

Évacuation des eaux

Cours 9 – Planification

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



Principaux éléments

- Bibliographie et historique
- Provenance des eaux usées
- Principes d'évacuation des eaux urbaines : systèmes unitaires et séparatifs
- Hydrologie urbaine
- Planification, maîtrise des crues : PGEE et PREE
- Éléments techniques du réseau

- **Loi fédérale sur la protection des eaux - LEaux** - du 25.1.91 (RS 814.20)
- **Ordonnance sur la protection des eaux - OEaux** - du 28.10.98, RS 814.201. En particulier :
 - Annexe 1 : Objectifs écologiques pour les eaux
 - Annexe 2 : Exigences relatives à la qualité des eaux
 - Annexe 3 : Exigences relatives au **déversement** d'eaux polluées
 - 3.1 Déversement d'eaux communales dans les eaux (de surface ou souterraines)
 - 3.2 Déversement des eaux industrielles dans les eaux ou les égouts publics
 - 3.3 Déversement des autres eaux dans les eaux ou les égouts publics (refroidissement, chantier, lavages tunnels ou façades, décharges, gravier, installations piscicoles, piscines)
 - Annexe 4 : Mesures d'organisation du territoire relative aux eaux (zones de protection, etc.)
- **Plan général d'évacuation des eaux (PGEE), ASPEE-VSA**
Ass. Suisse des Professionnels de l'Epuration des eaux

hiérarchie « historique » des objectifs :

Objectif 1. Protection de la santé publique:

Diminution de la fréquence des maladies liés à l'eau

Maladies diarrhéiques, maladies à vecteurs, parasites

⇒ Évacuation des eaux urbaines, principe du tout à l'égout

L'introduction de la distribution d'eau crée une forte augmentation des rejets d'eaux usées (de 20-40 à 100-400 l/hab/jour) ce qui augmente fortement les risques de santé publique

Objectif 2. Protection de l'environnement:

- Diminution du niveau de pollution des mers, lacs et cours d'eau

- Diminution de la menace pour la santé humaine

- Protection de la biodiversité

- Développement durable

⇒ **Normes de rejet, traitements**

Objectif 3. Lutte contre les crues et les étiages, optimisation des installations:

⇒ **Systèmes séparatifs:** séparation des eaux claires et usées

⇒ Hydrologie urbaine

⇒ Réinfiltration et rétention des eaux claires

- Provenance différente → caractéristiques différentes :

Eaux usées (EU) :

- eaux usées domestiques
- eaux usées industrielles = f (type d'industrie)

(ex: exploitations artisanales, industrielles, hôpitaux, laboratoires)

Eaux de ruissellement (dites « eaux claires », EC)

- eaux de ruissellement en milieux urbains = un problème de plus en plus d'actualité
- eaux de ruissellement en zone agricole
- sont considérées comme eaux claires : eaux de cours d'eau, eaux de sources, eaux de fontaines, *eaux de refroidissement et de pompes à chaleur**, eaux de drainage, trop-pleins de réservoirs d'eau potable, eaux pluviales en provenance de surfaces rendues imperméables (telles que toitures, terrasses, chemins, cours, etc.)



Sce : Syndicat du Bassin Versant de la Vilaine Amont

- **Pratique antérieure**

- « Tout à l'égout »

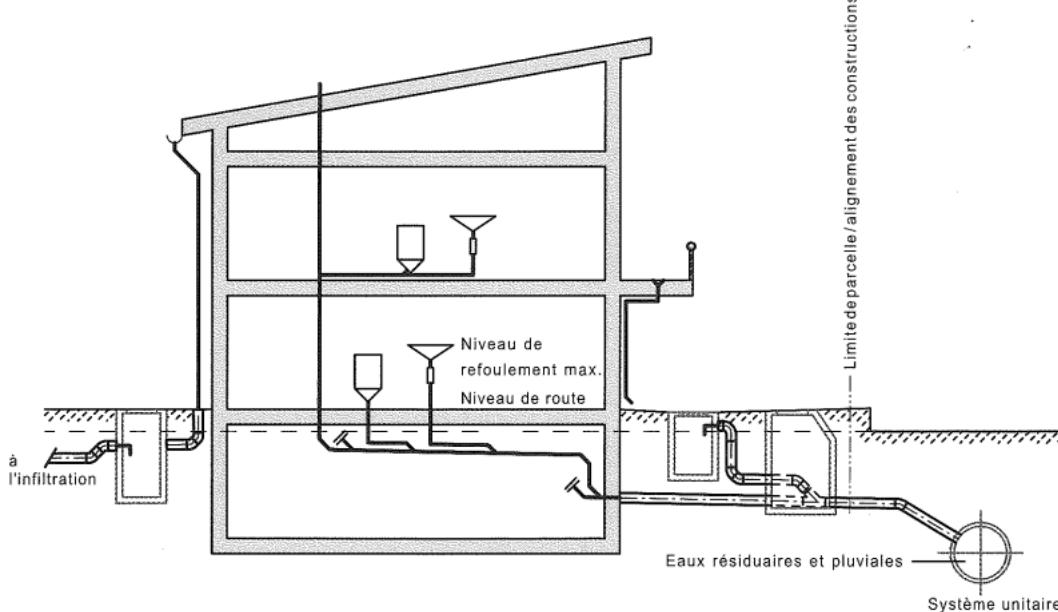
- Eaux polluées, eaux claires, eaux pluviales
 - => DO (déversoir d'orage) + évent. BEP (bassin d'eau pluviale) → milieu récepteur
 - Dysfonctionnement (traitement, gestion de la pollution)

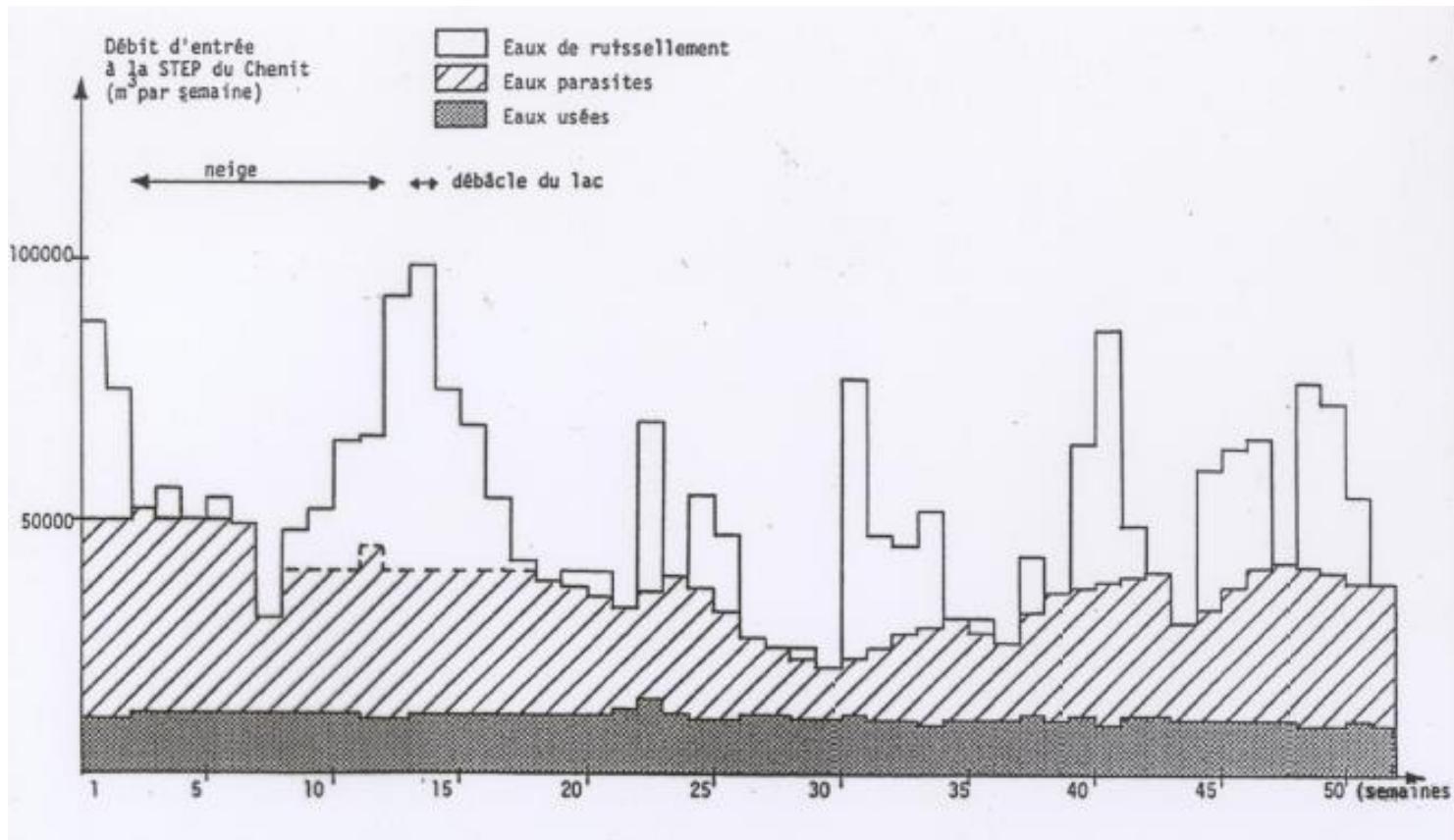
Réseau unitaire (tout à l'égout)

Eaux usées (EU) et eaux pluviales (claires) (EP) collectées dans les mêmes ouvrages

Inconvénients:

- Eau de pluie augmente les débits arrivant aux STEP (pluie, orage)
Grosses variations : $Q_{\text{temp sec}} (Q_{TS}) \ll Q_{\text{pointe}} (\text{pluie})$
- Dilution : mauvais rendement des STEP
- Dimensionnement avec débit de base et débit de pointe =>
augmentation des coûts d'ouvrage
 - > Nécessité de déversement, mauvais bilan général





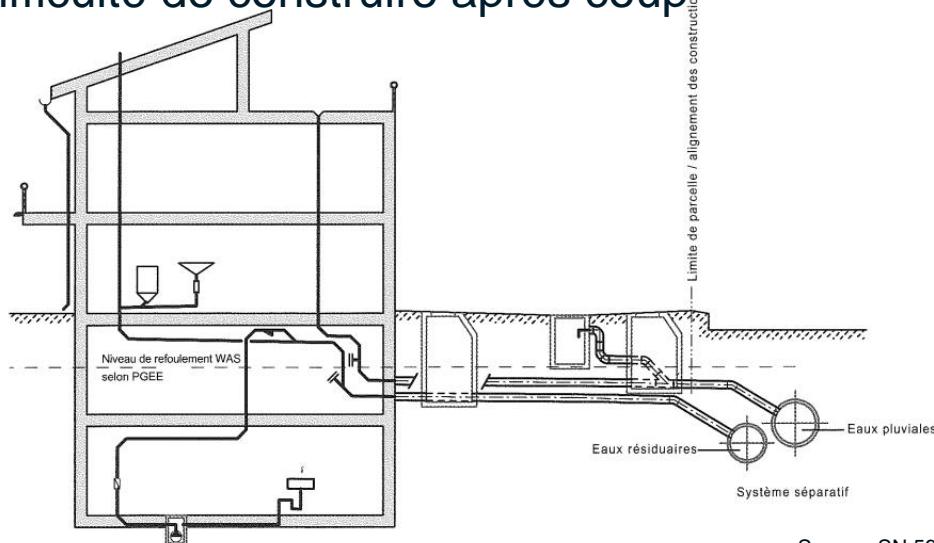
Systèmes de collecte spécialisés : un réseau pour les EU et un pour les EC

Avantages :

- Faibles variations de débit EU
- Meilleur fonctionnement des STEP
- Traitement sommaire des eaux pluviales avant rejet dans la nature :
 - décantation dans regards, chambres, bassins de décantation et sécurité d'autoroute
 - Recherche de nouvelles solutions en cours

Inconvénients :

- Double système, coûteux à la construction.
- Difficulté de construire après coup



Source: SN 592'000

Époque	Nuisance prioritaire	Matière
• 1920	Envasement	MS
• 1950	Croissance des bactéries	DBO_5
• 1965	Eutrophisation des lacs	TP
• 1975	Toxicité pour les poissons	NH_4^+
• 1980	Polluants dans l'agriculture	Métaux lourds
• 1990	Eutrophisation de la Mer du Nord	NO_3^-
• 2020	Perturbateurs endocriniens	Micropoll.

