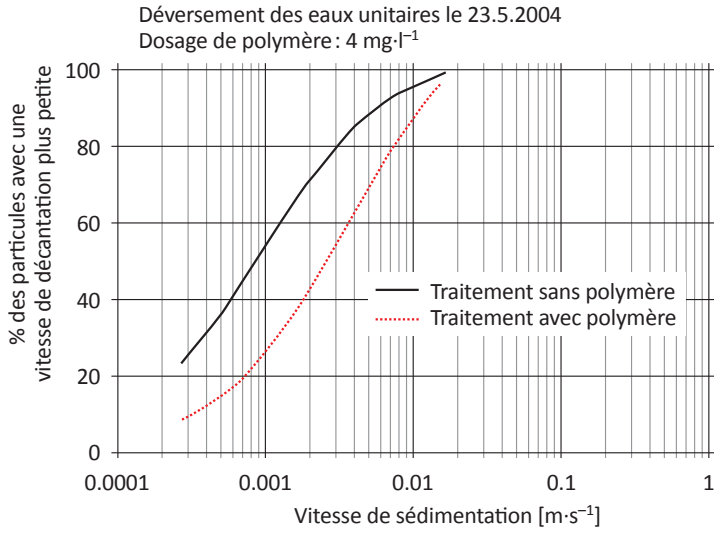


Figure DB61
Exemple provenant de l'étude de la vitesse de sédimentation des particules dans les eaux unitaires (méthode dynamique) avec et sans addition de floculants (Marsalek and al. 2006 [403]).

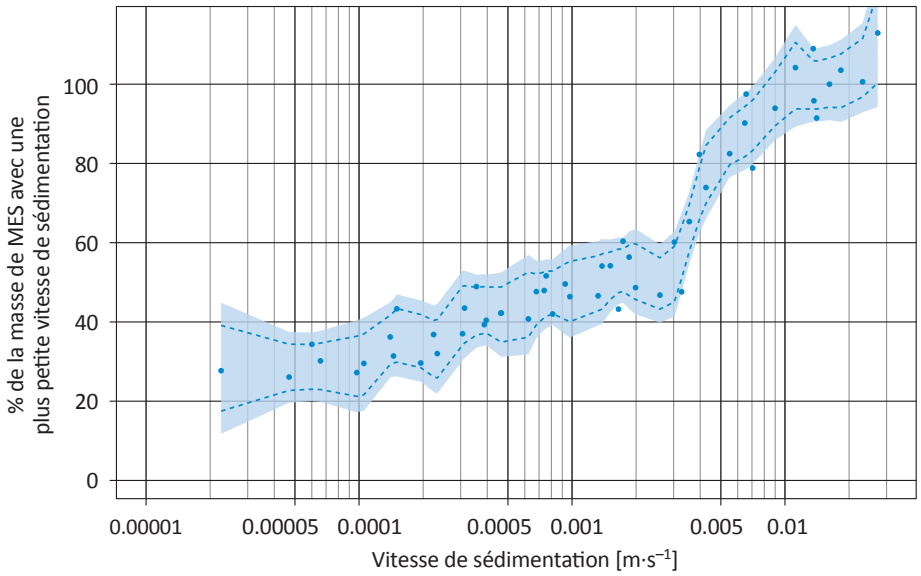
lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

197 mm, ce qui entraîne la réduction de la vitesse ascendante de la suspension et permet la sédimentation souhaitée des particules progressivement plus fines. Le débit de la suspension s'élève à 0.5 l s^{-1}. D'autres détails peuvent être trouvés dans la littérature.

La description des méthodes à ce stade ne concerne que l'information sur les différences méthodologiques affectant la transférabilité des résultats. À cela s'ajoutent également d'autres aspects importants, tels que la caractérisation des particules (dans la méthode UFT : matières décantables, avec d'autres méthodes : les MES), conduisant p. ex. avec la méthode UFT à des valeurs plus grandes de vitesses de sédimentation des différentes fractions.

Comme première suggestion, si aucune donnée mesurée n'est disponible, les indications suivantes pour les vitesses de sédimentation des différentes fractions de particules peuvent être utilisées pour les eaux unitaires (figure DB62. Remarque : Les données s'appliquent à titre provisoire pour les systèmes unitaires. Pour les systèmes séparatifs et les routes, d'autres données doivent être considérées) :

Figure DB62
Analyse statistique (plage) des données sur les vitesses de sédimentation des MES dans les eaux unitaires provenant des figures DB59 et DB60.



5. Polluants dans des fractions de particules isolées

Le fractionnement des particules à l'aide des informations sur la vitesse de sédimentation constitue la base de l'évaluation de l'efficacité des installations de sédimentation en terme de rétention des matières polluantes (tels que des métaux lourds ou les polluants organiques) liées aux particules dans les eaux usées. De nombreuses études montrent que les particules à sédimentation rapide sont les plus faiblement chargées en polluants. Selon des études réalisées en Allemagne [399, 406, 408], on peut retenir que les plus fortes concentrations de métaux lourds dans les eaux usées unitaires sédimentent à des vitesses situées entre $4 \cdot 10^{-3}$ et $1 \cdot 10^{-3}$ $m \cdot s^{-1}$, et que, par rapport aux hypothèses précédentes, les concentrations de métaux lourds diminuent dans les groupes ayant la plus faible vitesse de sédimentation. Cette observation a également été faite par [400].

Des informations analogues se retrouvent également pour le contenu de traces de polluants organiques sur des matières particulaires dans les eaux usées. Dans les études mentionnées réalisées en Allemagne, on a observé par exemple une relation inattendue entre des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des polychlorobiphényles (PCB) et des particules relativement bien décantables. Malheureusement, il n'existe actuellement que très peu d'études comparables.

Sur la base d'une étude rudimentaire et non systématiques de la littérature, les indications pour le dimensionnement de la chambre de sédimentation d'un BdD/BdC pour de petites installations avec un volume d'investissement <1 million CHF figurant dans le tableau DB7 peuvent être utilisées, au cas où aucune donnée mesurée ne serait disponible.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Vitesse de sédimentation de la fraction des particules MES en $m \cdot s^{-1}$ (choisi comme $v_{s\ krit}$ lors du calcul	% de la masse des MES ($mg \cdot mg^{-1}$) avec une plus grande vitesse de sédimentation (masse des MES retenue pour les différentes $v_{s\ krit}$)	% de la masse des MES ($mg \cdot mg^{-1}$) avec une vitesse de sédimentation plus faible (la «valeur X»). Avec la $v_{s\ krit}$, cette masse de MES ne peut pas être retenue.	Proportion de polluants en % (p. ex. métaux lourds) sur la masse des MES retenue
$[m \cdot s^{-1}]$	[%]	[%]	[%]
0.0001	60–70	30–40	>80
0.0005	50–60	40–50	
0.001	45–55	45–60	60–80
0.002	35–45	50–65	
0.003	30–40	60–70	
0.004	25–35	65–75	
0.005	20–30	70–80	<60

Tableau DB7
Proposition pour le dimensionnement de petites installations avec un volume d'investissement jusqu'à 1 million de CHF.

Les données s'appliquent provisoirement aux systèmes unitaires. Pour les systèmes séparatifs et les routes, de plus amples données doivent être recherchées, voir, p. ex., la figure DB63 .

Pour les grandes installations avec des investissements importants de plus de 1 million de CHF, des études locales doivent être réalisées.

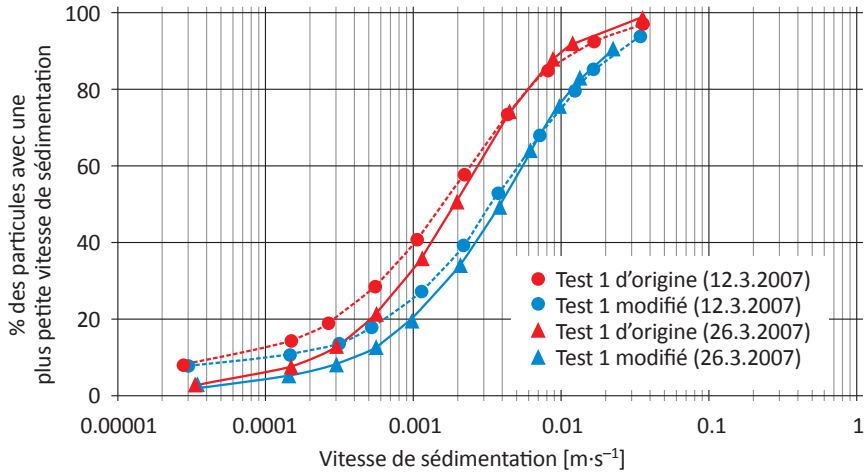


Figure DB63
Exemple tiré de l'étude sur les incertitudes des vitesses de sédimentation des particules dans les eaux pluviales [404].

6. Conditions hydrauliques dans les BdD et BdC

Par rapport aux bassins de sédimentation dans une station d'épuration (notamment les bassins de décantation primaire et secondaire), la variation du débit dans un BdD ou BdC est significativement supérieure aussi bien lors de différents épisodes pluviaux que lors d'un seul épisode pluvial. En plus de l'effet de sédimentation, la rétention joue également un rôle important quant à la performance de l'installation. Afin d'assurer une sédimentation la plus efficace possible dans un bassin de clarification, le processus de décantation doit être perturbé aussi peu que possible.

Le bassin de clarification peut être divisé, aussi bien au niveau hydraulique qu'architectural, en quatre zones :

- entrée et ouvrage de répartition,
- chambre de sédimentation,
- ouvrage de déversement en sortie,
- zone de stockage des boues.

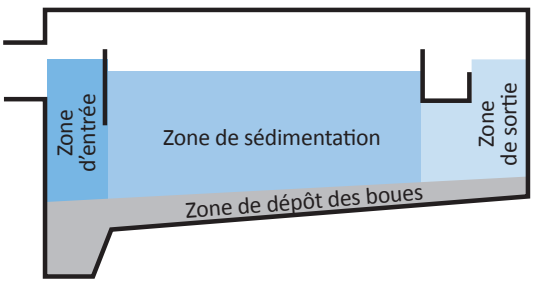


Figure DB64
Zones spécifiques d'un bassin de décantation.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

L'ouvrage d'entrée (zone d'entrée) doit être conçu de sorte qu'un écoulement uniforme et avec une orientation stable se mette rapidement en place dans la zone d'entrée de l'installation.

La chambre de sédimentation (zone de sédimentation) est généralement conçue sans aucun élément d'installation afin d'éviter la perturbation de l'écoulement uniforme. L'aménagement de plaques parallèles ou l'insertion d'un séparateur lamellaire constitue une exception. Le dimensionnement de la chambre de sédimentation est principalement basé sur la vitesse de sédimentation des particules devant être respectée, compte tenu du degré de traitement nécessaire dans la chambre de sédimentation. Par le déversoir de sortie (zone de sortie), l'eau traitée arrive dans le milieu récepteur. Un dispositif permettant la retenue des matières flottantes doit être installé avant le seuil de la lame déversante. La lame déversante doit être aussi longue que possible afin de maintenir un déversement à taux faible (par mètre linéaire de seuil) ainsi qu'une orientation stable et uniforme (sans turbulences). Le trop-plein doit être conçu autant que possible en trop-plein dénoyé.

La zone de stockage des boues ne fait pas partie de la zone de sédimentation afin d'éviter qu'une croissance du dépôt de boue ne réduise la zone de sédimentation et qu'ainsi les conditions initiales de la sédimentation soient défavorablement modifiées. Les installations de sédimentation sont généralement conçues comme des bassins rectangulaires, toutefois elles peuvent également prendre la forme d'un bassin circulaire. Dans des conditions appropriées, la rétention des matières particulaires peut également être réalisée dans des étangs de clarification. En plus de la sédimentation, ces aménagements permettent la réalisation d'autres processus de traitement.

7. Procédé de dimensionnement de la chambre de sédimentation d'un BdD ou BdC

Les étapes recommandées lors du dimensionnement de la chambre de sédimentation d'un BdD ou BdC sont :

1. Résumé et interprétation des résultats provenant de l'étude STORM. Au cas où ceux-ci devaient être incomplets ou périmés : vérifier ou compléter l'acquisition de données du système, reprendre les données des émissions admissibles, les données concernant les taux critiques des vitesses de sédimentation et les données sur le type et la proportion des polluants déterminants (par rapport au colmatage, à l'anaérobie ou aux sédiments toxiques).

2. Vérifier l'importance du volume de rétention géré par le refoulement de la canalisation d'entrée en cas d'événement pluvial. Le volume choisi de la chambre de sédimentation pour le dimensionnement correspond au volume de rétention provenant de l'étude STORM moins le volume de rétention dans la zone d'entrée de la chambre de sédimentation du BdD ou BdC.

3. Détermination de Q_{krit} (= charge hydraulique maximale de la chambre de sédimentation = déversoir de sortie maximal) et du trop-plein de bassin (= «déversoir d'orage ou rejet»). À cet effet, les exigences minimales selon STORM doivent être respectées.

4. Choix des dimensions de l'installation en fonction des particularités locales et des conditions techniques initiales (p. ex. l'équipement technique pour le rinçage, la statique ou la longueur et la largeur de la chambre de sédimentation). Pour de plus grands bassins, la possibilité d'une installation sur plusieurs lignes de traitement peut éventuellement s'avérer nécessaire et doit être également évaluée.

5. La longueur, la largeur et la profondeur de la chambre de sédimentation sont déterminées à partir des données sur la théorie de la sédimentation à l'aide d'un programme de calcul.

6. Avec les données d'entrée nécessaires, la simulation peut être réalisée avec un programme de calcul (déterministe et stochastique) et les résultats pour les émissions de MES comparés avec les résultats de l'étude STORM. Les mêmes concepts de modèle, les données pluviométriques et de système doivent être utilisés pour la simulation.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7. Lors de grandes différences (± 20 %), une éventuelle modification des dimensions de l'installation doit être examinée. La pente de la courbe des fréquences cumulées des charges d'émission (= incertitudes) constitue également une aide pour engager cette réflexion.

8. Les résultats de la simulation fournissent également des informations sur la distribution de la charge superficielle réelle et des vitesses d'écoulement horizontales durant la période examinée.

Ce procédé est documenté sous forme d'exemple dans l'annexe 3.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

ANNEXE 3

Exemple de dimensionnement d'un bassin de décantation raccordé en parallèle

1. Introduction

L'exemple suivant présente trois variantes de dimensionnement d'un bassin de décantation en parallèle :

1. Variante 1a : Le volume de rétention total du bassin est approximativement le même que le volume de rétention de la chambre de sédimentation. Le déversoir de sortie est actif sur un seul côté.

2. Variante 1b : Le volume de rétention total du bassin est approximativement le même que le volume de rétention de la chambre de sédimentation. Le déversoir de sortie est actif sur deux côtés (bilatéral).

3. Variante 2 : Le volume de rétention total est divisé en un volume de stockage dans la canalisation située en amont du bassin et un volume de rétention dans la chambre de sédimentation. Le déversoir de sortie est actif sur un seul côté. Cette variante correspond, en principe, au dimensionnement d'un bassin combiné, toutefois sans justification des exigences pour la rétention (existence d'un effet de lessivage).

L'exemple utilisé est basé sur l'étude du cas Fehraltorf dans le canton de Zürich, secteur de Russikon, par l'Eawag dans les années nonante. Le milieu récepteur est le Rohrbach. Les informations détaillées concernant le bassin versant, le système d'assainissement et le milieu naturel peuvent être tirées de l'étude de l'Eawag mentionnée [320]. Pour des raisons didactiques, la situation réelle de l'exemple de dimensionnement a été légèrement modifiée :

- La contamination des eaux par le système séparatif n'est pas prise en compte.

- La pente de la section déterminante du Rorbach a été réduite de 2 % à 0.3 %.

- Dans la zone d'entrée du bassin de décantation, un volume fictif de rétention a été admis pour la variante 2, qui en réalité n'existe pas (région relativement en pente).

En plus des variantes présentées, il existe en pratique encore d'autres variantes de dimensionnement, qui dépendent principalement de la situation locale. Cependant, l'approche et les principales étapes du dimensionnement restent pour la plupart inchangées.

L'exemple de ce dimensionnement est documenté ici en six étapes de traitement :
- Étape 1 : Résumé des résultats provenant de l'étude conceptuelle selon le module STORM
- Etape 2 : Analyse d'un éventuel volume de rétention dans la canalisation d'entrée
- Étape 3 : Détermination du débit critique (maximum) dans la chambre de sédimentation Q_{krit}
- Étape 4 : Détermination des variables utilisées pour le calcul du degré d'efficacité dynamique
- Etape 5 : Détermination des dimensions du bassin et analyse des performances du bassin
- Étape 6 : Interprétation des résultats

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2. Étapes de travail

Étape 1 : Résumé des résultats provenant de l'étude STORM
Se basant sur l'étude conceptuelle selon le module STORM, les indications suivantes ont été obtenues pour la planification d'une mesure technique spécifique :

Le traitement des eaux unitaires existant dans le bassin de rétention de Russikon (superficie du bassin versant réduit de 19.81 ha_{red}, bassin de décantation de 120 m^3 et $Q_{ab} = 72\ l \cdot s^{-1}$) ne satisfait pas aux exigences de protection des eaux selon le Module STORM.

L'impact critique des eaux sortant du bassin de rétention de Russikon a été identifié et est lié à une toxicité ammoniacale (dans toute la section du cours d'eau), des sédiments en anaérobiose ainsi que des sédiments toxiques (dans des sections plates).

Un étang à poissons proche et situé en aval est également impacté par les mêmes polluants.

Les valeurs limites d'ammoniac peuvent être respectées avec une rétention des eaux mixtes de 400 m^3.

Le débit maximum vers la STEP de $Q_{ab} = 72\ l \cdot s^{-1}$ ne doit pas être dépassé, également à l'avenir.

La simulation avec REBEKA 2 indique que les sédiments en anaérobiose peuvent être évités dans les sections planes, pour autant que la charge annuelle d'émission de MES d'environ 4000 kg de MES/an provenant des déversements des eaux unitaires ne soit pas dépassée. Dans ce cas, tous les polluants particulaires avec une vitesse de sédimentation vs de $\geq 0.004\ m \cdot s^{-1}$ devraient être retenus.

La contamination par des sédiments toxiques peut être considérablement réduite. Cependant, les limites recherchées ne sont pas entièrement respectées. Compte tenu des valeurs limites très strictes et des incertitudes relatives aux modèles existants, cette situation peut être acceptée jusqu'au contrôle d'efficacité.

Selon les analyses avec REBEKA 2, les exigences en matière de protection des eaux peuvent être satisfaites au moyen d'une combinaison de rétention ($V = 400\ m^3$) et d'un traitement (sédimentation avec une efficacité modérée de 25 %).

Aucun effet de lessivage important (first-flush) n'est constaté pour le bassin versant.

Sur la base de ces indications, un bassin de décantation devrait être retenu pour le traitement des eaux unitaires.

Les résultats les plus importants de l'étude STORM sont présentés dans les figures suivantes (DB65 à DB70).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Figure DB65
Immissions dans le Rohrbach calculées pour l'état actuel : dose d'ammoniac (conforme aux valeurs limites : p = ~0.3).

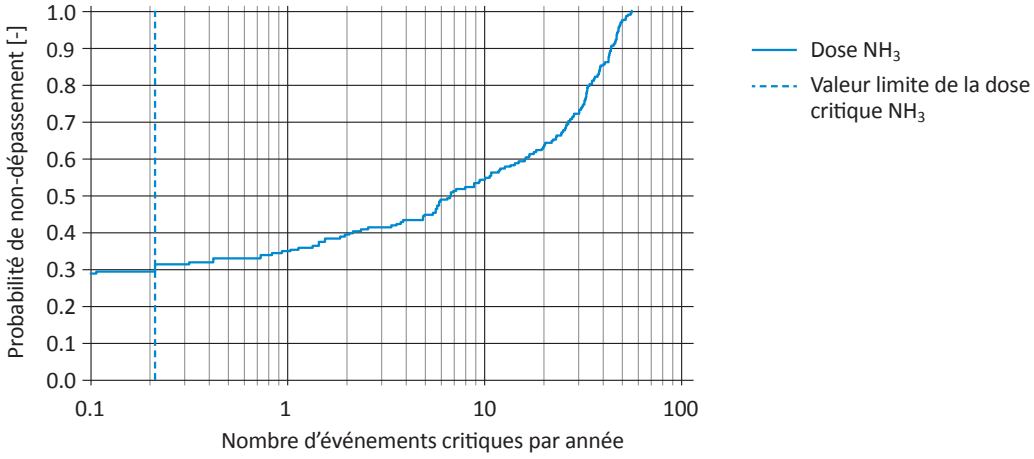


Figure DB66
Calcul des charges annuelles de MES provenant du bassin de rétention Russikon pour l'état actuel (charges annuelles moyennes résultant d'une simulation déterministe : masse de MES évacuée : 5144 kg/année, retenue dans le bassin : 2058 kg/année, vers la STEP : 19942 kg/année).

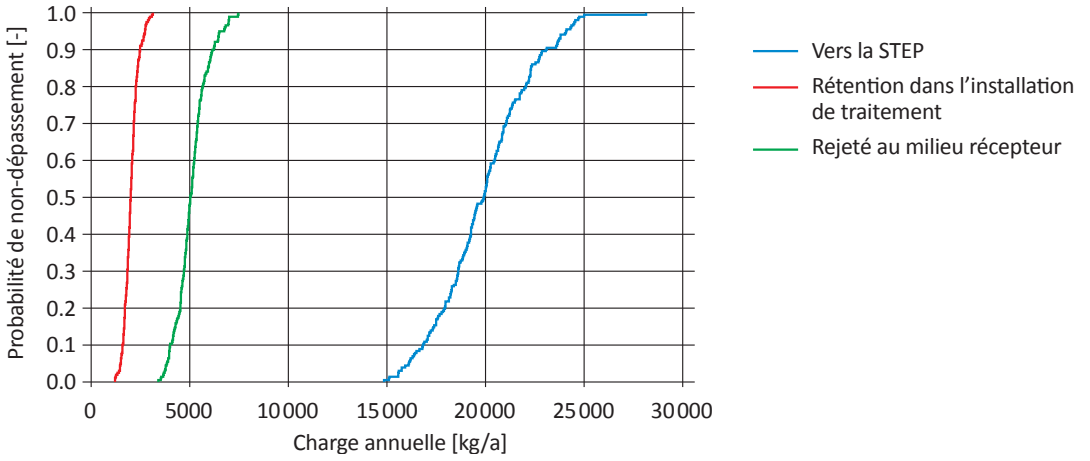


Figure DB67
Immissions de MES dans le Rohrbach calculées pour l'état actuel : sédiments en anaérobiose – courbe rouge (conforme aux valeurs limites : p = ~0.5), sédiments toxiques – courbe bleue (respect des valeurs limites : p = ~0.15).

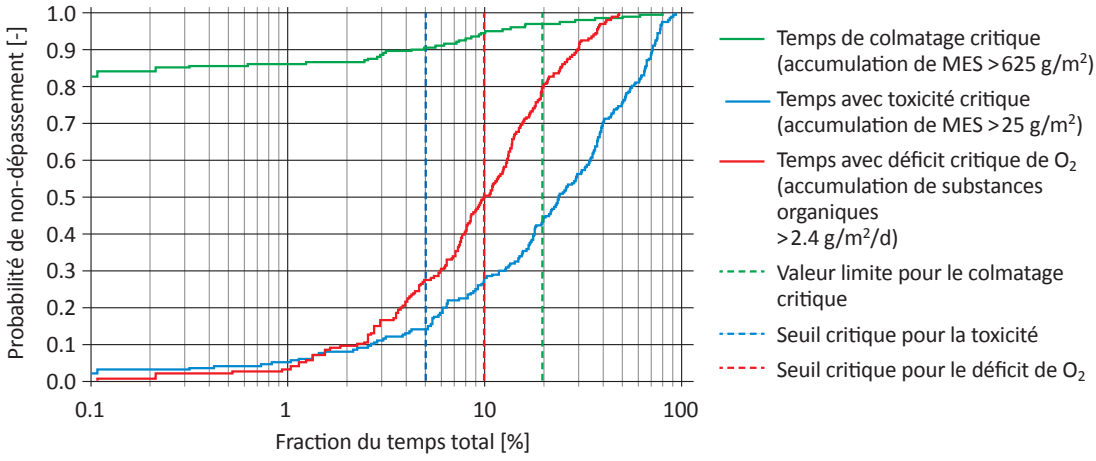
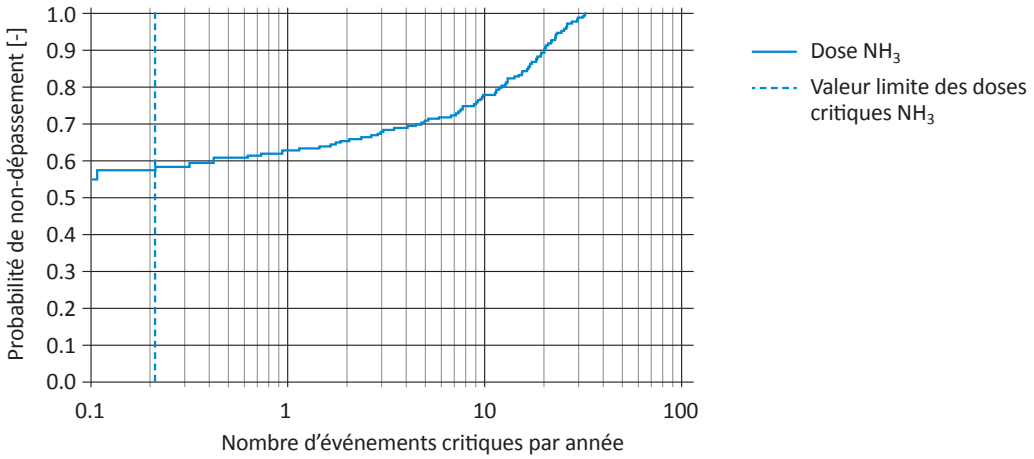


Figure DB68
Immissions dans le Rohrbach calculées pour l'état planifié : dose d'ammoniac (respect des valeurs limites : p = ~0.58). Les exigences sont respectées.



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

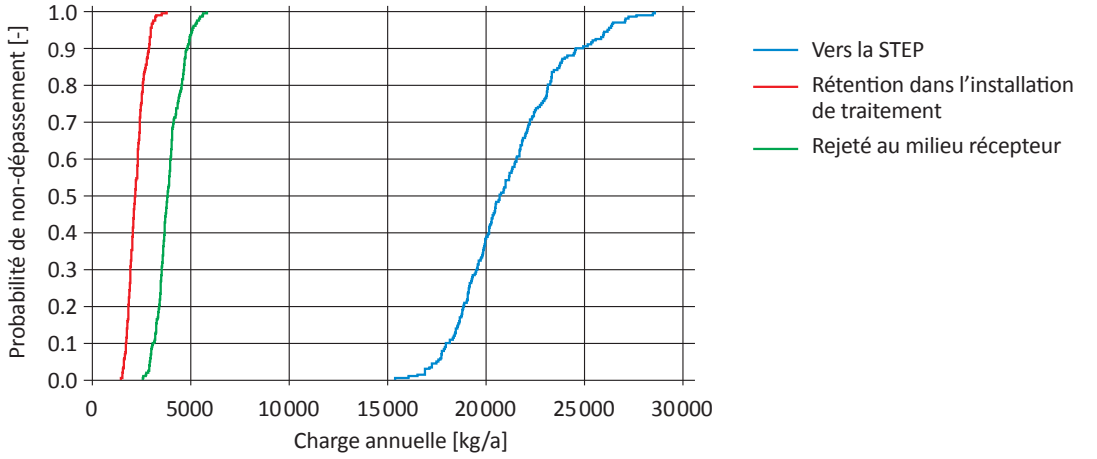


Figure DB69
Calcul des charges annuelles de MES provenant du bassin de rétention de Russikon pour l'état planifié (charges annuelles moyennes résultant de la simulation déterministe : charges de MES éliminées : 3958 kg/année, retenues dans le bassin : 2194 kg/année, évacuées vers la STEP : 20 993 kg/année).

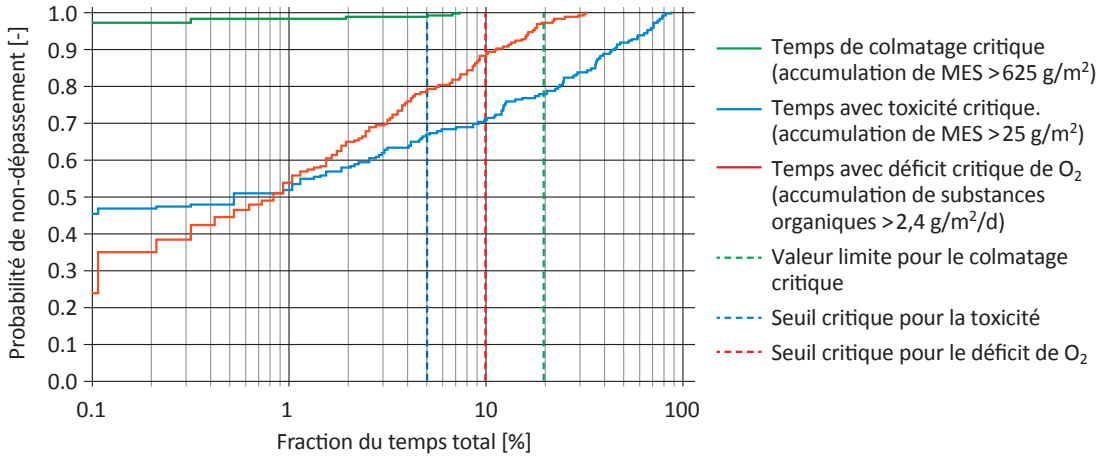


Figure DB70
Immissions de MES dans Rohrbach calculées pour l'état planifié : sédiments en anaérobiose (respect des valeurs limites : p = ~0.9), sédiments toxiques (respect des valeurs limites : p = ~0.65). Les exigences sont respectées.

Étape 2 : Analyse d'un éventuel volume de rétention dans la canalisation d'entrée

Variante 1 :
La canalisation affluente vers le site de déversement ne comporte pas de volume de rétention. Le volume de rétention de 400 m³ déterminé par REBEKA 2 doit être créé dans le bassin de décantation planifié.

Sous-variante 1a : Le déversoir de sortie est actif sur un seul côté.
Sous-variante 1b : Le déversoir de sortie est actif sur les deux côtés.

Variante 2 :
Dans la canalisation vers le site de déversement, un volume de rétention de 100 m³ peut être considéré dans la canalisation. Dans le bassin de décantation planifié, un volume de rétention de 300 m³ doit être aménagé.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Etape 3 Détermination de Q_{krit}

Variante 1 : Bassins de décantation avec chambre de sédimentation de 400 m³

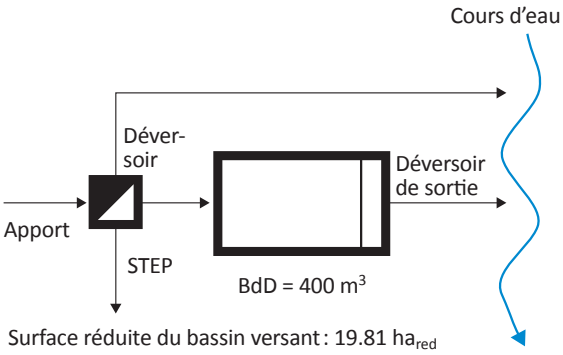


Figure DB71
Bassin de décantation avec chambre de sédimentation de 400 m³.

Le Q_{krit} (= charge hydraulique maximale du bassin de décantation) est principalement déterminé par la charge hydraulique admissible du déversoir de sortie (75 l·s^{-1}·m^{-1} de la lame déversante, voir chapitre 6.7) et par le respect des exigences minimales lors de l'évacuation du trop-plein du bassin. La largeur de la chambre de sédimentation proposée sur la base des conditions locales s'élève à 7.4 m.

Sous-variante 1a :

- La longueur du déversoir de sortie est identique à la largeur de la chambre de sédimentation (déversoir unilatéral) et mesure 7.4 m. Le Q_{krit} de la chambre de sédimentation s'élève donc à 75 l·s–1·m^{-1}·7.4 m = 555 l·s^{-1}. La valeur de 550 l·s^{-1} a été choisie pour Q_{krit}.

- Le Q_{an} du déversoir du bassin correspond à Q_{krit}+Q_{ab} (STEP) = 550 l·s^{-1}+72 l·s^{-1} = 622 l·s^{-1} (= 31.4 l·s^{-1}·ha$_{red}^{-1}$).

- Lors du trop-plein (déversement direct sans traitement), les exigences minimales selon STORM (cours d'eau : une petite rivière dans le Mittelland) doivent être vérifiées. La simulation à long terme (séparée) de la fonction du trop-plein a donné les résultats présentés dans le Tableau DB8 :

Tableau DB8
Résultats de la simulation à long terme de la sous-variante 1a pour le trop-plein et les rejets du bassins de rétention.

	Résultat	Autorisé
Pourcentage de charge de NH_4 déversé [%]	0.6 %	2.0 %

- Les exigences minimales pour le déversement des eaux unitaires provenant du trop-plein peuvent être considérées comme satisfaites.

Sous-variante 1b :

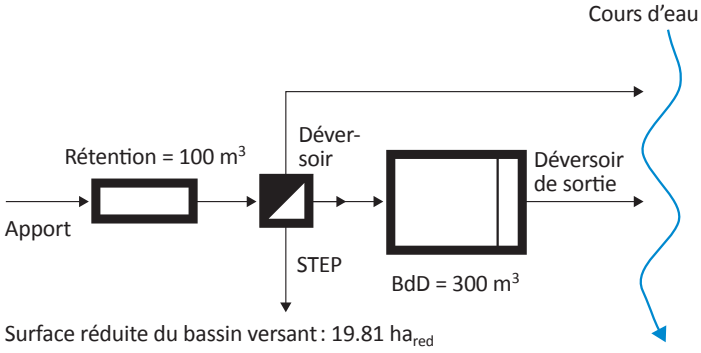
- En cas de déversoir de sortie bilatéral, la longueur du seuil de déversement est 14.8 m. Le Q_{krit} de la chambre de sédimentation s'élève à 75 l·s^{-1}·m^{-1}·14.8 m = 1110 l·s^{-1}. Une valeur de 1100 l·s^{-1} a été choisie pour Q_{krit}.

- Le Q_{an} du trop-plein se monte à Q_{krit}+Q_{ab} (STEP) = 1100 l·s^{-1}+72 l·s^{-1} = 1172 l·s^{-1} (= 59.2 l·s^{-1}·ha$_{red}^{-1}$), soit le double par rapport à la sous-variante 1a.

- Aucune autre simulation ne doit être réalisée en vue de la vérification des exigences minimales de la sous-variante 1b, puisque le volume de rejet du déversement initial et du déversoir du bassin reste identique.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Variante 2 : Volume de rétention dans la canalisation de 100 m³ et bassin de décantation avec chambre de sédimentation de 300 m³



Surface réduite du bassin versant : 19.81 ha_{red}

Figure DB72
Volume de rétention de 100 m³ dans la canalisation et bassin de décantation avec chambre de sédimentation de 300 m³.

Le Q_{krit} (= la charge hydraulique maximale du bassin de décantation) est principalement déterminée par la charge hydraulique admissible du déversoir de sortie (75 $l \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$ pour le seuil de la lame déversante, voir chapitre 6.7) et du respect des exigences minimales (voir module de base) déterminé lors de l'évacuation du trop-plein. La largeur de la chambre de sédimentation proposée sur la base des conditions locales s'élève à 6.7 m.

- La longueur du déversoir de sortie est identique à la largeur de la chambre de sédimentation (déversoir unilatéral) et se monte à 6.7 m. Le Q_{krit} de la chambre de sédimentation atteint ainsi 75 $l \cdot s^{-1} \cdot m^{-1} \cdot 6.7\ m = 502\ l \cdot s^{-1}$.

- Le Q_{an} du trop-plein s'élève à $Q_{krit} + Q_{ab}$ (STEP) = 502 $l \cdot s^{-1}$ + 72 $l \cdot s^{-1}$ = 574 $l \cdot s^{-1}$ (= 29 $l \cdot s^{-1} \cdot ha_{red}^{-1}$).

- Dans le cadre du contrôle des exigences minimales de la variante 2 les exigences minimales n'ont pas besoin d'être simulée en comparaison des variantes 1a et 1b, puisque le volume de rejet du déversement initial et du déversoir du bassin reste identique

Étape 4 : Détermination des variables pour le calcul du degré d'efficacité dynamique
Ces variables sont introduites dans le programme de dimensionnement REBEKA DIM (voir figures DB72, DB73 et DB74) :
- vitesse de sédimentation critique v_s = 0.004 $m \cdot s^{-1}$ (introduction, voir étape 1)
- part non sédimentable des MES : X = de 0.65 à 0.75 (dépendant de v_s)
- facteur de court-circuit du bassin de décantation n_n = 3 (justification : conditions moyennes)

Dans l'exemple de calcul ci-dessous, on a admis la valeur moyenne X = 0.7 pour la part de MES non décantables et la valeur moyenne n_η = 3 pour le facteur de court-circuit.

Pour dimensionner une installation réelle, il est recommandé de tenir compte de la variabilité des paramètres X et n_η. Ainsi, par exemple, peut-on calculer les émissions de MES pour une combinaison de X = 0.75 (grande part des particules non-décantables) et n_η = 1 (turbulence importante dans le circuit hydraulique) et X = 0.65 (petite part des particules non-décantables) et n_η = 5 (légères turbulences hydrauliques). Avec cette procédure, la plage des résultats peut être déterminée.

Pour des raisons de lisibilité, les calculs suivants ont été effectués avec la valeur moyenne.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Étape 5 : Détermination des dimensions et vérification de la performance du bassin
Données des dimensions du bassin (selon les conditions locales) et vérification des données au moyen du programme de dimensionnement REBEKA DIM (figures DB73, DB75 et DB77), calcul des émissions avec REBEKA DIM et comparaison avec les résultats provenant de l'étude conceptuelle selon le module STORM (figures DB74, DB76, DB78, tableaux DB9, DB10, DB11).

Variante 1a :
- Longueur de la chambre de sédimentation L_s= 24.7 m
- Largeur de la chambre de sédimentation B_s = 7.4 m
- Profondeur d'eau de la chambre de sédimentation H_s = 2.2 m

La figure DB73, montre que par ce choix, les dimensions du bassin remplissent toutes les conditions (recommandations empiriques) (toutes les conditions sont remplies → en vert : le point vert est placé dans le pentagone bordé de rouge).

