

EPFL 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),**
- **VSA Association Suisse des Professionnels de l'Eau**

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, contre les ilots de chaleur urbaine

⇒ **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.)

(*) : attention : risque de pH acide → EU

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



Scé : Syndicat du Bassin Versant de la Vilaine Amont

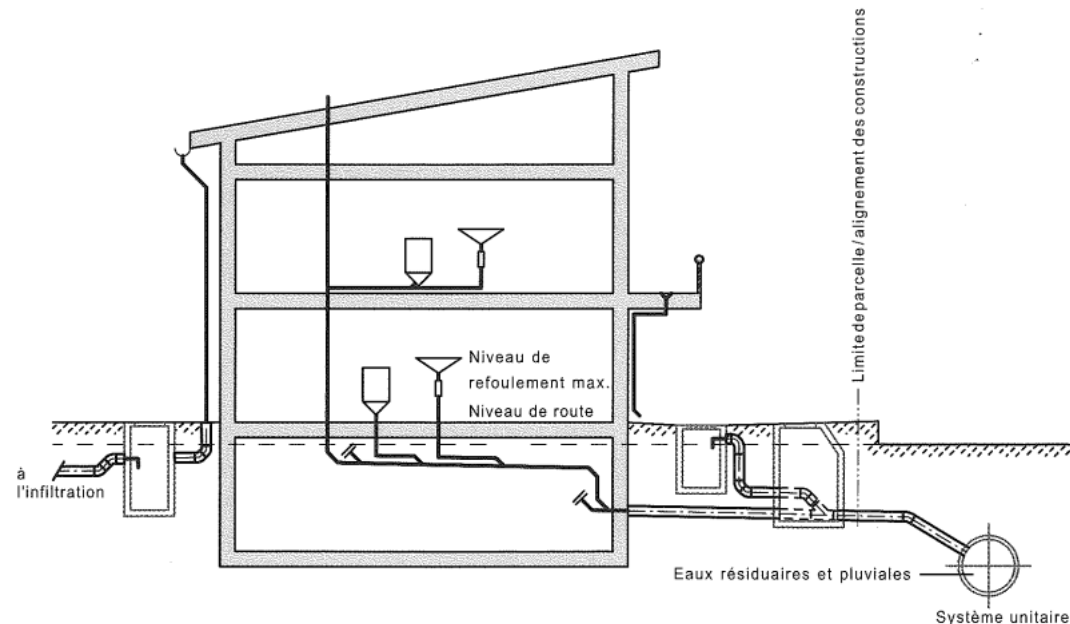
- **Pratique antérieure**
 - « Tout à l'égout » - réseau unitaire
 - Eaux polluées, eaux claires, eaux pluviales
 - => DO (déversoir d'orage) + évent. BEP (bassin d'eau pluviale) → milieu récepteur
 - Dysfonctionnement (traitement, gestion de la pollution)