Tendances actuelles/futures :

Réduction des débits à l'amont

- Infiltration des eaux claires (LEaux, art. 7). Si pas possible
- Mesures de rétention (LEaux, art. 7)
 - **valeur admise VD : 20 l/s/ha (VD) → 2022 nouvelle directive de l'association suisse des professionnels de la protection des eaux [VSA] → Examen de l'admissibilité du rejet**

Gestion des crues et des débordements

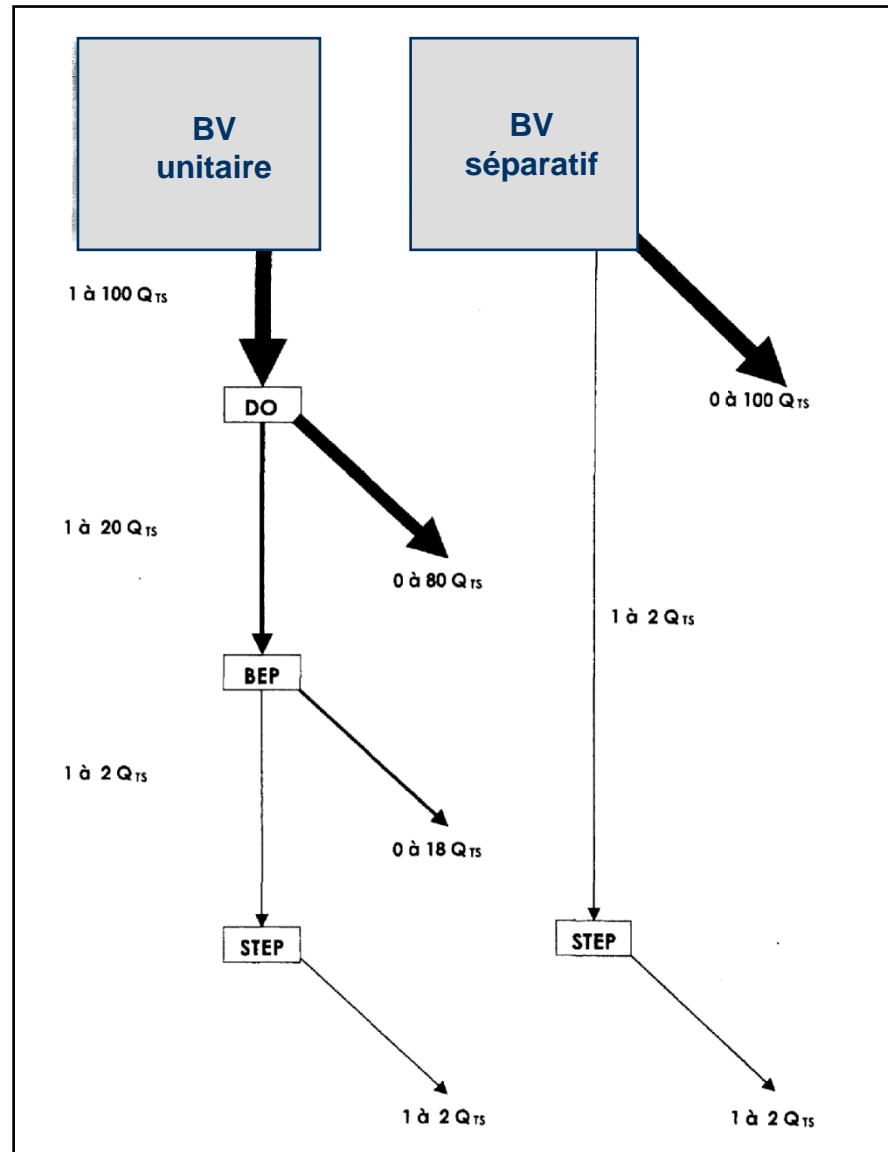
- utilisation des rues et parkings pour débordements contrôlés (urbain, villes plates)
- utilisation des zones agricoles ou non construites pour débordements contrôlés (plaines)

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets

**DO = déversoirs
d'orage (fréquents)**

**BEP = Bassins d'eaux
pluviales**

Q_{TS} = débit temps sec



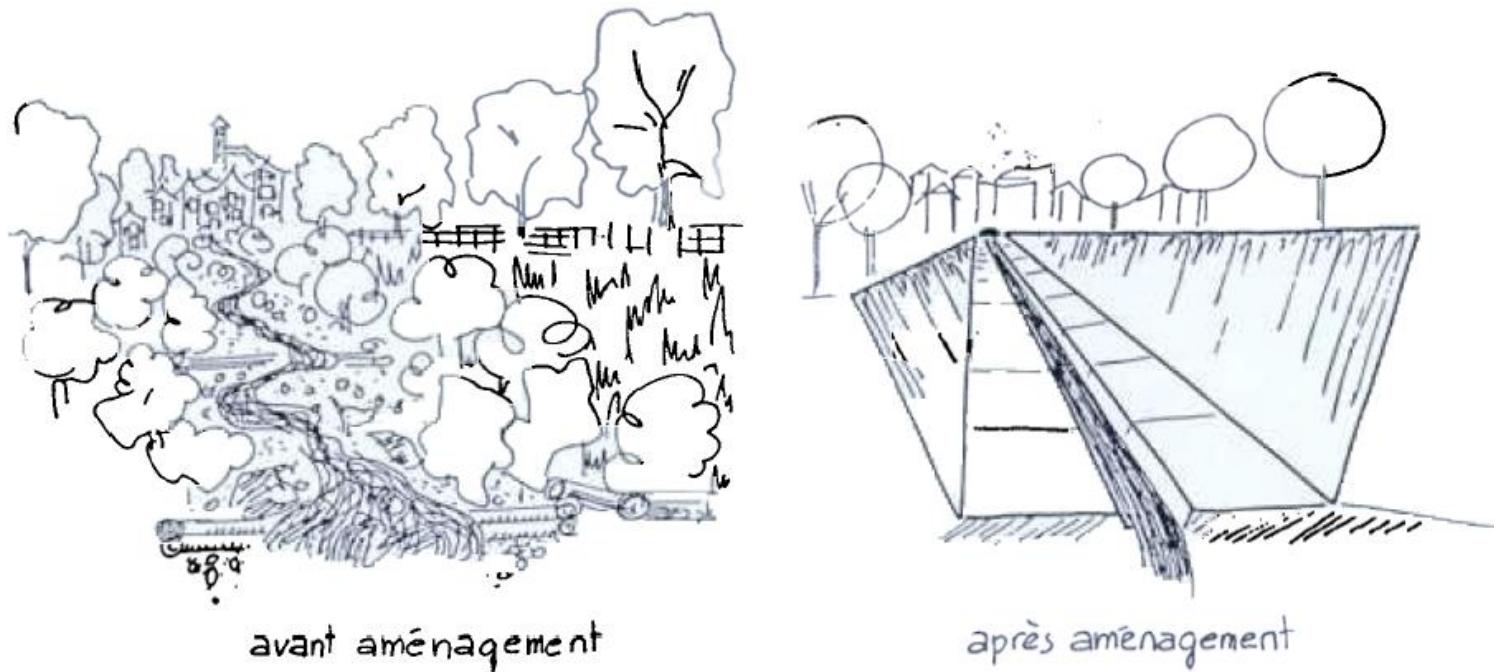
Objectifs

- Réduire les risques d'inondation
- Gérer les crues à moindre coût
- Contrecarrer les effets de l'urbanisation sur l'aval
- Réduire les effets négatifs sur les nappes et cours d'eau
- Anticiper les besoins futurs

Evolution du paysage	Effet sur les eaux de ruissellement
Etat naturel = forêts	<ul style="list-style-type: none"> - Rétention forte (arbres, sol) - Ruissellement faible et lent - Infiltration et évaporation importantes
Prés, champs	<ul style="list-style-type: none"> - Rétention diminuée - Ruissellement augmenté et accéléré - Infiltration et évaporation réduites - Augmentation des volumes ruisselés et des débits de pointe
Urbanisation, densité de construction, imperméabilisation	<ul style="list-style-type: none"> - Rétention fortement diminuée - Ruissellement fortement accéléré - Infiltration et évaporation = 0 - Augmentation forte des volumes ruisselés - Augmentation des vitesses d'écoulements - Augmentation des débits de pointe
Assainissement, canalisations, corrections de cours d'eau (digue)	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution de la rugosité - Augmentation de la vitesse d'écoulement vers laval - Augmentation des débits de pointe à laval - Crues et dégâts
Corrections : rétablissement des valeurs naturels	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction des débits évacués à environ 20 l/s/ha par rétention (toiture, infiltration artificielle ou forcée, limitation des débits) - Correction de cours d'eau avec zone d'inondation

Principes d'évacuation des eaux urbaines

Hydrologie urbaine – Effets de l'aménagement des cours d'eau



Quelles différences pour les écoulements et l'environnement ?

- diminution des temps de concentration ;
- augmentation des vitesses = Erosion ;
- diminution de l'infiltration ;
- ...

Nombreuses relations expérimentales entre intensité, durée et fréquence

Relation générale :

$$i_{(t, T)} = K T^a / (t + c)^b$$

avec K , a , b , c = paramètres locaux

t = durée de la pluie en heure

T = période ou temps de retour, en année,

Qui exprime la probabilité qu'un certain événement se produise en moyenne une fois tous les T années

Pour la Suisse, les normes VSS (Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute / Union des professionnels de la route - SN 640 350) utilisent la