Figure DB73
Variante 1a : Documentation des données dans les étapes 4 et 5.

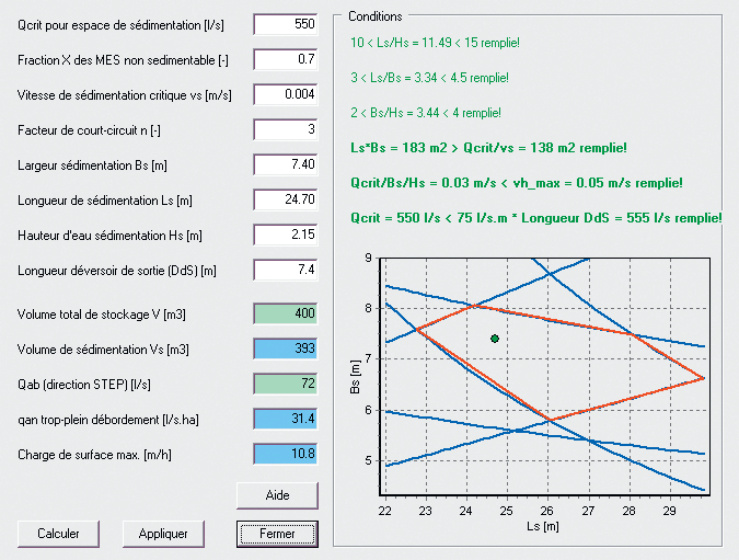


Figure DB74
Variante 1a : Comparaison des résultats de la simulation stochastique. Probabilités de non-dépassement des fractions annuelles de MES : Simulation avec REBEKA DIM (à gauche) et REBEKA 2 (à droite, voir également la figure DB69).

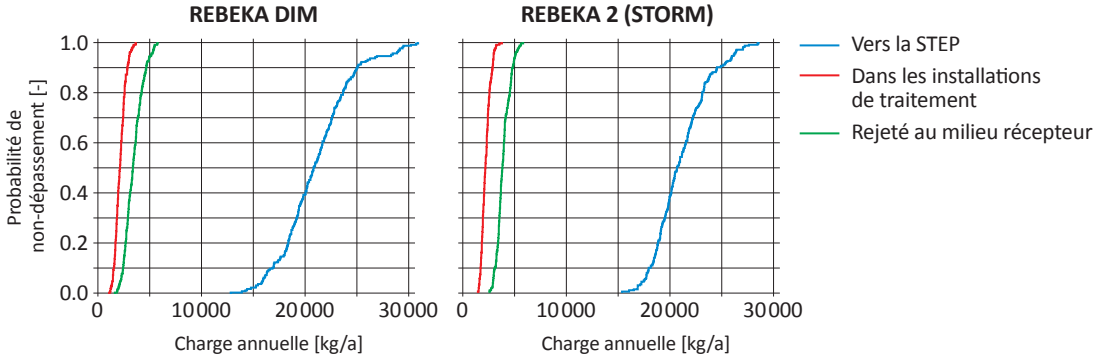


Tableau DB9
Variante 1a : Comparaison des résultats des simulations déterministes.

Comparaison des résultats des simulations déterministes	Variante 1a : charge annuelle de MES en kg/année				
	charge rejetée			charge retenue dans le bassin	charge acheminée vers la STEP
	trop-plein du bassin	déversoir de sortie	Total		
REBEKA 2 – état planifié (STORM)	non calculé spécifiquement	non calculé spécifiquement	3958	2194	20993
REBEKA DIM	558	3493	4051	2202	20891
Différences R(DIM)–R2	non calculé spécifiquement	non calculé spécifiquement	+93	+8	–102

Conclusion : Les différences entre les résultats de REBEKA 2 et de REBEKA DIM sont pratiquement les mêmes, le dimensionnement peut être accepté.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Variante 1b :
Mêmes dimensions de bassin que pour la variante 1a, mais en tenant compte d'un déversoir bilatéral. En maintenant la charge admissible du déversoir, il est possible d'atteindre une charge hydraulique Q_{krit} double pour l'espace de sédimentation.

Sur la base de la figure DB75, on peut constater que ce choix ne respecte que partiellement les conditions requises (les conditions non remplies sont indiquées en rouge).

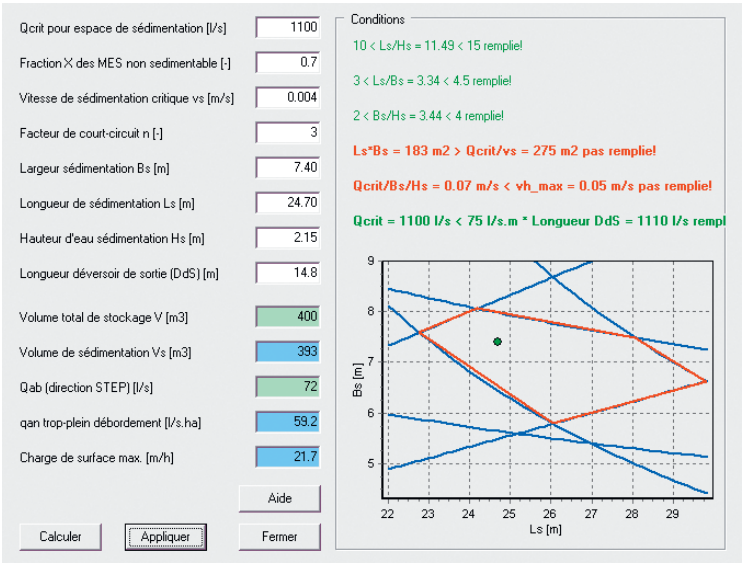


Figure DB75
Documentation des données dans les étapes 4 et 5. Les conditions importantes relatives à la sédimentation lors de Q_{krit} ne sont pas remplies.

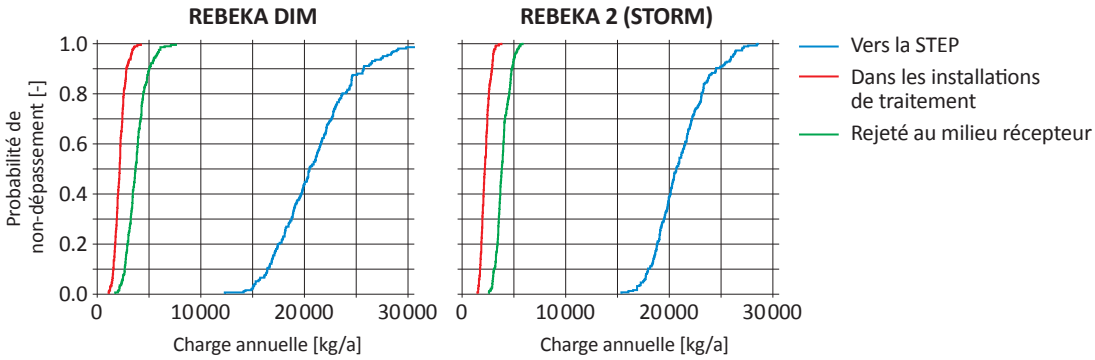


Figure DB76
Variante 1b : Comparaison des résultats de la simulation stochastique. Probabilités de non-dépassement des charges annuelles de MES, la simulation avec REBEKA DIM (à gauche) et REBEKA 2 (à droite, voir également la figure DB69)

Comme le montrent les résultats des simulations, le non-respect des conditions de sédimentation a une faible influence sur les rejets des fractions de MES (figure DB76, tableau DB10). Par conséquent, les dimensions retenues peuvent être acceptées.

Comparaison des résultats des simulations déterministes	Variante 1b : charge annuelle de MES en kg/année				
	charge rejetée			charge retenue dans le bassin	charge acheminée vers la STEP
	trop-plein du bassin	déversoir de sortie	Total		
REBEKA 2 – état planifié (STORM)	non calculé spécifiquement	non calculé spécifiquement	3958	2194	20993
REBEKA DIM	231	3793	4024	2227	20892
Différences R(DIM)–R2	non calculé spécifiquement	non calculé spécifiquement	+66	+33	–101

Tableau DB10
Variante 1b : Comparaison des résultats des simulations déterministes.

Conclusion : Comparé à la variante 1a, le rejet du déversoir de la variante 1b est significativement plus faible : le rejet provenant du déversoir d'orage est cependant supérieur d'environ 300 kg MES/an. En dépit du non-respect des conditions de sédimentation (voir figure DB75), les différences entre les résultats de REBEKA 2 (émission cible) et de REBEKA DIM (émission après dimensionnement) est faible. Cette variante, et ses dimensions, peuvent ainsi être acceptées. La justification d'une variante ou d'une autre sera apportée lors de l'interprétation des résultats.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Variante 2 :

- Longueur de la chambre de sédimentation L_s = 25.0 m
- Largeur de la chambre de sédimentation B_s = 6.7 m
- Profondeur d'eau de la chambre de sédimentation H_s = 1.8 m

La figure DB77 montre que par ce choix, les dimensions du bassin remplissent toutes les conditions (toutes les conditions sont remplies → en vert : le point vert est placé dans le pentagone bordé de rouge).

Figure DB77
Variante 2 : Documentation des données relatives aux étapes 4 et 5.

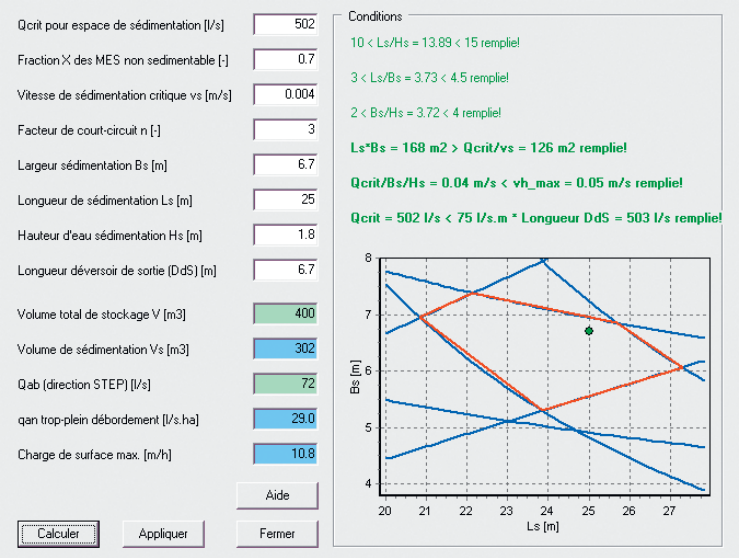
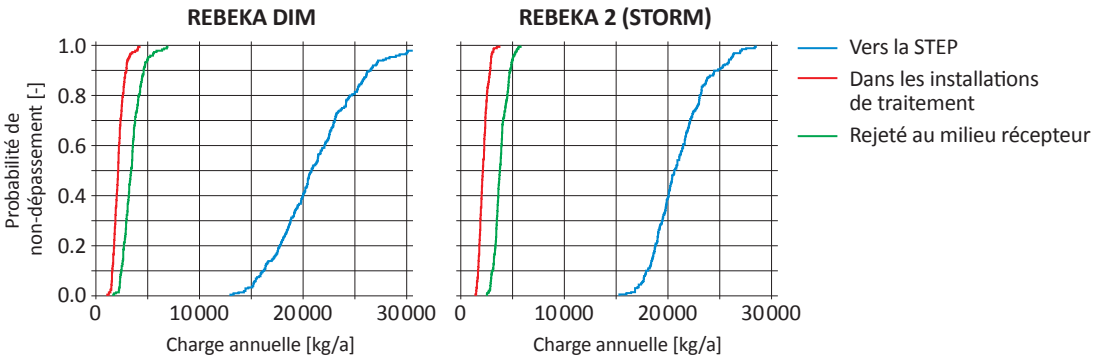


Figure DB78
Variante 2 : Comparaison des résultats de la simulation stochastique. Probabilités de non-dépassement des charges annuelles de MES : simulation avec REBEKA DIM (à gauche) et REBEKA 2 (à droit, voir également la figure DB69)



Comparaison des résultats des simulations déterministes	Variante 2 : charge annuelle de MES en kg/année				
	charge rejetée			charge retenue dans le bassin	charge acheminée vers la STEP
	trop-plein du bassin	déversoir de sortie	Total		
REBEKA 2 – état planifié (STORM)	non calculé spécifiquement	non calculé spécifiquement	3958	2194	20993
REBEKA DIM	620	3459	4079	2169	20895
Différences R(DIM)–R2	non calculé spécifiquement	non calculé spécifiquement	+121	–25	–98

Tableau DB11
Variante 2 : Comparaison des résultats des simulations déterministes.

Conclusion : Les charges évacuées dans la variante 2 ne diffèrent pas significativement des charges évacuées dans les variantes 1a et 1b. Ainsi, cette variante peut également être acceptée.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Étape 6 : Interprétation des résultats

Influence du débit critique sur la performance de l'installation

Les résultats de la simulation montrent que la variation des charges hydrauliques maximales de la chambre de sédimentation Q_{krit} (Var. 1a : Q_{krit} = 550 l·s^{-1}, Var. 1b : Q_{krit} = 1100 l·s^{-1}) avec les mêmes dimensions de l'installation et rapportée à la charge annuelle n'a pas d'influence significative sur la performance de l'installation. La raison réside dans la fréquence des débits critiques (= les événements évalués) qui ne se produisent que très rarement. En satisfaisant aux exigences de la charge hydraulique du déversoir de sortie et en satisfaisant aux exigences relatives aux rejets tolérables provenant du trop-plein (exigences minimales conformément au module de base), la performance réelle de l'installation est influencée par les caractéristiques des événements pluviaux critiques.

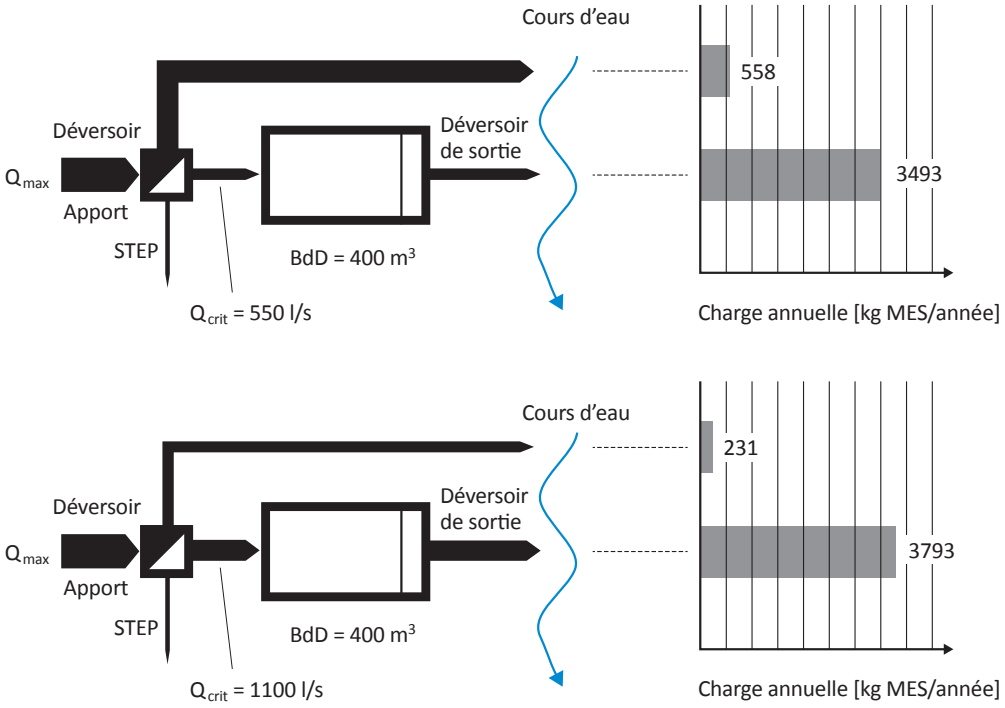


Figure DB79
Comparaison des charges annuelles de MES, variante 1a (en haut) et 1b (en bas).

Les charges annuelles totales des deux variantes diffèrent légèrement. Plus le fonctionnement du déversoir de crue est important, plus la charge totale de MES est grande, aucune sédimentation n'ayant lieu avant cet ouvrage. Alors que pour le BdD, un faible effet de décantation se produit, même à haut débit.

Pour documenter ce fait, les résultats des variantes 1a et 1b sont représentés en parallèle (figures DB80 à DB83) afin de disposer d'une comparaison directe.

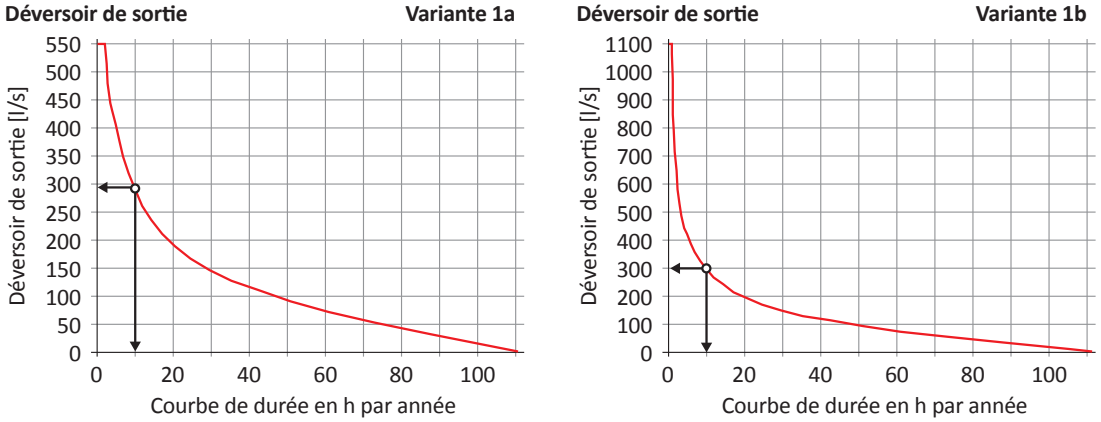


Figure DB80
Courbes des durées de déversement des volumes déversés (en l/s) provenant des déversoirs de sortie pour la variante 1a (à gauche) et pour la variante 1b (à droite).

Figure DB80 : Dans les deux cas, le déversoir a fonctionné 110 h/an (valeur moyenne obtenue par la simulation à long terme). Le trop-plein maximal de la variante 1a s'élevait à 550 l/s, dans la variante 1b à 1110 l/s. En dépit de ces différences considérables, le déversoir d'orage (>300 l/s) a fonctionné, dans les deux cas, environ 10 h/an. Au cours des 100 h restantes, la distribution des déversements est identique.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Figure DB81
Courbes de durée des charges hydrauliques superficielles pour les variantes 1a (à gauche) et 1b (à droite).

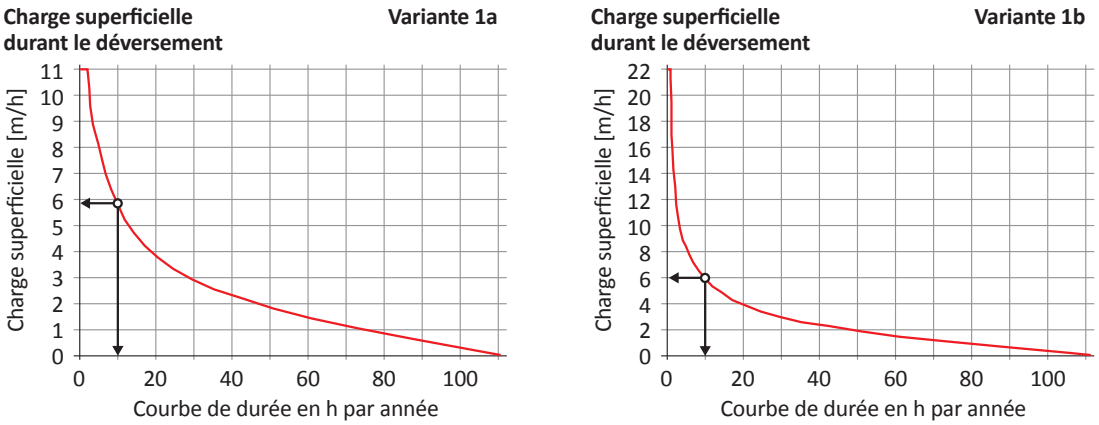


Figure DB81 : La charge superficielle s'élevait à environ 10.8 m/h pour la variante 1a et 21.7 m/h pour la variante 1b. Malgré cette différences considérable entre les deux cas, la charge superficielle (≤ 6 m/h) durant 100 h (= environ 90 % du temps) est identique.

Figure DB82
Courbes de durée des vitesses d'écoulement horizontales durant le déversement provenant de la chambre de sédimentation (déversoir de sortie) de la variante 1a (à gauche) et 1b (à droite).

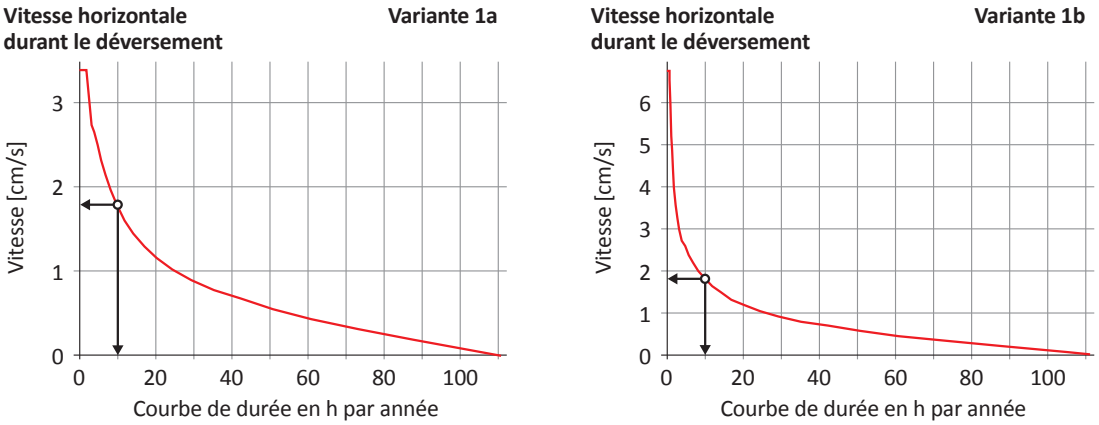


Figure DB82 : La vitesse d'écoulement horizontale maximale s'élevait à environ 3 cm/s pour la variante 1a et 6 cm/s pour la variante 1b. Malgré ces différences considérable, la vitesse d'écoulement horizontale (≤ 2 cm/s) durant 100 h (= à environ 90 % du temps) reste la même pour les deux cas. La vitesse d'écoulement horizontale recommandée de < 5 cm/s était toujours inférieure pour la variante 1a, pour la variante 1b, elle était également inférieure durant plus de 95 % du temps. Pour expliquer cette différence voir la variante 2, figure DB86.

Figure DB83
Courbes de durée des degrés d'efficacité (= degré de séparation) durant le déversement provenant de la chambre de sédimentation (déversoir de sortie) pour les variantes 1a (à gauche) et 1b (à droite).

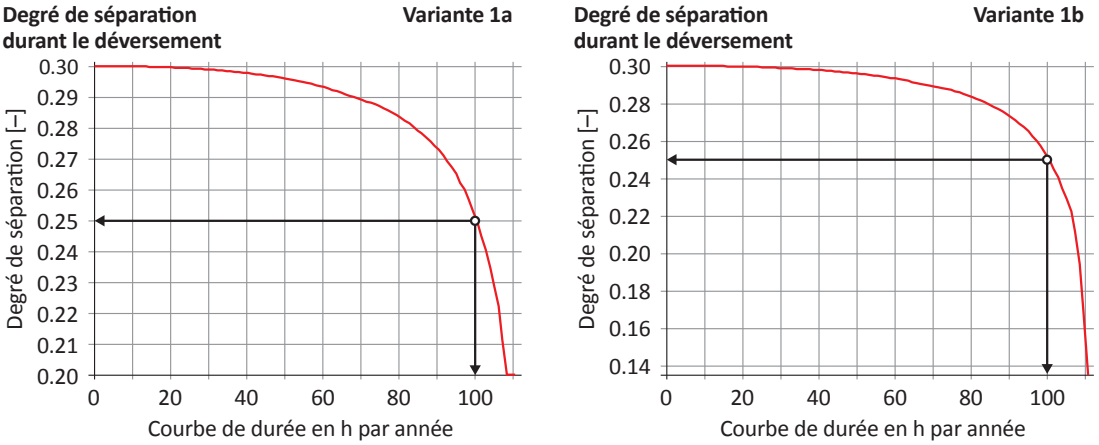


Figure DB83 : Pour cette figure, on peut également déduire le résultat des figures DB74 et DB76 : les degrés d'efficacité dynamiques sont pratiquement identiques pour les deux variantes. En 100 h, un degré d'efficacité de ≥ 25 % a été obtenu : le degré d'efficacité maximal atteint environ 30 % pour les deux variantes. Le degré d'efficacité minimal pour la variante 1a s'élève à environ 20 %, pour la variante 1b à environ 14 %. Pour l'explication de ce résultat voir la variante 2, figure DB87.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Performances des installations lors d'une conception différente du traitement et pour différentes dimensions de la chambre de sédimentation

La comparaison de la fonction et des performances de l'installation pour les variantes 1a et 2 est représentée dans les figures DB84 et DB86. Les différences entre les fonctions et les performances sont minimes. Ce type d'analyse permet à l'ingénieur d'utiliser la flexibilité potentielle dans la configuration de l'installation en tenant compte des conditions spécifiquement locales.

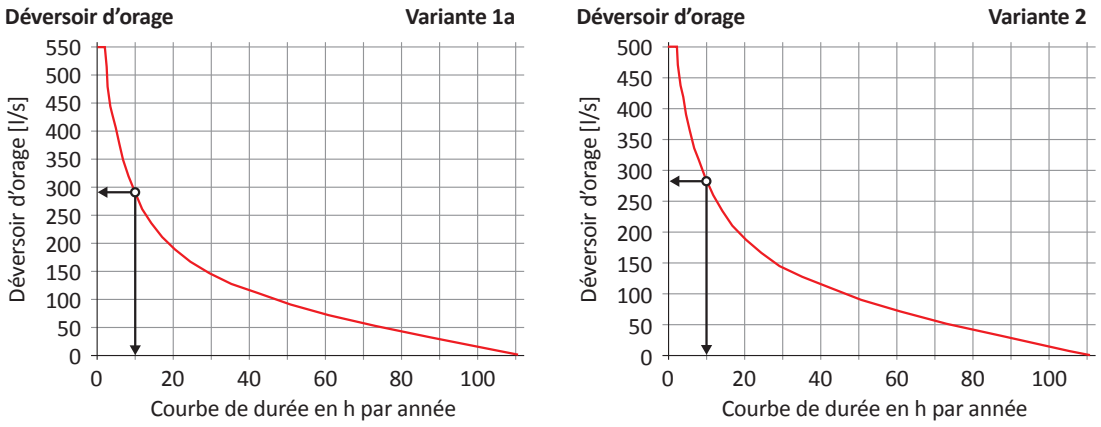


Figure DB84
Courbes de durée en fonction des volumes de déversement (en l/s) provenant du déversoir de sortie pour les variantes 1a (à gauche) et 2 (à droite).

Figure DB84 : Le déversoir d'orage a fonctionné 110 h/année dans les deux cas (valeur moyenne résultant de la simulation à long terme). Le déversement maximal pour la variante 1a s'élevait à 550 l/s, pour la variante 2 à env. 500 l/s (longueur plus courte du seuil du déversoir). Malgré les différences dans la conception de traitement et dans les dimensions, le déversoir de sortie (>300 l/s) a fonctionné environ 10 h/année dans les deux cas. Pour les 100 heures restantes, la distribution des déversements en sortie est identique.

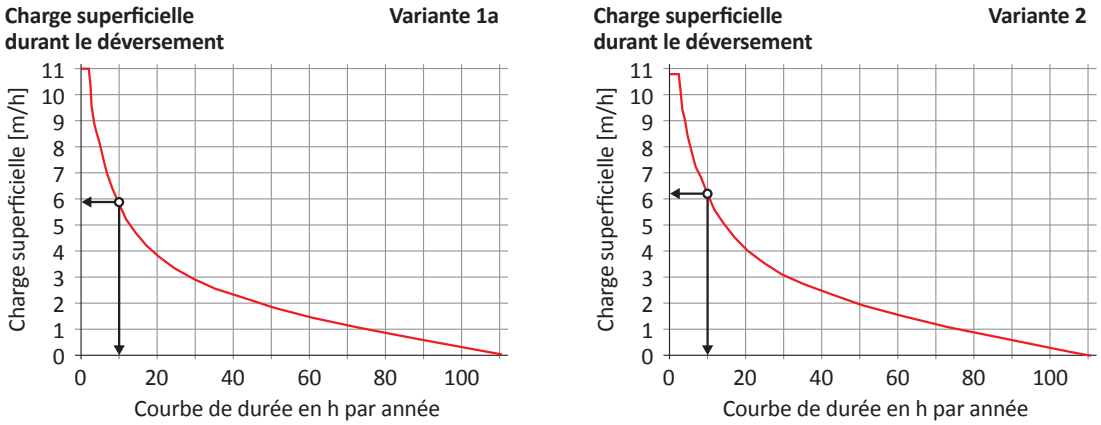


Figure DB85
Courbes de durée des charges hydrauliques superficielles pour les variantes 1a (à gauche) et 2 (à droite).

Figure DB85 : La charge hydraulique superficielle maximale est pratiquement la même pour les deux variantes (objectif de dimensionnement). Dans les deux cas, la charge hydraulique superficielle (≤ 6 m/h) s'élevait à environ 100 h (= pour environ 90 % des cas).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Figure DB86
Courbes de durée des vitesses d'écoulement horizontales durant le déversement provenant de la chambre de sédimentation (déversoir de sortie) pour la variante 1a (à gauche) et 2 (à droite).

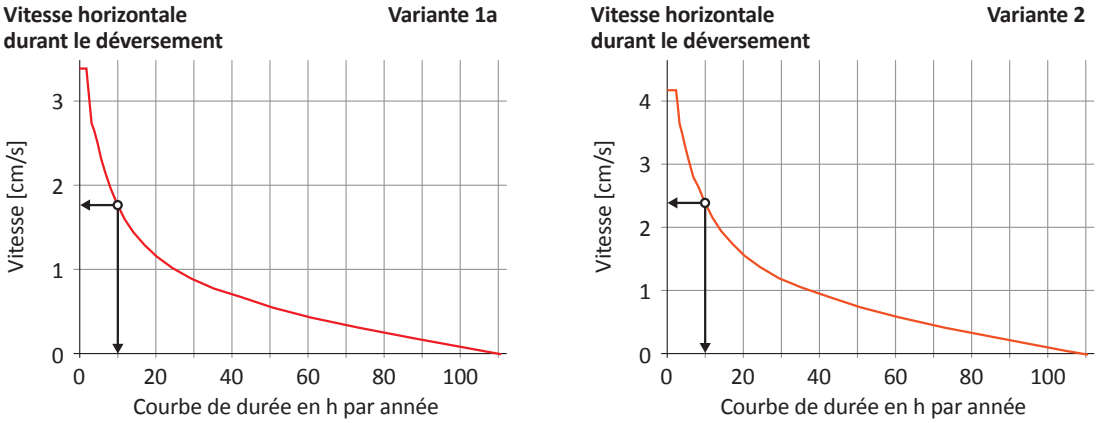


Figure DB86 : La vitesse maximale de l'écoulement horizontale s'élève pour la variante 1a à environ 3 cm/s, pour la variante 2 à environ 4 cm/s. Cette différence est due à des largeurs légèrement différentes de la chambre de sédimentation, surtout en cas de charges hydrauliques relativement importantes. Malgré cette différence considérable, la vitesse d'écoulement horizontale (≤ 2 cm/s) durant 100 h reste la même (pendant plus de 95 % du temps). Pour les deux versions, le taux d'écoulement horizontal recommandé de < 5 cm/s restait toujours inférieur à cette valeur.

Explication variante 2
La vitesse horizontale et calculée à partir des $v_h = Q/(B_s \cdot H_s) \rightarrow \max(v_h) = 0.502\ m^3 s^{-1} \cdot (6.7\ m \cdot 1.8\ m)^{-1} \cdot 100 = 4.16$ cm/s.

Figure DB87
Courbes de durée des degrés d'efficacité (= degré de séparation) lors du déversement de la chambre de sédimentation (déversement traité) pour la variante 1a (à gauche) et 2 (à droite).

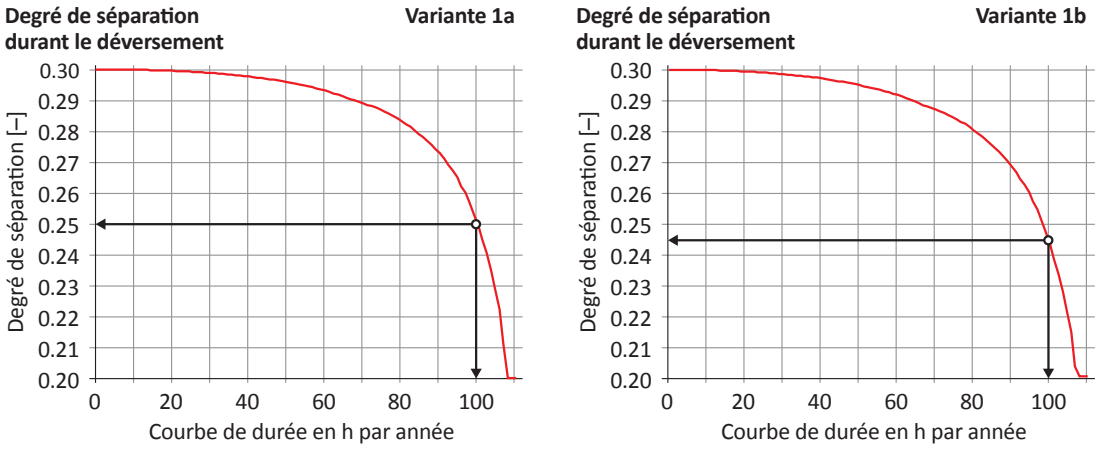


Figure DB87 : Le résultat peut également être tiré des figures DB74 et DB78 : Les degrés d'efficacité dynamiques pour les deux variantes sont pratiquement identiques. En 100 h, un degré d'efficacité ≥ 25 % a été atteint et le degré d'efficacité maximal s'élève à environ 30 % pour les deux variantes. Le degré d'efficacité minimal atteint 20 % pour les deux variantes.

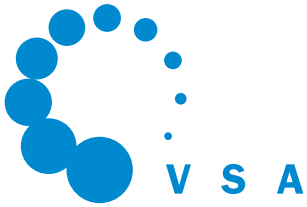
Explication variante 2
Degré d'efficacité : au maximum 30 %, car x = 0.7 et le degré d'efficacité max. est alors $1 \cdot (1-x) = 1 \cdot 0.3 = 0.3$ (degré de séparation max. correspond à 1 lorsque Q est petit). Le degré d'efficacité minimal se situe à environ 20 %, car $(1-[1+v_{krit}/\{n_\eta \cdot Q_{krit}/(B \cdot L)\}]^{-3}) \cdot (1-X) = (1-[1+0.004/\{3 \cdot 0.502/(6.7 \cdot 25)\}]-3) \cdot 1-0.7) = 0.2$ (Q_{krit} correspond au Q maximal).

Conclusion

- Pour évaluer la performance d'un bassin de décantation, l'analyse de son fonctionnement doit s'effectuer sur toute la durée de fonctionnement de l'installation.
- Par conséquent, lors la planification et du dimensionnement de l'installation, il est recommandé de vérifier l'analyse du fonctionnement au moyen d'une simulation à long terme.
- Ce type d'évaluation et de planification constitue, pour l'auteur du projet, une aide efficace pour l'utilisation optimale des conditions locales dans le choix des dimensions de l'installation.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020



Association suisse des professionnels
de la protection des eaux (VSA)
Europastrasse 3
Case postale, 8152 Glattbrugg
sekretariat@vsa.ch
www.vsa.ch
Tel. 043 343 70 70

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

Association suisse des professionnels de la protection des eaux

Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Swiss Water Association

VSA

GESTION DES EAUX URBAINES PAR TEMPS DE PLUIE

MODULE SYSTÈMES D'ÉVACUATION DES EAUX

E

2019

Impressum

La présente publication a été élaborée avec le plus grand soin et en toute bonne foi. Nous déclinons toutefois toute responsabilité quant à son exactitude, son exhaustivité et son actualité. Toute prétention en responsabilité à l'encontre de la VSA pour des dommages matériels ou immatériels qui pourraient être causés par l'utilisation et l'application de la présente publication est totalement exclue.

Valeur juridique
Cette directive documente l'état de la technique et les bonnes pratiques suisses en matière de gestion des eaux urbaines par temps de pluie. Elle précise la législation relative à la protection des eaux et permet une mise en oeuvre uniforme. La directive s'adresse principalement aux autorités chargées de l'application et de l'autorisation et aux planificateurs de systèmes d'évacuation des eaux. Elle garantit à l'utilisateur un degré élevé de sécurité juridique. D'autres solutions sont toutefois possibles. Cependant dans le cadre de la pratique juridique ces solutions doivent être conformes au droit.

Auteurs
Thierry Ackermann, SEN, Fribourg
Reto Battaglia, AWA, Berne
Reiner Gitzel, Gemeindebetriebe, Köniz
Thomas Lang, AUE, Liestal
Peter Moser, Urdorf
Silvia Oppliger, Hunziker Betatech AG, Berne
Hanspeter Schlegel, Schmid & Pletscher AG, Nidau

Membres du groupe de travail
Karlheinz Diethelm, AfU, Herisau
Patrick Fischer, OFEV, Berne
Stefan Hasler, VSA, Glattbrugg
Daniel Meister, AWEL, Zurich
Urs Reichmuth, Office des ponts et chaussées, Wangen SZ
Jörg Rieckermann, Eawag, Dübendorf
Luca Rossi, SINEF SA, Givisiez
Pierre Wyrsch, SENE, Neuchâtel
Alain Wyss, DGEau, Genève

diteur
Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Photo de titre
Ramboll Studio Dreiseitl, Arkadien Winnenden

Conception
SLS Nadler, Peter Nadler, 8610 Uster

Impression
Appenzeller Druckerei AG, 9100 Herisau

Source de référence
VSA, Europastrasse 3, Postfach, CH-8152 Glattbrugg,
téléphone 043 343 70 70, sekretariat@vsa.ch, www.vsa.ch

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Brève description du présent module et destinataires

Le module Systèmes d'évacuation des eaux permet de sélectionner le système de d'assainissement le plus approprié à l'aide d'un catalogue de critères. Il est généralement utilisé dans le cadre du traitement des PGEE et s'adresse en premier lieu aux ingénieurs PGEE et aux autorités cantonales.