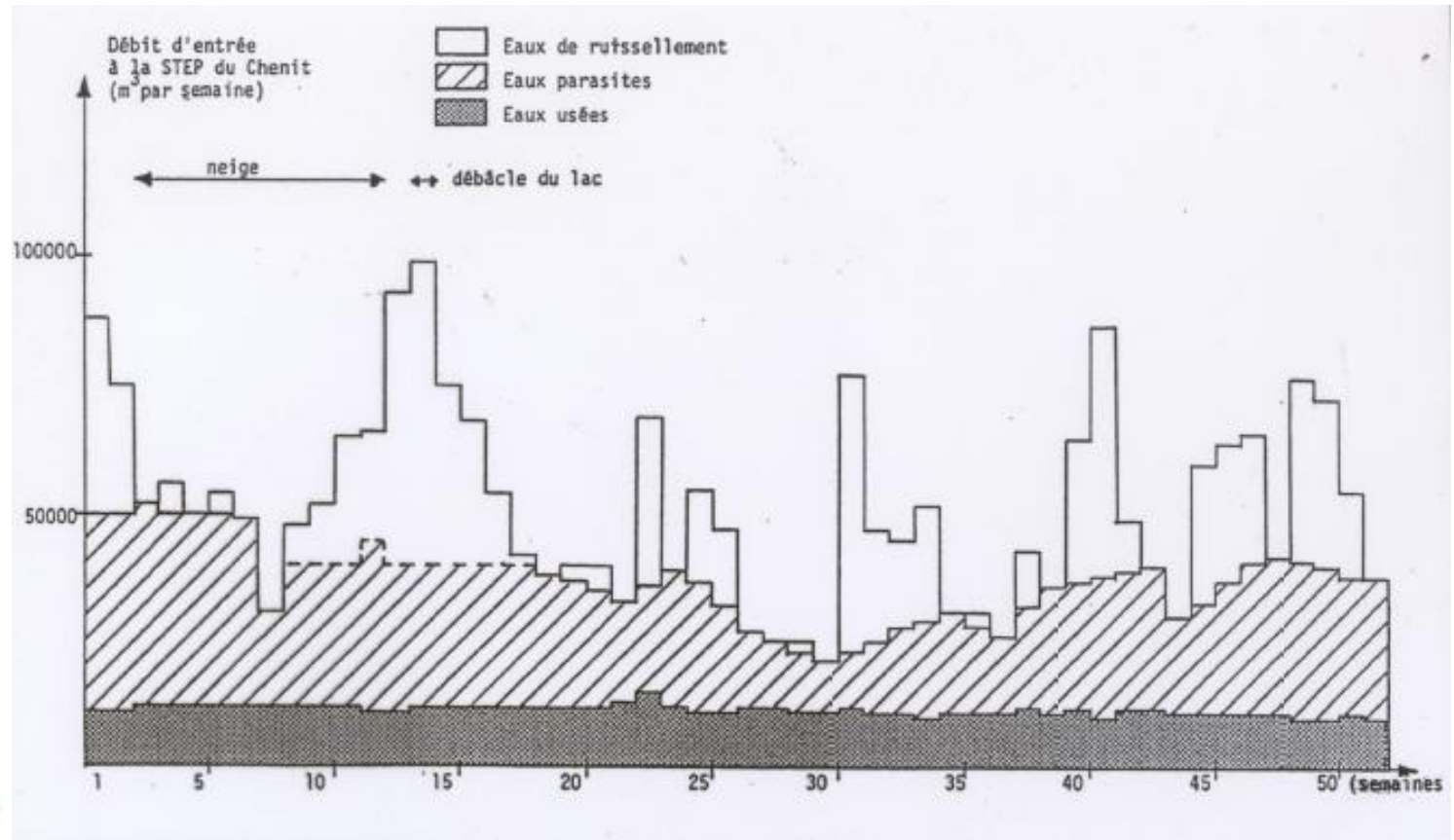
Réseau unitaire (tout à l'égout)

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 temps sec (Q_{TS}) \ll Q pointe (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





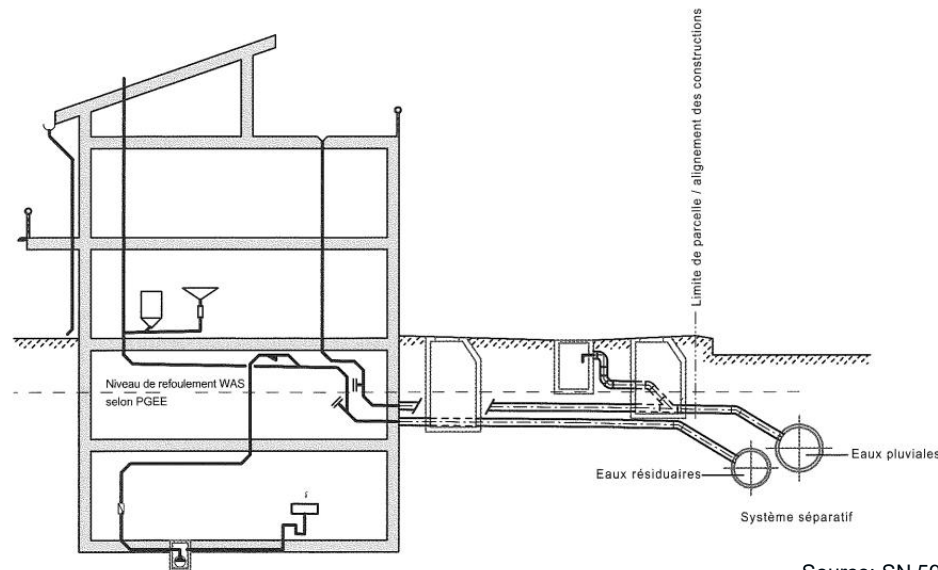
Systèmes de collecte spécialisés : un réseau pour les EU et un pour les EC : Réseau séparatif

Avantages :

- Faibles variations de débit EU
- Meilleur fonctionnement des STEP

Inconvénients :

- Double système, coûteux à la construction.
- Difficulté de construire après coup
- Eaux pluviales potentiellement polluées (eaux de chaussée : à traiter avant rejet)