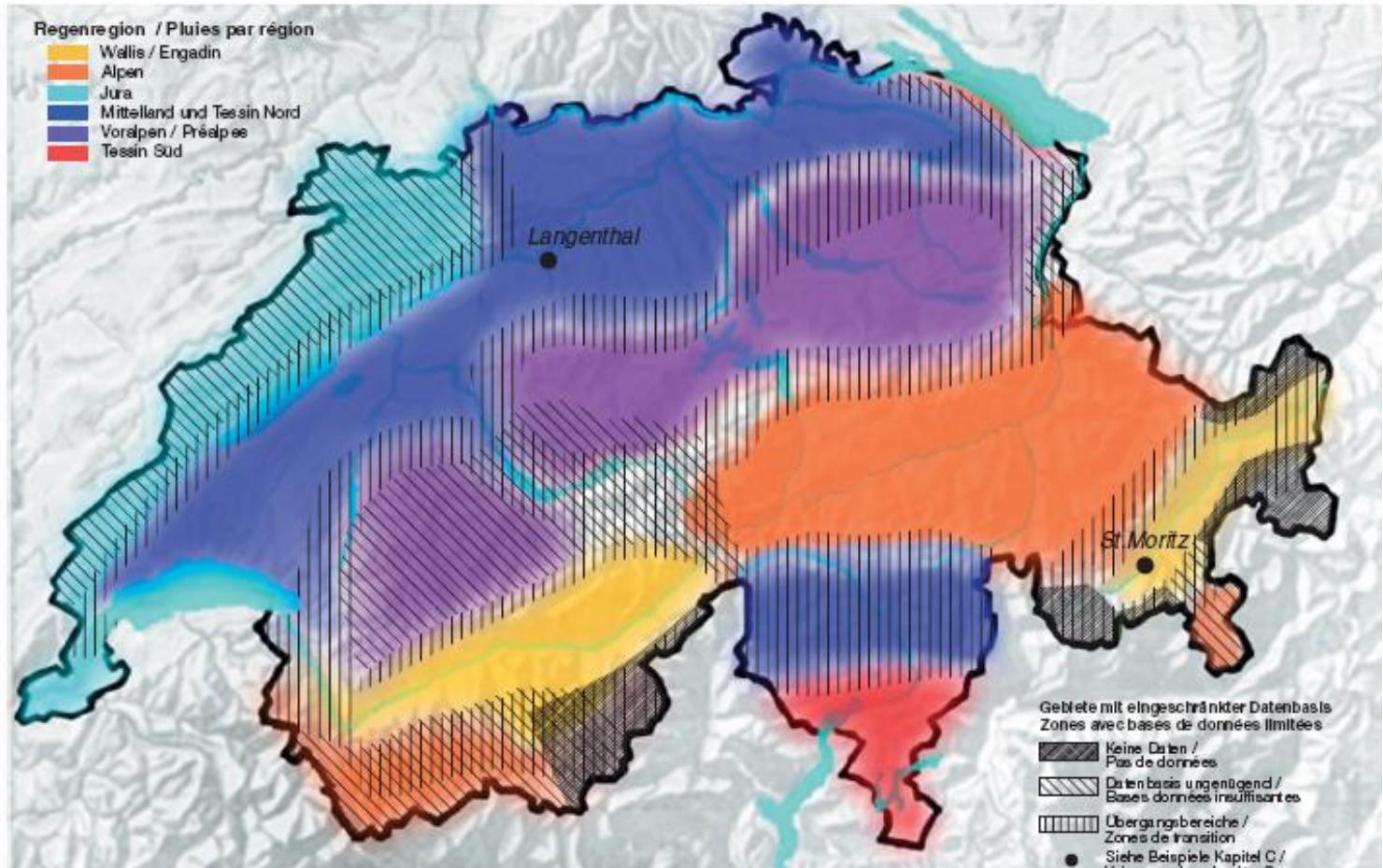
formule de Talbot :

$$i_{(t, T)} = a_T / (t + b_T)$$

i = intensité en mm/h

a_T et b_T = coefficient régionalisé

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



selon norme SNV 640350

Région	T = 1 an	T = 5 ans	T = 20 ans
Engadine/ Valais	$a = 12.38 + 1.2$ $b = 0.248 + 0.01$	$a = 16.42 + 2.3$ $b = 0.173 + 0.03$	$a = 20.21 + 3.2$ $b = 0.148 + 0.03$
Alpes	$a = 17.80 + 0.1$ $b = 0.263 - 0.03$	$a = 25.61 + 0.6$ $b = 0.215 - 0.02$	$a = 32.55 + 1.7$ $b = 0.198 - 0.01$
Jura	$a = 21.49 + 1.7$ $b = 0.193 - 0.02$	$a = 31.66 + 2.4$ $b = 0.187 - 0.03$	$a = 40.48 + 3.0$ $b = 0.185 - 0.04$
Plateau/ Tessin Nord	$a = 23.61 + 1.1$ $b = 0.219 + 0.0$	$a = 39.02 + 1.9$ $b = 0.241 + 0.0$	$a = 52.29 + 2.9$ $b = 0.251 - 0.01$
Préalpes	$a = 28.60 + 3.1$ $b = 0.224 + 0.02$	$a = 48.33 + 7.0$ $b = 0.257 + 0.03$	$a = 67.21 + 10.7$ $b = 0.284 + 0.04$
Tessin Sud	$a = 41.91 + 3.4$ $b = 0.268 - 0.01$	$a = 59.47 + 6.4$ $b = 0.264 - 0.03$	$a = 74.40 + 9.0$ $b = 0.261 - 0.04$

Principes d'évacuation des eaux urbaines

Hydrologie urbaine - Pluies - Courbes IDF T1

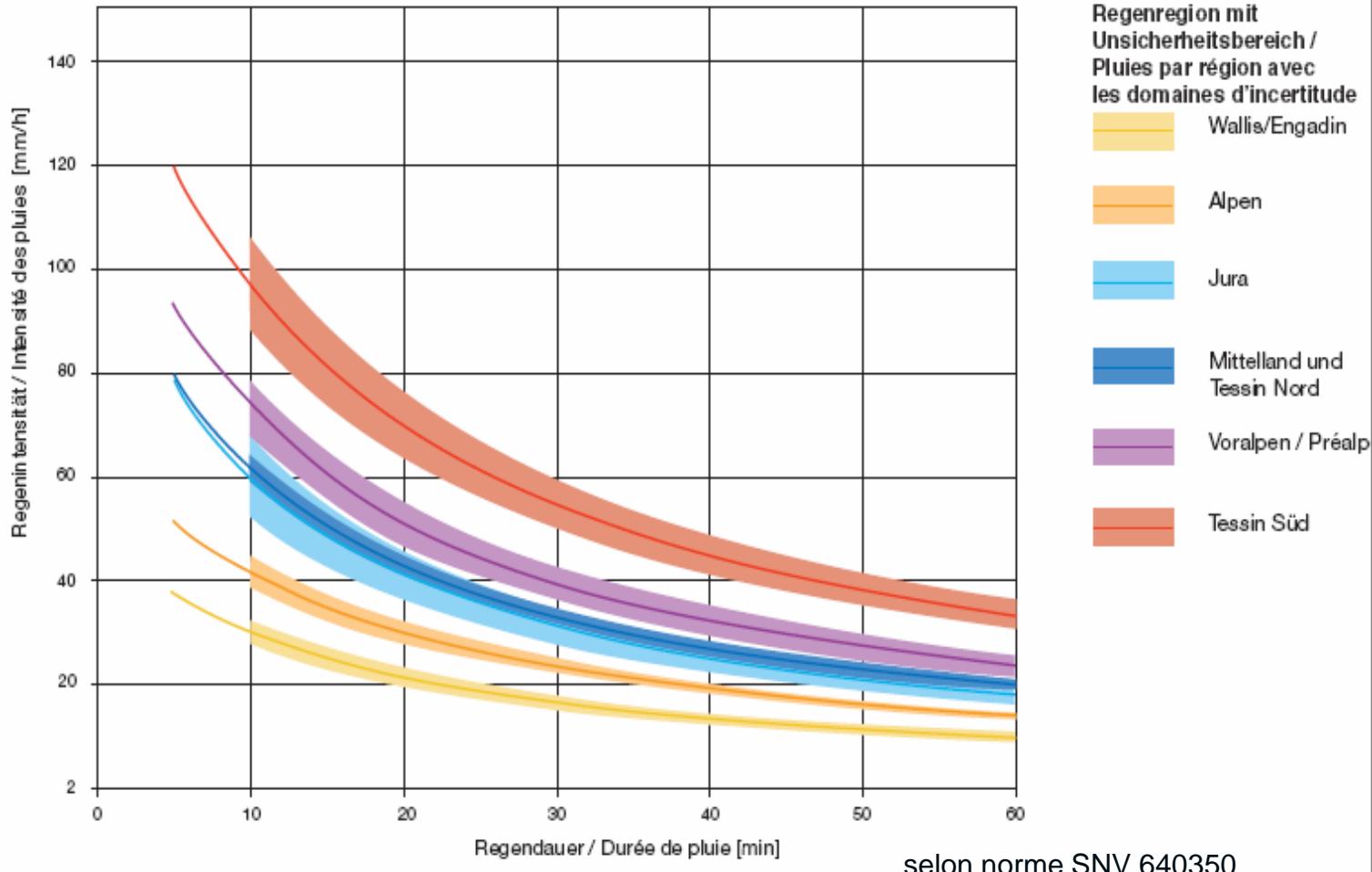
SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets

Abb. 2

Einjährige Regenintensitäten mit Unsicherheitsbereich (95% Vertrauensintervall) für die verschiedenen Regenregionen

Fig. 2

Intensités annuelles des pluies par région avec les domaines d'incertitude (coefficient de confiance: 95%)



Principes d'évacuation des eaux urbaines Hydrologie urbaine - Pluies - Courbes IDF T2

Abb. 3
Zweijährliche Regenintensitäten mit Unsicherheitsbereich (95% Vertrauensintervall) für die verschiedenen Regenregionen

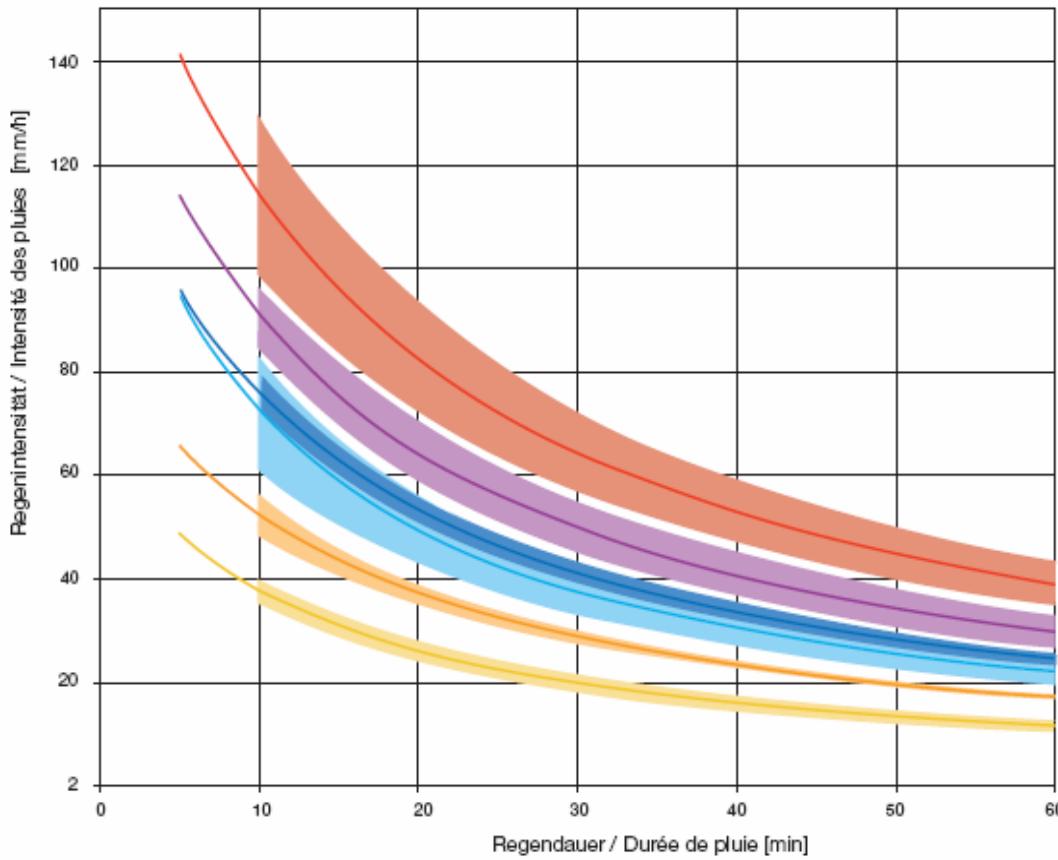


Fig. 3
Intensités bisannuelles des pluies par région avec les domaines d'incertitude (coefficients de confiance: 95%)

- Regenregion mit Unsicherheitsbereich / Pluies par région avec les domaines d'incertitude**
- Wallis/Engadin
 - Alpen
 - Jura
 - Mittelland und Tessin Nord
 - Voralpen / Préalpes
 - Tessin Süd

selon norme SNV 640350

Quelques notions de base :

Temps de concentration d'un bassin versant = **Tc** =

= durée que met une goutte tombée au point le plus éloigné pour parvenir à l'exutoire du bassin-versant (heures)

Varie avec la pente, l'occupation du sol, le réseau de ruisseaux ou canalisations, les routes, etc.