Abréviations utilisées pour les renvois et désignations des tableaux / figures (voir aussi module de base, chap. 1.6 « Structure de la directive »)

Abréviation pour les renvois	Titre des différents modules
B	Module de base
G	Module Analyse de la qualité de l'eau
S	Module STORM
D	Module Dimensionnement et conception
	DA Partie A : Gestion des eaux pluviales / DB Partie B : Installations de traitement et de déversement des eaux unitaires
E	Module Systèmes d'évacuation des eaux
L	Index et listes de l'ensemble de la directive • Liste des abréviations • Bibliographie

Exemples de renvois :

- voir module G, chap. 3 = voir module « Analyse de la qualité de l'eau », chapitre 3
- voir chap. 3 (sans spécification d'un module) = voir chapitre 3 du module même
- voir également fig. B4 = voir la figure B4 dans le module de base

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

TABLE DE MATIÈRES

1 SITUATION INITIALE 7

2 OBJECTIF 8

3 ANALYSE DU PROBLÈME 9
3.1 Bassins versants urbanisés 9
3.2 Nouvelles zones à bâtir 9

4 SYSTÈMES D'ÉVACUATION DES EAUX ET PLAN GÉNÉRAL D'ÉVACUATION DES EAUX 10
4.1 Système unitaire 10
4.2 Système séparatif 12
4.3 Système modifié 14
4.4 Multitude de systèmes dans la pratique 15

5 CHOIX D'UN SYSTÈME D'ÉVACUATION DES EAUX 16
5.1 Priorités selon la législation sur la protection des eaux 16
5.2 Hiérarchie des décisions relatives à la gestion des eaux pluviales 16
5.3 Critères pour le choix d'un système d'évacuation des eaux 17
5.4 Aspects financiers 19

EXEMPLES 21
Exemple 1 22
Exemple 2 25
Exemple 3 27
Exemple 4 30

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1 SITUATION INITIALE

Le choix du système, unitaire ou séparatif, est une décision essentielle pour la conception de l'évacuation des eaux et donc pour la conception et le plan général d'évacuation des eaux (PGEE). Bien que les premières études des PGEE soit déjà bien avancées partout en Suisse et que les décisions relatives au système aient été prises, cette question reste pertinente en rapport avec la mise à jour de ces études.

En particulier, la mise en séparatif systématique sans tenir compte des conditions cadres, peut, avec l'aide du présent module et au vu du rapport coûts-efficacité être remise en question.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2 OBJECTIF

Le présent module doit fournir aux personnes responsables du plan général d'évacuation des eaux une aide précieuse pour prendre une décision fondée concernant le système d'évacuation adéquat. Il doit également mettre à la disposition des projeteurs les bases nécessaires pour choisir un système d'une manière compréhensible pour les autorités communales et cantonales.

Il ne s'agit toutefois pas d'un «livre de cuisine» qui apporterait une solution à tous les problèmes. Il se veut bien plus un outil présentant les bases légales, les critères à prendre en compte pour choisir un système et la manière d'interpréter ces éléments fondamentaux.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

3 ANALYSE DU PROBLÈME

Il n'est pas possible d'apporter une réponse unique à la question de savoir quelle est le meilleur système d'évacuation des eaux, même si l'on ne tient compte que du seul aspect de la protection des eaux [390], [391]. Les principes énoncés dans le module de base représentent le cadre dans lequel doit s'inscrire le choix du système. Ce dernier ne dépend cependant pas uniquement des conditions locales, mais encore des coûts de construction et d'exploitation, ce qui exige une analyse du problème au cas par cas.

Cette analyse doit faire ressortir dans le bassin versant considéré les déficits existant notamment dans les domaines de la protection des eaux, de l'exploitation du système d'évacuation des eaux et de la sécurité face aux refoulements ; elle doit également mentionner des mesures permettant de remédier aux problèmes décelés. Elle devrait aussi révéler les risques potentiels afin d'éviter que la mise en œuvre d'une mesure n'entraîne de nouveaux problèmes. Il faut finalement veiller à coordonner le système d'évacuation des eaux et la station d'épuration des eaux.

La décision concernant le système le mieux approprié pour un bassin versant donné devrait, si tant est que les structures organisationnelles le permettent, être prise au niveau du syndicat ou du bassin versant de la STEP. À noter qu'il convient d'évaluer dès la phase de l'élaboration du concept si le système choisi pourra bel et bien être mis en place jusqu'au niveau des biens-fonds.

Il est important de ne pas considérer uniquement la zone dont les eaux doivent être évacuées, mais d'intégrer également les bassins versants en aval. Les décisions fondamentales sur la conception du système doivent toujours être prises du point de vue de la totalité du bassin versant d'une STEP ou éventuellement des eaux réceptrices concernées.

3.1 Bassins versants urbanisés

Dans les zones déjà bâties, un changement de système n'est généralement pas supportable sur le plan économique. Il ne devrait être envisagé que si le système existant présente des déficits ; par exemple au niveau structurel, des eaux claires parasites, de la protection des eaux ou de l'hydraulique.

L'analyse des problèmes doit également englober le facteur temps pour la mise en œuvre des mesures. L'expérience montre qu'un changement du système d'évacuation des eaux est une affaire de longue haleine. Pendant toute la période de transition, il faut garantir que les exigences légales en matière de protection des eaux soient respectées. En cas de problèmes devant être résolus rapidement, des solutions autres qu'un changement de système peuvent par conséquent être plus indiquées.

3.2 Nouvelles zones à bâtir

Dans les nouvelles zones à bâtir, il faut appliquer les principes relatifs à la gestion des eaux pluviales présentés dans le module de base. Il est important, dans les zones nouvellement construites, de tenir compte des bassins versants déjà bâtis situés en aval et de les inclure dans une réflexion globale.

Il convient de tenir compte des points suivants lors du choix du système d'évacuation des eaux :

- Exigences énoncées dans le plan général d'évacuation des eaux
- Conditions cadres géologiques et géographiques
- Conditions cadres relatives aux eaux (milieux récepteurs et eaux souterraines)
- Degré d'efficacité des installations existantes de traitement des eaux unitaires en aval des nouvelles zones à bâtir
- Capacité des installations d'évacuation existantes

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

4 SYSTÈMES D'ÉVACUATION DES EAUX ET PLAN GÉNÉRAL D'ÉVACUATION DES EAUX

Les systèmes d'évacuation des eaux présentés ci-après correspondent à l'état de la technique et aux exigences légales. Les remarques suivantes s'appliquent à tous les schémas ci-après :

- Pour des raisons de lisibilité, on a renoncé à représenter dans les schémas les eaux non polluées permanentes (eaux claires parasites). Ces eaux ne doivent pas être acheminées vers la STEP. Elles doivent être infiltrées ou déversées dans une eau superficielle.

- Les eaux de ruissellement polluées (= eaux usées nécessitant un traitement) doivent être traitées avant leur infiltration ou leur déversement dans une eau superficielle ; ce traitement peut se faire sur place ou de manière décentralisée avant le déversement.

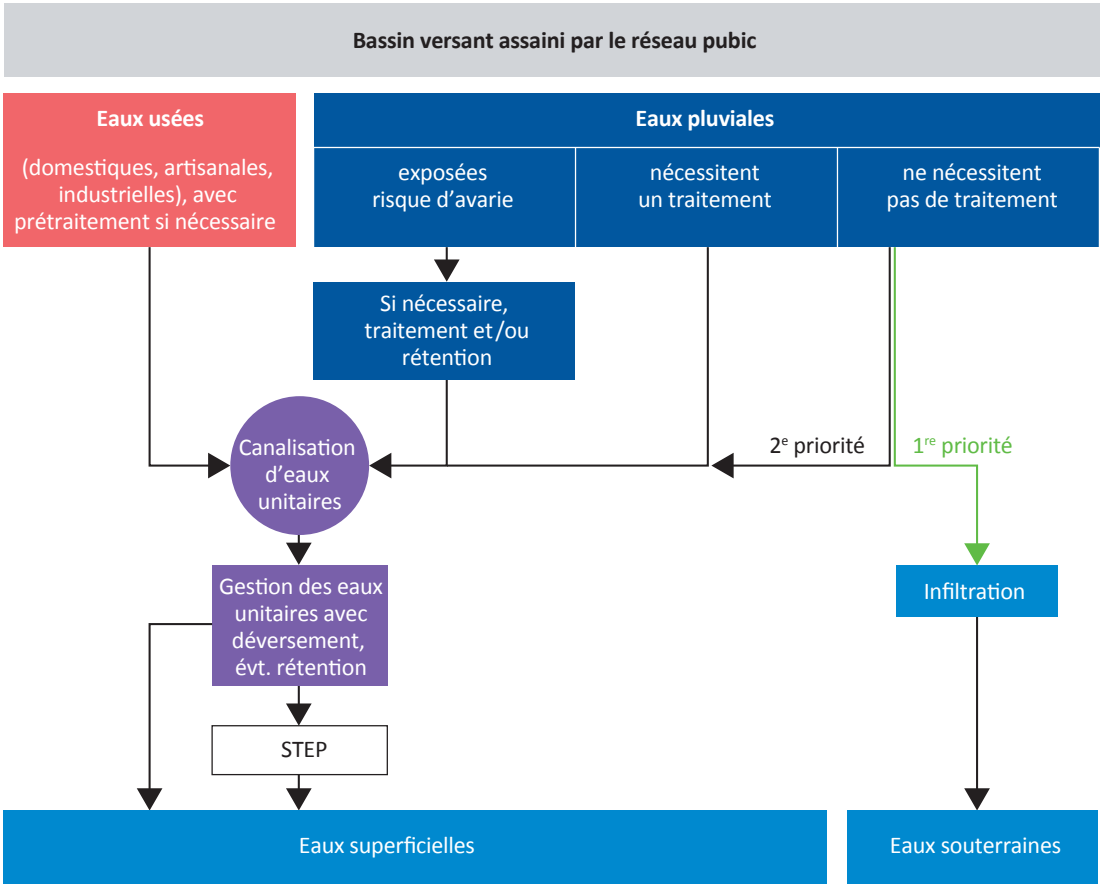
- Il convient de prendre des mesures nécessaires pour les eaux de ruissellement provenant de surfaces où il y a un risque d'avarie pour qu'elles ne soient pas des menaces pour les eaux superficielles ou souterraines.

- En fonction des conditions hydrauliques, il faut éventuellement prévoir des mesures de rétention avant le déversement dans les eaux réceptrices (voir module de base, chapitre 5).

4.1 Système unitaire

Le système unitaire «pur» est utilisé principalement aux endroits où, pour des raisons géologiques ou des raisons de place, les possibilités d'infiltrer les eaux pluviales sont restreintes et que leur déversement dans le milieu serait disproportionné (p. ex. centres urbains à grande densité de population).

Figure E1
Représentation schématique du système unitaire.



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Caractéristiques

- Les eaux polluées et les eaux de ruissellement (→ eaux unitaires) sont acheminées ensemble à la STEP.
- Les eaux pluviales ne nécessitant pas de traitement doivent autant que possible être infiltrées, pour autant que les conditions géologiques et l'espace à disposition le permettent.
- Pour des raisons techniques et économiques, le système unitaire impose à certains endroits des déversements vers les eaux réceptrices.
- Lorsqu'il y a des déversements problématiques dans le milieu récepteur, les eaux unitaires déversées doivent être stockées et prétraitées (BEP). En lieu et place des déversements, il est également possible de prévoir un stockage des eaux unitaires, qui seront acheminées vers la STEP après la pluie.
- Le raccordement d'eaux non polluées permanentes (eaux claires parasites) n'est pas autorisé par la loi. Dans ce cas, ces eaux doivent être évacuées séparément.

Tableau E1
Critères pour le système unitaire.

Critère	Spécificités
Caractéristique du réseau	Réseau simple, nécessite peu de surface, longueur du réseau restreinte
Entretien	Les besoins d'entretien sont relativement modestes, car les dépôts sont remis en suspension automatiquement pendant la pluie
Risque d'avarie	Possibilité d'évacuer à la STEP les substances pouvant altérer les eaux par temps sec. Si les déversoirs d'orage ou les bassins de rétention des eaux pluviales sont aménagés en parallèle, ils peuvent aussi être utilisés (de façon restreinte) en cas d'avarie.
Eaux claires parasites	La suppression des eaux claires parasites peuvent être plus complexes que dans un système séparatif (un simple changement de raccordement n'est pas possible).
Extension du réseau	Lorsque des extensions ont lieu dans le bassin versant, il faut éventuellement adapter les déversoirs d'orage ou les installations de traitement, voire en construire de nouveaux.
Protection des eaux	Le stress hydraulique est potentiellement plus faible que dans le système séparatif. Lors de pluies de faible intensité, les eaux sont en grande partie acheminées vers la STEP et chargent moins les eaux réceptrices. Les eaux unitaires des déversoirs doivent être traitées (stockage et traitement) ; la place nécessaire fait souvent défaut. Peut potentiellement déboucher à une charge importante pour un petit cours d'eau (charge polluante surtout lors de pluies d'intensité moyenne ; charge hydraulique lors de fortes pluies).
STEP	L'efficacité de la STEP peut être réduite par temps de pluie.
Technique de construction	La densité de raccords aux canalisations est grande ; la sollicitation du réseau varie fortement entre temps sec et périodes de pluie.
Cycle de l'eau	Il ne s'agit pas d'un cycle naturel de l'eau (mélange d'eaux polluées et d'eaux non polluées).
Erreurs de raccordement	Une erreur de raccordement d'eaux usées n'est pas possible, l'inconvénient persiste que les eaux claires parasites peuvent être raccordées au collecteur.

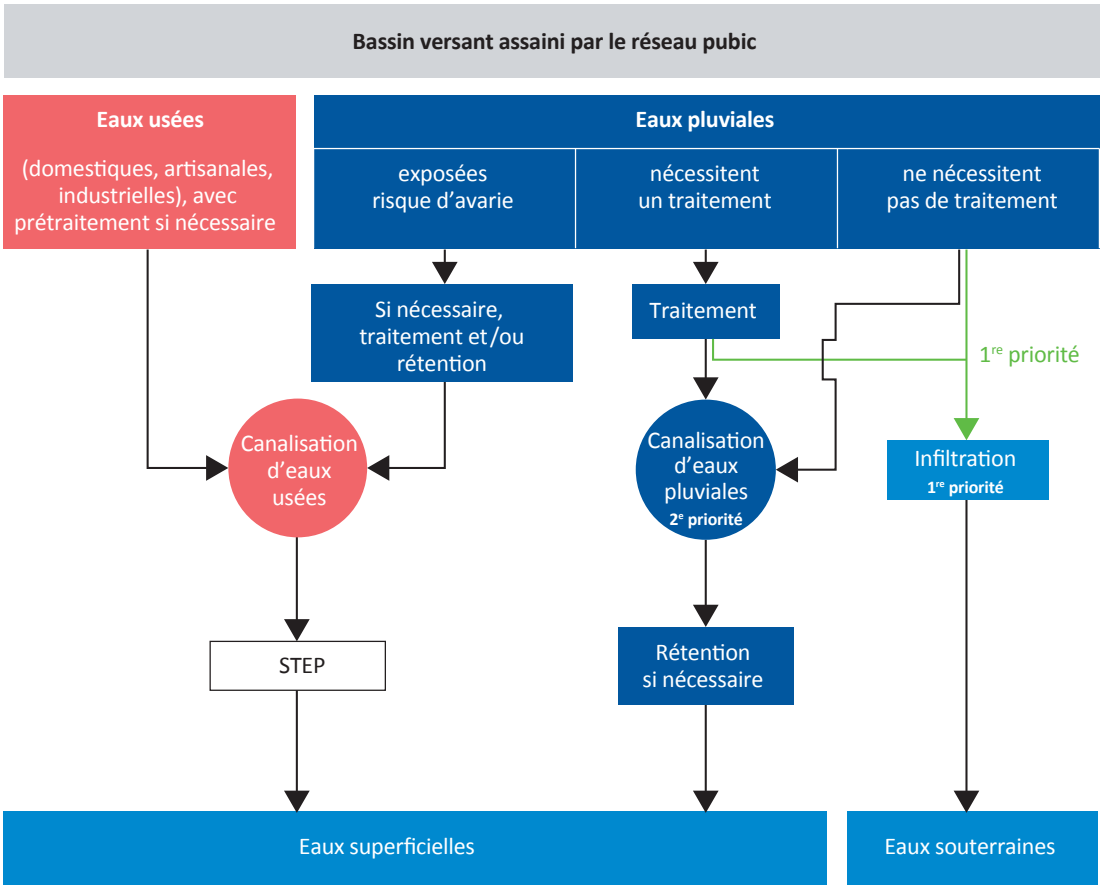
lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

4.2 Système séparatif

En plus des systèmes unitaires «traditionnels», il y a toujours eu des régions qui évacuent leurs eaux selon un système séparatif. Il s'agit notamment de zones urbanisées situées en bas du bassin versant ou plates du point de vue topographique (évacuation des eaux usées possible uniquement avec des stations de pompage), des zones situées en aval du dernier déversoir (qui n'aura pas pu être aménagé au point le plus bas du bassin versant pour des raisons d'altitude) ou encore de surfaces de chaussée se trouvant en périphérie ou à l'extérieur des localités.

Il convient également de mentionner le cas particulier de grandes surfaces exposées à un risque accru d'avarie (p. ex. places de transbordement, zones portuaires, etc.). En l'occurrence, il n'est pas permis d'infiltrer directement les eaux de ruissellement, ni de les déverser dans une eau réceptrice ; il faut prévoir des mesures de rétention sous la forme de bassins d'avarie, éventuellement en combinaison avec un traitement. Ces bassins sont souvent associés à des réseaux distincts d'évacuation des eaux de ruissellement afin que les conduites principales du reste du réseau séparatif ne doivent pas être surdimensionnées.

Figure E2
Représentation schématique du système séparatif.



Caractéristiques

- Seules les eaux polluées et les eaux de ruissellement provenant des surfaces exposées au risque d'avarie sont acheminées à la STEP.

- Les eaux de ruissellement qui proviennent de toutes les autres surfaces et les eaux non polluées à écoulement permanent (ECP) sont évacuées séparément. Elles doivent en priorité être infiltrées, de façon centralisée ou décentralisée, et en deuxième priorité être déversées dans une eau superficielle.

- Dans la plupart des cas, un deuxième réseau de canalisations (public) est nécessaire pour l'évacuation des eaux de ruissellement, éventuellement avec des bassins de clarification ou de rétention. Pour les parcelles situées dans le voisinage immédiat d'une eau superficielle, l'évacuation se fait en général par déversement direct (évacuation privée des eaux de ruissellement).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Tableau E2
Critères pour le système séparatif.

Critère	Spécificités
Caractéristique du réseau	Comme il y a deux réseaux de conduites : besoin en place accru dans le coffre de route, longueur du réseau importante.
Entretien	Tendance accrue des dépôts dans les canalisations d'eaux usées, ce qui nécessite un rinçage plus fréquent. Il faut compter les charges supplémentaires liées à l'entretien et au maintien de la valeur des réseaux d'évacuation des eaux pluviales.
Risque d'avarie	En cas d'avaries, sur des routes ou des places qui sont raccordées au réseau d'évacuation des eaux pluviales, des pollutions peuvent parvenir dans le milieu même par temps sec. Les éventuels bassins de clarification peuvent être utilisés (de façon restreinte) comme bassins d'avarie. Les services d'intervention doivent connaître le réseau en détail (topologie du réseau plus complexe que dans le cas des systèmes unitaires).
Eaux claires parasites[1]	Les eaux claires parasites peuvent être isolées plus facilement lorsqu'il existe un réseau distinct pour l'évacuation des eaux pluviales. La modification du raccordement des collecteurs des biens-fonds (conduite de drainage) entraîne d'importantes travaux, indépendamment du système d'évacuation des eaux.
Extension du réseau	L'infrastructure existante doit être adaptée (si les deux réseaux sont en place) ou construite à neuf (réseau d'évacuation des eaux pluviales pas encore disponible).
Protection des eaux	Pas de déversements d'eaux unitaires dans les eaux réceptrices. Il faut toutefois traiter également les eaux de ruissellement polluées avant leur infiltration ou leur déversement dans le milieu. Si les conditions hydrauliques sont défavorables, il faut prévoir une rétention.
STEP	L'efficacité de la STEP par temps de pluie n'est pas compromise.
Technique de construction	Les variations de sollicitation ainsi que les raccordements d'eaux pluviales dans les canalisations d'eaux usées sont supprimés.
Cycle de l'eau	La séparation complète des eaux pluviales correspond en grande partie au cycle naturel de l'eau. Cela vaut davantage pour l'infiltration que pour le déversement décentralisé dans une eau superficielle.
Erreurs de raccordement	Les erreurs de raccordement suivantes sont possibles : des eaux usées sont déversées dans le réseau d'eaux pluviales et parviennent dans les milieux récepteurs ou sont infiltrées ; des eaux pluviales ou des eaux claires parasites arrivent à la STEP par la canalisation d'eaux usées.

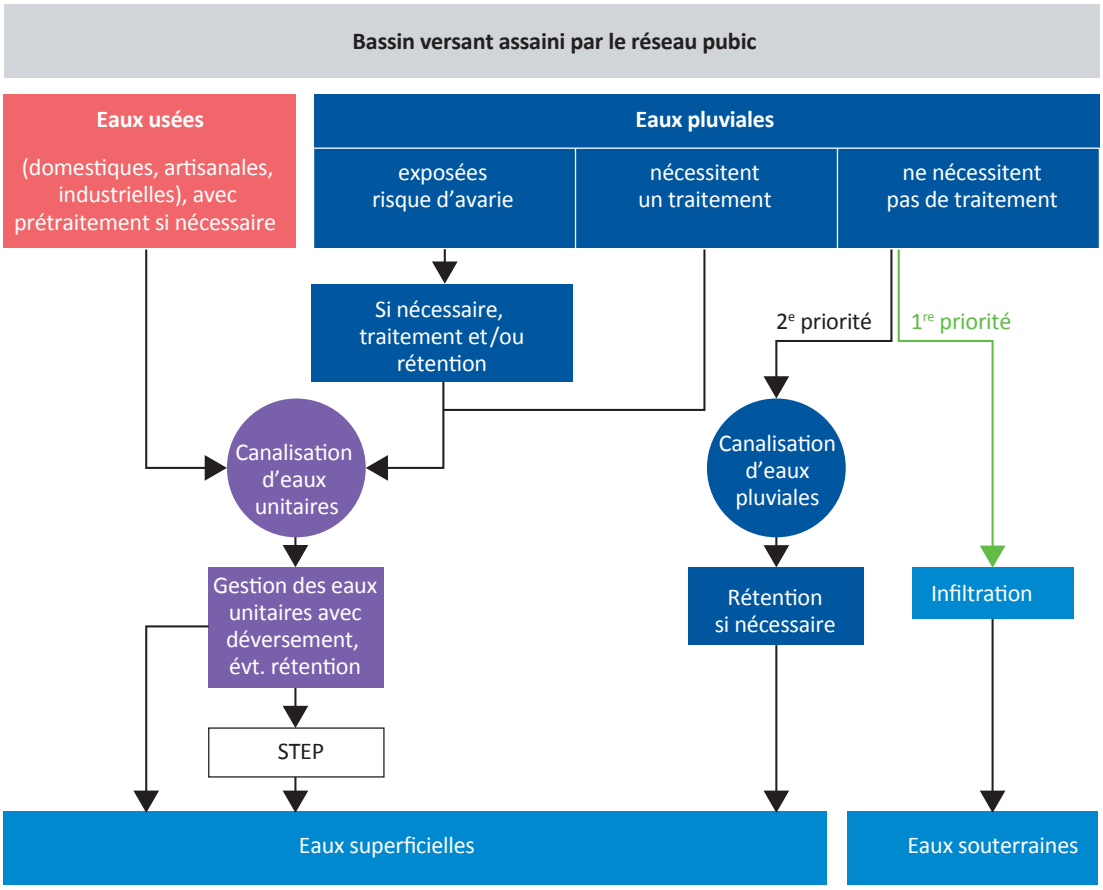
[1] La part d'ECP dans le réseau séparatif nécessitant un traitement est importante car elle influence le degré d'efficacité. Ceci est notamment le cas pour les installations routières qui nécessite une faible proportion (si possible 0 % ECP).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

4.3 Système modifié

Le système modifié se distingue des systèmes unitaires ou séparatifs stricts par la façon dont sont gérées les eaux pluviales.

Figure E3
Représentation schématique du système modifié.



Caractéristiques

- Acheminement simultanément des eaux polluées et des eaux de ruissellement nécessitant un traitement ou des eaux de ruissellement s'écoulant de surfaces à risque d'avarie vers la STEP.

- Les eaux pluviales ne nécessitant pas de traitement et les eaux non polluées à écoulement permanant (ECP) doivent être évacuées séparément (infiltration ou déversement dans les eaux superficielles). Elles ne doivent pas être déversées dans les canalisations d'eaux unitaires.

- Lorsqu'il y a des déversements problématiques dans le milieu, les eaux unitaires déversées doivent être stockées et prétraitée (BEP). En lieu et place de déverser, il est également possible de prévoir un stockage des eaux unitaires, qui seront acheminées vers la STEP après la pluie.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Tableau E3
Critères pour le système modifié.

Critère	Spécificités
Caractéristique du réseau	Réseau d'une longueur importante, aussi longtemps que les eaux pluviales ne nécessitant pas de traitement ne puissent pas être infiltrées à grande échelle et qu'un réseau d'eaux pluviales soit nécessaire.
Entretien	Selon l'étendue des surfaces du bassin versant déconnectées du réseau d'eau unitaire, un plus grand nombre de tronçons peuvent présenter des dépôts (auto-curage insuffisant).
Risque d'avarie	En cas d'avaries sur des routes ou des places, il y a souvent la possibilité, par temps sec, d'évacuer à la STEP les substances pouvant altérer les eaux, à condition que les déversoirs d'orage ou les bassins de rétention des eaux pluviales soient aménagés en parallèle. Les services d'intervention doivent connaître le réseau en détail.
Eaux claires parasites[2]	Ponctuellement, les possibilités de séparation sont meilleures qu'avec le système unitaire pur, car le système modifié est plutôt utilisé dans des zones offrant de bonnes possibilités d'infiltration ou à proximité d'eaux réceptrices.
Extension du réseau	Lorsque des extensions ont lieu dans le bassin versant, il faut éventuellement adapter les déversoirs ou les installations de traitement, voire en construire de nouveaux.
Protection des eaux	Le stress hydraulique est potentiellement plus faible que dans le système séparatif. Les eaux unitaires des déversoirs doivent être traitées (stockage et traitement) ; la place nécessaire fait souvent défaut. Peut potentiellement déboucher à une charge importante pour un petit cours d'eau (charge polluante surtout lors de pluies d'intensité moyenne ; charge hydraulique lors de fortes pluies).
STEP	Des pluies faibles n'entraînent pas forcément une charge hydraulique plus importante à la STEP.
Technique de construction	Les variations de la sollicitation des canalisations d'eaux unitaires entre le temps sec et le temps de pluie sont réduites par rapport au système unitaire.
Cycle de l'eau	La séparation décentralisée des eaux pluviales favorise un cycle naturel de l'eau (surtout en cas d'infiltration).
Erreurs de raccordement	Les mêmes erreurs de raccordement sont possibles que dans le système séparatif.

[2] La part d'ECP dans le réseau séparatif nécessitant un traitement est importante car elle influence le degré d'efficacité. Ceci est notamment le cas pour les installations routières qui nécessite une faible proportion (si possible 0 % ECP).

4.4 Multitude de systèmes dans la pratique

Les canalisations ou les réseaux d'évacuation des eaux urbaines sont dans la plupart des cas le résultat d'une évolution historique. En d'autres termes, les systèmes homogènes sur l'ensemble d'un bassin versant sont plutôt rares. On trouvera par conséquent les situations suivantes.

- Évacuation majoritairement par un système unitaire :
  - Dans les zones où l'infiltration est favorable, seules les eaux de ruissellement s'écoulant de places imperméables sont évacuées vers le collecteur d'eaux unitaires, tandis que les eaux des toits sont infiltrées. Les parcelles qui sont proches d'une eau superficielle acheminent les eaux de ruissellement ne nécessitant pas de traitement directement dans ces eaux réceptrices.
  - Les nouvelles zones à bâtir situées en périphérie sont raccordées à un système séparatif, car les canalisations d'eaux unitaires vers lesquelles s'écoulent les eaux ont une capacité trop faible pour absorber également les eaux de ruissellement. Dans ce cas, il faut prêter une attention toute particulière aux déversements d'eaux unitaires se trouvant en aval : vu les concentrations plus élevées en polluants dans les eaux unitaires, il faut vérifier les débits déversés par les ouvrages de décharge.

- Évacuation majoritairement par un système séparatif : certaines surfaces industrielles ne sont toutefois pas raccordées aux canalisations d'eaux pluviales en raison du risque d'avarie ; ces eaux passent dans le réseau d'eaux usées, qui devient donc dans les faits un canal d'eaux unitaires.

Cette liste n'est pas exhaustive. Son but est simplement de donner une idée de la diversité du système.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

5 CHOIX D'UN SYSTÈME D'ÉVACUATION DES EAUX

5.1 Priorités selon la législation sur la protection des eaux

Le choix du système d'évacuation des eaux dépend en grande partie du devenir des eaux pluviales ne nécessitant pas de traitement. Cette question fait partie du minimum des points à examiner dans la cadre d'un PGEE communal.

L'art. 7, al. 2, LEaux fixe des priorités à cet égard (voir aussi le module de base) :
1. Infiltration
2. Déversement dans les eaux superficielles

L'évacuation conjointe des eaux de ruissellement ne nécessitant pas de traitement avec les eaux usées n'est pas explicitement mentionnée à l'art. 7 LEaux. Elle est néanmoins admissible aux termes de la loi, lorsque les priorités 1 et 2 ne sont pas réalisables ou entraîneraient des travaux disproportionnés. Cela ressort clairement du message du Conseil fédéral relatif à la révision totale de la LEaux (1987).

Le présent module est avant tout applicable lorsque la première priorité (infiltration) n'est pas possible ou seulement de manière restreinte. Le point nécessitant en règle générale le plus de discussion est le choix entre le système séparatif (= les eaux de ruissellement sont déversées séparément dans des eaux superficielles) et le système unitaire (= les eaux de ruissellement sont évacuées avec les eaux usées). Les possibilités d'infiltration sont généralement déjà connues au moment de l'élaboration du concept d'évacuation des eaux.

5.2 Hiérarchie des décisions relatives à la gestion des eaux pluviales

Il convient d'appliquer la hiérarchie ci-dessous (I à III) pour des décisions concernant le système d'évacuation des eaux dans le cadre du PGEE, mais aussi pour les planifications, les projets et l'exécution de travaux de construction (plans de quartier, évacuation des biens-fonds et évacuation de surfaces routières). Les exigences de l'art. 7, al. 2, LEaux sont précisées et priorisées.

I **Infiltration** des eaux pluviales (type d'infiltration selon les exigences qualitatives)
   a) en surface, avec passage à travers le sol, dans des dépressions, des fossés, des bassins
   b) en sous-sol, par des tranchées drainantes et des puits

II **Déversement** des eaux pluviales dans une eau superficielle voisine
   a) en surface, dans des dépressions et des fossés
   b) en sous-sol, par des conduites

III **Concept d'évacuation** à élaborer selon le chapitre 5.3
   - Système séparatif
   - Système modifié
   - Système unitaire

Pour l'infiltration et le déversement dans les eaux superficielles, il faut toujours vérifier l'admissibilité selon le module de base.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

5.3 Critères pour le choix d'un système d'évacuation des eaux

Pour celui qui doit assurer l'évacuation des eaux (en règle générale la commune), les critères ou les conditions cadres régissant le choix d'un système d'évacuation des eaux peuvent être répartis en deux catégories : les critères «non influençables» ou «rigides» et les critères «influençables» ou «souples». Pour ce qui est de l'influençabilité, il faut tenir compte également du temps nécessaire pour les adaptations du système d'évacuation des eaux, y compris pour les étapes intermédiaires.

Ci-dessous une liste non exhaustive des critères de décision.

Tableau E4
Critères de choix pour la sélection d'un système d'assainissement.

Non influençable ····► Influençable
Législation sur la protection des eaux
Topographie
Situation des eaux réceptrices
Sensibilité des eaux
Eaux souterraines
Niveaux de crue des eaux superficielles
Type et densité des constructions
Place dans le coffre de route
Système d'évacuation des eaux existant
Besoin d'assainissement des infrastructures
Structure du bassin versant
STEP et traitement des eaux unitaires existants
Type d'eaux usées
Exigences des PGEE (syndicat)
Structure externe des taxes (syndicat)
Aménagement du territoire
Coûts de construction et d'exploitation
Temps requis pour la mise en œuvre intégrale
Quantité d'eaux claires parasites
Problème des erreurs de raccordements

Pour un certain nombre de critères (en gras), il est possible de voir assez clairement les avantages pour l'un ou l'autre système d'évacuation des eaux. L'appréciation de ces critères est résumée dans la matrice qui suit. Ce tableau peut être utilisé comme outil pour le choix du système. Le résultat obtenu indique une tendance pour le système le mieux approprié au vu des conditions cadres du cas étudié.

La sensibilité des eaux (superficielles ou souterraines) par rapport à l'infiltration ou au déversement n'est pas prise en compte dans la matrice : toute infiltration/déversement, peu importe que ce soit dans un système unitaire, séparatif ou modifié, doit répondre aux exigences formulées dans le module de base et doit donc être admissible. En outre, comme nous l'avons déjà souligné dans le chapitre 3.1, il n'est pas possible d'affirmer d'une manière générale quel système d'évacuation est plus avantageux pour la protection des eaux. Les systèmes unitaire et séparatif présentent chacun des avantages et des inconvénients spécifiques (chap. 4), dont il faut tenir compte dans le cas concret d'un déversement.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Tableau E4
Matrice d'évaluation pour le choix d'un système (multiplier les points par la pondération, puis les additionner ; degrés intermédiaires possibles).

Critère	Propriétés 1 point	3 points	Pondération
Topographie	Plat, faible pente ou contre-pente (évacuation vers la STEP à l'aide d'une station de pompage)	Pente suffisante (évacuation vers la STEP par écoulement gravitaire possible)	**1**
Situation des eaux réceptrices	Proches du bassin versant	Assez éloignées du bassin versant	**3**
Densité des constructions	Faible densité des constructions (p. ex. zone de maisons individuelles)	Grande densité des constructions (p. ex. centre ville)	**2**
Place dans le coffre de route	Amplement suffisante	Peu de place	**1**
Infrastructures existantes			
• Système d'évacuation des eaux	Système séparatif	Système unitaire	**3**
• Gestion des eaux unitaires	Inexistant ou ne satisfait pas aux exigences selon l'examen de l'admissibilité pour le déversement d'eaux unitaires (voir module de base)	Existe et satisfait aux exigences selon l'examen de l'admissibilité pour le déversement d'eaux unitaires (voir module de base)	**3**
• STEP	Faible capacité de tampon hydraulique	Grande capacité de tampon hydraulique, réserves, éventuel traitement des eaux unitaires à la STEP possible	**1**
Type d'eaux usées			
• Eaux claires parasites[3] (dans le bassin versant de la STEP)	Beaucoup (>50%)	Peu (<30%)	**2**
• Eaux de ruissellement nécessitant un traitement	Pourcentage faible	Grand pourcentage	**2**

Nombre minimum de points possible : 18 ; nombre maximum de points possible : 54

Somme des points ≤32 : tendance au système séparatif
Somme des points ≥40 : tendance au système unitaire

Les spécialistes peuvent adapter la matrice pour un projet spécifique, en modifiant la pondération des différents critères ou en ajoutant d'autres critères. Dans ce cas, les valeurs limites indiquées ici pour les tendances doivent être adaptées en conséquence. Dans tous les cas, le résultat obtenu doit être interprété «avec précaution» et complété par les critères «souples» indiqués ci-dessous. Pour ces derniers, seules des indications générales peuvent être données ; la liste n'est pas exhaustive :

- Il est possible de coordonner les mesures pour le traitement des eaux de ruissellement et des eaux unitaires dans le cadre d'un PGEE intercommunal de niveau supérieur. Les PGEE communaux et intercommunaux doivent impérativement être harmonisés entre eux. À cet effet, il faudra une démarche commune pour y parvenir.

- Si la part d'eaux claires parasites est importante dans le périmètre d'un syndicat d'épuration, on peut utiliser la structure des taxes du syndicat afin de mettre en place un système séparatif ou d'un système modifié disposant d'une canalisation séparée pour les eaux pluviales (p. ex. répartition des coûts en tenant compte de la quantité d'eaux usées par temps sec).

- Au moyen de l'aménagement du territoire, il est possible d'influer dans une certaine mesure sur la pollution escomptée des eaux de ruissellement. Dans un système séparatif, les eaux s'écoulant des zones artisanales ou industrielles, et pouvant être fortement polluées, peuvent être déversées dans des eaux superficielles uniquement après un passage par un bassin de clarification. Dans un système

[3] La part d'ECP dans le réseau séparatif nécessitant un traitement est importante car elle influence le degré d'efficacité. Ceci est notamment le cas pour les installations routières qui nécessite une faible proportion (si possible 0% ECP).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

unitaire, le traitement peut éventuellement se faire dans les bassins d'eaux pluviales qui sont de toute façon nécessaires.

- Dans les bassins versants présentant un important risque d'avarie, il est préférable de choisir un système séparatif avec des installations appropriées, car dans un réseau unitaire, les solutions pour le stockage d'eaux provenant d'une avarie ne sont pas satisfaisantes.

- Les grandes quantités d'eaux usées dont la charge polluante est supérieure à la moyenne et qui sont déversées que peu en amont de la STEP devraient être acheminées directement à la STEP dans un système séparatif. Cette solution permet d'éviter un déversement de celles-ci.

- Avant toute mesure d'assainissement prévue en raison d'une surcharge hydraulique des canalisations, il convient d'une manière générale d'étudier des mesures consistant à déconnecter du réseau les surfaces du bassin versant dont les eaux pluviales pourraient être infiltrées. Une telle mesure va faire augmenter les concentrations dans les eaux unitaires restantes. Cela peut induire des mesures de traitement supplémentaires dans les ouvrages de décharge notamment pour les déversements dans les petits cours d'eau. Ce même type de problèmes se pose lors du raccordement de zones périphériques équipée en séparatif sur un système unitaire existant. Dans un tel cas de figure, les ouvrages de déversement doivent être réévaluées au regard des conditions modifiées (voir la procédure pour l'évacuation d'eaux unitaires déversées dans le module de base, chap. 8).