Époque

- 1920
- 1950
- 1965
- 1975
- 1980
- 1990
- 2020

Nuisance prioritaire

- Envasement
- Croissance des bactéries
- Eutrophisation des lacs
- Toxicité pour les poissons
- Polluants dans l'agriculture
- Eutrophisation de la Mer du Nord
- Perturbateurs endocriniens

Matière

- MS
- DBO₅
- TP
- NH₄⁺
- Métaux lourds
- NO₃⁻
- 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**

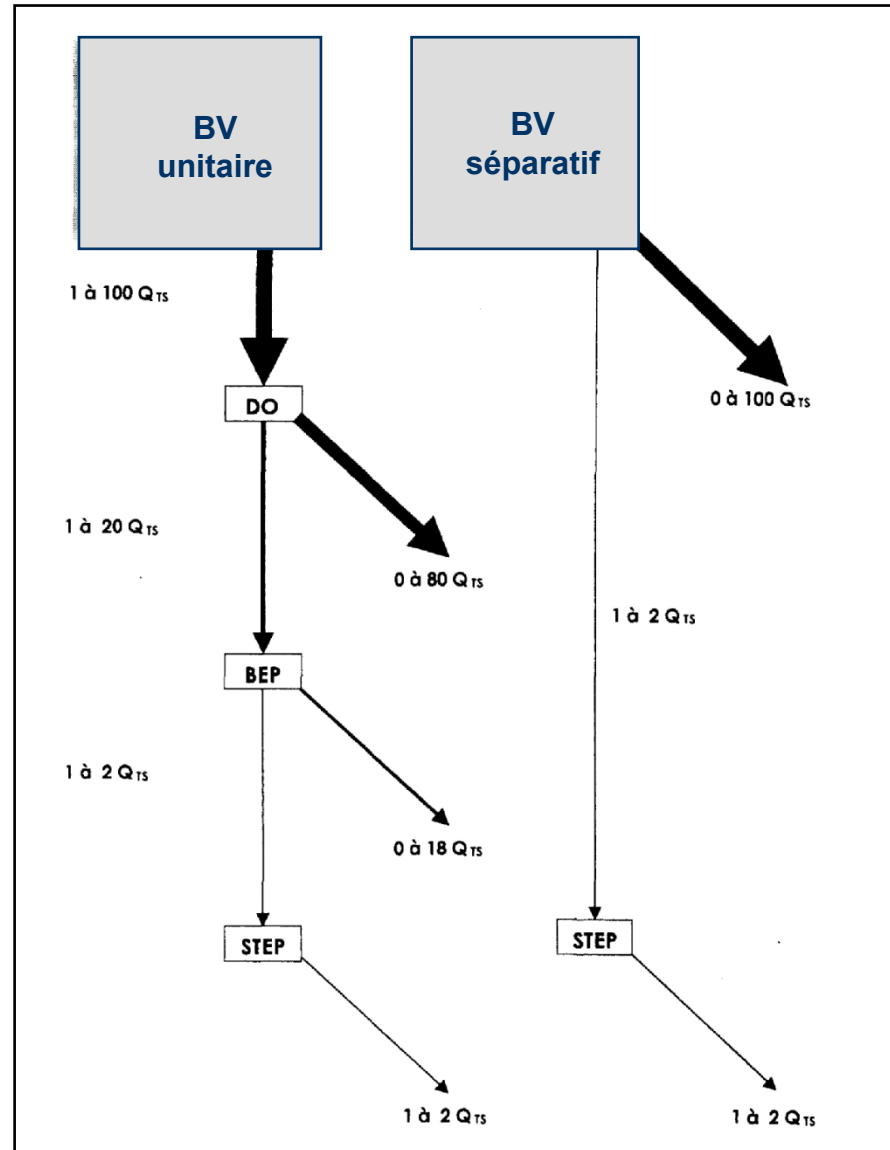
Gestion des crues et des débordements

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

DO = déversoirs d'orage (fréquents)