Durée de la pluie à considérer (heures)

La durée de la pluie la plus critique est celle qui correspond au **temps de concentration**

Coefficient de ruissellement ou d'écoulement = **Cr** =

= rapport entre le débit et la quantité d'eau tombée, en mm/mm ou en %

ou = portion des précipitations qui va participer au débit

le Cr dépend de :

- Occupation de la surface (forêt, pré, champs non cultivé, route, toit, etc.)
- Pente
- Géologie, imperméabilité et état du sol (gel,...)
- Humidité du sol = fonction des pluies antérieures

- $T = 1$ an
- **Durée de pluie = 15 minutes pour périmètre $P < 300$ m**
- **20 min pour $300 \text{ m} < P < 600 \text{ m}$**
- **25 min pour $P > 600 \text{ m}$**

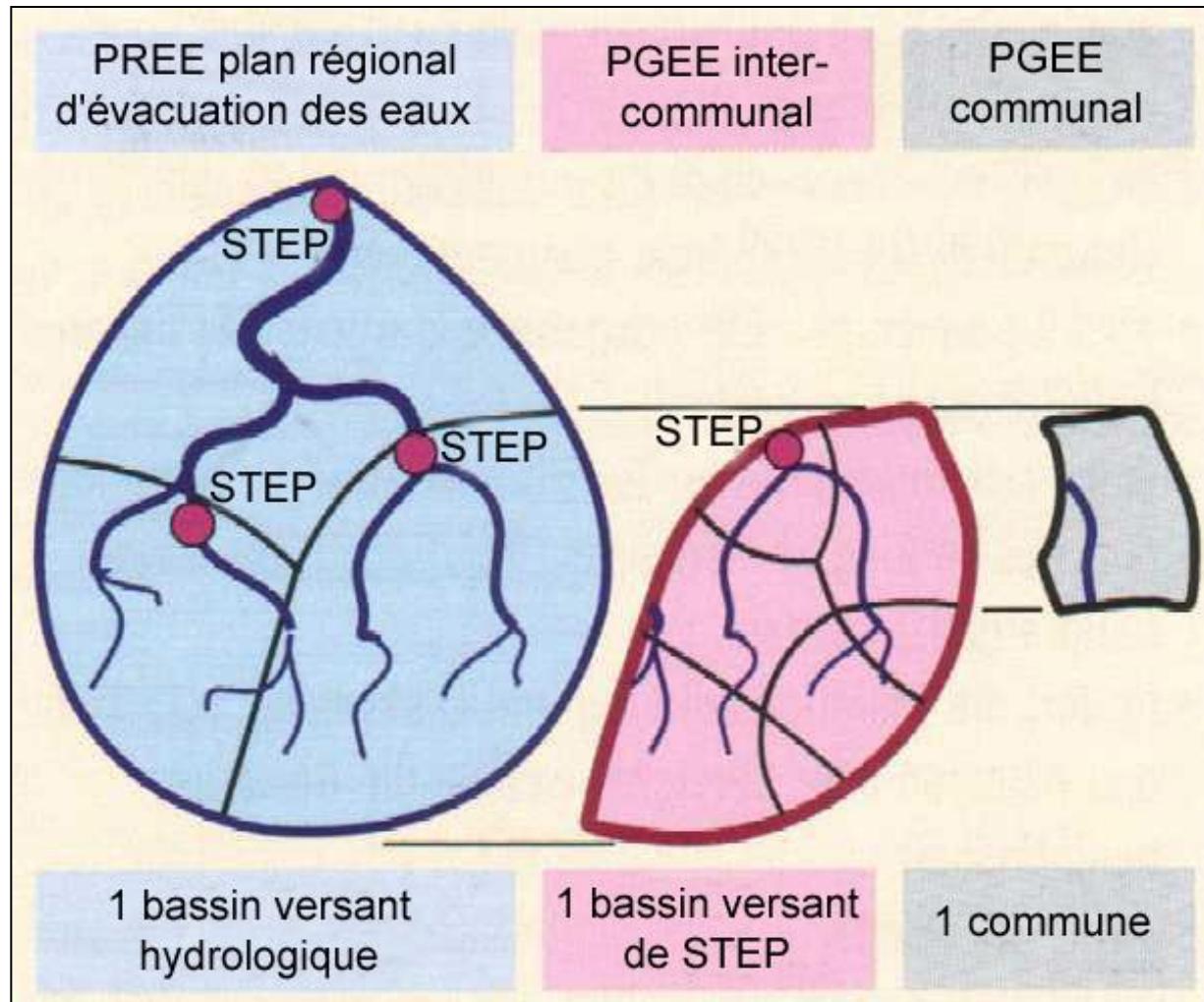
Surface réceptrice des eaux pluviales	C
Toits inclinés et plats (indépendamment du matériau et de la toiture)	1,0
Toits plats avec gravier (indépendamment de l'épaisseur de la construction)	0,8
Toitures-jardins ¹⁾ , épaisseur de la construction	> 50 cm > 25 – 50 cm > 10 – 25 cm ≤ 10 cm
Places et chemins	– avec revêtement dur – avec revêtement graveleux – avec écosystème (joints gravillonnés) – avec revêtement filtrant – avec des pavés filtrants – avec des grilles-gazon

1) valable jusqu'à une pente de toit de 15° (augmenter C de 0,1 lors de pentes supérieures)

- **Évolution**
 - Aménagement du territoire : planification à l'horizon de 15 ans
 - Caractéristiques des nouvelles zones d'habitat prévues
 - Évolution des activités industrielles et de service
- **Nécessité de gérer et de planifier** la croissance urbaine et de limiter ses répercussions sur l'environnement naturel, particulièrement sur le bassin hydrographique urbain et sur les régions proches des rivages

LEaux (art 7, al3) → les cantons veillent à une planification communale, et si nécessaire régionale, de l'évacuation des eaux

- **PGEE = Plan général d'évacuation des eaux**
 - Depuis 1989
 - Réalisé à l'échelon communal
 - Se base sur l'ancien plan directeur des égouts (PDE)
 - Canalisations, ouvrages, surveillance des conduites, actualisation des données, zones d'infiltrations, eaux parasites, exploitation, entretien, rénovation, financement organisation et règlements
- **PREE = Plan régional d'évacuation des eaux**
 - Depuis 1997 (mais encore peu réalisé)
 - Coordination des mesures de protection des eaux entre les communes
 - Région formant une unité hydrologique ou un bassin versant



(source: BUWAL)

PGEE = Plan général d'évacuation des eaux,

Établi au niveau communal, il définit :

- **Le périmètre** à l'intérieur desquels les réseaux d'égouts doivent être construits, en fonction des plans de zone et du plan directeur communal
- Les périmètres en réseau **séparatif**
- Les périmètres dans lesquels les eaux non polluées doivent être **infiltrées**
- Les zones de **déversement** des eaux non polluées
- Les mesures à prendre pour que les **eaux claires parasites** ne soient plus amenées à la STEP
- Les sites, procédés, capacités des **STEP**
- **Les zones non raccordées** au réseau et mode d'évacuation de leurs eaux

PREE = Plan régional d'évacuation des eaux

- Planification établie à l'échelle du bassin versant lorsque les PGEE communaux doivent être harmonisés (décision cantonale)
- Détermine notamment :
 - où sont implantées les stations centrales d'épuration (STEP) et quels périmètres doivent y être raccordés ;
 - quelles eaux superficielles sont aptes à recevoir les déversements d'eaux à évacuer, en particulier en cas de précipitations, et dans quelle mesure elles s'y prêtent ;
 - dans quelles stations centrales d'épuration les exigences relatives aux déversements doivent être renforcées ou complétées.

- Exigences : qualité de l'eau, géologie, zones de protection des eaux
- Objectif:
 - Diminuer les débits de pointes au milieu récepteur
 - Recharger les nappes, rétablir situation hydrologique initiale
 - Éviter colmatage (prétraitement nécessaire)
 - Doit obligatoirement passer par une couche de sol biologiquement active → **infiltration directe dans le sous-sol interdite hors drainages**

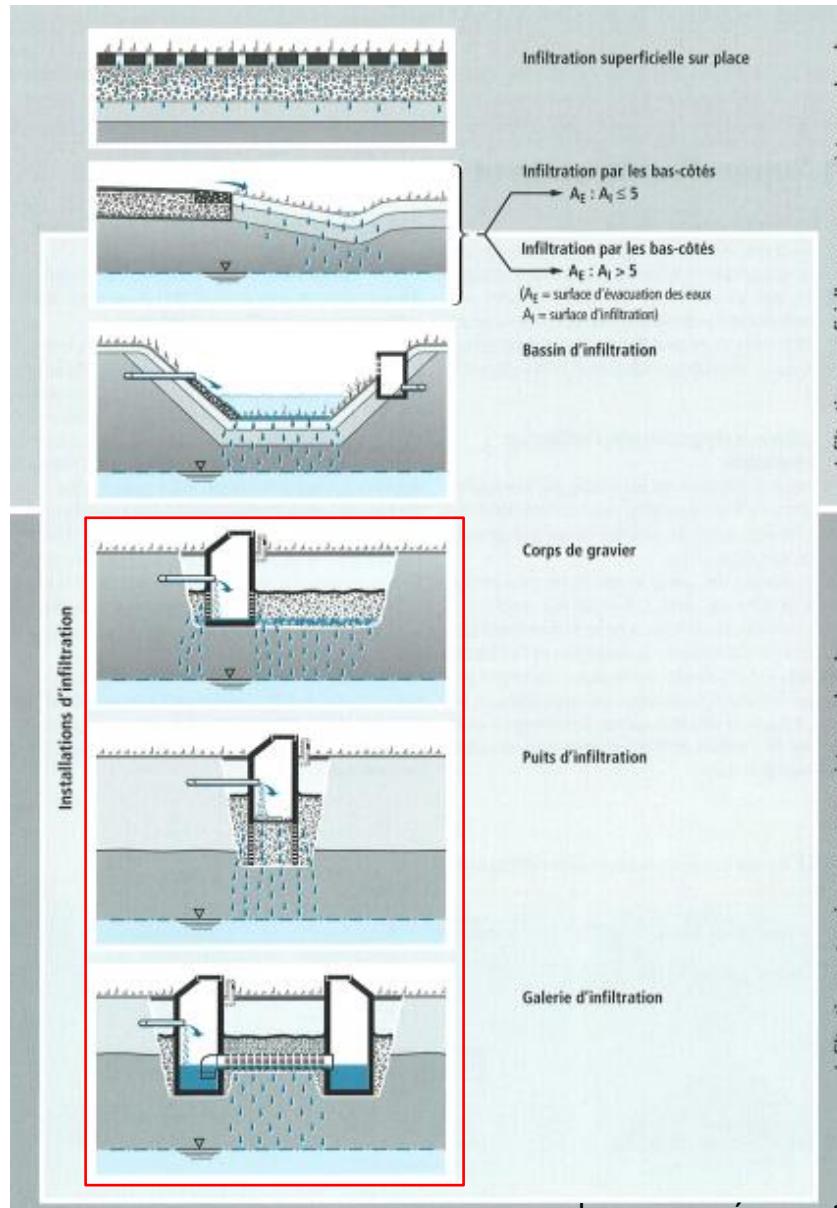
Principes d'évacuation des eaux urbaines