- Dans les zones équipées en séparatif, les éléments servant à l'évacuation des eaux pluviales peuvent être utilisés pour l'aménagement urbain ou paysager (p. ex. rigoles ouvertes, dépressions, fossés). À noter toutefois que ces aménagements requièrent davantage de place que l'évacuation conventionnelle et que la charge pour l'entretien s'en trouvera modifiée (p. ex. fauchage, élimination des feuilles, etc.) Pour le dimensionnement hydraulique des rigoles ouvertes et des dépressions, il faut se baser sur des temps de retour suffisamment grands afin d'obtenir des fréquences de débordement analogues à celles de canaux fermés et souterrains.

5.4 Aspects financiers

Lors de chaque choix d'un système d'évacuation des eaux, il faut procéder à une comparaison complète du prix sur l'ensemble de la durée de vie, en tenant compte des frais d'investissement et d'exploitation ainsi que de l'éventuel coût de déconstruction. Les coûts encourus à la station d'épuration pour le traitement des eaux de ruissellement (pour le réseau unitaire) doivent également être comparés aux coûts d'un deuxième collecteur, y compris les ouvrages de traitement/rétention nécessaires (pour le réseau séparatif). Il convient de souligner que les points de rejet dans les eaux superficielles sont des facteurs de coût supplémentaires, même s'il n'y a pas de traitement des eaux, car ils requièrent un entretien régulier (p. ex. contrôle de la stabilité des berges, etc.).

Il en découle un coût global pour le système d'évacuation envisagé, lequel doit ensuite être évalué quant à l'admissibilité des taxes pour les personnes et les entreprises supportant les frais. Il n'est toutefois pas possible de se prononcer d'une manière générale sur le montant des investissements spécifiques (p. ex. CHF/habitant) au-delà duquel un système d'évacuation des eaux doit être qualifié d'excessivement cher.

Les exploitants de réseaux devraient étudier en détail tout projet visant un changement du système d'évacuation existant, afin de protéger les investissements (amortissement du réseau sur 80 ans en règle générale) et de l'usage économe des taxes pour les eaux usées. Il est conseillé d'entamer de telles interventions d'envergure dans les infrastructures existantes que si un besoin d'assainissement très important des canalisations est nécessaire et/ou d'autres grands travaux de génie civil se mettent en place. Il n'est pas possible en l'occurrence d'évaluer en termes financiers, l'éventuelle amélioration qualitative en matière de protection des eaux que pourrait apporter un changement de système. La condition essentielle est toujours que les infiltrations ou les déversements réalisés soient admissibles en vertu du module de base.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Le caractère raisonnable d'un changement de système pour les propriétaires de biens-fonds peut être évaluée par analogie à l'«obligation de raccordement au réseau des eaux usées des bâtiments situés hors de la zone à bâtir». En d'autres termes, des frais entre 5000 et 12 000 CHF/équivalent-habitant peuvent être considérés comme acceptables. Ces indications sont fondées sur différents jugements de tribunaux [389].

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

EXEMPLES

Exemple 1 : **Birsfelden, zone d'habitation urbaine avec grande zone artisanale et industrielle (zone portuaire)** Page 22
Evacuation par un système unitaire, la zone portuaire devant être considérée à part

Exemple 2 : **Schänis, quartier d'habitation** Page 25
Il n'y a pas de tendance nette au système unitaire ou séparatif. Le système unitaire existant est maintenu. A proximité immédiate de l'exutoire, le système séparatif est obligatoire.

Exemple 3 : **Bienne, bassin versant urbain avec zone industrielle et artisanale ainsi que des terrains de sport et des stades** Page 27
Evacuation par un système séparatif ; il convient de tenir compte des eaux de ruissellement nécessitant un traitement. Le traitement des eaux unitaires en aval doit être examiné.

Exemple 4 : **Sigriswil, commune rurale des Préalpes** Page 30
La zone habitée est traversée par plusieurs cours d'eau, d'où le choix d'un système séparatif pour l'ensemble du territoire

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Exemple 1

Birsfelden, zone d'habitation urbaine avec grande zone artisanale et industrielle (zone portuaire)

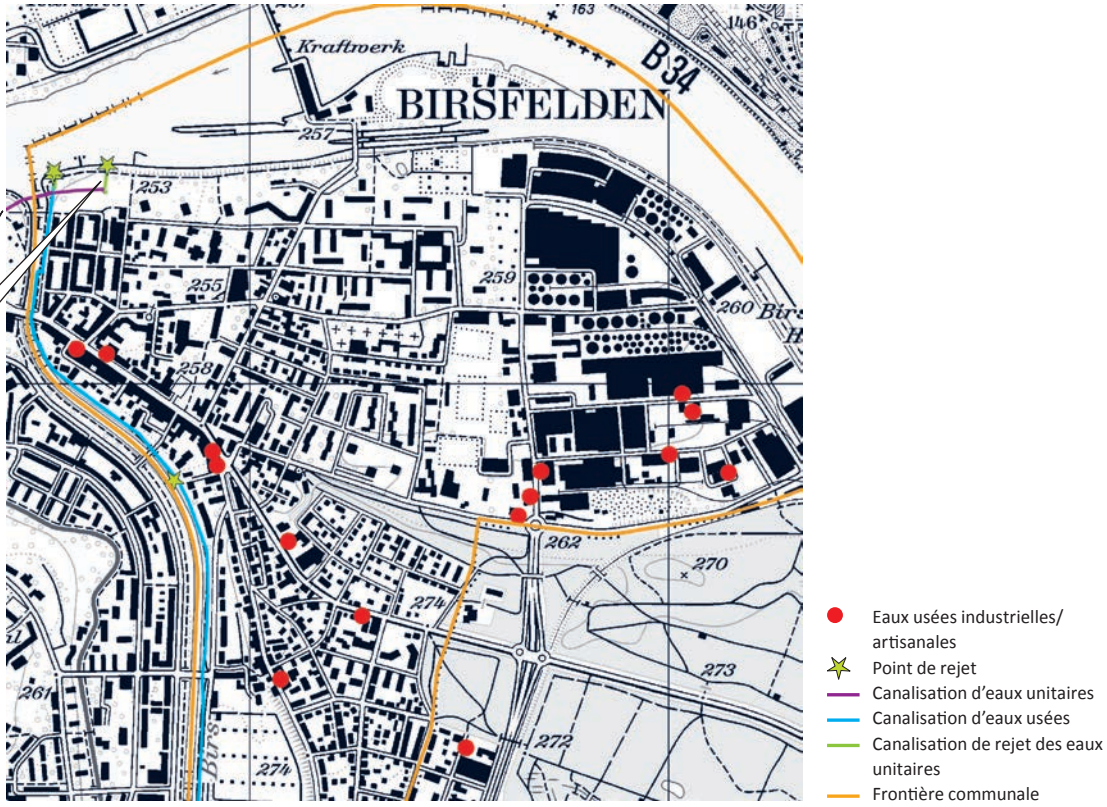
Situation initiale

L'agglomération de Birsfelden, 10 500 habitants, a une surface totale de 252 hectares. Elle se situe entre le Rhin, la Birse, la forêt de Hardwald et l'autoroute A5. Un quart environ du territoire communal fait partie de la zone portuaire, où travaillent environ 4000 personnes ; transbordement de marchandises intensif, activités industrielles et artisanales.

Le sous-sol géologique à Birsfelden est composé en majeure partie de gravier très perméable du Rhin ou de la Birse.

L'évacuation des eaux urbaines se fait par un système unitaire aboutissant à la STEP ProRheno à Bâle. Les eaux unitaires sont traitées de manière centralisée à la STEP. Des eaux unitaires sont déversées essentiellement dans le Rhin, juste en amont de l'embouchure de la Birse, et en partie dans la Birse. En raison de l'usine hydroélectrique, les eaux unitaires déversées aux déversoirs d'orage restent plutôt proches du rivage, malgré l'arrivée des eaux de la Birse, mais elles sont assez bien diluées grâce au grand débit du Rhin.

Figure E
Birsfelden, situation avec les principales conduites d'évacuation des eaux vers Bâle et les sites de production d'eaux usées industrielles.



Une importante place de baignade se situe directement à l'embouchure de la Birse.

La part de surfaces imperméables est très grande à Birsfelden, en particulier dans la zone portuaire (surface de ruissellement $A_{réd}$ = 71 ha). Avant la mise en œuvre du PGEE, les critères valables pour les déversements d'eaux unitaires des DO (lignes directrice BL) n'étaient pas remplis.

Au port de Birsfelden, il y a notamment des transbordements d'importantes quantités de substances pouvant altérer les eaux. L'un des rôles du PGEE est par conséquent de garantir la sécurité en cas d'avarie ou d'accident majeur.

La zone portuaire se situe à l'extrémité supérieure du bassin versant plat. Par temps de pluie, la canalisation se remplit très rapidement. Elle ne parvenait plus à absorber les eaux usées arrivant du port,

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lesquelles se déversaient généralement dans le Rhin par le déversoir d'orage, en amont de l'embouchure de la Birse.

Application de la matrice d'évaluation

Critère	Point(s)	Pondération	Produit	Remarque
Topographie	**1**	1	1	Terrain presque plat
Situation des eaux superficielles	**1**	3	3	Sur les rives du Rhin
Densité des constructions	**3**	2	6	Zone urbaine
Place dans le coffre de route	**3**	1	3	En grande partie serrée, en partie normale
Syst. d'évacuation des eaux existant	**2**	3	6	Système unitaire, infiltration décentralisée
Traitement existant des eaux unitaires	**3**	3	9	Traitement des eaux unitaires central uniquement, long parcours, sites de baignade
STEP existante	**2**	1	2	STEP ProRheno à Bâle, 450000 EH
Eaux claires parasites	**3**	2	6	Eaux claires parasites < 10 % de Q_{TW}
Eaux de ruissellement nécessitant un traitement	**3**	2	6	Port, site industriel, grande densité du trafic
			42	**→ Tendance nette au système unitaire, mais une appréciation nuancée est indispensable**

Évaluation

Le résultat obtenu en appliquant la matrice d'évaluation indique clairement que le système unitaire doit être maintenu pour Birsfelden considéré dans sa globalité. Au vu de la très bonne perméabilité du sous-sol, le système unitaire est recommandé tout en utilisant les opportunités d'une infiltration décentralisée. Il ressort nettement qu'un système séparatif pour l'ensemble de la commune ne serait pas judicieux.

Il faut toutefois tenir compte du fait que l'évacuation de la zone portuaire par le système unitaire est problématique pour les raisons énumérées ci-dessous. Il est par conséquent impératif de considérer ce quartier séparément.

- En cas d'avarie ou d'accident majeur, les substances pouvant altérer les eaux peuvent être acheminée de manière sûre à la STEP (où se trouve un bassin d'avarie) uniquement par temps sec.

- Le temps d'écoulement jusqu'à la STEP est long. La canalisation d'eaux unitaire traverse entièrement la zone urbaine et passe par des traversées sous-fluviales (Rhin et Birse). La population serait par conséquent exposée à un grand risque en cas d'avaries ou d'accidents majeurs impliquant des substances toxiques ou explosives.

- Le port se situe dans la partie supérieure du bassin versant de la STEP ProRheno, Bâle. Cela signifie que ce sont surtout les eaux unitaires de la zone portuaire, qui s'écoulent après celles de l'agglomération, qui seraient déchargées dans le Rhin en amont des places de baignade. Or, elles sont potentiellement plus chargées en polluants du fait notamment des utilisations industrielles.

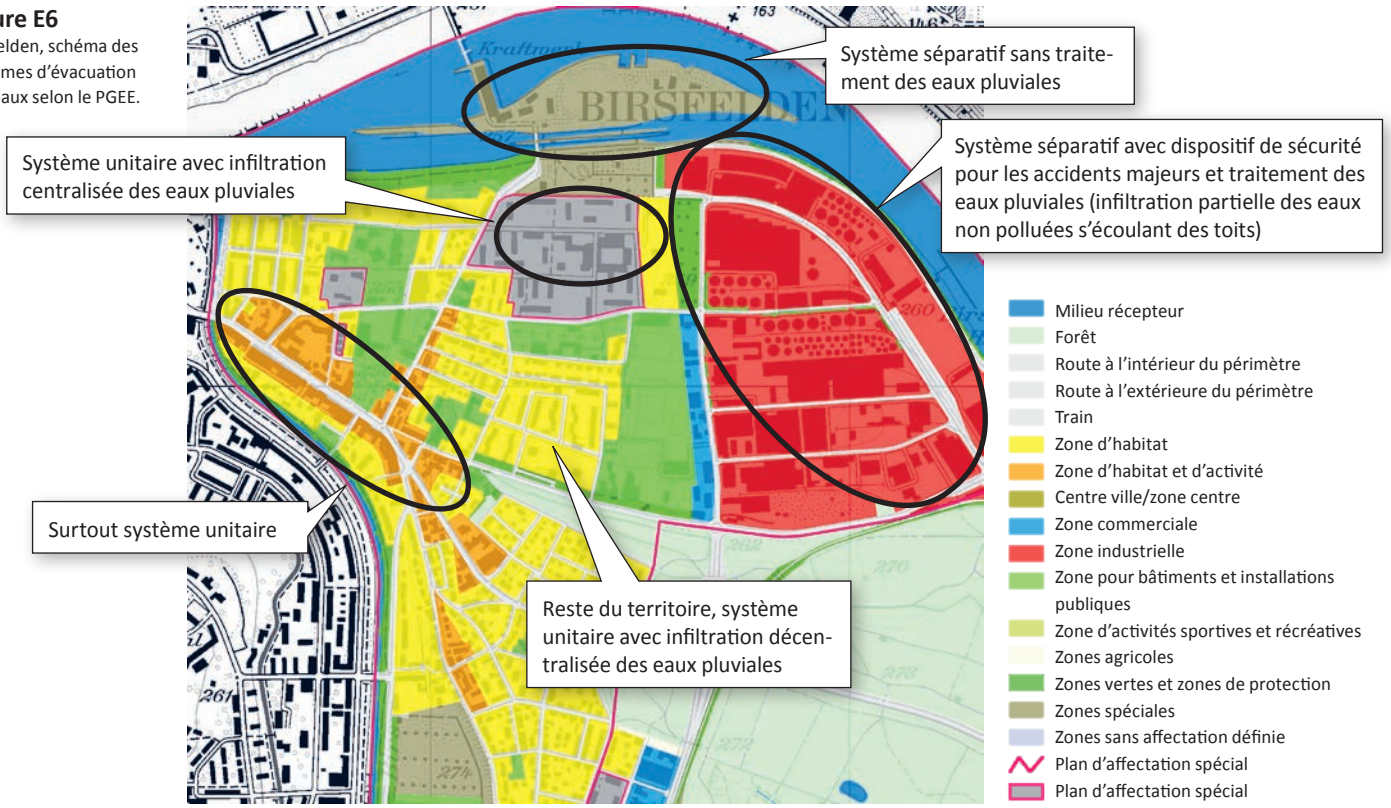
Les avaries et les accidents majeurs dans le périmètre du port ne peuvent être maîtrisés que si les surfaces à risque ne sont pas raccordées à la canalisation d'eaux unitaires. En conséquence, seul un système séparatif avec dispositif de sécurité pour les accidents majeurs et traitement entre en ligne de compte pour cette zone.

Le système séparatif s'impose également comme solution pour l'île (du seul fait de sa situation géographique) abritant les installations hydroélectriques, où il y a relativement peu d'eaux usées.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Un traitement des eaux unitaires provenant de la zone urbaine de Birsfelden est difficilement réalisable. Cependant, vu la nécessité d'évacuer les eaux du port par un système séparatif et le grand potentiel d'infiltration des eaux pluviales (séparation du réseau), les quantités déversées peuvent être considérablement réduites.

Figure E6
Birsfelden, schéma des systèmes d'évacuation des eaux selon le PGEE.



Après la mise en œuvre des mesures PGEE, un contrôle selon la méthode STORM paraît indiqué. Il devrait se concentrer, d'une part sur le déversement dans la zone de retenue du Rhin des eaux de ruissellement traitées provenant du port, d'autre part sur les eaux unitaires déversées dans le fleuve en amont des places de baignade en période d'étiage et après des pluies intensives de courte durée.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Exemple 2

Schänis, quartier d'habitation

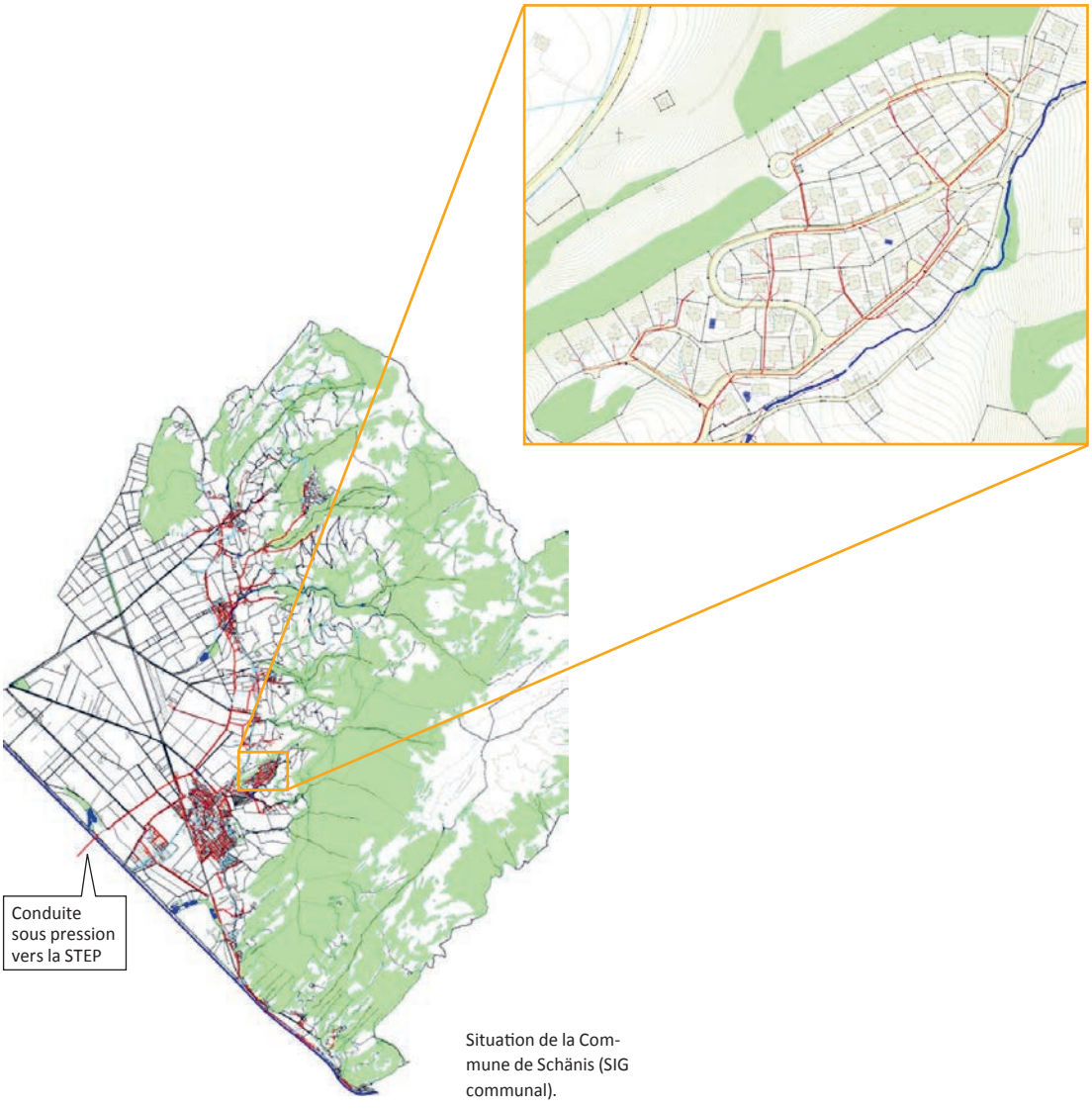
Situation initiale

La commune de Schänis se situe entre le canal de la Linth et les Préalpes ; elle comprend le village de Schänis et les hameaux Dorf, Rufi et Maseltrangen, à quoi s'ajoute la partie de Ziegelbrücke se trouvant sur la rive droite de la Linth. La surface de la commune est de 40 km^2 ; le nombre d'habitants est de 3700, dont 2600 à Schänis même et 3 fois 300 dans les hameaux et 200 personnes dans des fermes isolées.

Le PGEE de la commune a été achevé en 2003. À cette époque, la canalisation était raccordée à la STEP communale. Aujourd'hui, toutes les eaux usées sont traitées à la STEP intercommunale, c'est-à-dire pompées dans le réseau du syndicat d'épuration. Environ 40 % de la zone bâtie est drainée par un système séparatif. Il y a deux stations de pompage dans le bassin versant (sans les installations privées), six ouvrages de stockage et huit ouvrages de rejet.

Il y a un grand nombre de cours d'eau sur le territoire communal. La pente de la plaine de la Linth est plutôt faible. Les possibilités d'infiltration existent partiellement.

La zone considérée de «Chastli», en périphérie du village et située à côté d'un ruisseau et couvre une surface d'environ 6 hectares. Elle est assainie par un système unitaire et se trouve entièrement dans la zone d'habitation 1.



Situation de la Commune de Schänis (SIG communal).

Figure E7
Situation du quartier «Chastli» en périphérie du village (SIG de la Commune de Schänis).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Application de la matrice d'évaluation

Critère	Point(s)	Pondération	Produit	Remarque
Topographie	**3**	1	3	La totalité des eaux usées de la commune sont pompées
Situation des eaux superficielles	**1**	3	3	Cours d'eau existants
Densité des constructions	**2**	2	4	Zone d'habitation 1
Place dans le coffre de chaussée	**1**	1	1	Oui
Syst. d'évacuation des eaux existant	**3**	3	9	Système unitaire
Traitement existant des eaux unitaires	**1**	3	3	–
STEP existante	**2**	1	2	Puisard d'aspiration = tampon hydr. moyen
Eaux claires parasites	**3**	2	6	Peu d'eaux claires parasites (15 %)
Eaux de ruissellement nécessitant un traitement	**1**	2	2	Non
			33	**→ pas de tendance nette (32 ÷ 40)**

Évaluation

Dans la zone «Chastli», en périphérie du village, il n'y a pas de tendance claire pour l'un ou l'autre système (unitaire ou séparatif).

Selon le PGEE, les systèmes unitaires existants doivent être autant que possible transformés en systèmes séparatifs. Les différentes zones unitaires doivent être considérées chacune séparément. Une analyse coût-efficacité peut aider à se prononcer sur le système approprié pour la zone concernée.

Des modifications du système (évacuation des eaux routes ou des toits) apparaissent judicieuses à proximité du ruisseau. Les eaux de ruissellement peuvent être dirigées dans le cours d'eau sans charges excessives. Ces changements ne sont toutefois exigés qu'à l'occasion de transformations importantes (projets privés ou travaux prévus sur les routes communales).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Exemple 3

Bienne, bassin versant urbain avec zone industrielle et artisanale ainsi que des terrains de sport et des stades

Situation initiale
Le bassin versant considéré se trouve dans la partie orientale de la ville de Bienne. Le traitement des eaux usées est assuré par la STEP Région Bienne, qui se situe à la périphérie de la ville, au sud-ouest.

Il y a plusieurs exutoires de différentes tailles dans le bassin versant de la ville de Bienne. La majeure partie du territoire communal est aujourd'hui bâtie et l'évacuation se fait principalement par un système unitaire.

La partie du bassin versant considérée dans notre exemple possède de grandes zones à bâtir qui ne sont pas encore construites. Sa surface est de 57 hectares et le nombre d'habitants est estimé à 2700 environ. Lors de la construction de l'autoroute, le plan de quartier et la conception de l'évacuation des eaux de cette partie du bassin versant ont été remis en question.

Figure E8
Situation du bassin versant, des exutoires et de la STEP.

La pente naturelle du bassin versant va essentiellement d'Ouest en Est. Dans la partie Sud-Ouest, la pente s'élève vers l'Ouest, sur un terrain relativement plat. L'évacuation des eaux de ruissellement par écoulement gravitaire est par conséquent possible qu'en direction de l'Est. À l'Est, il existe un petit cours d'eau (Leugene), qui présente des capacités d'écoulement insuffisantes sur certains tronçons. La quantité d'eaux pouvant être déversées à la limite de la commune a par conséquent été définie contractuellement.

Les eaux usées et les eaux unitaires produites dans la partie orientale de la ville sont acheminées à la STEP par le biais d'une station de pompage.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Les affectations dans le bassin versant sont les suivantes :

Figure E9
Utilisation prévue du bassin versant selon le plan d'affectation.

Zone		
Zones d'habitation	S =	2.366 ha
Zones industrielles et artisanales	S =	26.260 ha
Zones d'utilisation publique (constructions et installations)	S =	2.422 ha
Zones d'utilisation publique, terrains de sport, parc	S =	10.996 ha
Zones à planification obligatoire	S =	11.227 ha
Espaces verts	S =	1.205 ha
Corridor de mise en réseau	S =	3.035 ha
Total	**S =**	**57.511 ha**

- Périmètre de planification
- Zone Mixte A
- Zone d'activités
- Zones d'utilisation publique (1–9)
- Zones d'utilisation publique (10–13)
- Espaces verts
- Zones avec un coefficient d'espace vert min. de 40%
- Zones à planification obligatoire

Plan de zone

Les possibilités d'infiltration des eaux pluviales non polluées varient au sein du bassin versant. Il existe une couche perméable partout. Dans la partie orientale, le niveau des eaux souterraines atteint la limite supérieure de cette couche d'infiltration. Les couches de couverture sont d'une manière générale peu perméables. Il faut par conséquent partir du principe que l'infiltration des eaux pluviales non polluées n'est pas possible partout.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Application de la matrice d'évaluation

Critère	Point(s)	Pondération	Produit	Remarque
Topographie	**1**	1	1	Terrain plat. Acheminement à la STEP par pompage.
Situation des eaux superficielles	**1**	3	3	Cours d'eau fait frontière avec le bassin versant.
Densité des constructions	**2**	2	4	Zone industrielle et artisanale, construction dense. Zone avec terrains de sport et utilisation publique, moins dense.
Place dans le coffre de route	**2**	1	2	Place existe, mais il faut tenir compte d'un éventuel projet de tram.
Syst. d'évacuation des eaux existant	**2**	3	6	Le système unitaire domine dans l'ensemble du bassin versant. Dans la zone orientale de la ville, système séparatif surtout.
Traitement existant des eaux unitaires	**2**	3	6	Il est aujourd'hui conforme. Si des eaux unitaires supplémentaires sont raccordées à la station de pompage, il faut une nouvelle installation de traitement des eaux unitaires !
STEP	**3**	1	3	La capacité de la STEP est suffisante.
Eaux claires parasites	**1**	2	2	La part d'eaux claires parasites est importante dans les installations existantes ; elle est faible pour les nouvelles installations de raccordement en projet.
Eaux de ruissellement nécessitant un traitement	**2**	2	4	Densité du trafic moyenne, places de transbordement possibles dans les zones industrielles et artisanales.
			31	**→ Tendance en faveur d'un système séparatif**

Évaluation

La matrice indique une tendance en faveur d'un système séparatif pour cette zone. Pour la réalisation, il convient toutefois de prendre en compte les points suivants :

- Dans les zones industrielles et artisanales, il y a vraisemblablement des surfaces dont les eaux de ruissellement doivent être traitées, c'est-à-dire qui ne peuvent être infiltrées ni déversées dans l'exutoire directement. Lors du dimensionnement de la conduite pour les eaux usées, une réserve correspondante avait été prévue → système modifié !

- Si les eaux de ruissellement non polluées ne peuvent pas être infiltrées, il faut prévoir une rétention à proximité du cours d'eau, vu ses capacités limitées (débit max. 10 l/s et $ha_{réd}$) !

- Dans les planifications antérieures, on avait déjà prévu d'acheminer les eaux polluées de cette zone vers la STEP par le biais d'une station de pompage. Sur le tracé jusqu'à la STEP, il y a deux bassins d'eaux pluviales. Étant donné qu'il s'agit d'un bassin versant relativement grand et que des modifications ont été apportées au plan de quartier (affectations), il faut vérifier si la future charge pollutive peut avoir une influence sur les bassins d'eaux pluviales existants.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Exemple 4

Sigriswil, commune rurale des Préalpes

Situation initiale

Le bassin versant considéré est la commune de Sigriswil (env. 4600 habitants, dont 4300 raccordés), répartie en onze zones villageoises. Sigriswil se situe en zone rurale, sur les rives du lac de Thoune. Le terrain des parties les plus basses du village, au bord du lac, est plat. Le reste se trouve dans un terrain en pente.

L'exemple porte sur l'ensemble du territoire construit (toutes les parties du village). Les eaux usées de la totalité du périmètre sont évacuées par un collecteur. Trois autres communes sont raccordées à ce même collecteur avant que celui-ci n'arrive à la STEP centrale Thunersee éloignée de 13 km.

Figure E10

- Déversoir d'orage
- Bassin de rétention
- Bassin de clarification
- Point de mesure
- Station de pompage
- Point de déversement
- Ouvrage de séparation
- Ponceau
- Autres ouvrages spéciaux
- Canalisation digitalisées 2003
- Cours d'eau secondaire, en surface
- Cours d'eau principal, en surface
- Déversoir de crue, en surface
- Axe du lac, axe des rivières
- Tracé indéterminé
- Frontière communale

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Aperçu du périmètre

Le bassin versant en chiffres :

Surface totale drainée	Actuel : 107 ha prévisions : 118 ha
Habitants raccordés	Actuel et prévisions : env. 4300 hab.
Part en système unitaire	Actuel : 41 % prévisions : 4 %
Part en système séparatif	Actuel : 59 % prévisions : 96 %
Installations de traitement des eaux unitaires	Aucune
Ouvrages spéciaux	18 déversoirs d'orage, 11 stations de pompage (toutes communales)
Part d'eaux claires parasites	27 %

La zone bâtie est traversée par plusieurs ruisseaux, qui se jettent dans le lac. Des problèmes de capacité ou des risques de crue peuvent survenir à un endroit, mais celui-ci n'est pas affecté par l'évacuation des eaux urbaines. L'évacuation des eaux de routes s'effectue surtout par un système séparatif ; il existe donc plusieurs petits déversements d'eaux de chaussée dans les cours d'eau. Le réseau compte en outre 18 déversoirs d'orage. Sur un tiers environ des points de rejet, on constate des effets liés à l'évacuation des eaux urbaines. Un seul de ces points de rejet présente toutefois une pollution importante, exigeant une intervention de grande ampleur.

Les capacités d'infiltration sont moyennes à mauvaises dans l'ensemble du périmètre, à l'exception des zones proches du lac, à Merligen et Gunten. Il n'est néanmoins pas exclu que les eaux pluviales puissent être infiltrées en surface localement sur certaines parcelles. Il n'existe toutefois pas de zone ou de quartier entiers où l'infiltration serait possible de manière généralisée.

Application de la matrice d'évaluation

Critère	Point(s)	Pondération	Produit	Remarque
Topographie	**2**	1	2	Une petite partie des eaux usées doit être pompée (au bord du lac, vers le collecteur)
Situation des eaux superficielles	**1**	3	3	Exutoire, le lac et différents cours d'eau sur les flancs de coteau, qui se déversent dans le lac
Densité des constructions	**1**	2	2	Construction peu dense, village divisé en onze parties
Place dans le coffre de route	**1**	1	1	Pas de problèmes de place
Syst. d'évacuation des eaux existant	**2**	3	6	40 % système unitaire
Traitement existant des eaux unitaires	**2**	3	6	pas de BEP, 18 déversoirs d'orage avec bassin versant en partie très petit et besoin d'intervention
STEP	**1**	1	1	Tampon hydraulique faible, étant donné que les débits nominaux entrants sont en partie trop grands
Eaux claires parasites	**2**	2	4	Quantité d'eaux claires parasites moyenne à faible
Eaux de ruissellement nécessitant un traitement	**1**	2	2	Peu de routes de transit, zones industrielles, etc.
			27	**→ Tendance nette système séparatif**

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Évaluation
L'évaluation quantitative tend clairement vers un système séparatif. Cette variante correspond au PGEE communal approuvé en 2013. Le PGEE prévoit la transition des zones encore assainies par un système unitaire vers un système séparatif, avec quelques parcelles qui resteront en unitaire.

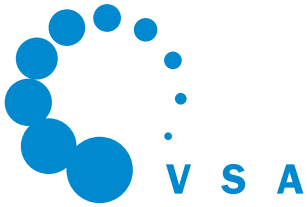
Cette transition sur l'ensemble du territoire communal ne signifie pas un changement fondamental pour Sigriswil. En effet, la commune s'emploie depuis des années à exiger le système séparatif par sa pratique en matière d'autorisations. De nombreux projets dans ce sens sont en cours de planification ou de réalisation.

Étant donné que les conditions sont défavorables pour l'infiltration, les eaux de ruissellement sont évacuées surtout dans les cours d'eau qui traversent la localité ; une petite partie est déjà, ou sera, déversée directement dans le lac. Un examen de la capacité hydraulique des canaux a montré qu'il n'y avait pas lieu de craindre des problèmes supplémentaires liés aux crues.

Le système séparatif apparaît également judicieux du point de vue de la protection des eaux : selon les prévisions, 15 des 18 déversoirs d'orage pourront être supprimés dans le futur ; ils fonctionneront comme trop-pleins de secours. Même si la quantité d'eaux unitaires sera fortement réduite, il n'est pas possible de déconnecter toutes les surfaces contributives. En d'autres termes, les débits maximaux acheminés vers la STEP continueront probablement à être dépassés à l'avenir. Il convient par conséquent d'examiner, dans le cadre d'une planification régionale, si des mesures d'accompagnement sont éventuellement requises (p. ex. BEP ou déversements profonds dans le lac).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020



Association suisse des professionnels
de la protection des eaux (VSA)
Europastrasse 3
Case postale, 8152 Glattbrugg
sekretariat@vsa.ch
www.vsa.ch
Tel. 043 343 70 70

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

Association suisse des professionnels de la protection des eaux

Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Swiss Water Association

GESTION DES EAUX URBAINES PAR TEMPS DE PLUIE

ABRÉVIATIONS ET BIBLIOGRAPHIE

L

2019

Impressum

La présente publication a été élaborée avec le plus grand soin et en toute bonne foi. Nous déclinons toutefois toute responsabilité quant à son exactitude, son exhaustivité et son actualité. Toute prétention en responsabilité à l'encontre de la VSA pour des dommages matériels ou immatériels qui pourraient être causés par l'utilisation et l'application de la présente publication est totalement exclue.

Valeur juridique
Cette directive documente l'état de la technique et les bonnes pratiques suisses en matière de gestion des eaux urbaines par temps de pluie. Elle précise la législation relative à la protection des eaux et permet une mise en oeuvre uniforme. La directive s'adresse principalement aux autorités chargées de l'application et de l'autorisation et aux planificateurs de systèmes d'évacuation des eaux. Elle garantit à l'utilisateur un degré élevé de sécurité juridique. D'autres solutions sont toutefois possibles. Cependant dans le cadre de la pratique juridique ces solutions doivent être conformes au droit.

Auteurs
Daniel Baumgartner, Hunziker Betatech AG, Berne
Reto Flury, Holinger AG, Berne
Natalie Muff, Holinger AG, Berne
Silvia Oppliger, Hunziker Betatech AG, Berne
Elias Winz, Holinger AG, Berne

Membres du groupe de travail
Karlheinz Diethelm, AfU, Herisau
Patrick Fischer, OFEV, Berne
Stefan Hasler, VSA, Glattbrugg
Daniel Meister, AWEL, Zurich
Urs Reichmuth, Office des ponts et chaussées, Wangen SZ
Jörg Rieckermann, Eawag, Dübendorf
Luca Rossi, SINEF SA, Givisiez
Pierre Wyrsch, SENE, Neuchâtel
Alain Wyss, DGEau, Genève

diteur
Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Photo de titre
Ramboll Studio Dreiseitl, Arkadien Winnenden

Conception
SLS Nadler, Peter Nadler, 8610 Uster

Impression
Appenzeller Druckerei AG, 9100 Herisau

Source de référence
VSA, Europastrasse 3, Postfach, CH-8152 Glattbrugg,
téléphone 043 343 70 70, sekretariat@vsa.ch, www.vsa.ch

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Abréviations utilisées pour les renvois et désignations des tableaux / figures (voir aussi module de base, chap. 1.6 « Structure de la directive »)

Abréviation pour les renvois	Titre des différents modules
B	Module de base
G	Module Analyse de la qualité de l'eau
S	Module STORM
D	Module Dimensionnement et conception
DA	Partie A : Gestion des eaux pluviales
DB	Partie B : Installations de traitement et de déversement des eaux unitaires
E	Module Systèmes d'évacuation des eaux
L	Index et listes de l'ensemble de la directive • Liste des abréviations • Bibliographie

Exemples de renvois :

- voir module G, chap. 3 = voir module « Analyse de la qualité de l'eau », chapitre 3
- voir chap. 3 (sans spécification d'un module) = voir chapitre 3 du module même
- voir également fig. B4 = voir la figure B4 dans le module de base

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

TABLE DE MATIÈRES

1	**ABRÉVIATIONS**	7
2	**BIBLIOGRAPHIE**	9
2.1	Lois et ordonnances	9
2.2	Directives et lignes directrices de la Confédération	9
2.3	Normes	11
2.4	Publications du VSA (directives, aide-mémoire, etc)	11
2.5	Aide-mémoires intercantonaux	12
2.6	Aides-mémoires et fiche de travail DWA / BWK (en allemand uniquement)	13
2.7	Autres documents	14

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1 ABRÉVIATIONS

Remarque : cette liste contient à la fois des terminologies allemandes et françaises ; certaines abréviations sont en effet reprises de l'Allemand dans la version française.