BEP = Bassins d'eaux pluviales

Q_{TS} = débit temps sec





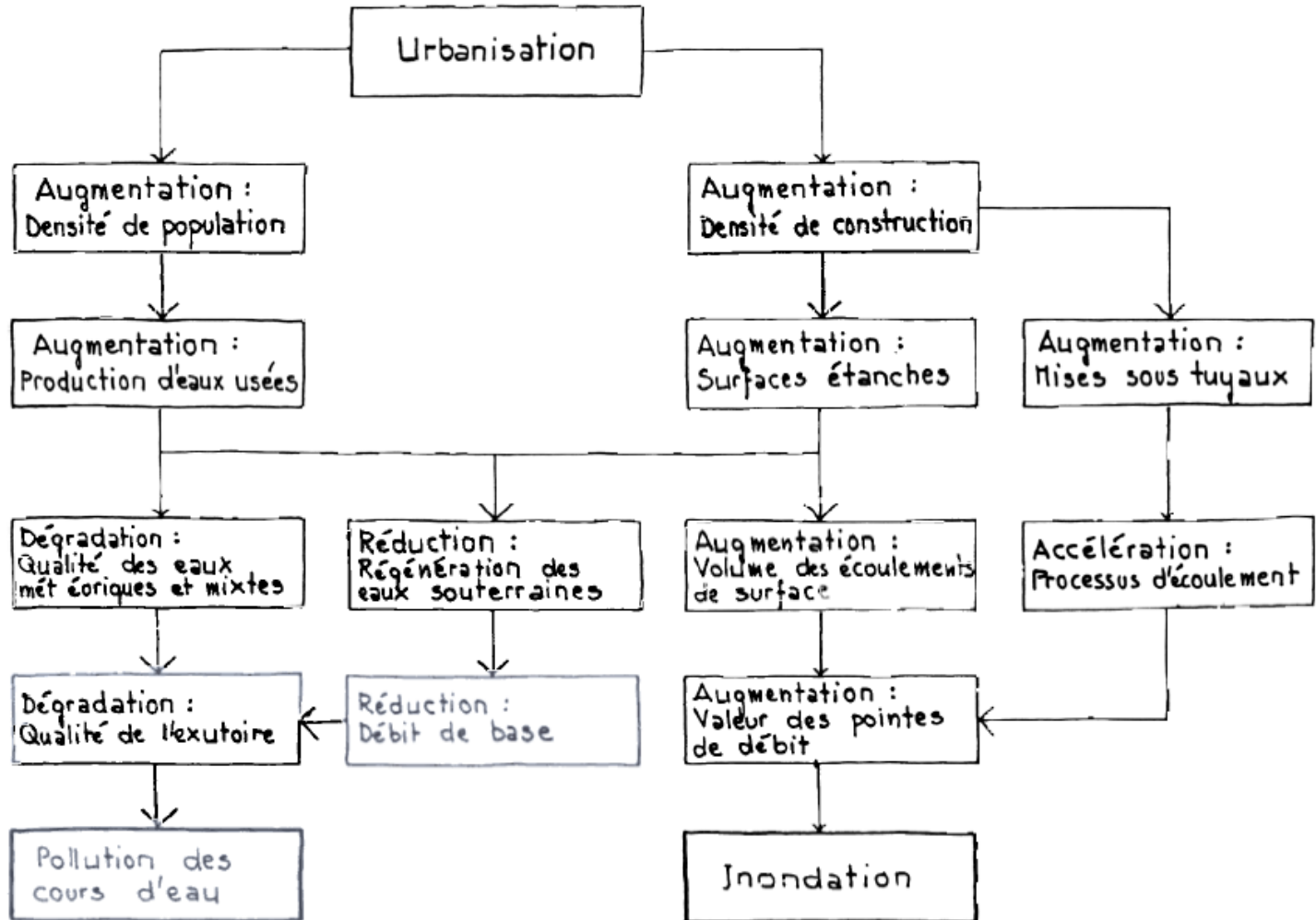
Objectifs

- 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

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets

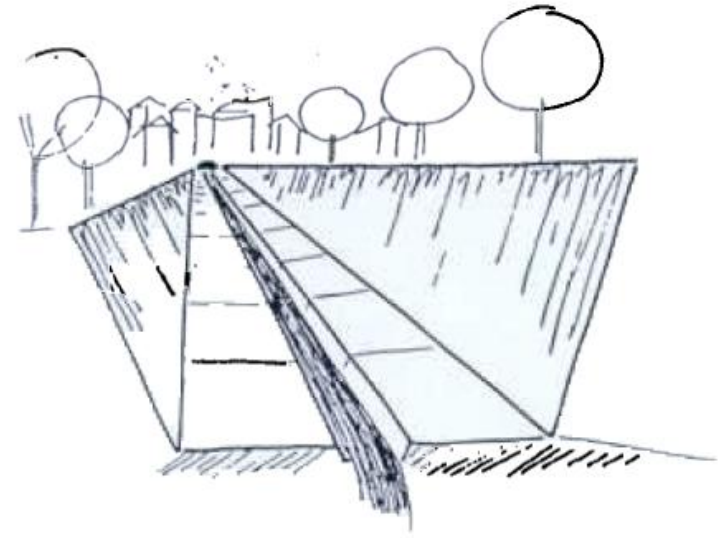


Evolution du paysage	Effet sur les eaux de ruissellement
Etat naturel = forêts	<ul style="list-style-type: none"> - Rétention forte (arbres, sol) - Ruissellement faible et lent - Infiltration et évaporation importantes
Prés, champs	<ul style="list-style-type: none"> - Rétention diminuée - Ruissellement 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 l'aval - Augmentation des débits de pointe à l'aval - 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 forcé, limitation des débits) - Correction de cours d'eau avec zone d'inondation





avant aménagement



après aménagement

Quelles différences pour les écoulements et l'environnement ?