Hydrologie urbaine – Infiltration des eaux

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets

CSDINGENIEURS+
INGÉNIEURS PAR NATURE

eawag
aquatic research ooo



selon norme évacuation des eaux pluviales

Principes

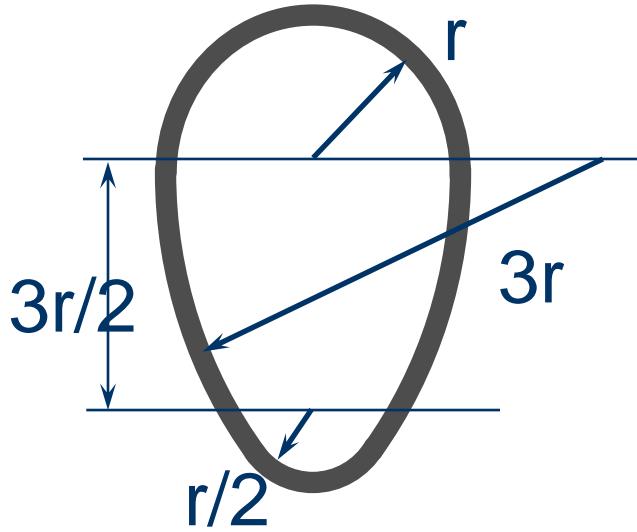
- Débit: Q_{ts} = débit par temps sec (débit spécifique x producteurs)
- Débits spécifique $Q_{ts} \approx 170 \text{ l/EH/jour}$
- Temps de parcours réduit : doit pouvoir éviter putréfaction
- Ecoulement biphasique, confinés et turbulents
- Pas de points bas (sauf aux stations de relevage ou pompage)
- Ensemble des conduites doivent être visitables (curables)

Ecoulement	Diamètre	V min
Surface libre	< 400 mm	0.6 m/s
Surface libre	400-1000 mm	0.8 m/s
Surface libre	> 1000 mm	1 m/s
Sous pression	*	1m/s

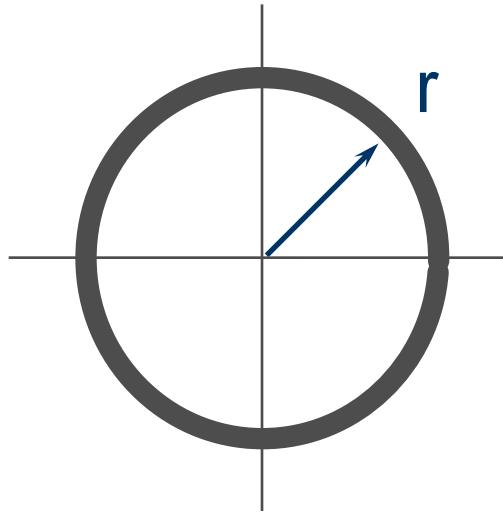
(Selon norme SIA 190)

- Hauteur minimale de l'eau > 2 cm
- V max < 5 m/s (indicatif)

- Écoulement libre (généralement pas de mise en pression)
- Variations importantes du débit
- Diamètre minimum
 - Eaux usées : Ø200 mm
 - Eaux mixtes et eaux de ruissellement : Ø250 mm
- Matériaux
 - PPHM, PE rigide
- Procédure d'essai à l'étanchéité (SIA 190)
- Calcul statique : vérification de l'aptitude au service et de la sécurité structurale du milieu



Confinement de l'eau
→ Augmentation de la vitesse lorsque
le débit est faible



Facile pour la
conception

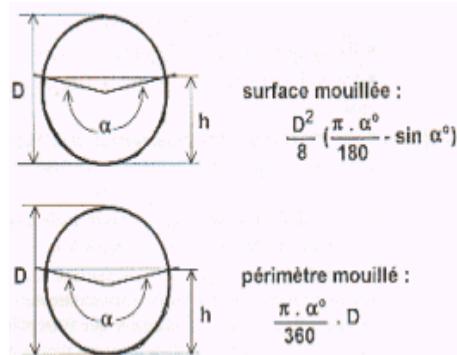
Formule courante de calcul des vitesses:

Strickler :

$$V = K \cdot R_h^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

$$V = \frac{Q}{S}$$

Avec



V: vitesse moyenne de l'écoulement en m/s

Q = débit en m^3/s

S: surface mouillée de la conduite en m^2

R_h : rayon hydraulique (**quotient de la surface mouillée par le périmètre mouillé**) en m

J: pente de la conduite ou du canal en m/m

K: coefficient empirique (rugosité des parois) en $\text{m}^{1/3}\text{s}^{-1}$

L'équation s'applique uniquement si $K > (60\nu)^{10/9}$
avec ν = la viscosité cinétique du fluide en m^2s^{-1} .

On trouve aussi :

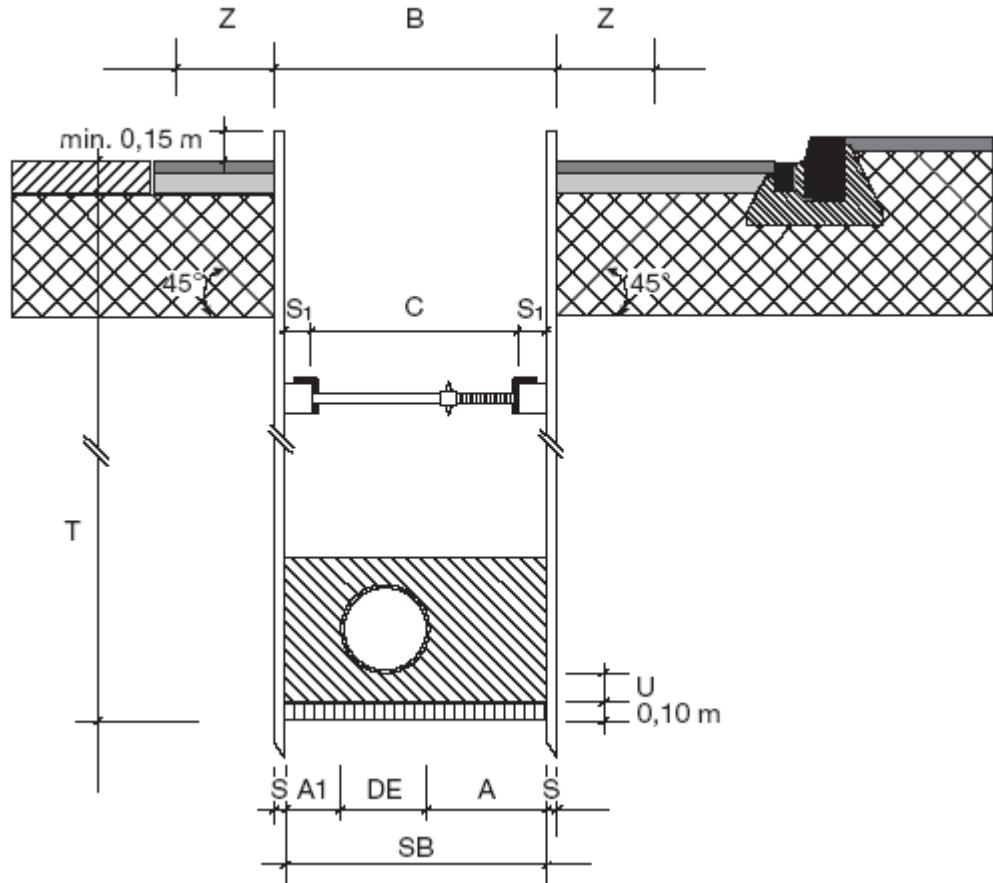
- $K_s = 1/n$
- n = coefficient de rugosité de Manning

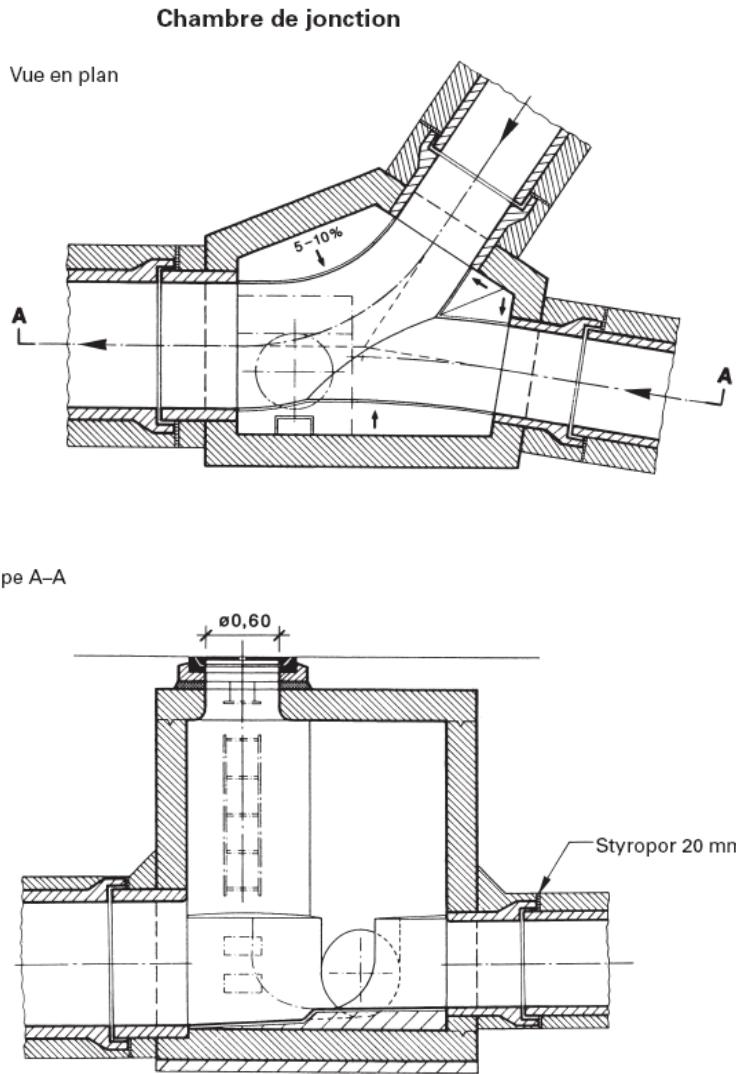
Ks	Description	n
90 à 100	Parois très lisses : Mortier de ciment et sable très lisse, planches rabotées, tôles métalliques sans soudures saillantes. Mortier lissé	0,010 à 0,0111 0,0119
85	Parois lisses : Planches avec des joints mal soignés, enduits ordinaires, grès Béton lisse, canaux en béton avec des joints nombreux Maçonnerie ordinaire, terre exceptionnellement régulière	0,0125 0,0134 0,0142
80	Parois rugueuses : Terre irrégulière, béton rugueux ou vieux, maçonnerie vieille ou mal soignée	0,0167
75	Parois très rugueuses : Terre très irrégulière avec des herbes, rivières régulières en lit rocheux Terre en mauvais état, rivière en lit de cailloux Terre complètement à l'abandon, torrents transportant de gros blocs	0,020 0,025 0,05 à 0,0667
70		
60		
50		
40		
15 à 20		

- **Norme SN 640'535 → mesures de sécurité**
- *Profil normal de la tranchée* : doit être indiqué dans la soumission et l'entrepreneur et le maître de l'ouvrage en conviendront avant le début des travaux.
- Les décisions dépendent notamment
 - du genre de sol et des conditions **hydrogéologiques**
 - de la profondeur de la tranchée
 - du type d'étayage
 - du mode d'excavation et de remblayage
 - du diamètre extérieur des tuyaux
 - de la largeur de travail
 - de l'espace de bourrage
- La largeur B de la tranchée à réaliser se compose du diamètre extérieur du tuyau DE, des espaces de bourrage A et A1 et de deux fois l'épaisseur du blindage S :

$$B = DE + A + A1 + 2 \cdot S$$

	Enrobés bitumineux compactés existants
	Couche de surface
	Couche de base
	Couche de fondation
	Enrobage selon SIA 190 «Canalisations»
	Béton
B	Largeur de la tranchée
SB	Largeur libre du fond de fouille
S	Blindage
S_1	Etayage
T	Profondeur de la tranchée
C	Largeur de travail
A, A1	Espaces de bourrage ($A \geq A_1$)
DE	Diamètre extérieur du tuyau
U	Epaisseur du radier
Z	Zone de sécurité $> 0,50$ m