Abréviation	Définition
A_E	Surface du bassin versant, surface assainie (m^2, ha)
AFS	Substances filtrables; voir MES
Al	Nom de l'élément Aluminium
A_O, A_U	Zone de protection des eaux pour les milieux récepteurs en surface ou souterrains
ASTRA	Bundesamt für Strassen; voir OFROU
A_V	Surface d'infiltration (m^2)
BAFU (anciennement BUWAL)	Bundesamt für Umwelt, (anciennement: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft); voir OFEV
BAV	Bundesamt für Verkehr; voir OFT
Cr	Nom de l'élément Chrome
Cu	Nom de l'élément Cuivre
E. coli	Abréviation pour les bactéries de type «Escherichia coli»
Eawag	Institut Fédéral Suisse des Sciences et Technologies de l'Eau
EH	Nombre d'habitants
EQH	Equivalent habitant
Fe	Nom de l'élément Fer
f_G	Facteur de correction pour le type de cours d'eau
f_S	Facteur de correction pour la nature du lit d'un cours d'eau
GEP	Genereller Entwässerungsplan; voir PGEE
GSchG	Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz); voir LEaux
GSchV	Gewässerschutzverordnung; voir OEaux
GUS	Gesamte ungelöste Stoffe; voir TSS et MES
HAP	Hydrocarbure aromatique polycyclique
HE	Niveau de la nappe phréatique en hautes eaux
K	K perméabilité du sol selon Darcy
LC10 resp. LC50	Concentration létale. Concentration, avec son extension respective en %, qui génère des effets létaux pour une population concernée
LEaux	Loi fédérale sur la protection des eaux
LPE	Loi fédérale sur la protection de l'environnement
MES	Matières en suspension
NADUF	Surveillance nationale continue des cours d'eau suisses
Ni	Nom de l'élément Nickel
OEaux	Ordonnance sur la protection des eaux
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OFROU	Office fédéral des routes

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Abréviation	Définition
OFT	Office fédéral des transport
OPAM	Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs (Ordonnance sur les accidents majeurs, OPAM)
OSol	Ordonnance sur les atteintes portées aux sols
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe; voir HAP
Pb	Nom de l'élément Plomb
PGEE	Plan Général d'Evacuation des eaux (GEP en Allemand)
PGEEi	Plan Général d'Evacuation des Eaux intercommunal (VGEP en Allemand)
pH	Acidité
PP	Points de pollution pour les eaux de ruissellement de chaussées
PREE	Plan régional d'évacuation des eaux (REP en Allemand)
Q_{347}	Débit qui est atteint ou dépassé pendant 347 jours par an et qui n'est pas affecté de façon significative par la retenue, le prélèvement ou l'approvisionnement en eau. Selon la loi sur la protection de l'eau, il s'agit de la valeur moyenne sur 10 ans
Q_{an}	Quantité totale réelle d'eaux usées dirigée vers la STEP lorsque le déversoir d'orage est en action
Q_E	Débit d'eau pluvial rejeté pour z = 1 (m^3/s)
REP	Regionaler Entwässerungsplan; voir PREE
S1, S2, S3, S_h, S_m	Zones de protection des eaux souterraines
SABA	Station de traitement des effluents routiers. Installation individuelle, qui se compose généralement de plusieurs composants techniques ; voir SETEC
SETEC	Station de traitement des effluents routiers. Installation individuelle, qui se compose généralement de plusieurs composants techniques (En Allemand : SABA)
SIA	Société suisse des ingénieurs et des architectes
SN	Norme Suisse
Sn	Nom de l'élément Etain
$S_{spécif}$	Capacité d'infiltration spécifique (litres par minute par m^2)
STEP	Station d'épuration des eaux
T (%)	Teneur en argile du matériau du sol (%)
TJM	Trafic moyen journalier
TSS	Total suspended solids ; voir MES
üB	Autres zones (désignation de zone de protection des eaux)
v	Vitesse d'écoulement (m/s)
V	Rapport de débit hydraulique
V_G	Rapport de débit spécifique pour l'évaluation de la charge hydraulique
V_S	Rapport de débit spécifique pour l'évaluation de la charge en polluants
VSA	Association suisse des professionnels de la protection des eaux
VSS	Association suisse des professionnels de la route et des transport
z	Temps de retour (intervalle de retour) des précipitations
Zn	Nom de l'élément Zink
Z_O, Z_U	Aire d'alimentation

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2 BIBLIOGRAPHIE

2.1 Lois et ordonnances

[1] Confédération suisse
Loi fédérale sur la protection de l'environnement du 7 octobre 1983 (LPE)
SR 814.01, Berne, état le 1er janvier 2018

[2] Confédération suisse
Loi fédérale sur la protection des eaux du 24 janvier 1991 (LEaux)
SR 814.20, Berne, état le 1er janvier 2017

[3] Confédération suisse
Ordonnance sur la protection des eaux du 28 octobre 1998 (OEaux)
SR 814.201, Berne, état le 1er janvier 2018

[4] Confédération suisse
Ordonnance sur les atteintes portées aux sols du 1er juillet 1998 (OSol)
SR 814.12, Berne, état le 12 avril 2016

[5] Confédération suisse
Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs du 18 mai 2005 (OPAM)
SR 814.012, Berne, état le 1er novembre 2018

[6] Confédération suisse
Ordonnance concernant la mise sur le marché et l'utilisation des produits biocides (OPBio)
SR 813.12 du 18 mai 2005, Berne, état le 1er décembre 2018

[7] Confédération suisse
Ordonnance sur la protection des végétaux du 27 octobre 2010 (OPV)
SR 916.20, Berne, état le 1er juin 2018

[8] Office fédéral de l'environnement
Rapport explicatif concernant la modification de l'ordonnance sur la protection des eaux
OFEV, Berne, 2014

[9] Confédération suisse
Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets du 4 décembre 2015 (OLED)
SR 814.600, Berne, état le 1er janvier 2019

[10] Office fédéral de l'environnement
Office fédéral de l'environnement. Commentaires concernant l'ordonnance du 1er juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol)
L'environnement pratique, OFEV, Berne, 2001

2.2 Directives et lignes directrices de la Confédération

[50] Office fédéral de l'environnement
Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines
L'environnement pratique, OFEV, Berne, 2004

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

[51] Office fédéral de l'environnement
Instructions pour l'application de la protection des eaux souterraines aux ouvrages souterrains
L'environnement pratique, OFEV, Berne, 1998

[52] Office fédéral de l'environnement
Manuel de l'ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM)
L'environnement pratique, OFEV, Berne, 2018

[53] Office fédéral de l'environnement
Recommandation pour l'élimination des matériaux d'excavation et déblais altérés par des floculants
OFEV, Berne, 2001

[54] Office fédéral de l'environnement
Instructions. Evaluation et utilisation de matériaux terreux (Instructions matériaux terreux)
OFEV, Berne, 2001

[55] Office fédéral des transports, Office fédéral de l'environnement
Directive «Évacuation des eaux des installations ferroviaires»
OFEV, Berne, 2018

[56] Office fédéral des routes
Traitement des eaux de chaussée des routes nationales
Directive ASTRA 18005, Berne, 2013

[57] Office fédéral des routes
Mesures de sécurité sur les routes nationales selon l'ordonnance sur les accidents majeurs
Directive ASTRA 19001, Berne, 2008

[58] Bundesamt für Strassen
Umsetzung der Störfallverordnung auf den Nationalstrassen
ASTRA-Richtlinie 19002, Bern, 2012

[59] Office fédéral de l'environnement
Exigences applicables au déversement du lixiviat de décharge
L'environnement pratique, OFEV, Berne, 2012

[60] Bundesamt für Verkehr
Richtlinie Stand der Sicherheitstechnik für Eisenbahninfrastrukturen – Massnahmenkatalog
Art. 3 StFV (V2.0), BAV, Bern, 2011

[61] Office fédéral des transports
Directive Exigences de sécurité pour les tunnels ferroviaires existants
OFT, Berne, 2009

[62] Office fédéral des routes
Infiltration des eaux de chaussée des routes nationales par les bas-côtés. Méthodologie d'analyse du potentiel existant selon les exigences environnementales
ASTRA-documentation 88006, Berne, 2014

[63] Office fédéral du sport
Cahier 112: Revêtements et gazons synthétiques ; Recommandations de compatibilité environnementale
OFSP, Macolin, 2008

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

[64] Bundesamt für Strassen
Strassenabwasserbehandlung: Stand der Technik
ASTRA-Dokumentation 88002, Bern, 2010

[65] Office fédéral des routes
Cartographie du potentiel d'infiltration des eaux par les bas-côtés des routes nationales
Documentation ASTRA 88011, Berne, 2015

[66] Office fédéral de l'environnement
Directive pour la valorisation des déchets de chantier minéraux
OFEV, Berne, 1997

2.3 Normes

[100] Société suisse des ingénieurs et des architectes. Association suisse des professionnels de la protection des eaux
SN 509 431 Evacuation et traitement des eaux de chantier
SIA-VSA, Zürich, 1997

[101] Société suisse des ingénieurs et des architectes. Association suisse des professionnels de la protection des eaux
SN 592 000 Installations pour évacuation des eaux des biens-fonds – Conception et exécution
SIA-VSA, Zürich, 2012

[102] Association suisse des professionnels de la route et des transports
Normes sur l'évacuation des eaux de chaussées :
- SN 640 347 Pollution des eaux de chaussée
- SN 640 350 Intensité des pluies
- SN 640 353 Débits
- SN 640 354 Evacuation des eaux sur l'accotement
- SN 640 355 Drainage, Étude de projets
- SN 640 356 Evacuation des eaux de chaussées
- SN 640 357 Dimensionnement des canalisations
- SN 640 360 Evacuation des eaux - Collecteurs et drainage
- SN 640 361 Rétention et traitement
- SN 640 364 Mesures de sécurité pour la protection des eaux contre les substances polluantes

VSS, Zürich, 1983 –2016

[103] Association suisse des professionnels de la route et des transports
SN 640 581 Terrassement, sol: protection des sols et construction
VSS, Zürich, 2017

[104] Société suisse des ingénieurs et des architectes
SN 568 318 Aménagements extérieurs
SIA, Zürich, 2009

2.4 Publications du VSA (directives, aide-mémoire, etc)

[150] Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Commentaire au cahier des charges type du PGEE
VSA, Glattbrugg, 2010

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

[151] Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Maintien des canalisations avec les directives suivantes:
- Entretien opérationnel des installations d'évacuation des eaux, 2014
- Relevé de l'état des installations d'évacuation des eaux, 2007
- Inspection optique des installations d'évacuation des eaux : codage des dommages et transfert des données, 2007
- Evaluation de l'état des installations d'évacuation des eaux, 2007
- Entretien structurel des installations d'évacuation des eaux, 2009

VSA, Zürich, 2007–2014

[152] Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Recommandation pour l'évacuation des eaux des biens-fonds
Recommandation VSA & IC, Glattbrugg, 2018

[153] Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Calcul comparatif des investissements dans l'assainissement des eaux usées
Recommandation VSA, Glattbrugg, 2017

[154] Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Wegleitung GEP-Daten
VSA, Glattbrugg, 2013

[155] Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Système de taxe et répartition des coûts pour les infrastructures d'assainissement
VSA, Recommandation, Glattbrugg, 2019

[156] Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Leistungsprüfung Adsorber
VSA, Glattbrugg, 2018

[157] Association suisse des professionnels de la protection des eaux/Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics.
Infiltration et rétention des eaux pluviales en milieu bâti
VSA, Glattburg/KBOB Berne, Recommandation, 2019

2.5 Aide-mémoires intercantonaux

[158] Guide pratique intercantonal
Sécurisation et évacuation des eaux des places de transbordement de marchandise
2013

[159] Guide pratique intercantonal
Entreposage des matières dangereuses
Edition révisée 2018

[160] GR-AGC
Aide à l'application pour les établissements de la branche automobile et des entreprises assimilées
2008

[161] KVU-Ost
Merkblatt Auto- und Transportgewerbe
Konferenz der Vorsteher der Umweltämter der Ost-schweiz/FL, aktuelle Version vom September 2016

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

[162] Guide pratique intercantonal
Rétention des eaux d'extinction
Juin 2016

2.6 Aides-mémoires et fiche de travail DWA / BWK (en allemand uniquement)

[250] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
Arbeitsblatt DWA-A 102: Niederschlagsbedingte Siedlungsabflüsse – Grundsätze und Anforderungen zum Umgang mit Regenwetterabflüssen
DWA-Regelwerk, Hennef, in Bearbeitung (vorgesehen 2017)

[251] Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau
BWK Arbeitsblatt 3: Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse
BWK-Regelwerk, Sindelfingen, in Bearbeitung (vorgesehen 2017)

[252] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
Arbeitsblatt A111: Hydraulische Dimensionierung und betrieblicher Leistungsnachweis von Anlagen zur Abfluss- und Wasserbegrenzung in Entwässerungssystemen
DWA-Regelwerk, Hennef, 2010

[253] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
Arbeitsblatt A117: Bemessung von Regenrückhalteräumen
DWA-Regelwerk, Hennef, 2014

[254] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
Arbeitsblatt A134: Planung und Bau von Abwasserpumpanlagen
DWA-Regelwerk, Hennef, 2000

[255] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
Arbeitsblatt A138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser
DWA-Regelwerk, Hennef, 2005

[256] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
Arbeitsblatt A166: Bauwerke der zentralen Regen-wasserbehandlung und -rückhaltung, Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung
DWA-Regelwerk, Hennef, 2013

[257] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
Merkblatt M176: Hinweise und Beispiele zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung
DWA-Regelwerk, Hennef, 2001

[258] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
Merkblatt M177: Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen
DWA-Regelwerk, Hennef, 2001

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2.7 Autres documents

[300] Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart
Wasser Schutz Mensch – 5. Aqua Urbanica und 90. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium
Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft – Band 225, München 2015

[301] Office fédéral de l'environnement
Construire en préservant les sols
Guide de l'environnement, Berne, 2001

[302] Fachstelle Bodenschutz Kanton Zürich
Die Belastung mit PAK und Blei an Strassen im Kanton Zürich
Kanton Zürich, 2000

[303] Bundesamt für Umwelt
Gewässerschutzmassnahmen beim Strassenbau – Grundlagenbericht
Schriftenreihe Umwelt Nr. 263, BAFU (ehemals BUWAL), Bern, 1996

[304] Eawag, HSB/HTI Burgdorf, AWA Kt. Bern, ASTRA und BAFU
Schadstoffe im Strassenabwasser einer stark befahrenen Strasse und deren Retention mit neuartigen Filterpaketen aus Geotextil und Adsorbermaterial
Bericht Eawag, Dübendorf, 2006

[305] Scheiwiller E.
Schadstoffabschwemmungen – Am Beispiel von Hochleistungsstrassen
GWA 7/2008

[306] Wicke et al.
Relevanz organischer Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins (OgRe)
Kompetenzzentrum Wasser Berlin, 2015

[307] Bundesamt für Umwelt
Information über chemische Durchwurzelungsschutzmittel in Bitumenbahnen – Stand 2017
BAFU, Bern, 2017

[308] Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes, Interessengemeinschaft privater profesioneller Bauherren
Metalle für Dächer und Fassaden
Empfehlung Nachhaltiges Bauen, KBOB/IPB, 2001

[309] Eawag et OFEV
Impact des rejets pluviaux urbains sur les milieux récepteurs
V. Krejci, A. Frutiger, S. Kreikenbaum, L. Rossi, 2004

[310] Office fédéral de l'environnement
Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau : Système modulaire gradué
Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 26, OFEV, Berne, 1998

[311] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V
Hinweise zu Wirksamkeit und Kosten gewässerbezogener Massnahmen zur Regenwasserbehandlung in der Stadtentwässerung
Arbeitsbericht der AG GB 5.3, DWA-Regelwerk, Hennef, 2001

[312] Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Le plan régional d'évacuation des eaux (PREE). Recommandations pour l'élaboration du PREE dans le cadre d'une planification intégrée des eaux
VSA, Zürich, 2000

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

[313] Krejci V., L. Rossi, S. Kreikenbaum et R. Fankhauser
Introduction au projet STORM
Gas–Wasser–Abwasser, Nr. 6, 2004
Version française: www.gepdata.ch/rebeka/storm/gwa_01_f.pdf

[314] Rossi L., Krejci V., Kreikenbaum S.
Exigences légales d'assainissement par temps de pluie
Gas–Wasser–Abwasser, Nr. 6, 2004
Version française: www.gepdata.ch/rebeka/storm/gwa_03_f.pdf

[315] Rossi L., S. Kreikenbaum, W. Gujer et R. Fankhauser
Modélisation des matières en suspension (MES) dans les rejets urbains en temps de pluie
Gas–Wasser–Abwasser, Nr. 10, 2004

[316] Hwitved-Jacobsen
Forurening af vandlob fra overlobsbygvaerker
Dansk Ingeniorforening, Spildevandkomiteen, Alborg, 1985
Pour la version anglaise voir House et al.
Urban Drainage – Impact on receiving water quality
Water Science and Technology 27, 117–158, 1993

[317] FWR
Urban Pollution Management Manual
Foundation for Water Research, Marlow, UK, 1998

[318] Schaffner M., Studer P., Ramseier C
Evaluation des eaux de baignade
L'environnement pratique n° 1310, Office fédéral de l'environnement OFEV, Office fédéral de la santé publique (OFSP), Berne, 2013

[319] Rossi L., R. Hari
Rejets urbains de temps de pluie et température des cours d'eau
Gas–Wasser–Abwasser, Nr. 11, 2004
Version française: www.gepdata.ch/rebeka/storm/gwa_07_f.pdf

[320] Krejci V., R. Fankhauser, S. Gammeter, M. Grottker, B. Harmuth, P. Merz und W. Schilling
Integrierte Siedlungsentwässerung, Fallstudie Fehraltorf
Schriftenreihe der Eawag Dübendorf, Nr. 8, 1994

[321] Kreikenbaum S., V. Krejci, R. Fankhauser et W. Rauch
Incertitudes dans la planification de mesures de protection
Gas–Wasser–Abwasser, Nr.8, 2004
Version française: www.gepdata.ch/rebeka/storm/gwa_04_f.pdf

[322] Fankhauser R., S. Kreikenbaum, W. Rauch et L. Rossi
REBEKA II – Un logiciel pour l'aide à la planification de mesures de protection par temps de pluie
Gas–Wasser–Abwasser, Nr. 11, 2004
Version française: www.gepdata.ch/rebeka/storm/gwa_09_f.pdf

[323] Krejci V., S. Kreikenbaum et R. Fankhauser
Impacts aigus liés à l'ammoniac et au stress hydraulique
Gas–Wasser–Abwasser, Nr. 9, 2004
Version française: www.gepdata.ch/rebeka/storm/gwa_05_f.pdf

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

[324] Krejci V., M. Boller et L. Rossi
Solutions techniques pour l'assainissement pluvial
Gas–Wasser–Abwasser, Nr. 11, 2004
Version française: www.gepdata.ch/rebeka/storm/gwa_10_f.pdf

[325] Newcombe C.P. and Jensen J.O.T.
Channel suspended sediment and Fisheries: a systhesis for quantitative assessement of risk and impact
North American Journal of Fisheries and Management 16, 693–727, 1996

[326] Gammeter S.
Einflüsse der Siedlungsentwässerung auf die Invertebraten-Zönose kleiner Fliessgewässer
Dissertation ETH Zürich Nr. 11673, 1996

[327] Agences de l'eau
Bioessais sur sédiments. Méthodologies et application à la mesure de la toxicité de sédiments naturels
Les études des agences de l'eau, no. 76, 58 pp, 1999

[328] MacDonald D.D., Ingersoll C.G., Berger T.A.
Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems
Arch. Environ. Contam. Toxicol. 39, 20–31, 2000

[329] Grottker M.
Schmutzwasserspeicher
Gas–Wasser–Abwasser, Nr. 5, 1995

[330] Kollatsch D.-Th., Schilling W.
Control strategies of sanitary sewage detention tanks to reduce combined sewer overflow pollution loads
Proceedings 5th ICUSD, Osaka, Japan, 1990

[331] Dauber L., Novak B.
Quellen und Mengen der Schmutzstoffe im Regenabfluss einer städtischen Mischkanalisation
Eawag Dübendorf, 1982

[332] Boller M., Kaufmann P., Ochsenbein U., Steiner M., Langbein S.
Schadstoffe im Strassenabwasser einer stark befahrenen Strasse und deren Retention mit neuartigen Filterpaketen aus Geotextil und Adsorbermaterial.
Versickerung von Strassenabwasser über das Bankett. 1. Zwischenbericht der Forschungsprojekte Eawag, Dübendorf, 2003

[333] US EPA
Sewer and tank sediment flushing: case studies
EPA/600/R-98/157, Washington DC 20460, USA, 1998

[334] Schilling W.
Abflusssteuerung in einem kleinen Kanalnetz
Gas–Wasser–Abwasser, Nr. 4, 1995

[335] Schilling W.
Leitfaden Abflusssteuerung – Planung, Entwurf und Betrieb
ATV-Dokumentation und Schriftenreihe aus Wissenschaft und Praxis, Nr. 28, GFA, St. Augustin, 1991

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

[336] Krejci V.
Sieb- und Rechenanlagen für Behandlung von Regenüberläufen aus Mischkanalisation in der Schweiz. Anforderungen an die Regenwasserbehandlung bei Mischkanalisation
Universität Kassel, 1991

[337] SIA
Sonderbauwerke der Kanalisationstechnik: Hydraulische Berechnungsgrundlagen und konstruktive Hinweise
SIA-Dokumentation Nr. 40, Zürich, 1980

[338] SIA
Sonderbauwerke der Kanalisationstechnik II
Referate der SIA/VAW/VSA-Studientagungen 1982, SIA-Dokumentation Nr. 53, Zürich 1982

[339] Weiss G. und Brombach H.
Hydraulik der Entlastungsorgane von Regenbecken
Wasserwirtschaft, 91. Jahrgang, Nr. 5, Wiesbaden, 2001

[340] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Wirtschaftliche Aspekte bei Gestaltung, Konstruktion und Ausrüstung von Regenbecken
Karlsruhe, 1997

[341] Kirchheim N.
Kanalablagerungen in der Mischkanalisation
DWA, Hennef, 2005

[342] Brombach H., Weiss G. and Pisano W.C.
Clarifier-type CSO Tanks: Hydraulic Design for Optimum Sedimentation Efficiency
11th Int. Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 31. August – 5. September 2008

[343] Weiss G., Brombach H., Bauer T.
Vortex separator for stormwater treatment: applications, dimensioning, performance
Conf. Proceedings Novatech, Vol. 1, Lyon, France, 1998

[344] Egarr D.A., Faram M.G, O'Doherty T., Syred N.
An investigation into the factors that determine the efficiency of a hydrodynamic vortex separator
Conf. Proceedings NOVATECH, Vol. 1, Lyon, France, 2004

[345] Luyckx G., Vaes G., Berlamont J.
Experimental investigation on the efficiency of a hydrodynamic separator
Conf. Proceedings NOVATECH, Vol. 1, Lyon, France, 1998

[346] Weiss G., Brombach H.
Regenwasserbehandlung mit Wirbelabscheidern
KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Nr. 12, 2000

[347] Okamoto Y., Kunugi M., Tsuchiya H.
Numerical simulation of the performance of a hydrodynamic separator
Global Solutions for Urban Drainage, edited by E.W. Strecker and W.C. Huber, Proceedings of the 9th Int. Conference on Urban Drainage, Portland, OR 97204, USA, 2002

[348] LfU Baden-Württemberg
Wirbelabscheideranlagen – Hinweise zu Entwurf und Bemessung
Handbuch Wasser 4, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1997

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

[349] Daligault A., Meaudre D., Arnault D., Duc V., Bardin N., Aires N., Biau D., Schmid J., Clement P., Viau J.-Y.
Eaux pluviales et dépollueurs : efficacité et réalité
Conf. Proceedings NOVATECH, Vol. 1, Lyon, France, 1998

[350] Wood J., Yang M., Rochfort Q., Chessie J., Marsalek J., Seto P., Kok S.
Feasibility of stormwater treatment by conventional and lamellar settling with and without polymerie flocculant addition
Conf. Proceedings NOVATECH, Vol. 1, Lyon, France, 2004

[351] Baumgartner J.
Assainissement du Plateau de Frontenex: Etude du rendement du décanteur particulaire
EPFL, Lausanne, 2001

[352] Born W.
Weitergehende Mischwasserbehandlung in Bodenfilterbecken
Schriftenreihe der Fachgebiete Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft, Band 21, Universität Kassel, 2002

[353] Dittmer U., Welker A., Schmitt T.G.
Optimizing the operation of constructed wetlands for the treatment of combined sewer overflows
Conf. Proceedings NOVATECH, Vol. 1, Lyon, France, 2004

[354] Kutzner R., Mietzel T., Mang J., Geiger W.F.
Efficiency of a treatment train consisting of an inline retention sewer and a wetland
Conf. Proceedings NOVATECH, Vol. 1, Lyon, France, 2004

[355] Pettersson T.J.R., Svensson G.
Particle removal in detention ponds modelled for a year of successive rain events
Conf. Proceedings NOVATECH, Vol. 1, Lyon, France, 1998

[356] Brunner P.G.
Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem
LfU Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2002

[357] Uhl M.
Retentionsbodenfilter-Handbuch für Planung, Bau und Betrieb
MUNLV Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 2003

[358] Plum V., Dahl C.P, Bentsen L., Petersen C.R, Napstjert L., Thomsen N.B.
The Actiflo method
Water Science and Technology, Vol. 37, No. 1, IWA Publishing, 1998

[359] Laine S., Poujol T., Baron J., Robert P., Tabuchi J.-P.
Dépollution physico-chimique et bactériologique des effluents urbains de temps de pluie par aéroflotation – filtration – désinfection UV
Conf. Proceedings NOVATECH, Vol. 1, Lyon, France, 1998

[360] US EPA
Manual Combined Sewer Overflow Control
United States Environmental Protection Agency, EPA/625/R-93/007, Washington DC 20460, USA, 1993

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

[361] ATV-DVWK
Hinweise zu Wirksamkeit und Kosten gewässerbezogener Massnahmen zur Regenwasserbehandlung in der Stadtentwässerung
Arbeitsbericht der AG GB 5.3, D-53773 Hennef, 2003

[362] Krejcí V. et al.
Odvodnění urbanizovaných území (urban drainage – integrated assessement, Handbuch und Lehrmittel).
NOEL 2000, Brno, Tschechische Republik, 2002

[363] Mutzner H.
Visible pollution from combined sewage overflow
Urban Storm Water Quality Planning and Management (Edt. by W. Gujer and V. Krejci), Proceedings of the 4th Int. Conference in Urban Storm Drainage, Lausanne, 1987

[364] AquaPlus und Kanton Aargau
Erfolgskontrolle Siedlungsentwässerung Kanton Aargau. Konzept für die immissionsorientierte Erfolgskontrolle
Im Auftrag des Departementes Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung für Umwelt, 2009

[365] Gujer W.
Siedlungswasserwirtschaft
Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2007

[366] Stovin V.R. and Saul A.J.
A computational fluid dynamics (CFD) particle tracking approach to efficiency prediction
Water Science and Technology 37 (1), 1998

[367] Grotehusmann D.
Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser
ATV Tagungsband der ATV-DVWK Bundes- und Landesverbandstagung 27.–28. September 2001, Freiburg im Breisgau, 2001

[368] Kaufmann P.
Extensiv begrünte Flachdächer – ein Gewinn für die Siedlungsentwässerung
Bericht über die Versuche 1996 –1999 an der HTA Burgdorf, 1999

[369] Knoll S.
Das Abflussverhalten von extensiven Dachbegrünungen
Mitteilung 136, TU Berlin, 2000.

[370] Lange G.
Versickerung von Oberflächenwasser (Verfahren, Bewertung und Bemessungsgrundlagen)
VSVI-Seminar Gewässer- und Bodenschutz, Lüneburg, 1993

[371] Geiger W. & Dreiseitl H.
Neue Wege für das Regenabwasser. Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten
R. Oldenbourg Verlag, München, 1995

[372] Rudolph K.U. & Sieker F.
Regenwasser-BEWIRTSCHAFTUNG statt Regenwasser-ENTSORGUNG
Schriftenreihe Umwelttechnik und Umweltmanagement, Sonderband 8, Verlag Rudolph, Witten, 1994

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

[373] Hager W.H.
Abwasserhydraulik – Theorie und Praxis
Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 1995

[374] Hager W.H.
Wastewater Hydraulics – Theory and Practice
Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 2010

[375] Taubmann K.-C.
Regenüberläufe
Gas–Wasser–Abwasser 52 (10), 1972

[376] Oliveto G., Biggiero V., Hager W.H.
Bottom outlet for sewers
Journal for Irrigation and Drainage Engineering 123 (4), 1997

[377] Krebs P.
Vorlesung: Grundlagen Abwassersysteme
Technische Universität Dresden, Institut für Siedlungs- und Industriewasserwirtschaft, Oktober 2009

[378] Tiefbauamt Wangen SZ
Retentionsbecken Seeblick
2012

[379] Geiger W.
Flushing effects in combined sewer systems
Proceedings, Gujer W., Krejci V. (Hrsg.), 4th Int. Con. in urban storm drainage (ICSD), 31. August – 4. September, Lausanne, Schweiz, 1987

[380] Saget A., Chebbo G., Bertrand Krajewski J.L.
The first flush in sewer systems
Wat. Sci. Tech 33 (9), 1996

[381] UFT Umwelt- und Fluid-Technik, Dr. H. Brombach
Produktinformation, selbstregulierender Klärüberlauf – Fluid Clari
Bad Mergentheim, Deutschland, 2012

[382] Sieker
Regenklärbecken
Ing. Gesellschaft Prof. Sieker (www.sieker.de), 2005

[383] Schaffner J.
Behandlung von Regenwasser und Mischwasserentlastungen mittels Abscheideverfahren.
Fachtagungen 2011 (Steinhardt, Wassertechnik. Die Folien zum Vortrag wurden im Internet publiziert.)

[384] Weiss G. und Brombach H.
Regenbecken und Spüleinrichtungen
VSA-Fortbildungskurs 2010: Hydraulik, Emmetten, Schweiz 2010

[385] Baudirektion Kanton Zürich, AWEL
Kleine bauliche Veränderungen an Gewässern – Meteorwassereinleitungen, Geländeveränderungen, Leitungen
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich, November 2001

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

[386] Direction des travaux publics, des transports et de l'énergie canton de Berne
Evacuation des eaux des biens-fonds industriels ou artisanaux
Office des eaux et des déchets, Berne, 2009

[387] Direction des travaux publics, des transports et de l'énergie canton de Berne
Terrains de sport à revêtement synthétique ou gazon synthétique
Office des eaux et des déchets, Berne, Bern, 2011

[388] Bau- und Umweltschutzdirektion Kanton Basel-Landschaft, AUE
Richtlinie Gewässerschutz bei Regenwetter
Amt für Umweltschutz und Energie, Liestal, 2000

[389] Baudirektion Kanton Zürich, AWEL
AWEL-Richtlinien betreffend die Anschlusspflicht von Liegenschaften an die private und öffentliche Kanalisation, Gutachten zu ausgewählten Rechtsfragen
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich, Juli 2005

[390] Boller M., Häfliger M.
Verbleib von Schwermetallen bei unterschiedlichen Konzepten der Siedlungsentwässerung
VSA-Fortbildungskurs, 1996

[391] Weiss G., Brombach H.
Kritische Bewertung der Immissionsbelastung der Gewässer durch Regenwassereinleitungen
2004

[392] Clara et al.
Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen
BMLFUW Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2014

[393] Wittmer et al.
Loss rates of urban biocides can exceed those of agriculture pesticides
Science of the Total Environment, Bd. 409, Nr. 5, 2010

[394] Schluep et. al.
Micropolluants organiques et substances nutritives (Résumé)
Connaissance de l'environnement, Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, 2006

[395] Huber et al.
Broschüre zu dezentralen Niederschlagswasserbehandlungsanlagen für Verkehrsflächen und Metalldachabflüsse: Schacht-/Kompaktsysteme, Rinnensysteme, Strasseneinläufe und Flächenbeläge
Garching, 2015

[396] Office fédéral des routes OFROU
Evacuation et traitement des eaux – Examen de performance des nouveaux procédés
Document Nr 21 001-10468, Berne, 2019

[397] Fair G.M. und Geyer J.C.
Water Supply and Waste Water Disposal
John Willey & Sons Inc. New York, 1954, deutsche Ausgabe in 1961: **Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung, Grundlagen, Technik und Wirtschaft**, Verlag Oldenbourg München, 1961, 966 Seiten

[398] Metcalf and Eddy
Wastewater Engineering. Treatment and Reuse
Fourth Edition, McGraw Hill, New York, USA, 2003

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

[399] Hahn H.H. und Xanthopoulos C.
Schadstoffe in Regenabflüssen in städtischen Gebieten
Schriftenreihe Nr. 64 des Institutes für SWW Universität Karlsruhe, 1992

[400] Benoist A. and Lijklema L.
Distribution of sedimentation rates of suspended solids and heavy metals in combined sewer overflows
Wat. Sci. Tech. Vol. 37, No 1, 1990

[401] Chebbo G.
Solide des rejets pluviaux urbains – Caractérisation et traitabilité
Thèse de doctorat: Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, 400 p. + Annexes, 1992

[402] Chebbo G., Gromaire M.-C. et Lucas E.
Protocol VICAS – mesure de la vitesse de chute des MES dans les effluents urbains
In Actes du colloque Astee SHF Les Bassins de Stockage Decantation en réseau d'Assainissement. Techniques Sciences Méthodes. No. 12. ACTEE, Paris, France, pp 39 – 49, 2003

[403] Marsalek J., Krishnappan B.G., Exall K., Rochfort Q., and Stephens R.P.
An elutriation apparatus for assessing settleability of combined sewer overflows (CSOs)
Wat. Sci. Tech. Vol. 54, No 6 –7, pp 223 –230, 2006

[404] Torres A. and Bertrand-Krajewski J.-L.
Evaluation of uncertainties in settling velocities of particles in urban stormwater runoff
Wat. Sci. Tech., Vol. 57, No 9, pp 1389 –1396, 2008

[405] Hasler M.
Field and Laboratory experiments on settling process in stormwater storage tanks
Diploma thesis, INSA de Lyon, Hydrologie Urbaine and Graz University of Technology, Institut für SWW, 2007

[406] Lau Y.L. and Krishnappan B.G.
Measurement of size distribution of settling flocs
NWRI Publication No. 97–223, National Water Research Institute, Burlington, Ontario, Canada, 1997

[407] Michelbach S. and Wöhrle C.
Settleable solids in a combined sewer system – measurement, quantity, characteristics
Wat. Sci. Tech., Vol. 25, No 8, pp 181–188, 1992

[408] Michelbach S. and Wöhrle C.
Settleable solids in a combined sewer system, settling characteristics, heavy metals, efficiency of storm water tanks
Wat. Sci. Tech., Vol. 27, No 5 – 6, pp 153 –164, 1993

[409] Walling D.E. and Woodward J.C.
Use of a field-based water elutriation system for monitoring the in-situ particle size characteristics of fluvial suspended sediment
Wat. Res., Vol. 27 No 9, pp 1413 –1421, 1993

[410] Grottker M.
Regenwasserbehandlung in Trennsystemen
Mitt. des Institutes für Wasserwirtschaft, Univ. Hannover, Heft 66, 1987

[411] Blume H.-P. et al.
Handbuch der Bodenkunde
Ecomed-Verlagsgesellschaft AG, Landsberg/Lech 1996

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

[412] BAFU (ehemals BUWAL).
NABO, Nationales Bodenbeobachtungsnetz. Messresultate 1985 –1991
Schriftenreihe Umwelt Nr.200, 1993

[413] Amt für Umweltschutz Solothurn
Schadstoffbelastung der Böden entlang von Autobahnen
AfU-Berichte Nr. 1, 1994

[414] Amt für Umweltschutz Solothurn
Untersuchungen der Schadstoffbelastung von Boden und Vegetation entlang von Kantonsstrassen sowie von Strassenwischgut
AfU-Berichte Nr. 6, 1994

[415] Amt für Umweltschutz Solothurn
Schadstoffbelastung von Hausgärten in der Stadt Olten
AfU-Berichte Nr. 20, 1998

[416] Fachstelle Bodenschutz Kanton Zürich & Liegenschaftenverwaltung der Stadt Zürich
Boden- und Pflanzenuntersuchungen in Familiengärten der Stadt Zürich
Schlussbericht Juni 1994

[417] Amt für Umweltschutz Solothurn
Bodenbelastungsgebiet Dornach
Informationsschrift für die Bevölkerung, 1999

[418] Bucheli T.D.
Vorkommen und Verhalten von Pestiziden bei der Meteorwasserversickerung
Diss. ETH Nr.12414, 1997

[419] Bodenschutzfachstelle des Kantons Bern
Bodenbeobachtung im Kanton Bern. Ein physikalisch-biologisch-chemischer Ansatz
1997

[420] Gsponer R.
Ursachendifferenziertes Vorgehen zur verdachtsorientierten Erkundung von Schwermetallbelastungen im Boden
Diss. ETH Zürich Nr.11 862, 1996

[421] Wittmer I.
Influence of agricultural pesticide and urban biocide use on load dynamics in surface water
Environmental Science. Zürich, ETH. PhD: 205. Zürich, 2010

[422] Ochsenbein U., E. Scheiwiller und H. Wehse
Starke Belastung der Urtenen bei Regenwetter
GSA Info. 2/2008

[423] Aquaplus
STORM – stehende Gewässer. Immissionsorientierte Beurteilung der Auswirkungen von Abwassereinleitungen bei Regenwetter anhand des äusseren Aspektes und der Wasserpflanzen
2016

[424] Thomas E.A. und Schanz F.
Beziehungen zwischen Wasserchemismus und Primärproduktion in Fliessgewässern, ein limnologisches Problem
Vierteljahresschrift Natf. Ges. Zürich, 1976

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

[425] SF-Kooperation GmbH, Betonkonzepte, Bremen
Versickerung auf befestigten Verkehrsflächen; planerische Möglichkeiten des Einsatzes wasserdurchlässiger Pflastersysteme
1994

[426] Sieker F.
Alternative Methoden der Regenwasserentsorgung
10.4 Entwässerungstechnische Versickerung. In: Sammelwerk «Hydrologie der Stadtentwässerung», 1992

[427] Munz W.
Methodik der Kostenvergleiche von Abwasseranlagen
Eawag, 1983

[428] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)
Kulturbuchverlag Berlin GmbH, 1998

[429] Bundesamt für Umwelt
Merkblatt Bauprodukte und Zusatzstoffe in der Schweiz
BAFU (ehemals BUWAL), Schriftenreihe Umwelt Nr. 245, Bern, 1995

[430] Geiger W.F., Ustohal P.
Ermittlung des rechnerischen Speichervolumens eines hydrodynamischen Abscheiders
Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft, Uni Esses. Forschungsbericht ATV e.V.-Forschungsfonds, Projekt-Nr. 10/97, 1998

[431] Office fédéral de l'environnement
Recommandations pour la conception et les dimensions des déversoirs de crue et bassins de décharge des eaux pluviales
OFEV, Bern, 1977

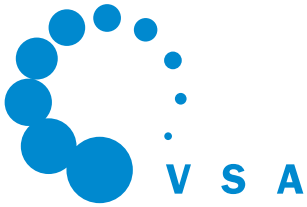
[432] Engel M.
Gewässer: Tipps zur Sicherung von Kleingewässern
Beratungsstelle für Unfallverhütung, bfu-Fachdokumentation 2.026, Bern, 2011

[433] Hoppe H., Fricke K.I., Kutsch St., Massing Ch.
Von Daten zu Werten – Messungen in Entwässerungssystemen
Aqua & Gas, 96 (10), S. 26 –31. ISSN 2235-5197, 2016

[434] Rossi L., Fankhauser F., Chevre N.
Water quality criteria for total suspended solids (TSS) in urban wet-weather discharges
Water Science and Technology, 54. Jg., Nr. 6 –7, S. 355 –362, 2006

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020



Association suisse des professionnels
de la protection des eaux (VSA)
Europastrasse 3
Case postale, 8152 Glattbrugg
sekretariat@vsa.ch
www.vsa.ch
Tel. 043 343 70 70

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque
Swiss Water Association

GESTION DES EAUX URBAINES PAR TEMPS DE PLUIE

AIDE-MEMOIRE EAU PLUVIALES POUR LES UTILISATEURS EXPERIMENTES

Tableaux et figures tirés du module de Base et du module Dimensionnement et conception, Partie A

2019

AIDE-MEMOIRE

Impressum

La présente publication a été élaborée avec le plus grand soin et en toute bonne foi. Nous déclinons toutefois toute responsabilité quant à son exactitude, son exhaustivité et son actualité. Toute prétention en responsabilité à l'encontre de la VSA pour des dommages matériels ou immatériels qui pourraient être causés par l'utilisation et l'application de la présente publication est totalement exclue.