- diminution des temps de concentration = à coup hydraulique
- augmentation des vitesses = Erosion ;
- diminution de l'infiltration = Inondation et moindre recharge de nappe
- ...

Nombreuses relations expérimentales entre intensité, durée et fréquence

Relation générale :

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

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

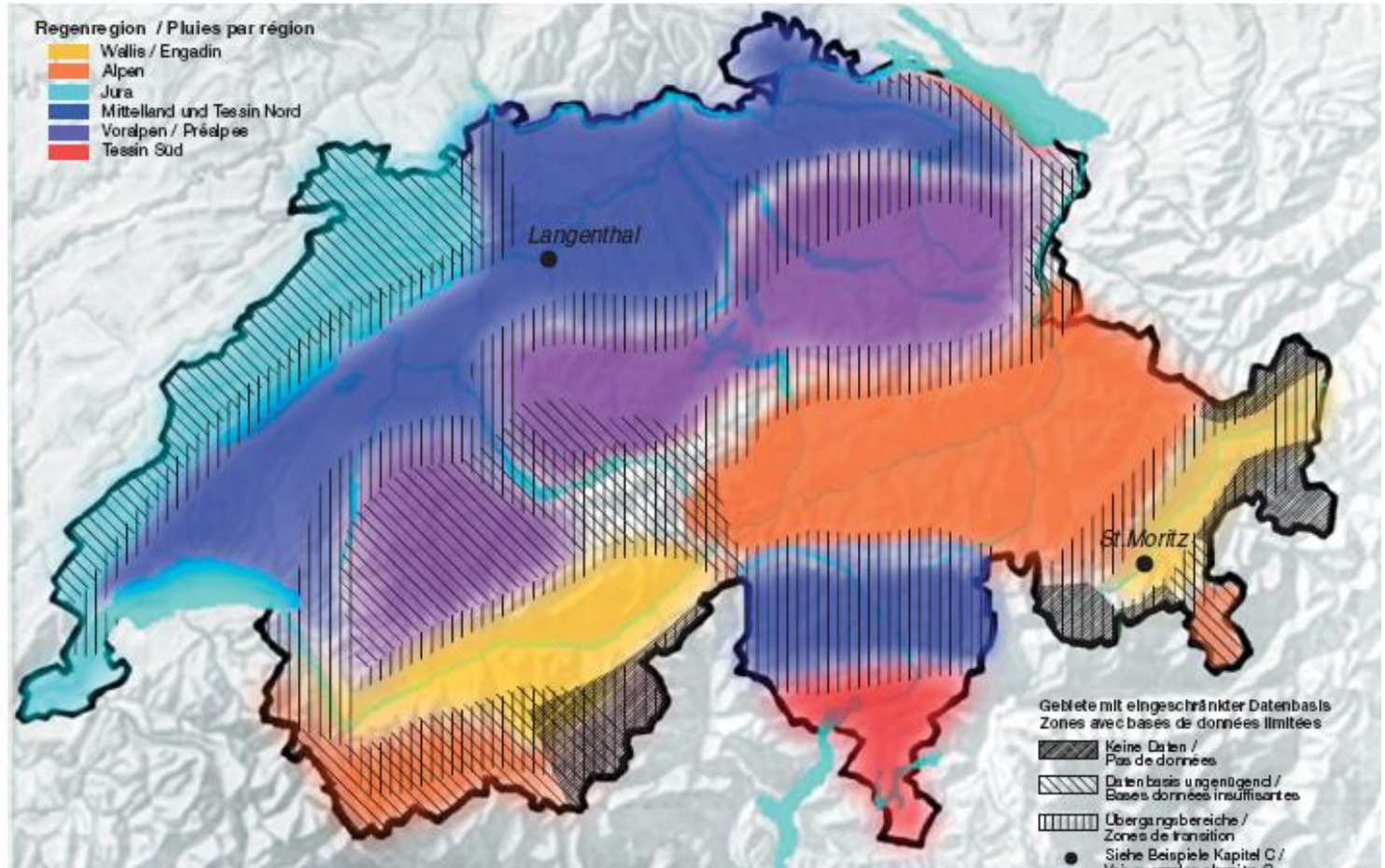
Pour la Suisse, les normes VSS (Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute / Union des professionnels de la route - SN 640 350) utilisent la