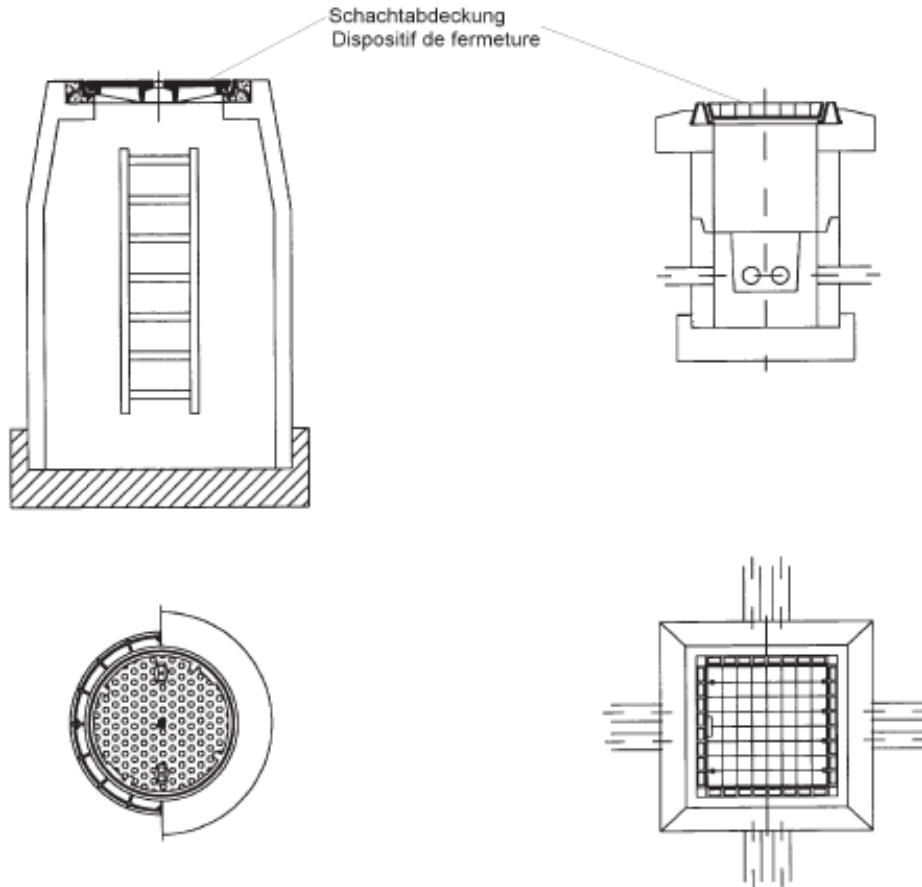


Source: norme SIA 160

Ouvrage d'assainissement reliant la surface au réseau souterrain, et permettant la descente d'un opérateur aux fins d'inspection et d'entretien et curage des canalisations.

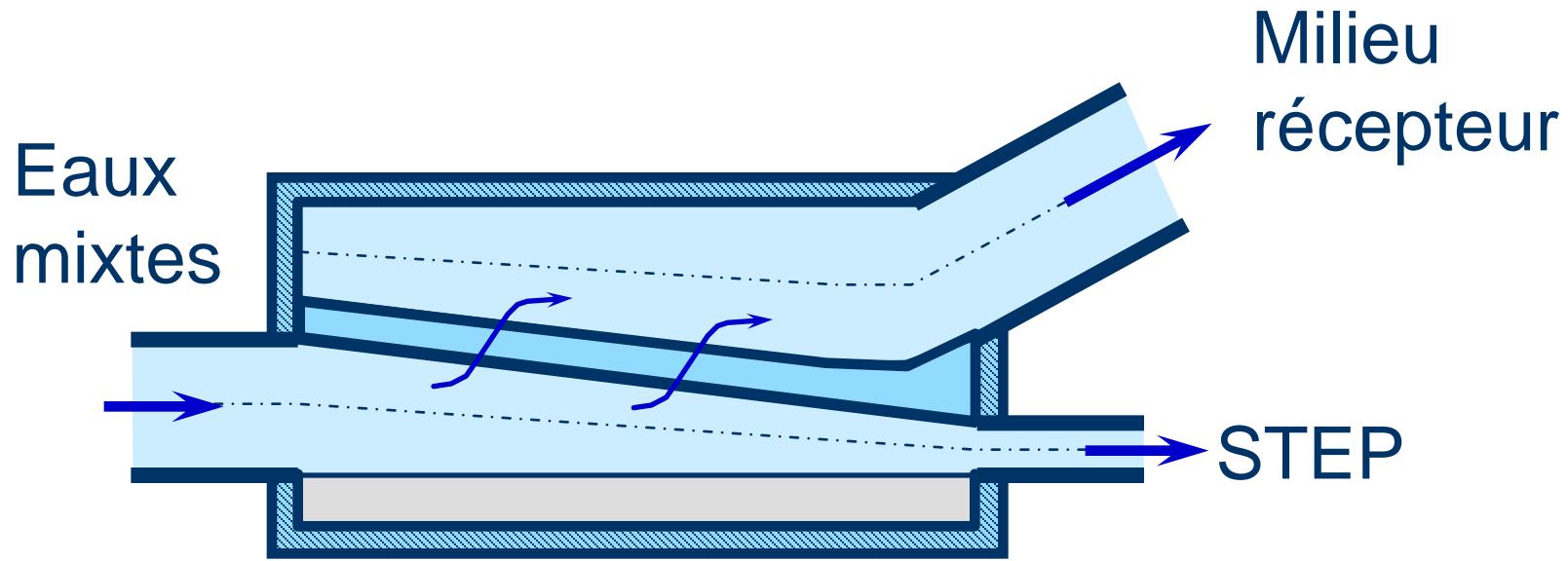
Chaque 80-100 mètres

Où ? Lors d'un changement de direction, de pente, de diamètre, à la confluence de deux canaux

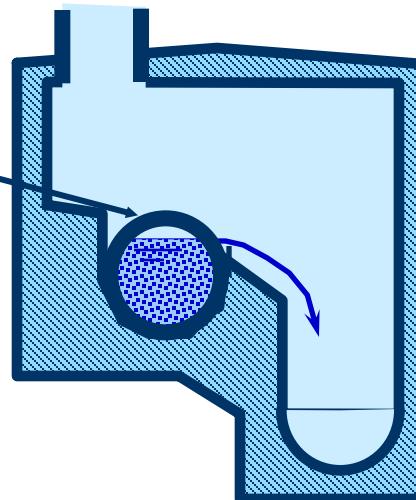


Source: norme SNV 640'366

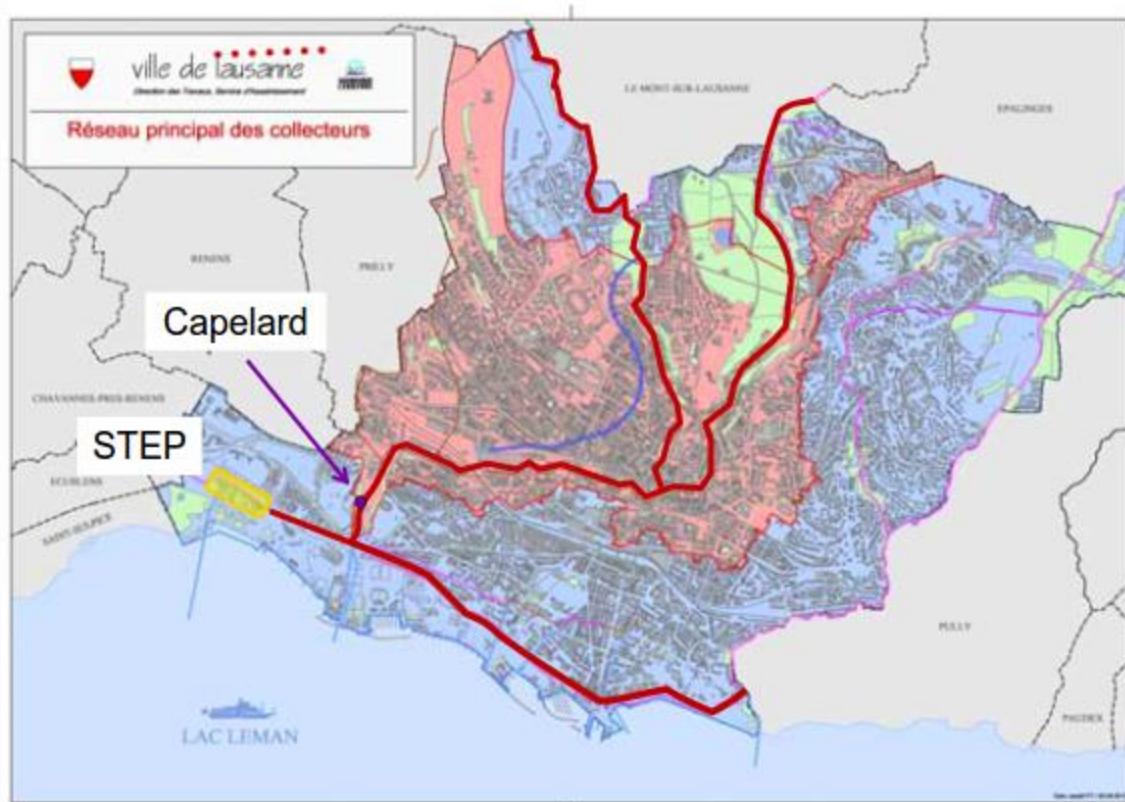
SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