Valeur juridique
Cette directive documente l'état de la technique et les bonnes pratiques suisses en matière de gestion des eaux urbaines par temps de pluie. Elle précise la législation relative à la protection des eaux et permet une mise en oeuvre uniforme. La directive s'adresse principalement aux autorités chargées de l'application et de l'autorisation et aux planificateurs de systèmes d'évacuation des eaux. Elle garantit à l'utilisateur un degré élevé de sécurité juridique. D'autres solutions sont toutefois possibles. Cependant dans le cadre de la pratique juridique ces solutions doivent être conformes au droit.

Auteurs
Daniel Baumgartner, Hunziker Betatech AG, Berne
Reto Flury, Holinger AG, Berne
Natalie Muff, Holinger AG, Berne
Silvia Oppliger, Hunziker Betatech AG, Berne
Elias Winz, Holinger AG, Berne

Membres du groupe de travail
Karlheinz Diethelm, AfU, Herisau
Patrick Fischer, OFEV, Berne
Stefan Hasler, VSA, Glattbrugg
Daniel Meister, AWEL, Zurich
Urs Reichmuth, Office des ponts et chaussées, Wangen SZ
Jörg Rieckermann, Eawag, Dübendorf
Luca Rossi, SINEF SA, Givisiez
Pierre Wyrsch, SENE, Neuchâtel
Alain Wyss, DGEau, Genève

Éditeur
Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Photo de titre
Ramboll Studio Dreiseitl, Arkadien Winnenden

Conception
SLS Nadler, Peter Nadler, 8610 Uster

Impression
Appenzeller Druckerei AG, 9100 Herisau

Source de référence
VSA, Europastrasse 3, Postfach, CH-8152 Glattbrugg,
téléphone 043 343 70 70, sekretariat@vsa.ch, www.vsa.ch

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Brève description du présent module et destinataires

Cette brochure s'adresse aux utilisateurs expérimentés de la directive VSA «Gestion des eaux urbaines par temps de pluie» qui s'occupent régulièrement de la gestion des eaux pluviales en zone bâtie et sur les routes, en tant que maître d'ouvrage ou membres d'une autorité.

Cette brochure contient les tableaux et figures les plus importants des modules B et DA de la directive susmentionnée. Il ne contient aucun texte explicatif. Par hypothèse, les conditions préalables d'utilisation et les restrictions pour leur application sont considérées comme connues

Abréviations utilisées pour les renvois et désignations des tableaux / figures (voir aussi module de base, chap. 1.6 « Structure de la directive »)

Abréviation pour les renvois	Titre des différents modules
B	Module de base
G	Module Analyse de la qualité de l'eau
S	Module STORM
D	Module Dimensionnement et conception
	DA Partie A : Gestion des eaux pluviales / DB Partie B : Installations de traitement et de déversement des eaux unitaires
E	Module Systèmes d'évacuation des eaux
L	Index et listes de l'ensemble de la directive • Liste des abréviations • Bibliographie

Exemples de renvois :

- voir module G, chap. 3 = voir module « Analyse de la qualité de l'eau », chapitre 3
- voir chap. 3 (sans spécification d'un module) = voir chapitre 3 du module même
- voir également fig. B4 = voir la figure B4 dans le module de base

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

TABLE DE MATIÈRES

1 INTRODUCTION 6

2 DÉROULEMENT DE LA PLANIFICATION POUR LA GESTION DES EAUX PLUVIALES 7

3 POLLUTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT 8

4 INFILTRATION DES EAUX PLUVIALES 12
4.1 Infiltration avec passage à travers le sol et délimitation par rapport aux installations d'infiltration et de traitement 12
4.2 Infiltration des eaux de chaussée sur le bas-côté 12
4.3 Examen de l'admissibilité de l'infiltration 13

5 REJET D'EAUX DE RUISSELLEMENT DANS DES EAUX SUPERFICIELLES 15
5.1 Examen de l'admissibilité pour la charge en polluants 15
5.2 Examen de l'admissibilité pour la charge hydraulique 17

6 TRAITEMENT DES EAUX DE RUISSELLEMENT 18
6.1 Niveaux d'exigences 18
6.2 Sélection d'installations de traitement appropriées 18

7 INSTALLATIONS D'INFILTRATION DES EAUX PLUVIALES 19
7.1 Structure du sol pour l'infiltration des eaux des biens-fonds 19
7.2 Types d'infiltration 19
7.2.1 Collecte et répartition pour l'infiltration superficielle 19
7.2.2 Collecte et infiltration dans une installation d'infiltration§ 20
7.3 Aménagement de surfaces perméables 21
7.3.1 Gravier engazonné 21
7.3.2 Dalles ajourées, pavés, dalles poreuses 21
7.4 Construction d'installations d'infiltration avec passage à travers le sol 22
7.4.1 Infiltration «dans les bas-côtés» 22
7.4.2 Bassin d'infiltratio 22
7.5 Construction d'installations d'infiltration sans passage à travers le sol 23
7.5.1 Corps de gravier 23
7.5.2 Puits d'infiltration 23
7.5.3 Galerie d'infiltration 24
7.6 Dimensionnement des installations d'infiltration 24
7.6.1 Principes 24

8 INSTALLATIONS DE RÉTENTION DES EAUX PLUVIALES 25
8.1 Types de mesures de rétention 25
8.1.1 Rétention sur les toits 25
8.1.2 Fossés 25

9 DIAGRAMMES GÉNÉRAUX DE DIMENSIONNEMENT DE PETITES INSTALLATIONS D'INFILTRATION ET DE RÉTENTION, SELON SN 640 350 (ÉDITION 2000) 26

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

1 INTRODUCTION

Cette brochure s'adresse aux utilisateurs expérimentés de la directive VSA «Gestion des eaux urbaines par temps de pluie» qui s'occupent régulièrement de la gestion des eaux pluviales en zone bâtie et sur les routes, en tant que maître d'ouvrage ou membres d'une autorité.

Cette brochure contient les tableaux et figures les plus importants des modules B et DA de la directive susmentionnée. Il ne contient aucun texte explicatif. Par hypothèse, les conditions préalables d'utilisation et les restrictions pour leur application sont considérées comme connues.

Néanmoins, les points suivants du chapitre 2.3.1 du module de base (page 17) doivent être rappelés à ce stade. Ils doivent être pris en compte dans la planification :

Le **ruissellement pluvial** peut être **réduit ou même évité** par des éléments de conception appropriés. Les éléments de conception possibles sont :

- **Toits plats végétalisés :** ils servent à réduire le ruissellement (évapotranspiration) et les pointes de débit (rétention) → voir les notes sur le dimensionnement dans le module Dimensionnement et conception Partie A (DA) Chapitre 2.2.1, page 33

- **Surfaces perméables :** elles permettent une infiltration décentralisée sur place et sont préférables lorsqu'une conception imperméable n'est pas absolument nécessaire (places et chemins) → Module DA section 1.6, page 18

- **Infiltration dans les bas-côtés** : Si une conception imperméable des routes et des places est nécessaire, celles-ci doivent être drainées localement par la bas-côté dans la mesure du possible → Module DA Chapitre 1.7.1, page 21

En outre, l'utilisation de **matériaux de construction** qui **ne polluent pas les eaux de ruissellement** peut éviter leur traitement ultérieur - avec une efficacité naturellement limitée - (principe de précaution). C'est possible grâce à des constructions adaptées : par ex. des auvents au lieu de peintures pour façades contenant des pesticides.

Ce n'est que lorsque les mesures susmentionnées de réduction du ruissellement et de sa charge auront été épuisées que la planification se poursuivra sur la base des tableaux et figures ci-après.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

2 DÉROULEMENT DE LA PLANIFICATION POUR LA GESTION DES EAUX PLUVIALES

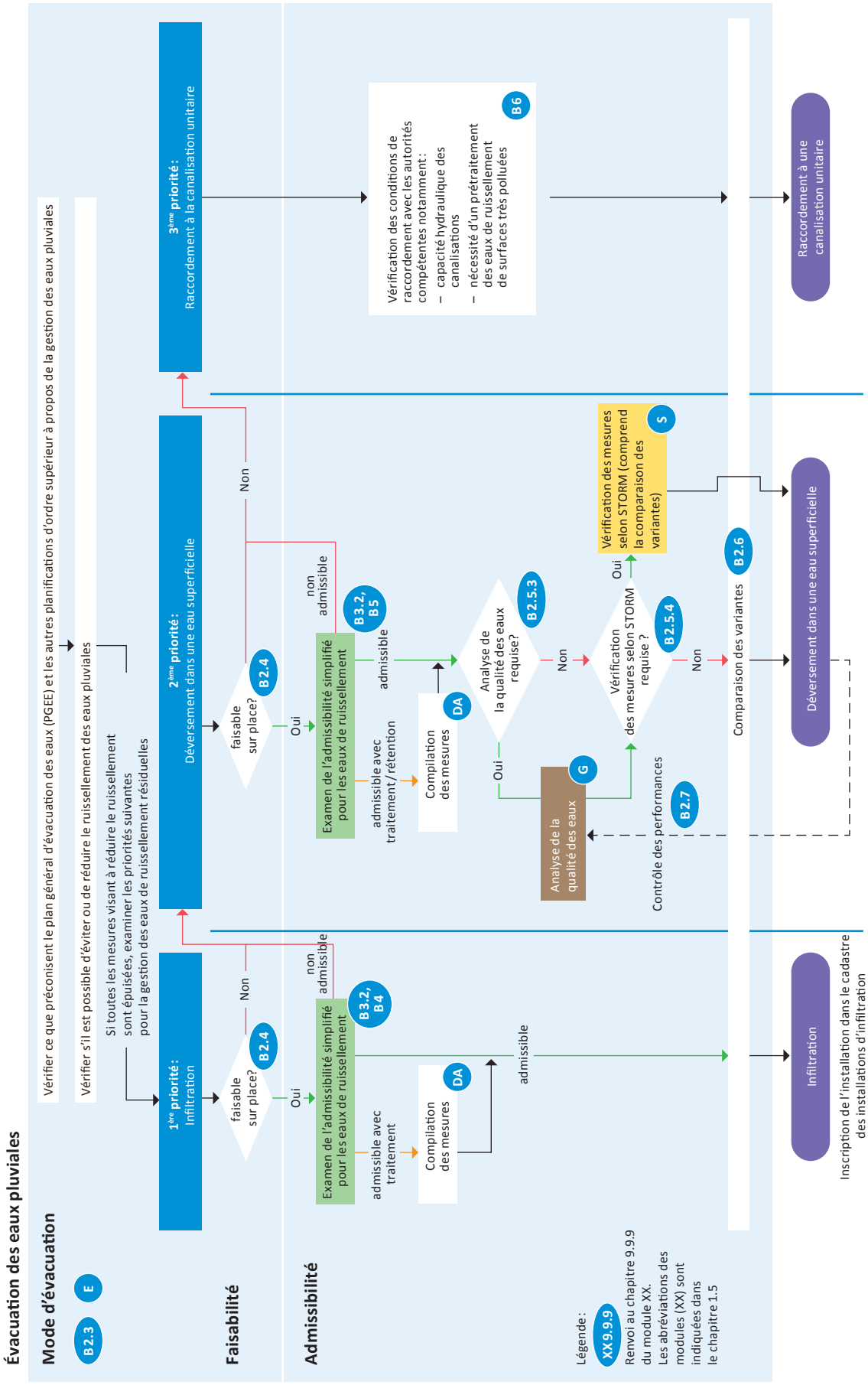


Figure B3
Schéma du déroulement de la planification pour la gestion des eaux pluviales.
(Module B, page 18)

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

3 POLLUTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT

Tableau B6
Évaluation de la pollution des eaux de ruissellement sur les toitures et les façades.
(Module B, page 30)

Provenance	Classe de pollution	Remarques
Toits végétalisés/recouverts de gravier sans matériaux contenant des pesticides et toits ou façades[2] faits essentiellement de matériaux inertes avec une faible part de dispositifs en plomb, cuivre, zinc et étain	**faible**	Le degré de pollution des eaux de ruissellement est similaire à celui de la pluie elle-même. En cas d'infiltration dans des installations (rapport surface de ruissellement/surface d'infiltration A_E/A_V >5:1), l'accumulation de polluants joue un rôle mineur, vu la faible classe de pollution. Le rejet dans des eaux superficielles ne pose en général aucun problème. Pour qu'il soit possible d'attribuer la classe de pollution « faible », il faut renoncer à l'utilisation de tout matériau contenant des pesticides. La part des dispositifs en plomb, cuivre, zinc ou étain ne doit pas excéder 5 % de la surface de contact totale de la pluie. Partout où cela est possible, il convient de préférer des alliages ayant un taux de lessivage faible (acier nickel-chrome, par exemple ; voir la recommandation de la KBOB Construction durable [308]). Les toits végétalisés réduisent en outre la quantité d'eau de ruissellement et atténuent les débits de pointe. Ils déchargent donc les canalisations et favorisent un cycle de l'eau naturel.
Toits ou façades[2] faits essentiellement de matériaux inertes avec des parts légèrement plus importantes de dispositifs en plomb, cuivre, zinc et étain **sans revêtement**	**moyenne**	Les parts « légèrement plus importantes » d'installations en plomb, cuivre, zinc et étain sans revêtement se situent entre 5 % et 10 % de la surface de contact totale de la pluie. En cas d'infiltration dans des installations (rapport surface de ruissellement/surface d'infiltration A_E/A_V >5:1), il faut s'attendre à une accumulation de polluants.
Toits ou façades[2] avec des parts plus importantes de surfaces métalliques **avec revêtement**	**moyenne**	Le classement dépend de la surface totale des dispositifs en plomb, cuivre, zinc et étain avec revêtements entrant en contact avec la pluie. Le fabricant doit attester de façon crédible la stabilité du revêtement pendant toute la durée de vie de l'installation.[1] Sont considérées comme des parts plus élevées par installation/rejet : • Pour l'infiltration : > 50 m^2 • Pour le rejet dans des eaux superficielles : > 500 m^2
Toits ou façades[2] avec des parts plus importantes de surfaces métalliques **sans revêtement**	**élevée**	Le classement dépend de la surface totale des dispositifs en plomb, cuivre, zinc et étain entrant en contact avec la pluie. Sont considérées comme des parts plus élevées par installation/rejet : • Pour l'infiltration : >50 m^2 • Pour le rejet dans des eaux superficielles : >500 m^2
Toits ou façades comprenant des matériaux contenant des pesticides	**moyenne (faible, élevée)**	Les matériaux visés sont les revêtements (p. ex. films, bandes bitumineuses, peintures, crépis) qui contiennent des pesticides lessivables (biocides, produits phytosanitaires). D'une manière générale, ces matériaux sont à considérer dans la classe de pollution « moyenne ». Il est possible de leur attribuer la classe de pollution « faible » si celle-ci peut être attestée de façon crédible par le fabricant.[1] S'il existe pour certains matériaux des indications complémentaires concernant la classification du produit (voir liste à jour sur le site Internet de la VSA www.vsa.ch/regenwetter), celles-ci sont déterminantes pour la classification. Ces matériaux comprennent par exemple les bandes bitumineuses dont la résistance aux racines est obtenue à l'aide de produits de protection chimiques. La charge en polluants des eaux de ruissellement s'écoulant sur de telles bandes est faible à élevée. Des indications concernant la classification se trouvent dans la publication de l'OFEV.[3]

Suite Tableau B6 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau B6

Provenance	Classe de pollution	Remarques
Terrasses, balcons, toitures-terrasses	**élevé**	L'expérience a montré que les terrasses, balcons et toitures-terrasses sont nettoyés régulièrement. Les eaux polluées, qui sont mélangées à des produits de nettoyage et à de la saleté, sont évacuées par la canalisation pluviale. Les surfaces couvertes en particulier sont utilisées pour le stockage. Par mesure de précaution, ces zones sont donc affectées à la classe de pollution « élevé ». Elles peuvent être affectés à la classe d'exposition « moyenne » uniquement si l'accumulation de contamination causée par l'utilisation ou le nettoyage générant des eaux usées peuvent être exclues définitivement.

[1] La preuve de la classification peut reposer sur les normes d'essai SNR CEN/TS 16637-2:2014 fr ou EN 16105, EN ISO 12944 (revêtement en usine) ou DIN 55634 (revêtement sur place) ; le taux de lessivage déterminé devrait être évalué en tenant compte de la durée d'utilisation habituelle selon un concept d'évaluation largement reconnu, par exemple pour les bandes bitumineuses.[3]

[2] Les façades et les autres surfaces verticales doivent être multipliées par un facteur 0.2, car leurs taux de lessivage sont nettement inférieurs à ceux des surfaces plutôt horizontales

[3] « Information über chemische Durchwurzelungsschutzmittel in Bitumenbahnen – Stand 2017 » (Information sur les produits antiracinaires dans les couches bitumeuses des toitures végétalisées) , OFEV (www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/chemikalien/publikationen-studien/studien.html)

Indications

Les surfaces dont les eaux sont évacuées par infiltration ou vers des eaux superficielles ne doivent pas produire d'eaux polluées. Pour les travaux de nettoyage ou d'entretien (notamment de terrasses balcons et de toitures terrasses accessibles), il faut par conséquent prévoir des systèmes pouvant recueillir les eaux usées produites.

Verrière, installations photovoltaïques et capteurs solaires: les surfaces de ces installations qui entrent en contact avec la pluie sont constituées essentiellement de matériaux inertes et peuvent dès lors être classées dans la classe de pollution «faible», tant que la remarque ci-dessus concernant le nettoyage est respectée. Pour les grandes installations de capteurs solaires, il est recommandé de prévoir en plus une sécurité technique pour le cas d'une fuite dans le circuit eau-glycol.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Tableau B7
Évaluation de la pollution des eaux de ruissellement sur les places et les surfaces de circulation.
(Module B, page 32)

Provenance	Classe de pollution	Remarques
Voies d'accès, avant-places, places de parc avec faible passage, y compris les surfaces de manœuvre et de circulation associées : p. ex. places de parc privées, places de parc réservées aux visiteurs dans les lotissements, places de parc d'entreprise pour les employés. Chemins pédestres, cyclables, forestiers et ruraux, quais	**faible**	Pollution faible des sols et des eaux souterraines en cas d'utilisation normale. Sur les places perméables, les polluants sont dégradés au moins partiellement dans les couches supérieures du sol (substances organiques) ou retenus.
Places de transbordement et de stockage ainsi que surfaces de travail sans substances dangereuses pour les eaux ou l'environnement	**moyenne**	Les pertes de fluides par les véhicules et les polluants libérés lors de travaux d'entretien et du transbordement de marchandises peuvent entraîner des pollutions diffuses du sol ou des eaux souterraines.
Places de transbordement et de stockage pour des substances dangereuses pour les eaux ou l'environnement	**ne font pas l'objet de la présente directive**	Le transbordement et le stockage de substances dangereuses pour les eaux ou l'environnement sont soumis aux prescriptions correspondantes de la Confédération et des cantons. Il convient de prendre en compte notamment la directive des cantons suisses « Sécurisation et évacuation des eaux des places de transbordement de marchandises » [200].
Places de parc avec passage important, y compris les surfaces de manœuvre et de circulation associées : p. ex. places de parc de centres commerciaux, d'équipements sportifs et de loisirs, de gares ferroviaires, de services publics, d'hôpitaux, etc. Surfaces de parc urbaines : p. ex. places de marché, places où se déroulent de nombreuses fêtes, avec un public fréquent mais un faible trafic de véhicules à moteur	**moyenne à élevée (selon la charge**	Pollution plus importante des sols et des eaux souterraines. Sur les places perméables, les substances organiques sont dégradées au moins partiellement dans les couches supérieures du sol. La classification sera déterminée d'entente avec le service spécialisé cantonal.
Routes	**fonction du trafic (cf Tableau B8)**	Les émissions de la circulation dépendent de la fréquence et du régime du trafic et des caractéristiques de l'espace routier. Perpendiculairement à la chaussée, on observe généralement des pollutions du sol par des métaux lourds et des HAP diminuant exponentiellement (bande contaminée).

Suite Tableau B7 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau B7

Provenance	Classe de pollution	Remarques
Terrains de sport	**faible à moyenne**	Les terrains de sport en gazon naturel sont considérés comme faiblement pollués à condition qu'aucun pesticide ne soit utilisé comme anti-algues, anti-mousses ou herbicide. Pour l'évacuation des eaux de terrains en matière synthétique et en gazon synthétique, il faut par ailleurs veiller à ce qu'aucune matière solide, comme des granulés de caoutchouc ou des produits chimiques de nettoyage, ne puissent atteindre le milieu récepteur avec l'eau de drainage. Il convient à cet égard de respecter les exigences des matériaux selon l'état de la technique conformément à la brochure 112 de l'Office fédéral du sport (OFSPO) [63].
Installations ferroviaires, gares de triage, pistes d'atterrissage, etc.	**ne font pas l'objet de la présente directive**	L'évacuation des eaux de ruissellement de telles installations doit être étudiée et planifiée au cas par cas → Directive OFT sur l'évacuation des eaux des installations ferroviaires [55].

Indication
Les surfaces dont les eaux sont évacuées par infiltration ou vers des eaux superficielles ne doivent pas produire d'eaux polluées. Pour les travaux de nettoyage ou d'entretien, il faut par conséquent prévoir des systèmes pouvant recueillir les eaux usées produites. À défaut, les surfaces seront classées dans la classe de pollution « élevée ».

Tableau B8
Évaluation de la pollution des eaux de ruissellement de chaussées.
(Module B, page 33)

Classification	Somme des points	Classe de pollution
Pour les routes, le nombre de points de pollution est traduit par les classes de pollution suivantes	<5 points	faible
	5–14 points	moyenne
	>14 points	élevée
Pollution des eaux de ruissellement de chaussées		
Se compose des éléments suivants	Pollution de base + ∑ (PP critères)	Points de pollution [PP]
1. Pollution de base	**Points de pollution (PP)**	**Remarques**
Fréquence du trafic	Pollution de base = DTV/1000	Pour l'horizon de planification (TJM = trafic journalier moyen)
2. Critères	**Points de pollution (PP)**	**Remarques**
Part de trafic lourd	1 pour part 4–8 % 2 pour part >8 %	Pour l'horizon de planification
Pente	1, si pente >8 %	Pour l'horizon de planification
Tronçon de route à l'intérieur d'une localité	1	
Nettoyage des routes	Nombre de nettoyages mécaniques par mois	

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

4 INFILTRATION DES EAUX PLUVIALES

4.1 Infiltration avec passage à travers le sol et délimitation par rapport aux installations d'infiltration et de traitement

Tableau B9
Délimitation de l'infiltration à travers le sol par rapport aux installations d'infiltration et de traitement avec des exemples concrets.
(Module B, page 36)

Type	Bref descriptif	Exemples
Infiltration avec passage à travers le sol	• N'est PAS une installation d'infiltration ($A_E : A_V < 5:1$) • Est un traitement naturel (adsorption des polluants par une couche de sol biologiquement active) mais n'est PAS une installation de traitement	• Surfaces perméables, p. ex. pavés gazon
Infiltration avec passage à travers le sol dans une installation d'infiltration	• Est une installation d'infiltration ($A_E : A_V \geq 5:1$) • Est un traitement naturel (adsorption des polluants par une couche de sol biologiquement active) mais n'est PAS une installation de traitement	• Infiltration par l'accotement / les bas-côtés • Bassin d'infiltration
Infiltration sans passage à travers le sol dans une installation d'infiltration	• Est une installation d'infiltration • N'est PAS une installation de traitement	• Massif filtrant en gravier • Puits d'infiltration • Conduite d'infiltration
Traitement avec passage à travers le sol dans une installation de traitement	• N'est PAS une installation d'infiltration mais celle-ci peut être placée en aval (ou rejet dans des eaux superficielles) • Est une installation de traitement naturelle car elle comporte un passage à travers une couche de sol biologiquement active comme matériau filtrant	• Bassin de rétention filtrant avec filtration à travers le sol • Cuvettes-rigoles
Traitement sans passage à travers le sol dans une installation de traitement	• N'est PAS une installation d'infiltration mais celle-ci peut être placée en aval (ou rejet dans des eaux superficielles) • Est une installation de traitement mais avec un autre matériau filtrant qu'une couche de sol biologiquement active	• Bassin de rétention filtrant avec sable, gravier-granulés et / ou adsorbant • Filtre technique

4.2 Infiltration des eaux de chaussée sur le bas-côté

Tableau B10
Largeur de la bande contaminée (utilisable pour l'infiltration).
(Module B, page 37)

Type de route	Largeur à partir du bord de la chaussée
Autoroutes	6 m
Routes > 20 000 véhicules/24h	3 m
Routes > 10 000 véhicules/24h	1.5 m
Routes > 2000 véhicules/24h	1 m
Routes < 2000 véhicules/24h et routes communales	aucune bande n'est définie (seuil minimal)

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

4.3 Examen de l'admissibilité de l'infiltration

Tableau B11
Admissibilité de l'infiltration des eaux de ruissellement.
(Module B, page 38)

Infiltration							
Secteur de protection des eaux A_U, S1–S3, S_h, S_m, üB selon carte de protection des eaux	**Passage à travers le sol** (structure selon module DA, chap. 1.3)	**Type de surface à drainer**					
		Toitures et façades			Places et surfaces de circulation		
		Classe de pollution des eaux de ruissellement					
		selon tableau B6			selon tableaux B7+B8		
		faible	moyenne	élevée	faible	moyenne	élevée
autres secteurs üB	avec	+	+	+[2]	+	+	+[2]
	sans	+	+	$B_{élevé}$	$B_{standard}$[3]	$B_{standard}$	$B_{élevé}$
Secteur A_U	avec	+	+	+[2]	+	+	+[2]
	sans	+	$B_{standard}$[1]	$B_{élevé}$	$B_{standard}$[4]	$B_{standard}$	$B_{élevé}$
S3, S_h, S_m	avec	+	–	–	+	–	–
	sans	–	–	–	–	–	–
Périmètre prot./S2/S1	non pertinent	–	–	–	–	–	–

Légende

+	Infiltration admissible
$B_{standard}$	Infiltration admissible dans une installation du niveau d'exigences «standard» ou «élevé»
$B_{élevé}$	Infiltration admissible dans une installation du niveau d'exigences «élevé»
–	Infiltration n'est pas admissible

Pour les informations concernant les installations de traitement et les niveaux d'exigences, voir le chapitre 7 du présent module.

[1] Pour des toitures ou des façades composées essentiellement de matériaux inertes, avec des parts légèrement accrues de dispositifs en plomb, cuivre, zinc et étain (5 à 10% de la surface de contact), il est possible, d'entente avec le service spécialisé cantonal, de renoncer à un traitement, pour autant qu'une pollution des eaux souterraines puisse être exclue.

[2] En cas d'infiltration d'eaux de ruissellement très polluées, l'autorité cantonale peut exiger qu'elles soient collectées après le passage dans sol afin de pouvoir contrôler les performances de traitement. Dans ce cas, il ne s'agit plus d'une installation d'infiltration mais d'une installation de traitement. Voir les explications au chapitre 4.1.2 sur ce point.

[3] Une infiltration sur place par des pavés gazon, des pavés drainants, des pavés composites, du gazon-gravier, des chemins sans revêtement et d'autres surfaces de remblais (→ Module DA, chapitre 1.6) est admissible sans autre mesure de traitement. En cas d'espace restreint, un déversement dans une infiltration souterraine est admissible, d'entente avec le service spécialisé cantonal. La fréquence de déversement admissible est fixée par le service spécialisé cantonal.

[4] Une infiltration sur place via par des pavés gazon, des pavés drainants, des pavés composites, du gazon-gravier, des chemins sans revêtement et d'autres surfaces de remblais (→ Module DA, chapitre 1.6) est admissible sans autre mesure de traitement tant que la part de surfaces imperméables (p. ex. bandes de roulement sur les places de parc) ne domine pas. Si la profondeur de la nappe phréatique est suffisante, il est possible, d'entente avec le service spécialisé cantonal, de renoncer au traitement pour autant qu'une pollution des eaux souterraines puisse être exclue.

Structure du sol

La structure du sol dépend du type d'infiltration et des surfaces qui y sont raccordées. Le module DA, chap. 1.3 fournit des indications concernant la structure du sol. Pour l'infiltration des eaux de chaussée, la structure du sol selon dans la norme SN 640 361 est applicable.

Attention : l'infiltration avec passage à travers le sol est considérée comme une infiltration directe et non pas comme une infiltration avec installation de traitement en aval. Voir à ce propos la délimitation définie au chapitre 4.1.2.

Dispositions à respecter

- Une pollution des eaux souterraines par des liquides de nature à polluer les eaux (p. ex. fuites d'huile ou d'essence sur des places de parc ou installations frigorifiques sur toitures) doit absolument être exclue. Cela signifie que dans tous les cas il faut assurer une protection suffisante contre les avaries, notamment en cas d'infiltration sans passage à travers le sol et sans installation de traitement.
- Si des évaluations de la charge polluante indiquent que des effets néfastes pour les eaux souterraines ne peuvent pas être exclus, l'autorité compétente peut renforcer les conditions d'admissibilité susmentionnées.
- Si une installation d'infiltration reçoit les eaux aussi bien de toits/façades que de places/surfaces de circulation, ce sont les exigences les plus strictes pour ces dernières qui sont applicables. Dans la mesure du possible, il convient d'éviter de mélanger des eaux de ruissellement d'une classe de pollution plus élevée, nécessitant un traitement, avec des eaux de ruissellement de la classe de pollution « faible » afin d'éviter une utilisation disproportionnée des surfaces pour une installation d'infiltration et/ou de traitement.

Suite Tableau B11 voir page suivante

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Suite Tableau B11

Infiltration

Suite « Dispositions à respecter »

- Une surface d'infiltration est considérée comme une installation lorsque :
  - les valeurs indicatives selon l'OSol seront dépassées
  - les taux d'accumulation des polluants lors de l'infiltration sont importants (éventuelle interdiction d'utiliser la matière végétale comme aliment ou fourrage
  - le rapport entre la surface drainée et la surface d'infiltration est $A_E : A_V > 5 : 1$
- En cas d'infiltration des eaux de chaussée sur le bas-côté, il faut prévoir les points suivants :
  - Si possible, la surface d'infiltration doit être limitée à la bande contaminée, en respectant un rapport entre surface drainée et surface d'infiltratio $A_E : A_V \leq 5 : 1$.
  - On évitera l'infiltration avec accumulation de polluants sur des terres agricoles privées. La bande contaminée et la surface d'infiltration doivent si possible appartenir à la parcelle routière. À défaut, les responsabilités entre le propriétaire de la route et le propriétaire privé de la bande d'infiltration doivent être réglées de façon contraignante.

Remarques

- Lorsque des eaux de ruissellement moyennement à fortement polluées sont infiltrées avec passage à travers le sol, il peut être judicieux d'ajouter un adsorbant artificiel pour protéger la couche de sol biologiquement active et en prolonger la durée de vie.
- Lors de la construction/rénovation de toitures, il faut veiller à choisir des matériaux qui ne dégagent pas de substances qui puissent polluer davantage les eaux souterraines (matériaux à faibles taux d'émissions).
- Les aires d'alimentation Z_U se trouvent dans leur grande majorité à l'intérieur du secteur A_U et s'évaluent donc de la même façon que celui-ci.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

5 REJET D'EAUX DE RUISSELLEMENT DANS DES EAUX SUPERFICIELLES

5.1 Examen de l'admissibilité pour la charge en polluants

Tableau B12
Paramètres pour le Tableau B13 et le Tableau B14 servant à évaluer le quotient de déversement dans des eaux superficielles.
(Module B, page 15)

Analyse individuelle en un point de rejet			
Symbole	**Description**	**Formule**	**Remarque**
	Classe de pollution des eaux de ruissellement		Selon Tableaux B6 à B8
Q_E	Quantité d'eaux de ruissellement déversée, avec un temps de retour z = 1 au point de rejet considéré. Voir calcul à l'annexe 2 du module DA.		Sans prise en compte des mesures de rétention
Q_{347}	Débit d'étiage : débit du cours d'eau à l'endroit du déversement qui est atteint ou dépassé pendant 347 jours dans l'année. Si le Q_{347} n'est pas connu, une mesure du débit après une période sèche de trois semaines fournit une valeur d'approximation suffisamment précise.		Pour les cours d'eau qui sont à sec pendant certaines périodes (p. ex. régions karstiques du Jura), les conditions de déversement doivent être définies d'entente avec l'autorité compétente.
V	Quotient hydraulique de déversement	$V = Q_{347}/Q_E$	
V_S	Quotient de déversement spécifique du cours d'eau servant à évaluer la charge en polluants	$V_S = V \cdot f_G$	Tableau B13
V_G	Quotient de déversement spécifique du cours d'eau servant à évaluer la charge hydraulique	$V_G = V \cdot f_S \cdot f_G$	Tableau B14
f_S et f_G	Facteurs de correction pour la nature du lit et le type de cours d'eau, pour V < 1 (pour V ≥ 1, $f_S = f_G = 1.0$)		Voir ci-dessous pour les valeurs

Facteurs de correction spécifiques du cours d'eau, f_s et f_G (pour V < 1)				
Nature du lit		**Facteur du lit f_S**		
Surtout des sédiments fins		0.5		
Surtout graviers (< taille du poing)		1.0		
Surtout pierres (> taille du poing)		1.5		
Surtout blocs (> 0,5 m)		2.0		
Type de cours d'eau	**Débit Q_{347}**	**Largeur moyenne du lit mouillé**	**Vitesse moyenne d'écoulement [1]**	**Facteur du cours d'eau f_G**
Petit ruisseau du Plateau	< 0.1 m^3/s	< 1 m	< 0.5 m/s	0.5
Grand ruisseau du Plateau	0.1–1.0 m^3/s	1–5 m		1.0
Petit ruisseau des Préalpes	< 0.1 m^3/s	< 1 m	> 0.5 m/s	1.0
Grand ruisseau des Préalpes	0.1–1.0 m^3/s	1–5 m		2.0
Grand cours d'eau	> 1.0 m^3/s	> 5 m		2.0

Pour V ≥ 1, $f_S = f_G = 1.0$

[1] La vitesse d'écoulement fournit un indice pour déterminer le type de cours d'eau. Les ruisseaux s'écoulant lentement (Plateau) ont généralement un régime d'écoulement plus régulier que les cours d'eau rapides, qu'il faut plutôt classer dans le type Préalpes.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Tableau B13
Admissibilité du déversement d'eaux de ruissellement dans des eaux superficielles compte tenu de la charge en polluants. *(Module B, page 42)*

Déversement dans des eaux superficielles – charge en polluants (traitement)

Type de milieu récepteur	Quotient de déversement spécifique $V_S = V \cdot f_G$ selon tab. B12	Type de surface à drainer: Toitures et façades – Classe de pollution des eaux de ruissellement selon tableau B6: faible	moyenne	élevée	Places et surfaces de circulation – selon tableaux B7+B8: faible	moyenne	élevée
Cours d'eau	$V_S > 1$	+	+	$B_{standard}$	+	+	$B_{standard}$ [1]
	$V_S \leq 1$	+	+	$B_{élevé}$	+	$B_{standard}$ [2]	$B_{élevé}$
Eaux stagnantes	non défini	+	+	$B_{standard}$	+	+	$B_{standard}$

Legende

+	Déversement admissible
$B_{standard}$	Déversement admissible avec traitement dans une installation du niveau d'exigences «standard» ou «élevé»
$B_{élevé}$	Déversement admissible avec traitement dans une installation du niveau d'exigences «élevé»

Pour les informations concernant les installations de traitement et les niveaux d'exigences, voir le chapitre 7 du présent module.

[1] Si le respect du niveau d'exigences « standard » conduit à des mesures disproportionnées, des mesures de traitement du niveau d'exigence « réduit » peuvent être examinées/approuvées d'entente avec les autorités compétentes.

[2] Le traitement est destiné à protéger des milieux récepteurs sensibles et/ou écologiquement de grande valeur. Si cela conduit à des mesures disproportionnées, des mesures de traitement du niveau d'exigence plus faible peuvent être examinées/approuvées d'entente avec les autorités compétentes ou le traitement peut être supprimé si nécessaire.