formule de Talbot : $i_{(t, T)} = a_T / (t + b_T)$

i = intensité en mm/h

a_T et b_T = coefficient régionalisé

=> courbes régionales avec intervalle de confiance à 95 %

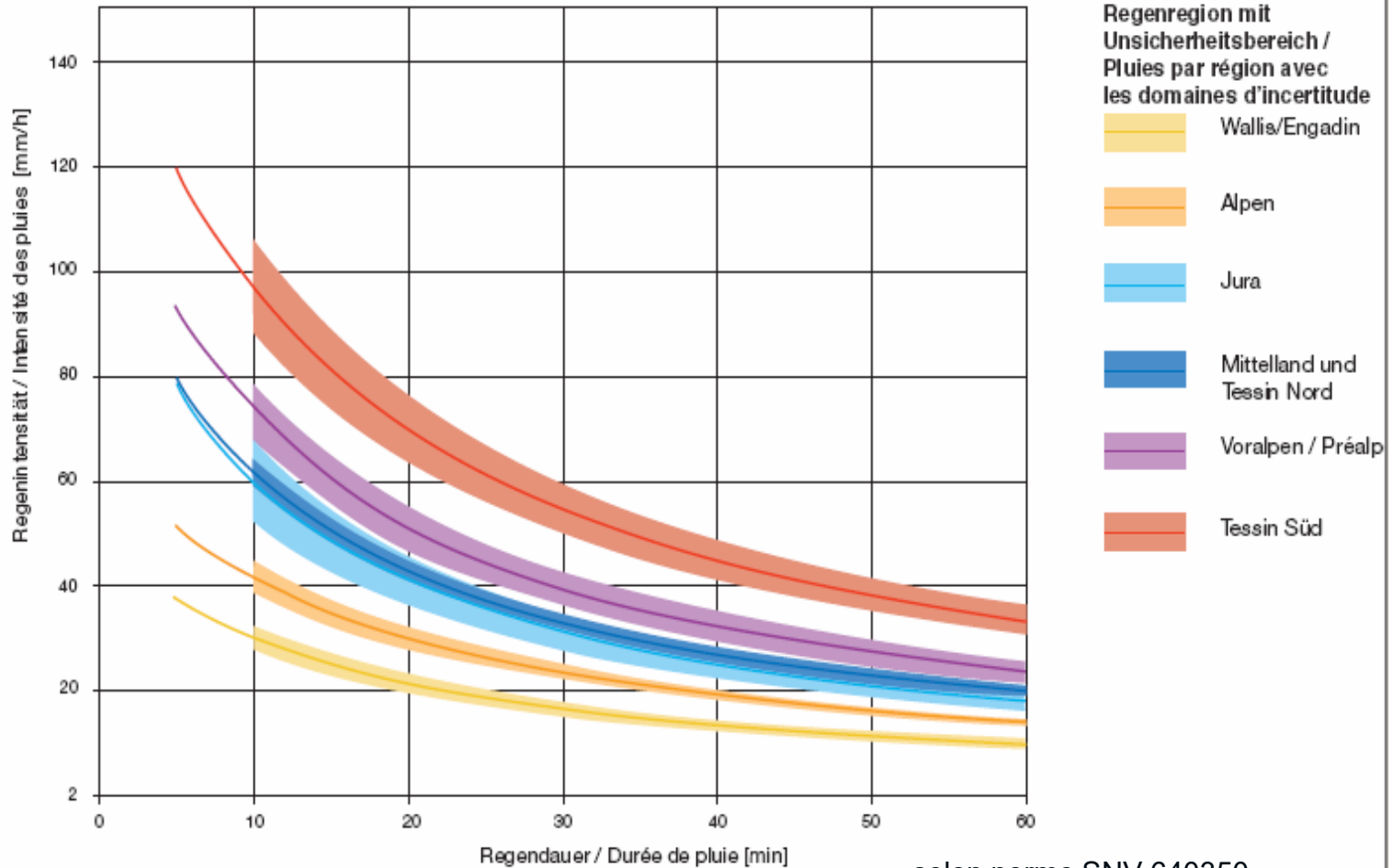


selon norme SNV 640350

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

Abb. 2
Einhäufige Regenintensitäten mit Unsicherheitsbereich (95% Vertrauensintervall) für die verschiedenen Regenregionen