Déversement

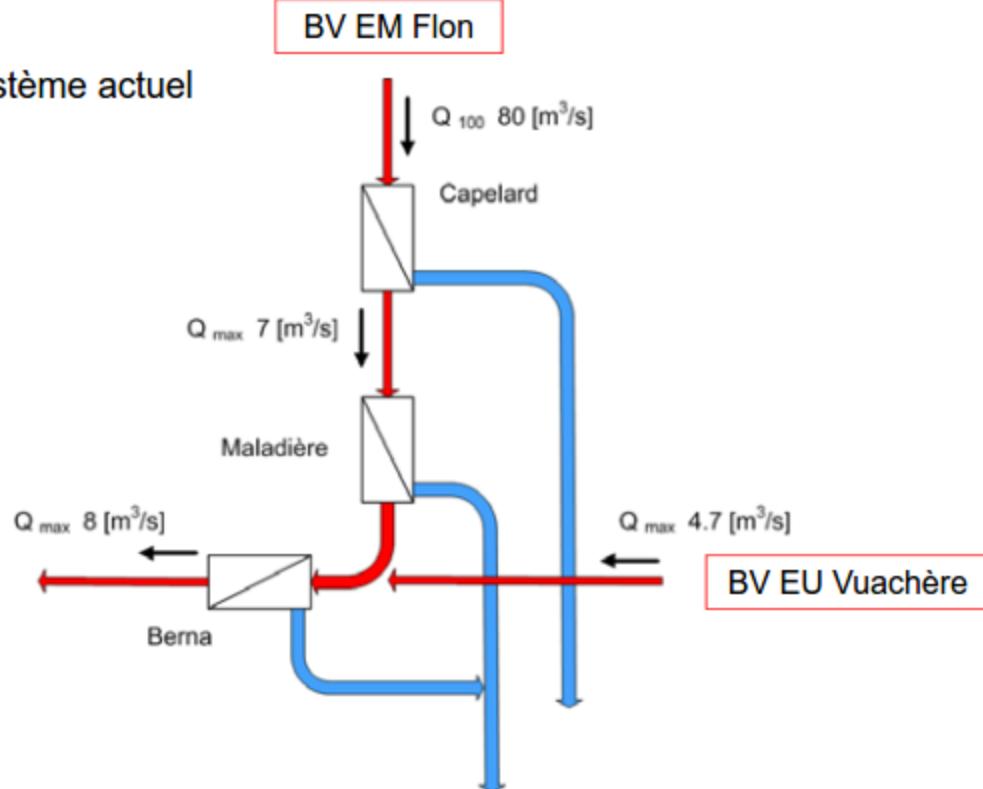


Réseau Lausannois



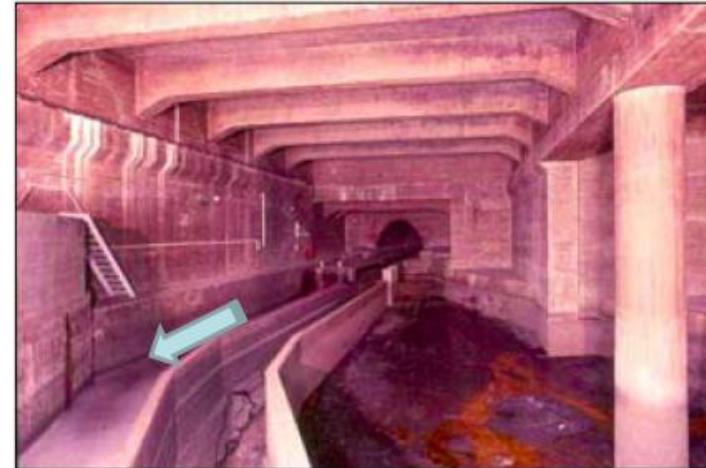
Flux

Limites du système actuel



Système de déversoirs

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets

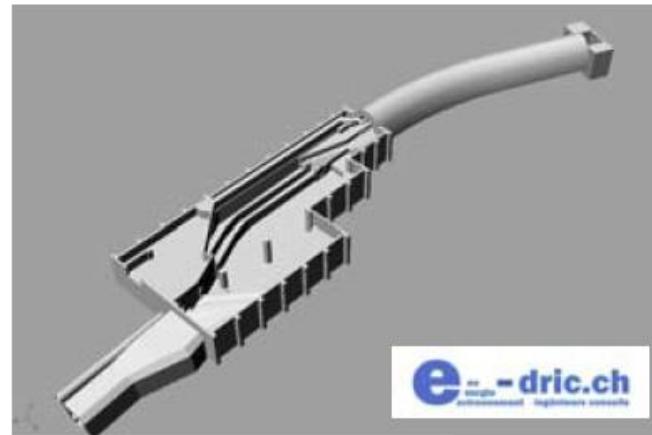


Modélisation

Maquette (EPFL – LCH)



Modèle 3D (e-dric)