Dispositions

- Une pollution des eaux par des liquides de nature à polluer les eaux (p. ex. fuites d'huile ou d'essence sur des places de parc ou installations frigorifiques sur toitures) doit absolument être exclue. Cela signifie que dans tous les cas il faut assurer une protection suffisante contre les avaries, notamment en cas de déversements sans installation de traitement.
- Si des évaluations de la charge polluante indiquent que des effets néfastes pour les eaux ne peuvent pas être exclus, l'autorité compétente peut renforcer les conditions d'admissibilité susmentionnées.
- Si un déversement reçoit les eaux aussi bien de toits/façades que de places/surfaces de circulation, ce sont les exigences plus strictes pour ces dernières qui sont applicables. Dans la mesure du possible, il convient d'éviter de mélanger des eaux de ruissellement d'une classe de pollution plus élevée, nécessitant un traitement, avec des eaux de ruissellement de la classe de pollution « faible » afin d'éviter une utilisation disproportionnée des surfaces pour une installation de traitement

Remarques

- **Secteur de protection des eaux A_0:**
  Les secteurs de protection des eaux A_0 sont délimités par les cantons. Différents critères sont déterminants pour ce faire. Selon le motif de la délimitation, les exigences énoncées ci-dessous seront renforcées au cas par cas par les autorités cantonales compétentes.
- **Secteur $V_S \sim 1$:**
  Si le quotient de déversement est proche de 1, les facteurs spécifiques du cours d'eau doivent être examinés de plus près et devront, au besoin, être déterminés de façon plus précise.
- Lors de la construction/rénovation de toitures, il faut veiller à choisir des matériaux qui ne dégagent pas de substances qui puissent polluer davantage les eaux (matériaux à faibles taux d'émissions).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

5.2 Examen de l'admissibilité pour la charge hydraulique

Déversement dans des eaux superficielles – charge hydraulique (rétention)		
Type de milieu récepteur	**Quotient de déversement spécifique** $V_G = V \cdot f_S \cdot f_G$ selon tableau B12	**Rétention requise**
Cours d'eau	$V_G \geq 0.1$	Non
	$V_G < 0.1$	Oui
Eaux stagnantes	non défini	Non

Tableau B14
Admissibilité du déversement d'eaux de ruissellement dans des eaux superficielles compte tenu de la charge hydraulique. *(Module B, page 43)*

Remarques

- **Installations de rétention :**
  Pour planifier et réaliser des installations de rétention, voir le module « Dimensionnement et conception » de la présente publication.
- **Lits bétonnés :**
  Dans le cas des cours d'eau présentant un lit bétonné, il n'y a pas lieu d'exiger une rétention pour des raisons de protection des eaux, à moins que des tronçons en aval ayant un lit naturel ne puissent être menacés.
- **Seuil minimal :**
  Lorsque la quantité d'eaux de ruissellement déversées est $Q_E \leq 20$ l/s, la rétention peut être omise.
- **Protection contre les crues :**
  Les mesures de rétention destinées à prévenir les crues ne sont pas l'objet de la présente directive ; elles seront au besoin étudiées indépendamment.
- **Valeur V_G proche de 0.1 :**
  Si le quotient de déversement est proche de 0.1, les facteurs spécifiques du cours doivent être examinés de plus près et devront, au besoin, être déterminés de façon plus précise.
- **Exigences issues des planifications d'ordre supérieur :**
  Si les planifications d'ordre supérieur telles que PGEE, PGGE intercommunal ou PREE comportent des exigences en matière de rétention reposant sur une étude plus poussée de la sensibilité des eaux à la charge hydraulique ou pour des canalisations d'eaux de ruissellement déjà à capacité maximale, ces exigences sont déterminantes.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

6 TRAITEMENT DES EAUX DE RUISSELLEMENT

6.1 Niveaux d'exigences

Tableau B15
Degrés d'efficacité exigés pour les différents niveaux d'exigences.
(Module B, page 46)

Exigence	Degrés d'efficacité exigés			
	Charge hydraulique	MES	Métaux (cuivre, zinc)	Pesticides (Mecoprop, Diuron)
Standard	≥ 90 %	≥ 80 %	≥ 70 %	≥ 70 %
Élevé	≥ 90 %	≥ 90 %	≥ 90 %	≥ 90 %
Réduit*	≥ 90 %	≥ 70 %	–	–

* Ce niveau d'exigences n'est admissible que pour des eaux de chaussée non mélangée et uniquement dans certains cas (voir Tableau B13). C'est pourquoi seules les exigences de la norme SN 640 361 ont été reprises.

6.2 Sélection d'installations de traitement appropriées

Tableau B16
Listes des installations de traitement contrôlées.
(Module B, page 47)

Type d'installation	Bref descriptif	Listes avec installations $B_{standard}$ et $B_{élevé}$
Installations compactes décentralisées	Ces installations se caractérisent par un mode de construction standardisé ; les fabricants les proposent et les livrent sous la forme de systèmes complets préfabriqués. La surface raccordée à un module d'installation est en règle générale inférieure à 2000 m^2 [395]. Des installations typiques sont des systèmes de chambres ou de rigoles destinés à retenir les substances particulaires et dissoutes dans les eaux de ruissellement des classes de pollution faible à moyenne.	→ Liste A: www.vsa.ch/adsorber Les installations figurant dans cette liste ont été contrôlées conformément à l'essai de performances « Adsorbants » du VSA [156].
Installations centralisées	Ces installations sont dimensionnées en fonction de l'application. Il s'agit, par exemple, des cuvettes-rigoles, des bassins de rétention filtrants avec une couche de sol filtrante ou d'autres matériaux filtrants, des grandes installations techniques telles que bassins de décantation avec filtre en tissu.	→ Liste B: www.vsa.ch/adsorber Pour des eaux de chaussée uniquement, le choix de l'installation repose sur la norme S 640 361 (ou la directive de l'OFROU [56] pour les routes nationales).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7 INSTALLATIONS D'INFILTRATION DES EAUX PLUVIALES

7.1 Structure du sol pour l'infiltration des eaux des biens-fonds

Exigence fond. 1 : couverture végétale continue, couverture végétale permanente extensive		
Exigence fond. 2 : Sous-sol perméable (valeur cible : inondation de max. 48h)		
Exigence fond. 3 : épaisseur [cm]		
Épaisseur total	**Couche sup. et inf. du sous-sol :**	**≥ 30 cm** (perpendiculairement à la surface)
	Couche sup. (horizon A)	10 – 30 cm
	Couche inf. (horizon B)	Au moins différence entre épaisseur totale et épaisseur couche supérieure, facultatif si couche supérieure ≥ 30 cm
Autres critères		
Composition	Teneur en argile [%]	10 – 20 %, exceptionnellement 5 – 25 %
	Teneur en matière organique (contenu humique)	**Couche sup. :** «faiblement humique» à «humique» **Couche inf. :** plus faible que dans la couche sup (max. 1 %) dans les deux cas, ne pas rajouter de substances additionnelles (p. ex. compost)
	pH	La différence de pH entre la couche sup. et la couche inf. ne doit pas freiner la croissance (d'une manière général > 5)

Tableau DA1
Exigences relatives à la constitution de la structure du sol pour l'infiltration surfacique d'eaux de ruissellement provenant de biens-fonds.
(Module DA, page 14)

7.2 Types d'infiltration

7.2.1 Collecte et répartition pour l'infiltration superficielle

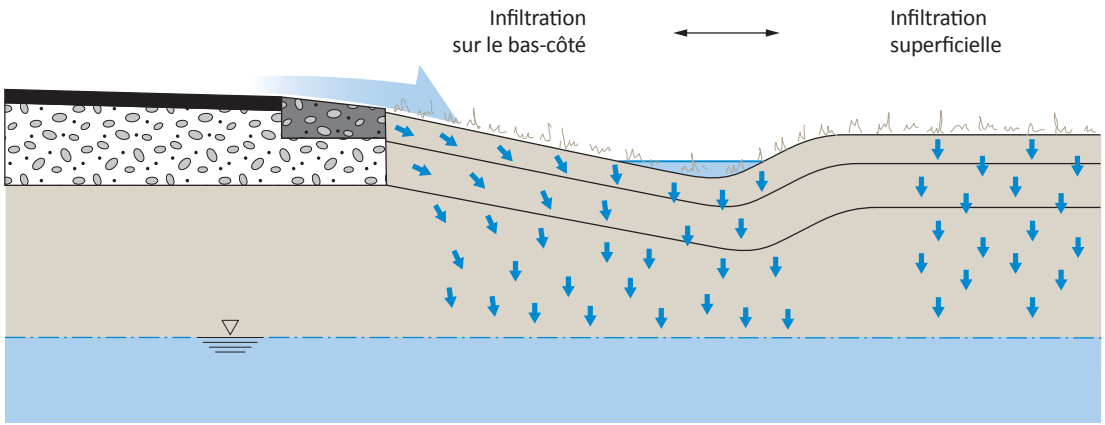
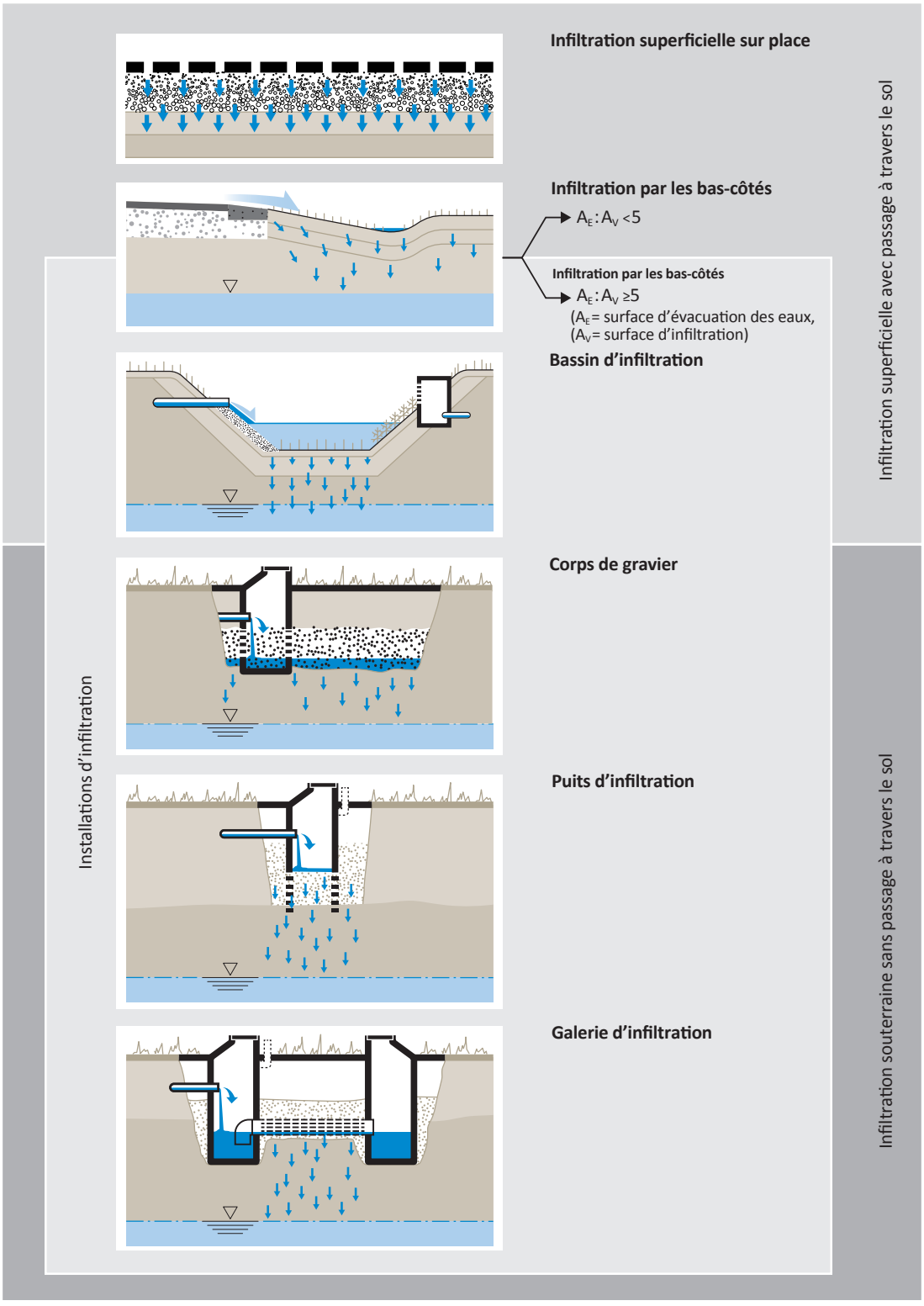


Figure DA3
chemins d'écoulement sur les bas-côtés et infiltration superficielle.
(Module DA, page 16)

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7.2.2 Collecte et infiltration dans une installation d'infiltration§

Figure DA5
Différents types d'infiltration.
(Module DA, page 18)



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7.3 Aménagement de surfaces perméables

7.3.1 Gravier engazonné

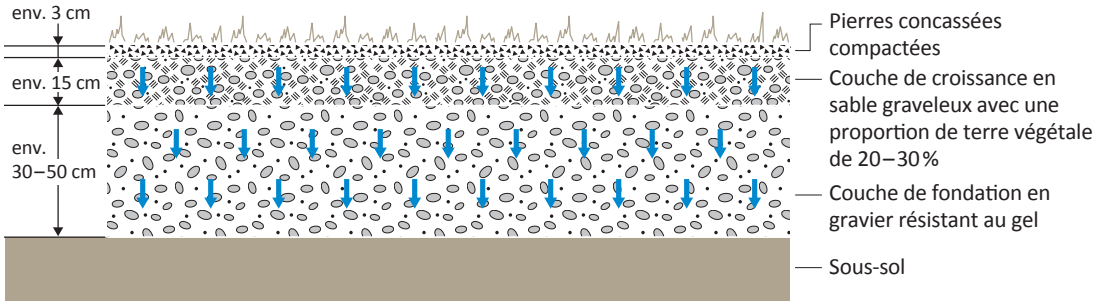


Figure DA6
Gravier engazonné.
(Module DA, page 19)

7.3.2 Dalles ajourées, pavés, dalles poreuses

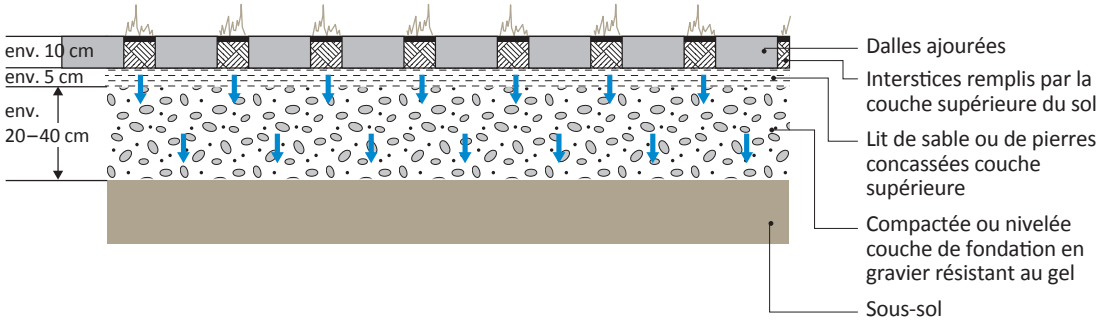


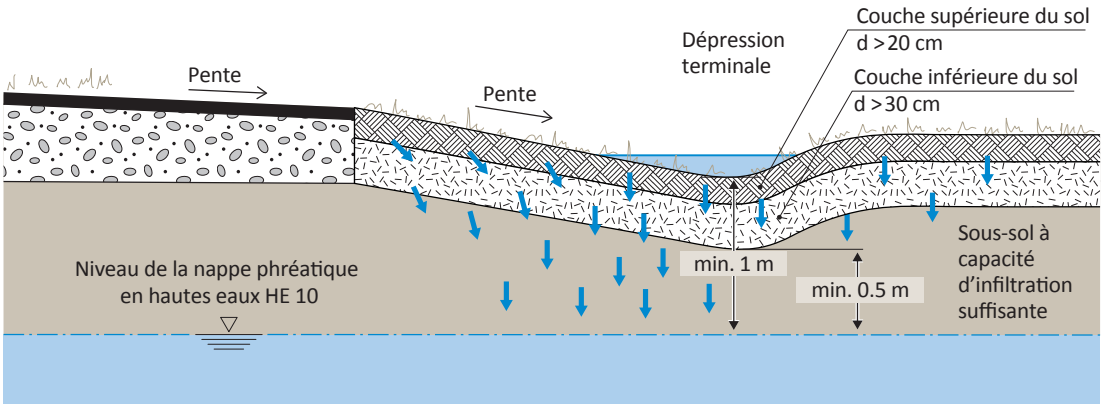
Figure DA7
Dalles ajourées.
(Module DA, page 20)

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7.4 Construction d'installations d'infiltration avec passage à travers le sol

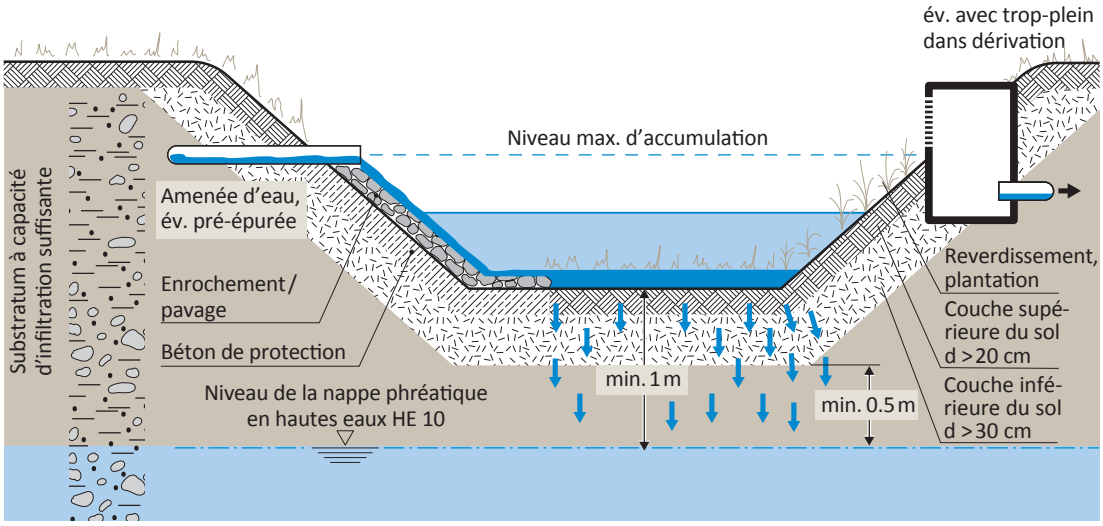
7.4.1 Infiltration «dans les bas-côtés»

Figure DA8
Infiltration concentrée par les bas-côtés ($A_E : A_V \geq 5$).
(Module DA, page 21)



7.4.2 Bassin d'infiltration

Figure DA9
Infiltration concentrée ($A_E : A_V \geq 5$) dans un bassin d'infiltration.
(Module DA, page 22)



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7.5 Construction d'installations d'infiltration sans passage à travers le sol

7.5.1 Corps de gravier

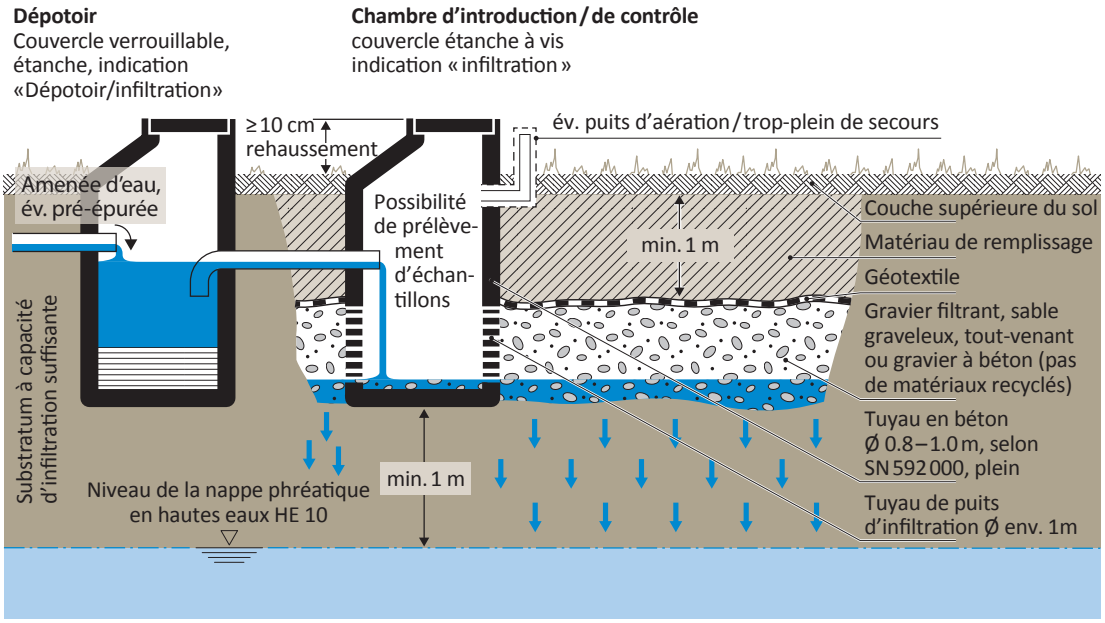


Figure DA10
Corps de gravier.
(Module DA, page 24)

7.5.2 Puits d'infiltration

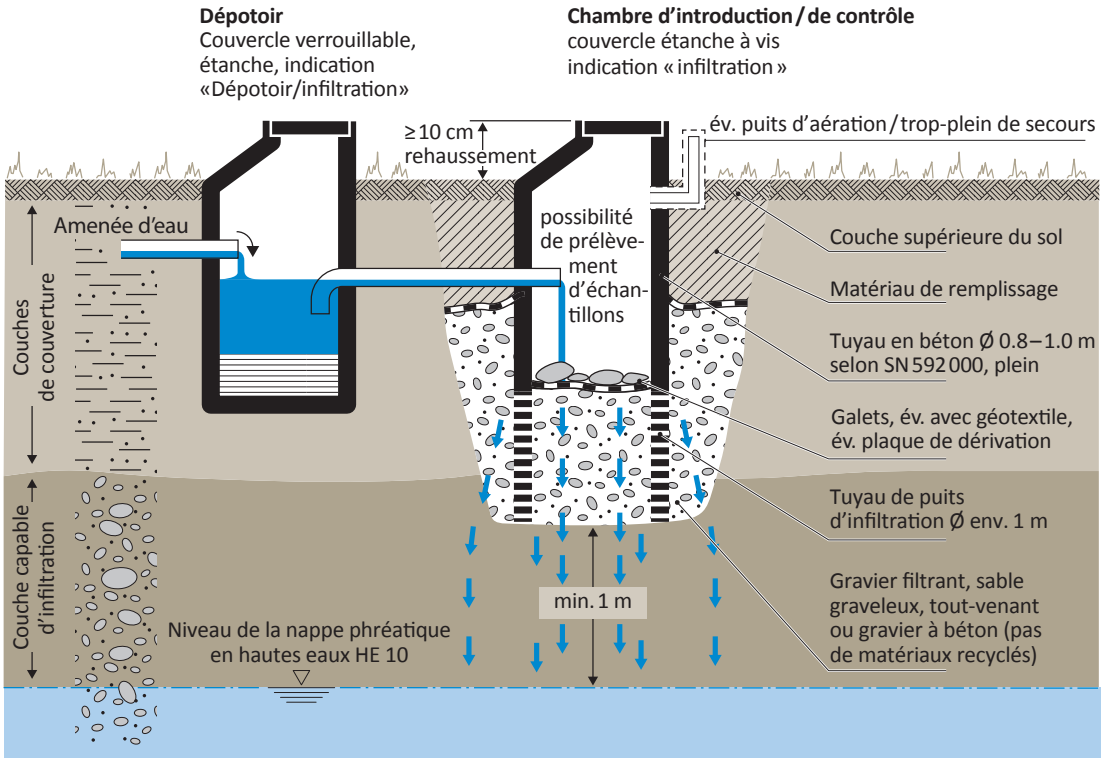
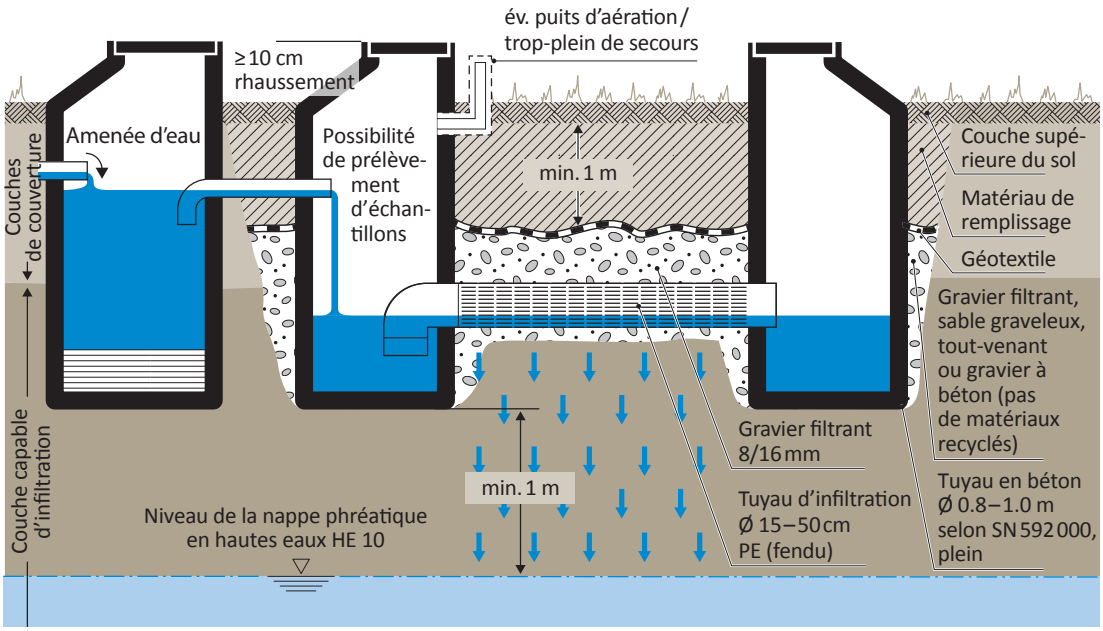


Figure DA11
Puits d'infiltration.
(Module DA, page 25)

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

7.5.3 Galerie d'infiltration

Figure DA12
Galerie d'infiltration.
(Module DA, page 26)



7.6 Dimensionnement des installations d'infiltration

7.6.1 Principes

Tableau DA2
Ordre de grandeur des temps de retour de dimensionnement des installations d'infiltration et de rétention, selon leur fonction.
(Module DA, page 28)

Type d'installation	Fonction	Temps de retour z comme ordre de grandeur pour classement de l'installation
Infiltration avec / sans rétention	Bouclage du cycle de l'eau, réalimentation de nappe selon LEaux Art. 43	< z1 à z10 Il faut infiltrer autant que possible selon le contexte (cas normal)
Rétention avec / sans infiltration en système unitaire	Réduction des pointes de débit	A déterminer selon capacité disponible dans le réseau aval (selon PGEE, PGEEi, PREE)
Rétention avec / sans infiltration en système séparatif	Réduction du stress hydraulique lors de rejet dans une eau de surface	z2, z1, voire < z1 Voir indications dans le module de base et les prescriptions d'immission dans le module STORM
Installation de traitement avec / sans rétention	(Pré)traitement des eaux de ruissellement, réduction des rejets de certaines substances (concentrations ou charges) dans les eaux de surface, dans une installation de traitement ou d'infiltration.	η_{tot} = 70–90 % Rendement global en terme de rétention des polluants (p. ex. 80 % ou 90 % de la charge polluante annuelle moyenne doit être traitée) η_{hyd} = 90 % rendement hydraulique, pour r_i entre 18–20 l/s ha, soit z < 1

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

8 INSTALLATIONS DE RÉTENTION DES EAUX PLUVIALES

8.1 Types de mesures de rétention

Distinction	Caractère	Transcription, objectif	Débit de dimensionnement (débit sortant q_{ab})
Selon l'objectif	écologique	Mesure de réduction des impacts de l'imperméabilisation superficielle.	Selon le débit du bassin versant dans son état originel non revêtu. Détermination p. ex. sur la base du principe «débit de base» avec un q_{ab} = 10 l/s par ha d'un BV naturel (herbe, prairie)
	sécuritaire	Moyen de décharger une installation d'infiltration ou un réseau de canalisations surchargé.	Selon la capacité d'infiltration de l'installation d'infiltration Selon les nécessités du calcul du réseau hydraulique des canalisations
Selon le lieu	directement sur place	Rétention directement sur les surfaces réceptrices des eaux pluviales.	
	dans une installation	Collecte et évacuation des eaux de ruissellement dans une installation de rétention.	
Selon la taille du bassin-versant	décentralisée	Au niveau de la parcelle ou du bien-fond (propriétaire privé)	
	centralisée	A l'échelle du quartier ou du secteur de canalisations (propriétaire en général : commune)	

Tableau DA3
Différents types d'installations de rétention.
(Module DA, page 33)

8.1.1 Rétention sur les toits

Revêtement de toit	Gravier	Gazon gravier	Toit à végétalisation extensive
coeff. écoulement ψ_s	0.80	0.55	0.10 – 0.70

Tableau DA4
Coefficients d'écoulement de toitures de toits [101].
(Module DA, page 34)

8.1.2 Fossés

Fossés le long de	Profondeur H	Largeur B
Routes	1.0 à 1.5 m	3 à 5 H
Places, agglomérations	0.2 à 0.5 m	10 à 20 H
La pente longitudinale ne devrait pas excéder 0.5 %.		

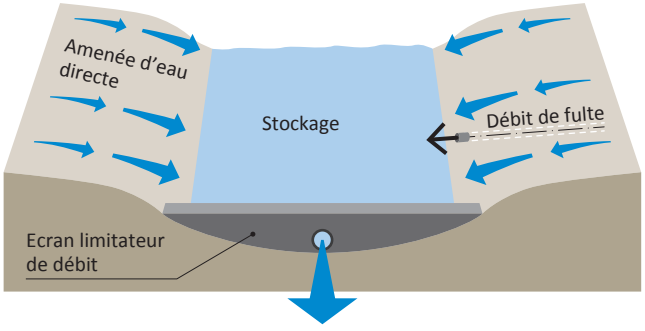


Figure DA16
Représentation schématique d'un fossé et données de dimensionnement.
(Module DA, page 35)

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

9 DIAGRAMMES GÉNÉRAUX de dimensionnement de petites installations d'infiltration et de rétention, selon SN 640 350 (édition 2000)

Figure DA21a–f
Diagrammes généraux de dimensionnement de petites installations de rétention, selon SN 640 350 (édition 2000) (q_{ab} > 5 l/s · $ha_{réd}$, durée de pluie déterminante <60 min). *(Module DA, page 44 à page 46)*

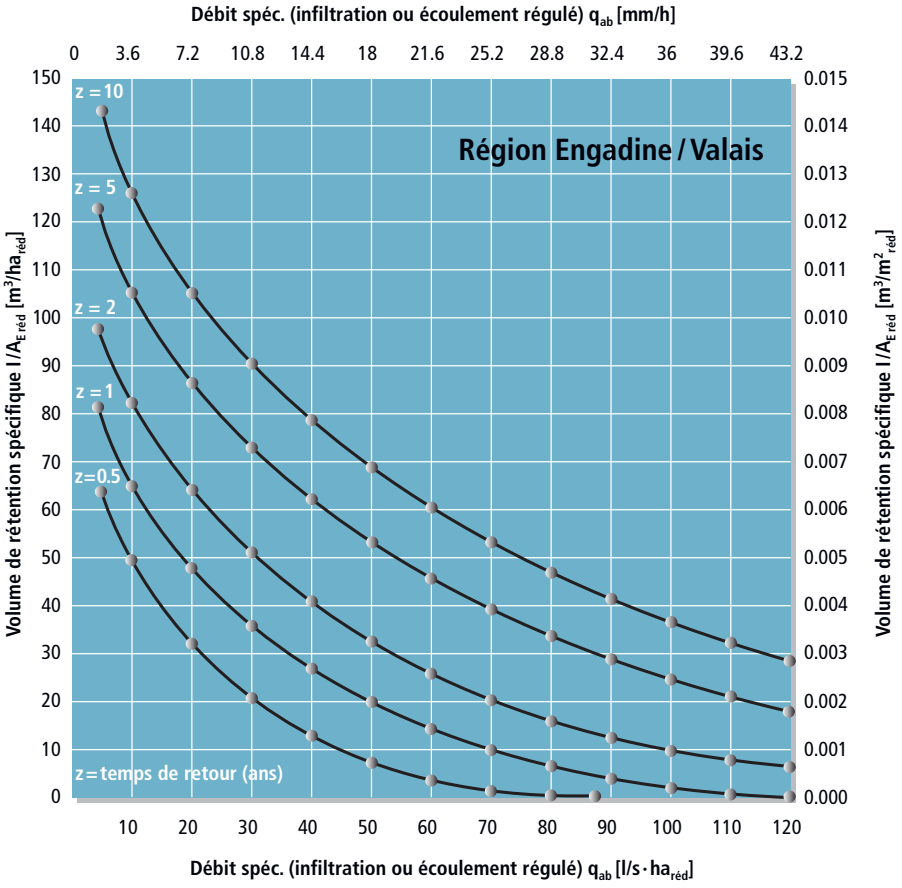


Figure DA21a
Région Engadine/Valais.

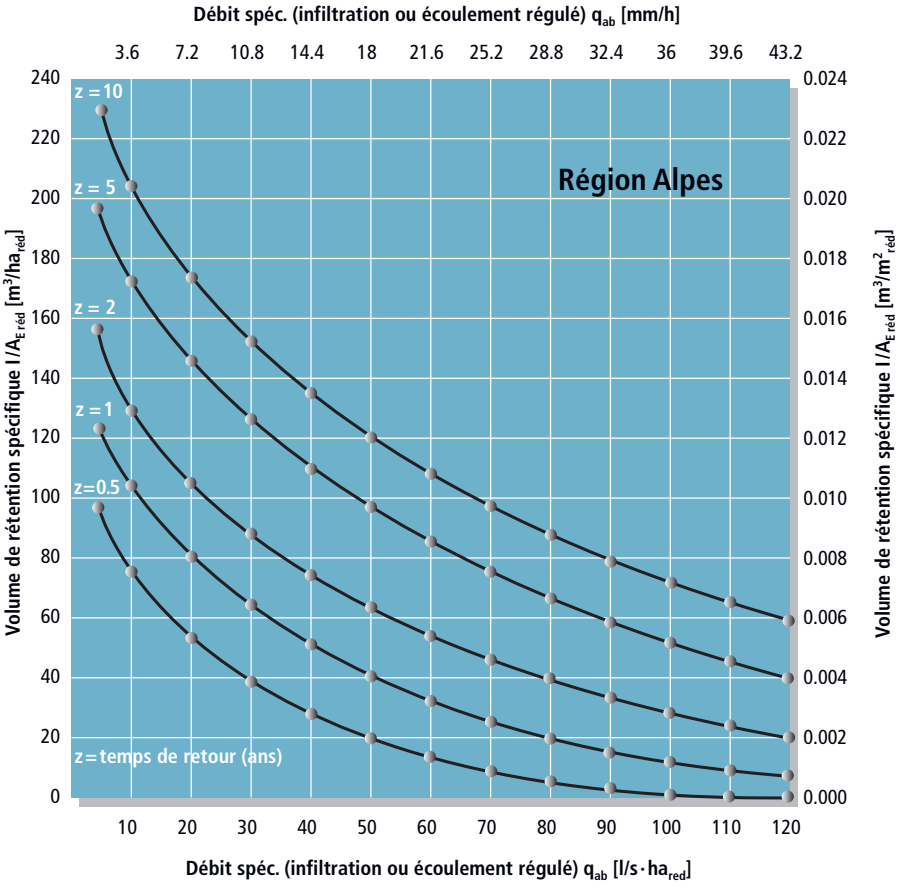


Figure DA21b
Région Alpes.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

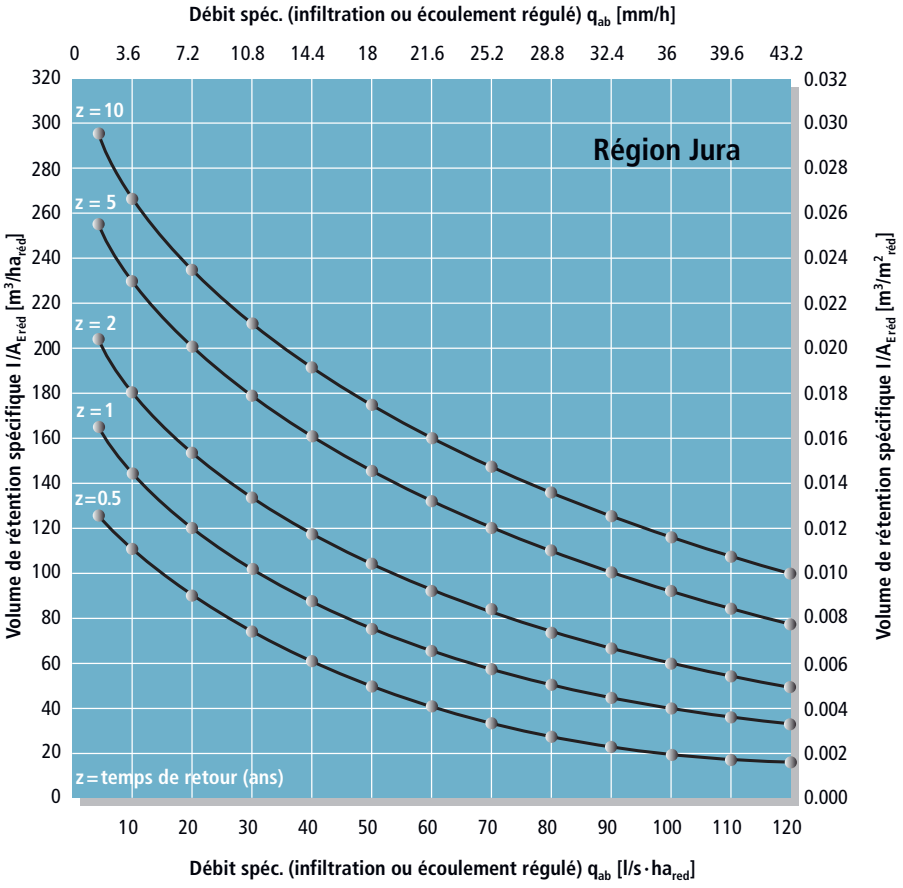


Figure DA21c
Région Jura.