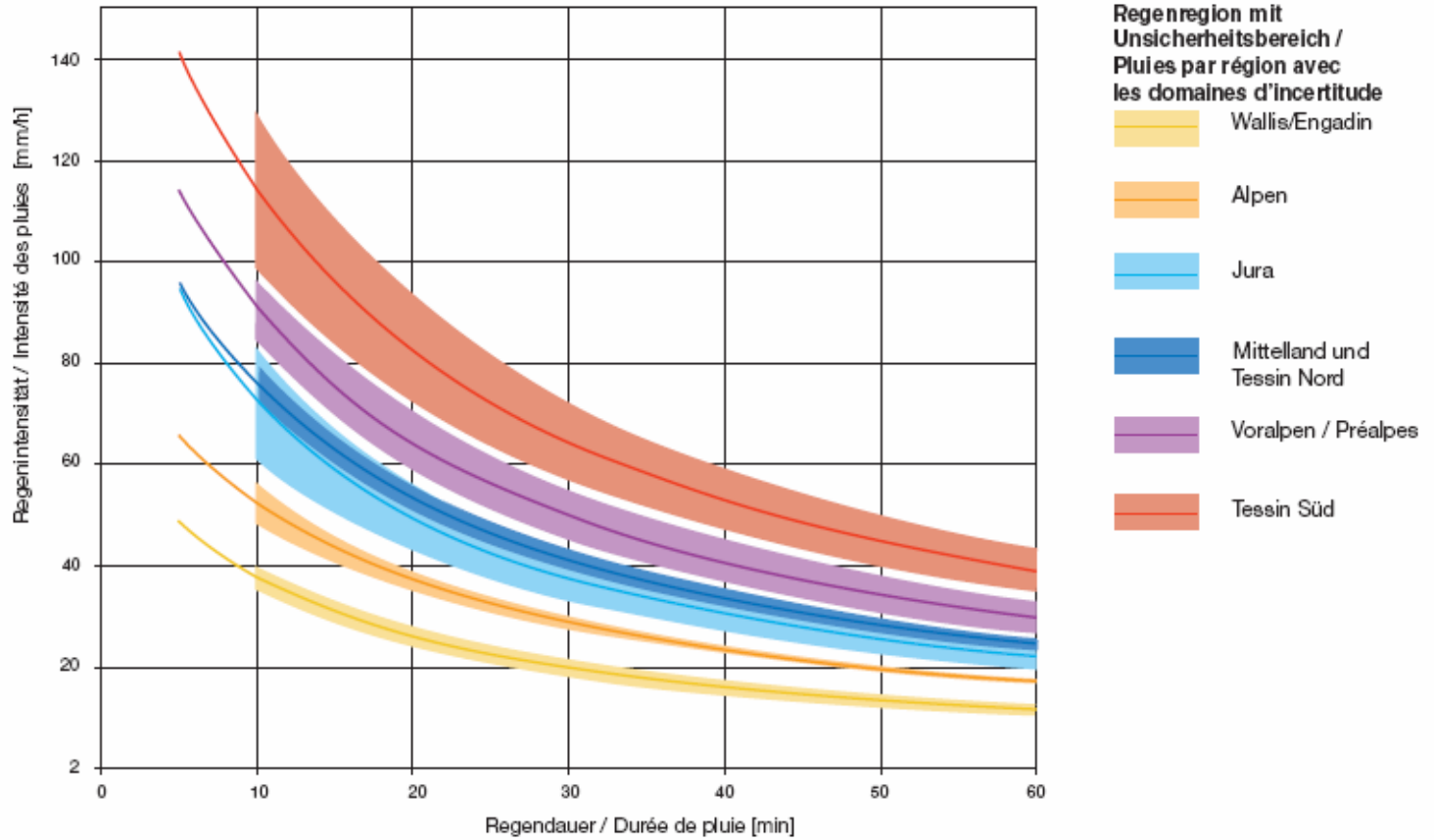
Fig. 2
Intensités annuelles des pluies par région avec les domaines d'incertitude (coefficient de confiance: 95%)



selon norme SNV 640350

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 (coefficient de confiance: 95%)



Quelques notions de base :

Temps de concentration d'un bassin versant = T_c =

= 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 = C_r =

= 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 C_r 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