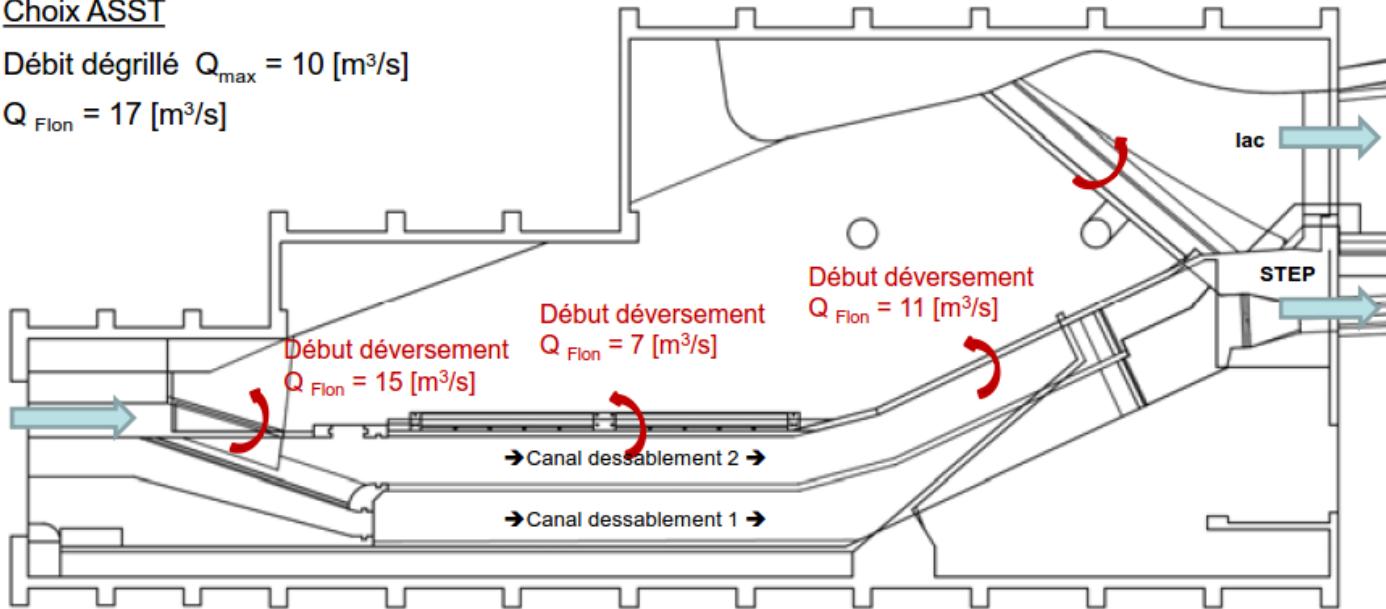
Modélisation physique - Dégrilleur

Essai dégrilleur latéral

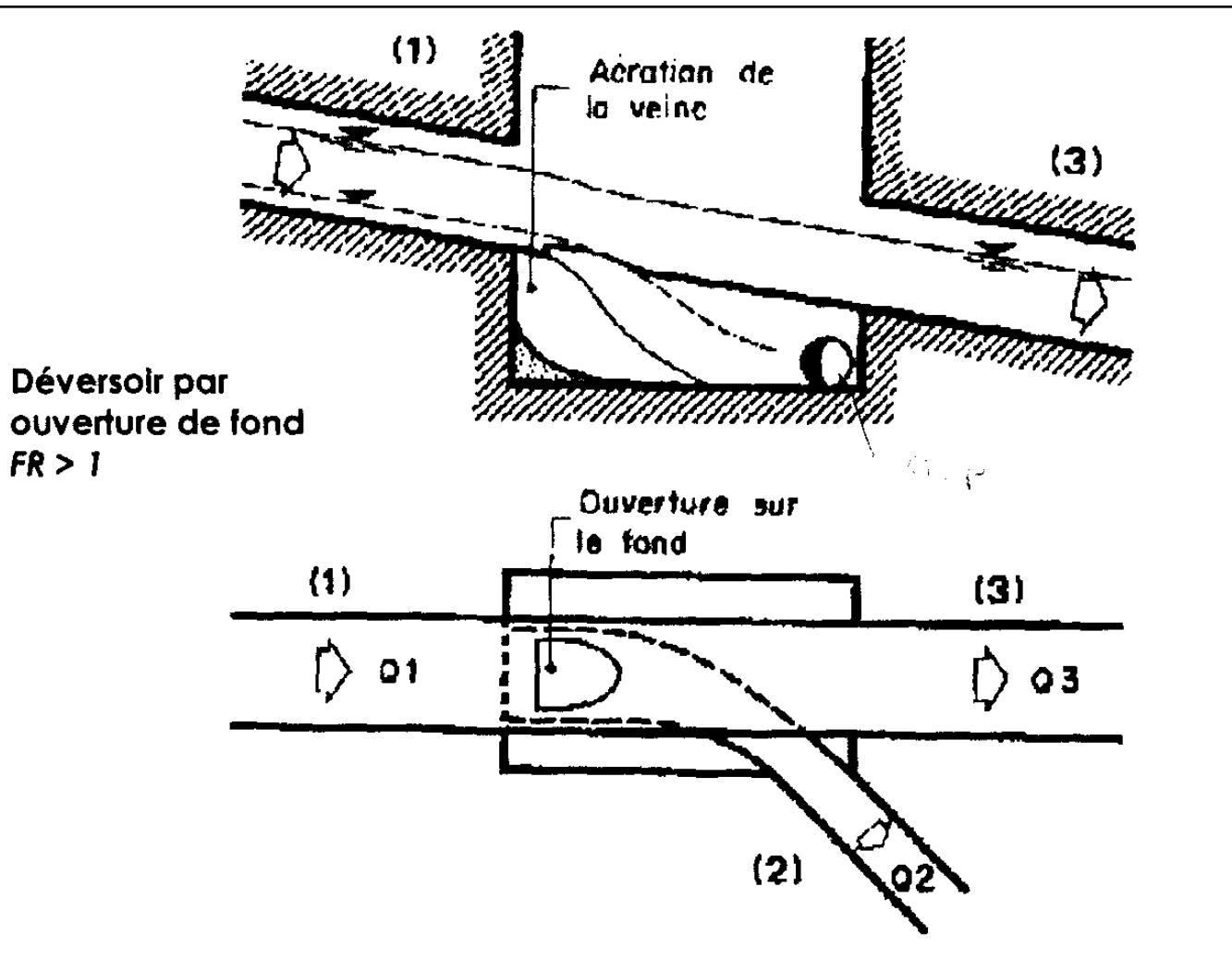
Choix ASST

Débit dégrillé $Q_{\text{max}} = 10 \text{ [m}^3/\text{s]}$

$Q_{\text{Flon}} = 17 \text{ [m}^3/\text{s]}$

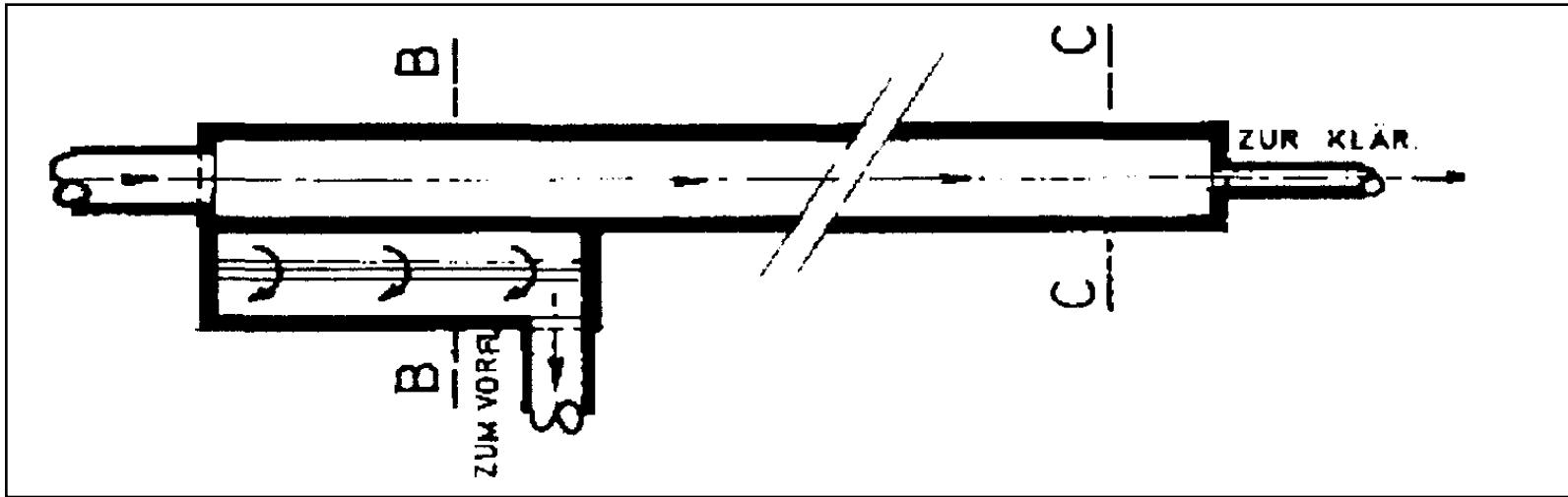


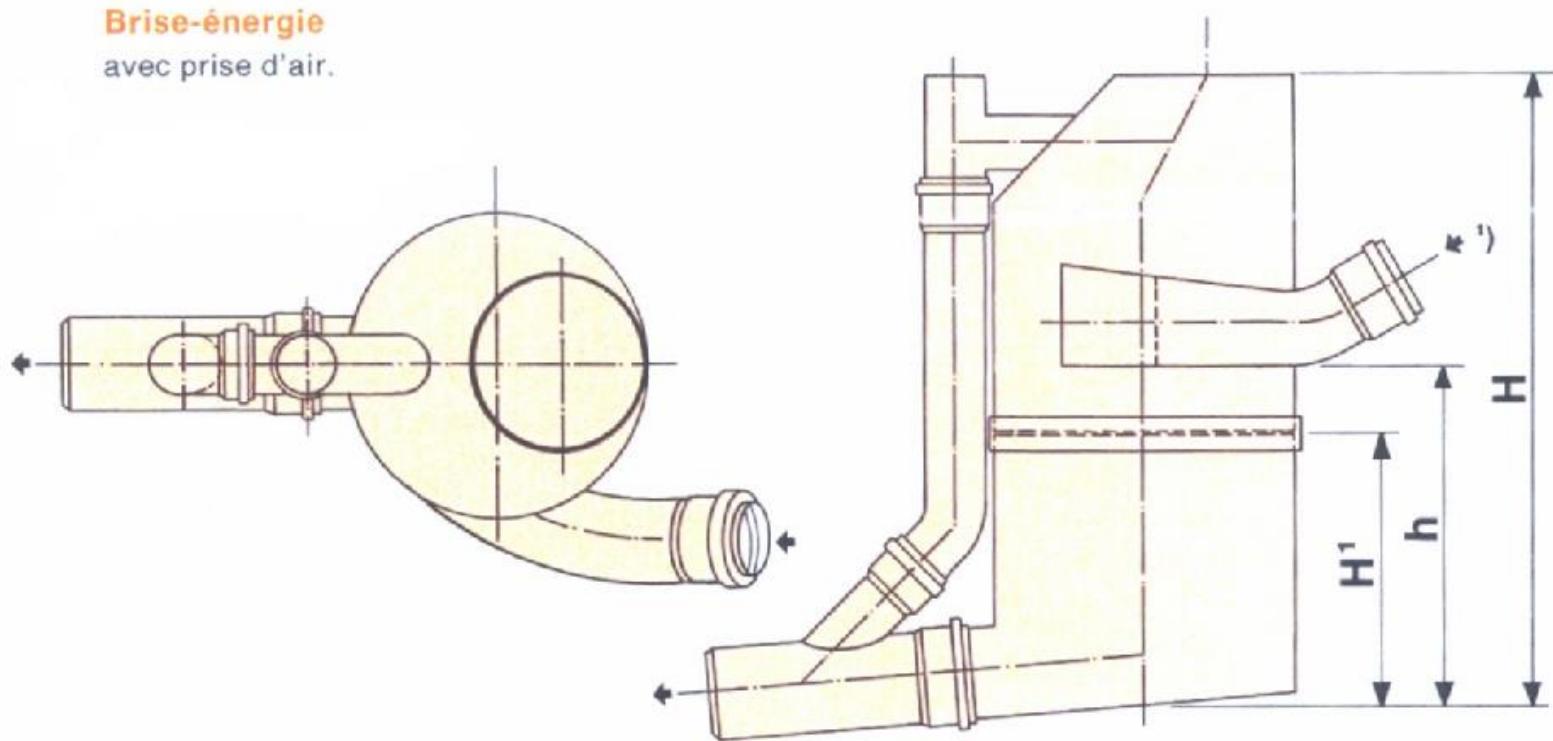
Déversoir de fond (leiping Weir)



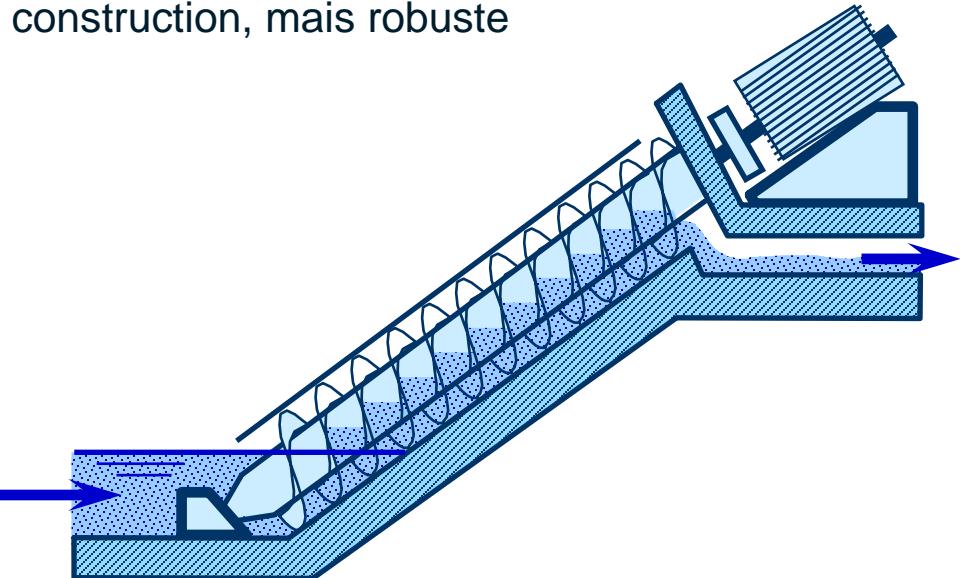
- Lorsque les canalisations d'évacuation des eaux d'une voie de circulation aboutissent dans un **lac à proximité d'une prise d'eau potable** ou dans un **cours d'eau sensible**
- Ouvrage prévu, en règle générale, lorsqu'il est difficile ou impossible de retenir et de récupérer les huiles s'écoulant à la suite d'un **accident**
- **Dimensionnement : min 15 m³** (camion-citerne), avec **chambre de boues de 5 m³** car dépôts à cause de la vitesse faible
 - Vitesse d'écoulement sous paroi plongeante $V_m < 0.10 \text{ m/s}$
 - Vitesse ascensionnelle huile $V_a = 2.5 \times 10^{-3} \text{ m/s} = 9 \text{ m/h}$

- **Objectif : retenir le premier flot de rinçage** (concentration plus importante) pour traitement ultérieur à la STEP → efficacité relative au vu des dernières études (first flush)
- **Temps d'écoulement dans le réseau :**
→ $T_{éc} < 15 \text{ min}$ (forte concentration en polluant)





¹⁾ Entrée tangentielle « SOMO » avec section de pénétration assurant un fonctionnement optimal, quels que soient le débit et la vitesse d'arrivée.



- EU présente une vie bactérienne → prendre en compte les temps de séjour des effluents dans les ouvrages de refoulement car risque de formation d' H_2S
- H_2S gaz mortel, au-delà d'un certain seuil, on ne le sent plus
- H_2S corrosif pour les bétons = dégradation des ouvrages

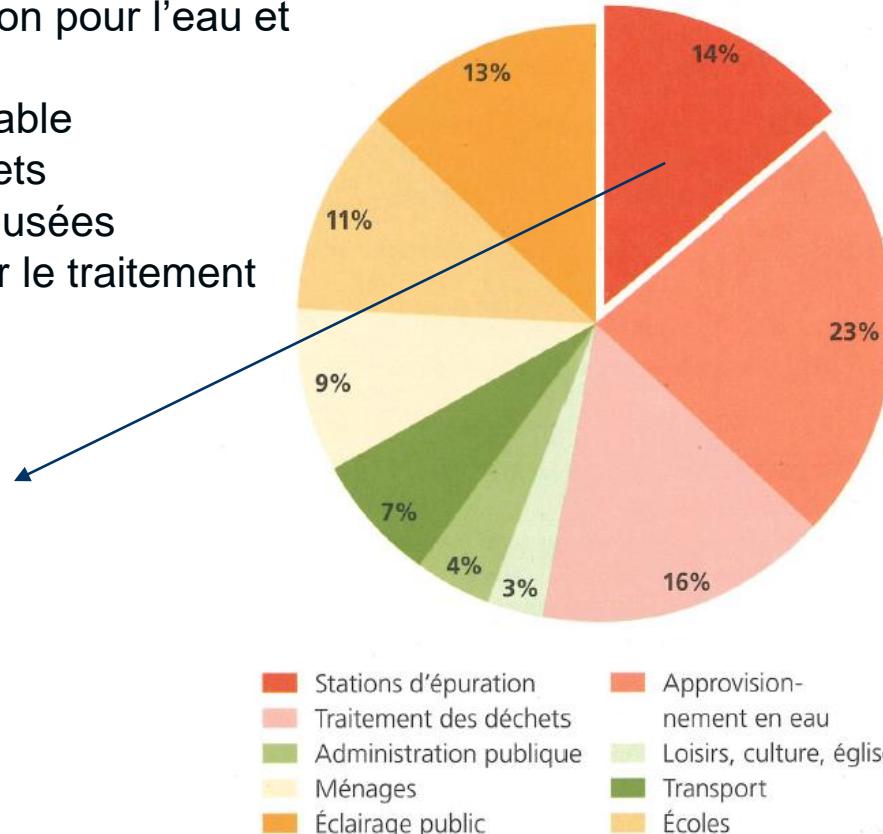
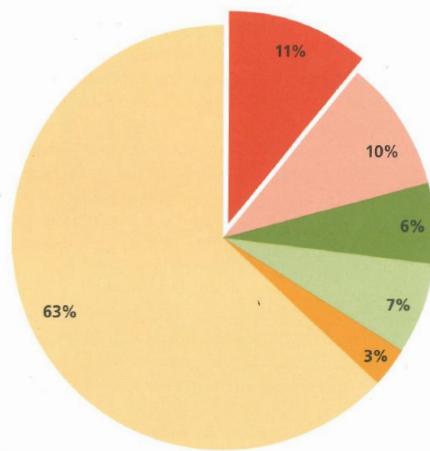


- **Régionalisation**
 - Traitement des micropolluants
 - Économies d'échelles
 - Professionnalisation
 - Extension des réseau → pompage → énergie
- **Récupération phosphore et azote**
- **Optimisation énergétique**
 - Réduction des dépenses énergétiques des STEP
 - Récupération d'énergie
 - Valorisation biogaz (boues)
 - Valorisation énergétique des effluents (par pompes à chaleur)
 - Turbinage des eaux usées (CH, zones de montagnes)

Consommation électrique des communes :

50% de la consommation pour l'eau et les déchets

- 23 % pour l'eau potable
- 16 % pour les déchets
- 14 % pour les eaux usées
 - dont 63 % pour le traitement biologique



- | Process | Category |
|---|------------------------|
| Filtration-flocculation | Stations d'épuration |
| Traitement des boues | Stations d'épuration |
| Infrastructure et divers | Stations d'épuration |
| Ouvrages de relevage des eaux usées | Stations d'épuration |
| Étape de traitement mécanique | Stations d'épuration |
| Traitement biologique et décantation finale | Stations d'épuration |
| Approvisionnement en eau | Traitement des déchets |
| Loisirs, culture, église | Traitement des déchets |
| Transport | Traitement des déchets |
| Écoles | Traitement des déchets |

Illustration 1: Consommation énergétique des stations d'épuration face à la consommation des bâtiments et infrastructures communales en Suisse.