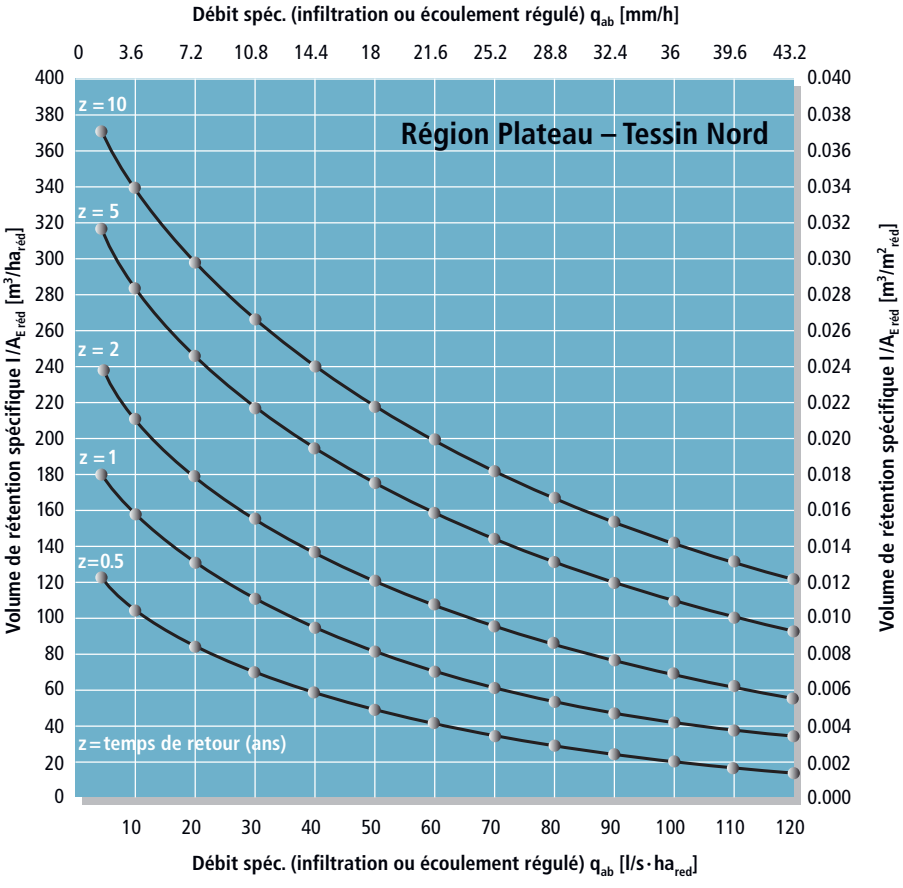


Figure DA21d
Région Plateau – Tessin Nord.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Figure DA21e
Région Préalpes.

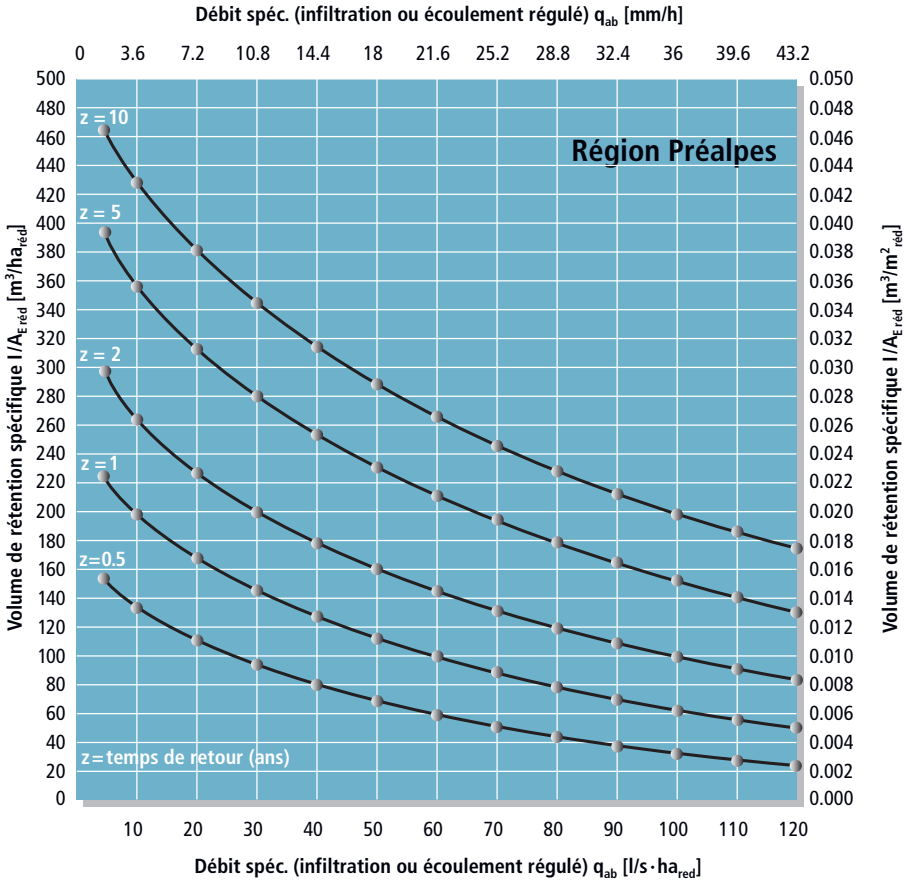
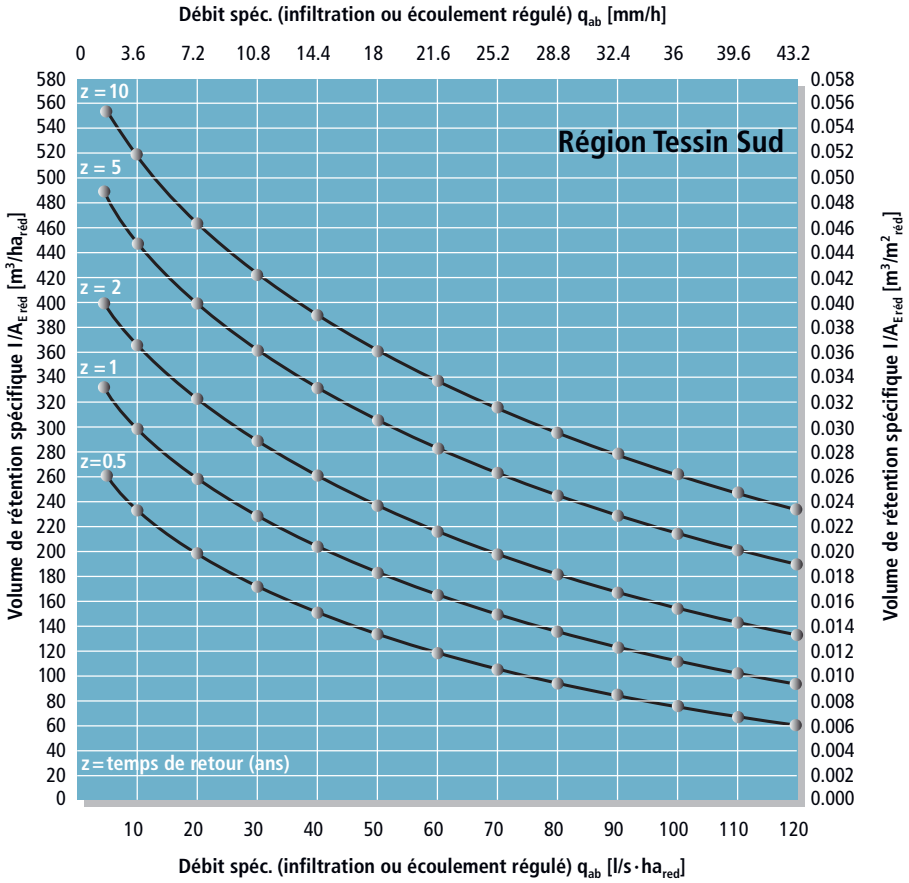
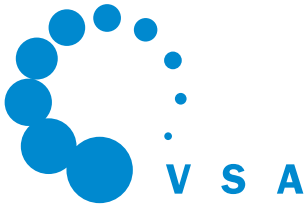


Figure DA21f
Région Tessin sud.



lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020



Association suisse des professionnels
de la protection des eaux (VSA)
Europastrasse 3
Case postale, 8152 Glattbrugg
sekretariat@vsa.ch
www.vsa.ch
Tel. 043 343 70 70

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

KBOB
Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics KBOB

Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque
Swiss Water Association
VSA

EMPFEHLUNG • RECOMMANDATION • EMPFEHLUNG • RECOMMANDATION • EMPFEHLUNG • RECOMMANDATION • EMPFEHLUNG
Nachhaltiges Bauen • Construction Durable • Nachhaltiges Bauen • Construction Durable • Nachhaltiges Bauen • Construction Durable • Nachhaltiges Bauen

Infiltration et rétention des eaux pluviales en milieu bâti

2019/1

Saviez-vous que...

… vous pouvez contribuer à une utilisation durable des eaux souterraines par l'aménagement des surfaces et l'infiltration des eaux pluviales?

… l'infiltration des eaux pluviales à travers une couche d'humus protège les eaux souterraines et les cours d'eau des polluants tout en bouclant le cycle hydrologique naturel?

… vous pouvez ainsi désengorger les canalisations et limiter, voire empêcher les inondations dans les zones résidentielles?

… vous pouvez influencer positivement le microclimat grâce à l'infiltration des eaux pluviales et, ainsi, contribuer à la réduction des îlots de chaleur et de la sécheresse en milieu bâti?

Contexte

En Suisse, la législation impose que **les eaux non polluées soient évacuées par infiltration**. Au niveau des communes, la nécessité et les modalités d'une infiltration sont définies pour chaque bien-fonds dans le plan général d'évacuation des eaux (PGEE). Lorsqu'une infiltration n'est pas possible ou ne l'est que de façon restreinte, il convient d'aménager une solution de rejet dans les eaux de surface.

La mise en œuvre des dispositions est réglementée par la **directive «Gestion des eaux urbaines par temps de pluie» (VSA, 2019)**. Cette directive fournit des outils pour déterminer si des eaux peuvent être considérées comme non polluées et, ainsi, être infiltrées. La présente recommandation illustre, à l'aide d'exemples de bonnes pratiques, les consignes de la directive VSA en matière d'évacuation des eaux de biens-fonds.

Illustration 1: Exemple d'un bassin d'infiltration bien intégré dans l'aménagement du quartier

But et public cible de la présente recommandation

La présente recommandation décrit exclusivement la gestion des eaux non polluées.

Elle offre:

- une vue d'ensemble des possibilités d'infiltration des eaux pluviales qu'il convient de promouvoir en milieu bâti à l'aide d'exemples de bonnes pratiques;
- des instructions simples pour une gestion des eaux pluviales en milieu bâti conforme au droit et optimale du point de vue de la protection des eaux;
- des informations sur les possibilités de vérifications approfondies par des spécialistes.

La présente recommandation s'adresse aux maîtres d'ouvrage publics et privés, aux architectes, aux planificateurs et aux autorités communales.

Important:

Le plan général d'évacuation des eaux (PGEE) de chaque commune définit les modalités d'évacuation des eaux pluviales sur les biens-fonds.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Brève introduction thématique et procédure générale

Problématique

L'**étanchéité des surfaces** en milieu bâti (toits, places de stationnement, voies d'accès) empêche les eaux pluviales de s'infiltrer naturellement dans le sol.

Principes

La mesure la plus efficace pour préserver le cycle hydrologique naturel consiste à aménager des surfaces perméables dans les zones résidentielles. Les eaux pluviales peuvent ainsi s'infiltrer superficiellement sur place. L'*infiltration superficielle sur place* peut être réalisée sur tous les biens-fonds par un aménagement bien pensé des abords et, si possible, doit être préférée à d'autres solutions.

Si cela n'est pas possible, une *installation d'infiltration* constitue une bonne solution de rechange. Les installations de ce type exploitent pleinement la fonction filtrante de la couche de sol végétalisée. Les polluants contenus dans les eaux pluviales qui s'infiltrent sont retenus par le sol. L'eau ainsi purifiée rejoint la nappe phréatique.

Lorsque l'infiltration est limitée, il peut être judicieux d'aménager une *installation d'infiltration superficielle* munie d'un *déversoir* (trop-plein) pour permettre l'infiltration d'au moins une partie des eaux en cas de fortes pluies. Cette solution, qui convient aux espaces exigus, doit être discutée avec les autorités suffisamment tôt. Le déversoir doit affleurer la surface du terrain, de façon à permettre un écoulement superficiel.

Si l'infiltration superficielle n'est pas réalisable en raison d'un manque de place, il reste la possibilité d'une *installation d'infiltration sans passage à travers l'humus* ou avec rejet direct dans le sous-sol. La présente recommandation n'entre pas dans le détail de ces installations (pour de plus amples renseignements, consulter la directive du VSA).

Si l'infiltration n'est possible que de façon restreinte sur un bien-fonds, il est possible de retenir les eaux pluviales. La *rétention* permet d'accumuler une partie des eaux et de retarder leur déversement dans une installation d'infiltration afin d'optimiser le débit des eaux.

Dans les zones densément construites, il faut préférer les installations centralisées de rétention et d'infiltration aux installations décentralisées pour des raisons d'efficacité, mais aussi de coûts d'exploitation et d'entretien.

En l'absence de possibilité d'infiltration, il faut, dans la mesure du possible, déverser les eaux pluviales dans les eaux de surface. Cela nécessite une autorisation de police des eaux et, dans certaines circonstances, une rétention.

Principes de base:

- Dans les agglomérations, les eaux pluviales ne doivent pas être simplement être évacuées, mais être intégrées de façon intéressante dans la configuration des espaces grâce à une étude des plans précoce et réfléchie.
- Il est donc essentiel d'identifier dès le départ les surfaces déjà étanches dans la zone considérée, les surfaces qui devront l'être et la quantité de précipitations sur ces surfaces.
- L'entretien des installations doit être pris en compte dans le processus décisionnel.
- Dans l'idéal, les solutions exposées dans la présente recommandation devraient être intégrées dès le début dans l'étude des plans d'une construction.
- Pour ce faire, il convient de s'adresser en temps utile à des spécialistes pour la planification et les calculs en lien avec les installations d'évacuation des eaux.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Procédure sur le plan conceptuel

Concept d'évacuation des eaux	Les PGEE communaux règlent les exigences en matière d'évacuation des eaux pluviales sur les biens-fonds. Il convient d'aborder la question du plan d'évacuation des eaux avec les autorités compétentes en matière d'autorisation (en général la commune du site concerné) dès le début du projet.
Questions centrales	Où se trouvent les surfaces libres / y a-t-il de la place pour une installation d'infiltration / de rétention? Quel type d'installation est-il possible de réaliser sur la parcelle en question? Quelle surface à peu près occupera l'installation d'infiltration?

Il convient de rappeler que les modalités actuelles et prévues à l'avenir pour l'évacuation des eaux sur les biens-fonds en zone à bâtir sont réglementées de façon contraignante dans les PGEE de chaque commune. Si une infiltration est prévue, il faut absolument réserver l'espace nécessaire. La présente recommandation fournit des pistes de réflexion pour la gestion des eaux pluviales aux étapes de planification suivantes:

- Plans de zone, plans de quartier et planifications d'aménagement
- Concours d'architecture pour projets de construction publics et privés
- Études préliminaires et avant-projets

Il convient de s'adresser à des spécialistes pour obtenir un dimensionnement précis ainsi que des données hydrogéologiques et pédologiques (voir p. 5).

Évacuation des eaux de biens-fonds: exemples de bonnes pratiques

Illustration 2: Bassin de rétention intégré dans l'aménagement des abords avec déversoir (tuyau vert) donnant dans un bassin d'infiltration de l'autre côté du chemin

Tirage sur EPFL, Lausanne, 02.06.2020

Solutions standard simples pour l'infiltration et la rétention

- Végétaliser les **toitures** plates afin d'exploiter la capacité de rétention du volume disponible. Cette solution limite et retarde le débit des eaux tout en favorisant l'évaporation et la biodiversité.
- Prévoir une **infiltration à travers les bas-côtés** pour évacuer l'eau des chemins et des places.
- Aménager des **places de stationnement perméables** (par ex. gazon-gravier ou grilles-gazon) qui permettent l'infiltration en surface des eaux pluviales ou qui peuvent être utilisées comme volumes de rétention.
- **Utiliser les espaces libres et les espaces verts** pour l'infiltration superficielle ciblée des eaux pluviales s'écoulant sur les chemins et les places.

L'illustration 3 montre qu'il convient, lorsque c'est possible, d'éviter d'étanchéifier les sols de manière à laisser les eaux pluviales s'infiltrer directement dans ces surfaces.

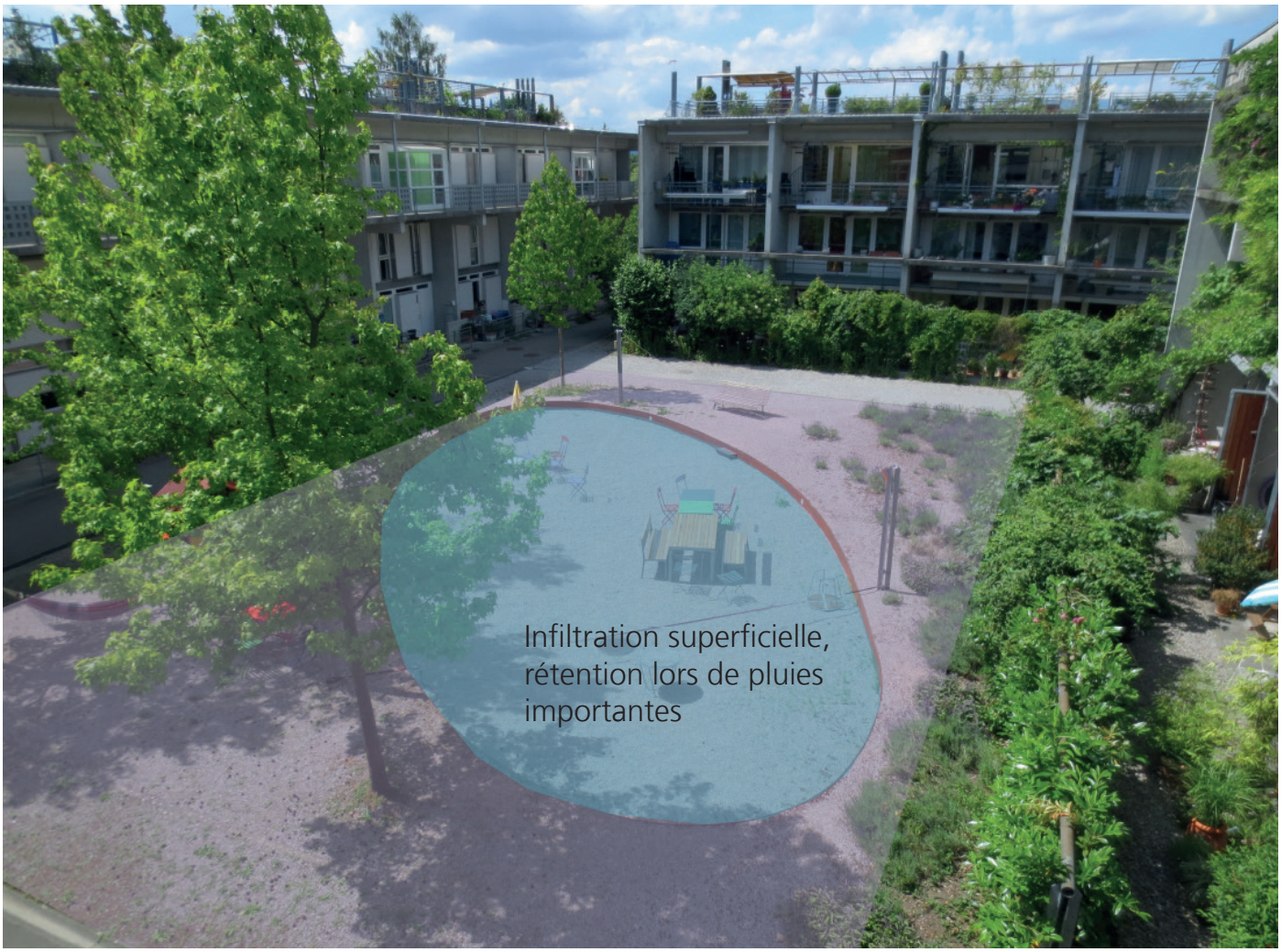
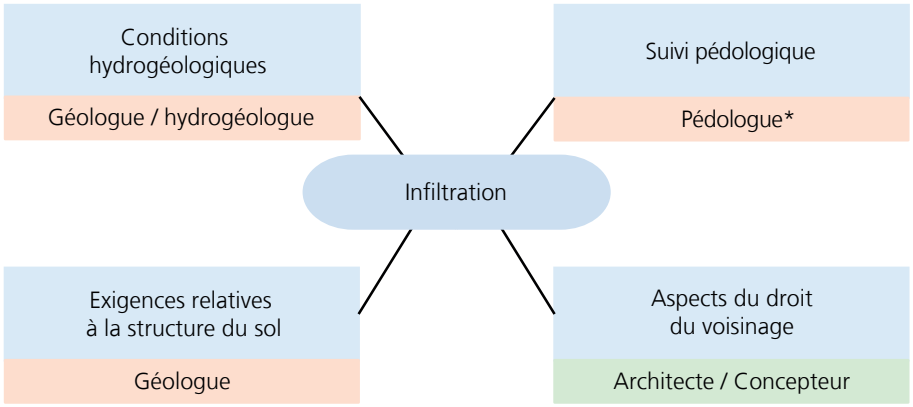


Illustration 3: Exemple d'une solution d'évacuation des eaux bien intégrée dans l'aménagement du quartier. La partie extérieure de la place a été aménagée avec du gazon-gravier (en violet) et la partie intérieure avec du gravier (en bleu). En cas de fortes pluies, cette dernière fait office de volume de rétention à court terme

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Infiltration des eaux pluviales

Des éléments techniques essentiels doivent être pris en compte par des spécialistes au niveau du processus de planification pour l'infiltration des eaux pluviales en milieu bâti.



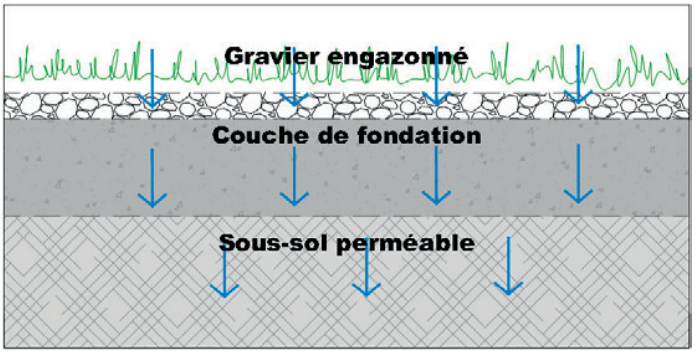
* Pédologue: spécialiste de la science des sols. Il faut faire appel à lui en cas de mouvements de terrain importants.

Le type de surface prévue pour l'évacuation des eaux et, donc, les quantités d'eau pluviale ainsi que les conditions relatives à la protection des eaux sont des facteurs déterminants pour permettre une infiltration. Les exigences précises en matière d'infiltration des eaux pluviales sont développées dans le module de base concernant la directive du VSA.

Exemples

Infiltration en surface

– **Gravier engazonné, bancs de gravier:** les surfaces de gazon-gravier et de bancs de gravier sont carrossables. On peut laisser une végétation s'y installer spontanément ou utiliser des mélanges de semences. En fonction de son épaisseur, la couche de fondation constitue un volume de rétention (supplémentaire).



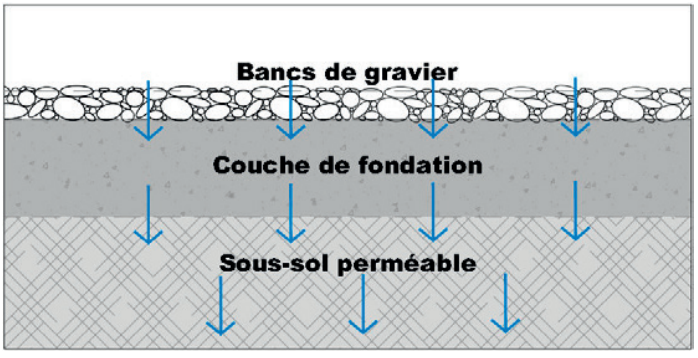
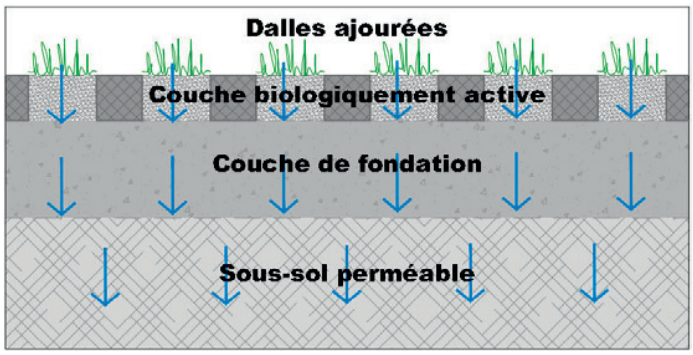


Illustration 4: Détail de la fonction du gazon-gravier et des bancs de gravier (à gauche); exemple d'une place de stationnement à base de gazon-gravier (à droite)

Izenet für EPFL,Lausanne,02.03.2020

– **Dalles ajourées, pavés, dalles en béton poreux:** les dalles ajourées en béton sont pourvues d'interstices de tailles diverses, garnis d'herbe et d'humus. D'anciennes places sont encore recouvertes de pavés entourés de végétation dans les joints. Les dalles en béton poreux sont une variante moderne des pavés. Perméables, elles laissent l'eau s'infiltrer directement.



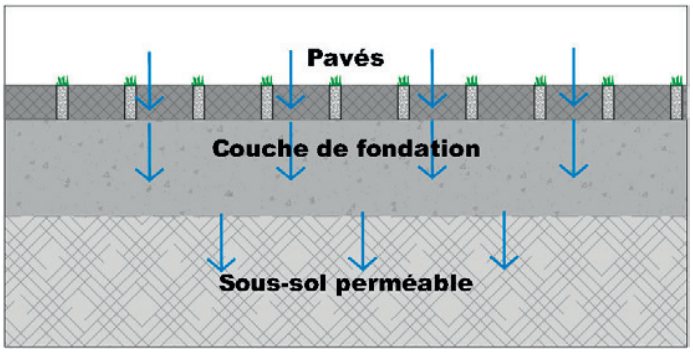


Illustration 5: Détail et photo de grilles-gazon (à gauche) et de pavés (à droite)

– **Infiltration dans les bas-côtés:** l'infiltration superficielle des eaux pluviales pas ou peu polluées se rapproche des conditions naturelles. Dans les milieux bâtis, ce type d'infiltration peut être favorisé en aménagement les espaces verts de manière adéquate. En bordure des places et des routes, les eaux de pluie peuvent être déviées pour être déversées dans les talus et les bandes de gazon environnantes afin de s'y infiltrer en surface.

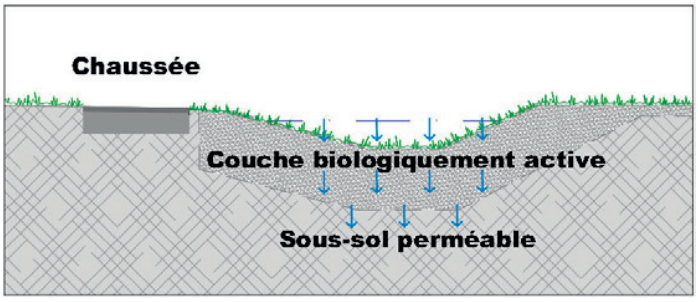


Illustration 6: Détail de l'infiltration dans les bas-côtés (à gauche) et d'un chemin piétonnier depuis lequel les eaux pluviales sont déversées dans une bande de gazon, où elles peuvent s'infiltrer en surface (à droite).

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Installation d'infiltration avec passage à travers l'humus

– **Bassin d'infiltration:** le bassin (cuvette) d'infiltration est une installation d'infiltration naturelle à haut rendement dû à son volume de rétention souvent important.

  Les eaux pluviales s'infiltrent par la couche végétalisée, qui purifie l'eau de façon optimale. Grâce à sa capacité de rétention, un bassin d'infiltration peut aussi être aménagé lorsque la capacité d'infiltration du sous-sol est limitée.
  En temps normal, les bassins sont vides. Ils se remplissent en cas de précipitations. Une partie du bassin peut être étanchéifiée et transformée en biotope dans le cadre de l'aménagement des abords (voir illustration 12).

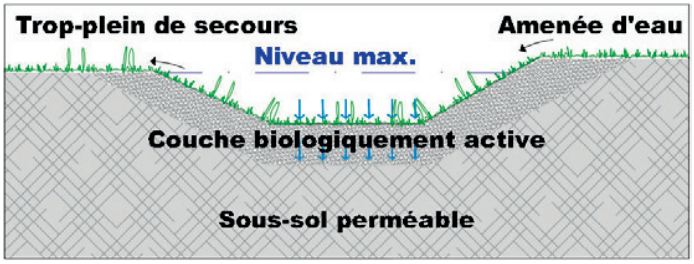


Illustration 7: Schéma de fonctionnement d'un bassin d'infiltration (à gauche) et exemples d'aménagement en zone résidentielle (à droite). Le croquis détaillé d'un bassin d'infiltration se trouve dans le module DA (Ill. 9) de la directive du VSA

Déversement superficiel jusqu'au site d'infiltration

Les eaux pluviales devraient rester visibles en surface depuis le moment où elles touchent terre jusqu'à leur infiltration. L'eau qui s'écoule superficiellement via les caniveaux et les fossés peut être utilisée dans les rues du quartier pour aménager les abords ou modérer le trafic.

Illustration 8: Gouttière affleurant la surface: les eaux de toiture sont acheminées en surface jusqu'au site d'infiltration (à gauche). Exemples de caniveaux dans lesquels l'eau qui s'écoule en surface est utilisée pour l'aménagement des abords (à droite)

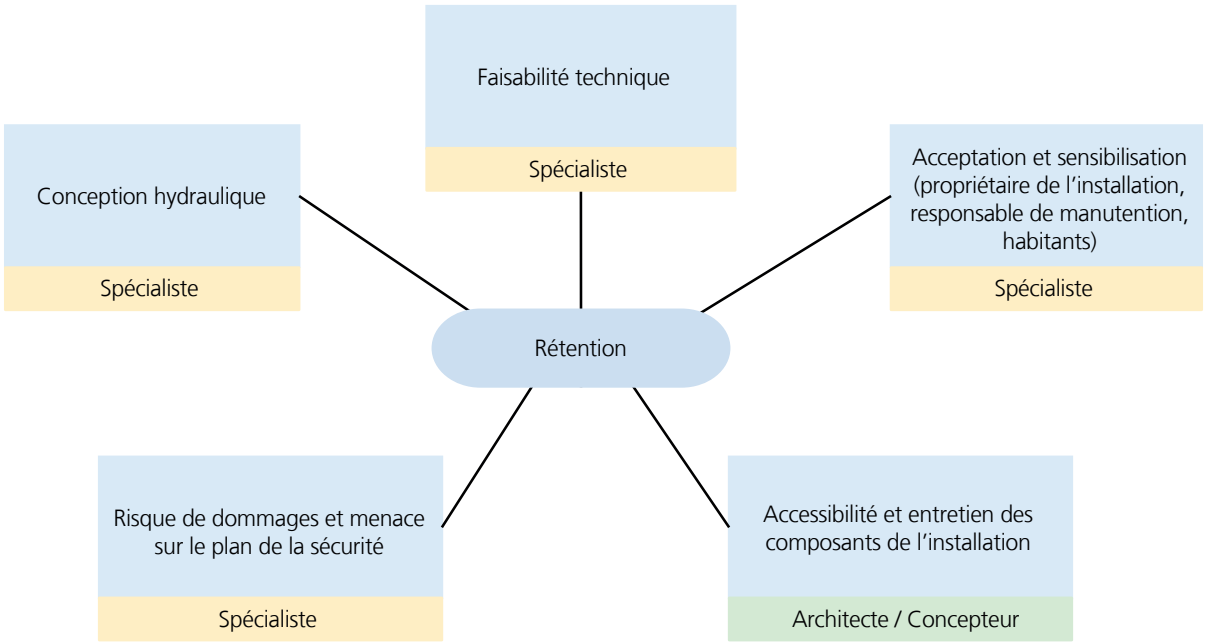
lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Installation d'infiltration sans passage à travers l'humus

S'il n'est pas possible de réaliser une infiltration superficielle (par ex. par manque de place), il convient d'examiner les possibilités d'aménager une installation d'infiltration souterraine. Ce type d'installations ne fait pas l'objet de la présente recommandation, car le déversement direct des eaux pluviales dans la nappe phréatique est soumis à des exigences particulières. Les possibilités d'aménagement ainsi que leurs avantages et inconvénients sont exposés dans la directive du VSA.

Rétention des eaux pluviales

Souvent, les surfaces disponibles en milieu bâti sont insuffisantes pour l'infiltration directe des eaux pluviales. Le cas échéant, il convient de prendre les mesures de rétention appropriées pour permettre à l'eau de s'infiltrer même dans des surfaces réduites. Il faut clarifier les points essentiels avec les spécialistes durant la phase d'études des plans.



Les exigences spécifiques en matière de rétention des eaux pluviales figurent dans la directive du VSA, module Dimensionnement et aménagement, partie A.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Exemples de rétention réussis

– **Rétention sur un toit plat:** la rétention des eaux pluviales sur les toits plats est possible. On parle alors de rétention des eaux pluviales sur place. Il convient de respecter les instructions des fabricants pour la pose des systèmes d'étanchéité, de veiller à l'aménagement correct des raccords et des écoulements et d'entretenir les installations. Dans le choix des matériaux, il est important de préférer ceux qui ne contiennent pas de pesticides. Le module de base de la directive du VSA contient des indications détaillées en la matière.

Les utilisations multiples offertes par les toits plats permettent en outre de combiner rétention des eaux, installations solaires et promotion de la biodiversité.

Illustration 9: Toit végétalisé favorisant la biodiversité (à gauche), combinaison d'un champ de fleurs et d'une installation photovoltaïque (à droite)
La rétention sur les toits offre des solutions multifonctionnelles. Les eaux pluviales sont stockées temporairement dans le sol du toit végétalisé et évacuées partiellement. La majeure partie est absorbée par les plantes ou évaporée.

– **Fossés:** les fossés le long des routes, dans les petits espaces verts ou aux abords des places de stationnement peuvent être aménagés de façon isolée ou reliés entre eux. Une partie des eaux pluviales s'y infiltrera, tandis que le surplus sera dévié dans les cours d'eau les plus proches. En l'absence de précipitations, les fossés restent secs.

Illustration 10: Exemples de fossés qui retiennent les eaux pluviales en vue de leur infiltration sur place. À gauche: fossé le long d'une rue résidentielle; à droite: petit fossé aménagé pour l'infiltration des eaux de toiture d'une propriété.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.05.2020

– **Rétention en surface:** comme les toits plats, les places de stationnement peuvent être utilisées pour retenir provisoirement les eaux pluviales. Les événements météorologiques déterminants sont les orages, dont le niveau de précipitation atteint quelques centimètres. Comme ces événements sont relativement peu fréquents, les désagréments occasionnés par l'accumulation soudaine d'eau sont acceptables pour les utilisateurs des places de parc.

Illustration 11: Évacuation de l'eau d'un parking par les bas-côtés. En cas de fortes pluies, les interstices entre les bordures en béton (à droite) font office d'organe de limitation des débits. Le parking est temporairement submergé.

– **Bassins et cuvettes de rétention:** un bassin de rétention séparé doit être aménagé lorsque la combinaison avec un bassin d'infiltration n'est pas envisageable. Dans la mesure du possible, il convient d'utiliser les cuvettes topographiques existantes ainsi que les surfaces n'étant pas réservées exclusivement à la rétention. Cette possibilité est souvent réalisable lorsque l'on prévoit déjà dans les plans de zone et de quartier une utilisation multiple des espaces verts et de loisirs En respectant les normes de sécurité, l'aménagement d'un plan d'eau permanent peut encore augmenter l'attrait de telles installations. À cet effet, il faut s'assurer que le volume sous la surface permanente de l'eau ne soit utilisé pour la rétention.

Illustration 12: Bassin de rétention et d'infiltration. Un secteur du bassin d'infiltration peut être totalement imperméabilisé et aménagé en biotope, voir exemple à droite.

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

Documentation utile

Directive «Gestion des eaux urbaines par temps de pluie», VSA, 2019 («directive du VSA»); base technique détaillée

Veuillez vous adresser aux autorités compétentes de votre canton et de votre commune pour obtenir les directives et d'autres documents d'aide à l'exécution.

Source des illustrations

Ill. 1	Commune de Köniz, Reiner Gitzel
Ill. 2	VSA, Sara Engelhard
Ill. 3	VSA, Stefan Hasler
Ill. 4 (à droite)	Commune de Köniz, Reiner Gitzel
Ill. 5 (à gauche)	Commune de Köniz, Reiner Gitzel
Ill. 5 (à droite)	HOLINGER AG, Nicole Schärer
Ill. 6 (à droite)	HOLINGER AG, Nicole Schärer
Ill. 7 (en haut à droite)	Office des eaux et des déchets (canton de Berne), Thomas Herren
Ill. 7 (en bas à droite)	HOLINGER AG, Nicole Schärer
Ill. 8 (en haut à gauche)	Ville de Zurich, ERZ
Ill. 8 (en haut à droite)	VSA, Stefan Hasler
Ill. 8 (en bas à gauche)	VSA, Stefan Hasler
Ill. 8 (en bas à droite)	VSA, Stefan Hasler
Ill. 9 (à gauche)	naturecommunication.ch / Ville de Lausanne, Benoît Renevey
Ill. 9 (à droite)	ZHAW, Nathalie Baumann
Ill. 10 (à gauche)	Office de l'environnement (canton de Soleure), Christoph Bitterli
Ill. 10 (à droite)	HOLINGER AG, Nicole Schärer
Ill. 11	Classeur «Gestion des eaux pluviales» (AR/AI)
Ill. 12 (à gauche)	Commune de Köniz, Reiner Gitzel
Ill. 12 (à droite)	VSA, Stefan Hasler

Impressum

Éditeur:
Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics (KBOB)
Secrétariat de la KBOB
OFCL Fellerstrasse 21
3003 Berne
kbob@bbl.admin.ch

Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA)
Europastrasse 3
8152 Glattbrugg
www.vsa.ch

Élaboration et rédaction:
Felix Gamper, OFCL
Paul Eggimann, KBOB
Stefanie Bertschi, KBOB
Stefan Hasler, VSA
Reto Flury, HOLINGER AG
Nicole Schärer, HOLINGER AG

Groupe de travail:
Christoph Affentranger, conseil des EPF
Reiner Gitzel, Commune de Köniz
Urs Reichmuth, commune de SZ
Bruno Stampfli, armasuisse
Stefan Schmid, AWEL, canton de Zurich

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020

lizenziert für EPFL,Lausanne,02.03.2020