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	0,1
	> 25 – 50 cm	0,2
	> 10 – 25 cm	0,4
	≤ 10 cm	0,7
Places et chemins	– avec revêtement dur	1,0
	– avec revêtement graveleux	0,6
	– avec écosystème (joints gravillonnés)	0,6
	– avec revêtement filtrant	0,6
	– avec des pavés filtrants	0,2
	– avec des grilles-gazon	0,2

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

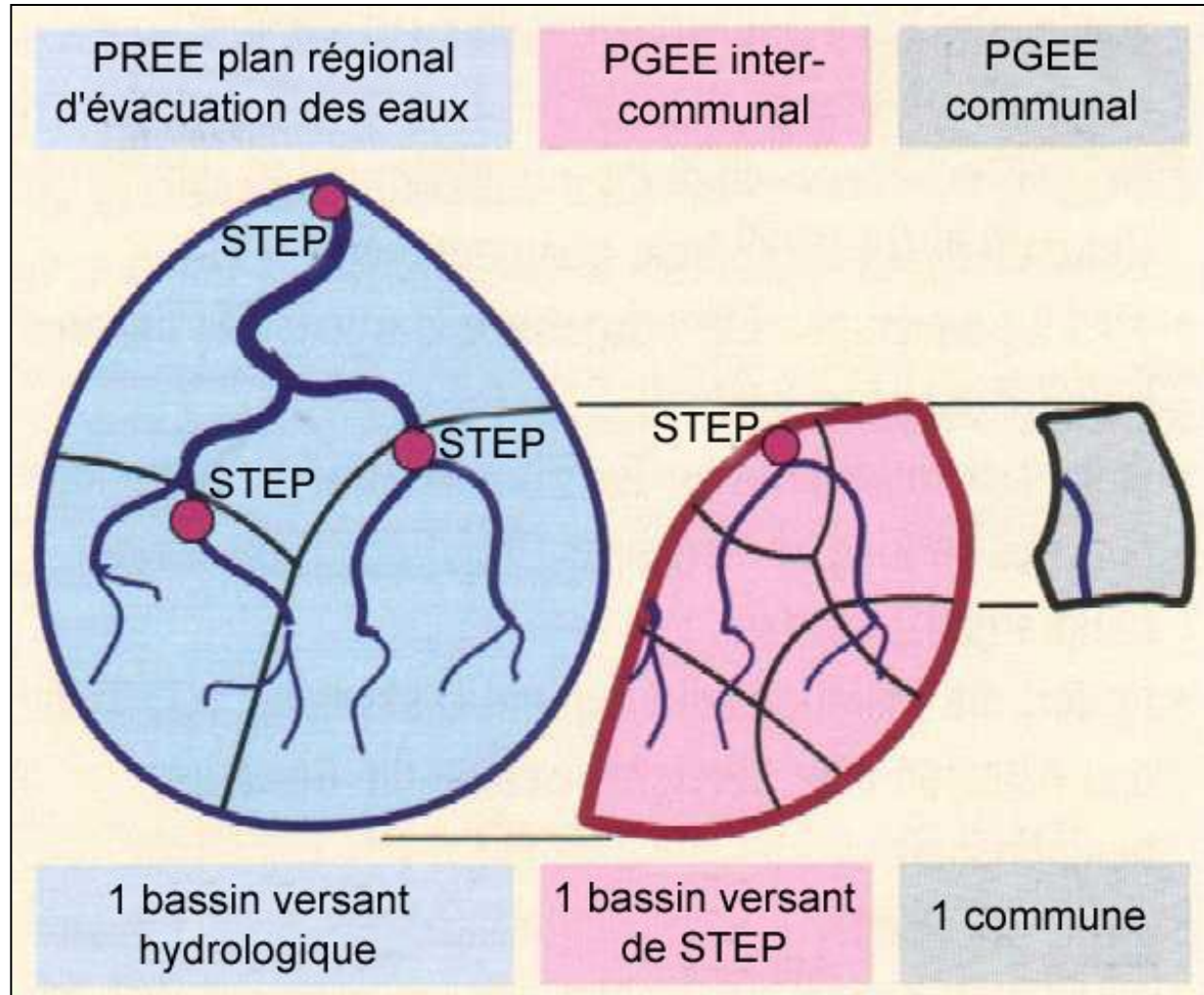
- Depuis 1989
- Réalisé à l'échelon communal
- Se base sur l'ancien plan directeur des égouts (PDE)
- Canalisations, ouvrages, surveillance des conduites, actualisation des données, zones d'infiltrations, eaux parasites, exploitation, entretien, rénovation, financement organisation et règlements

– PGEEi = PGEE intercommunal

- Tendance actuelle
- Réalisé à l'échelon du bassin versant d'une STEP

– 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,

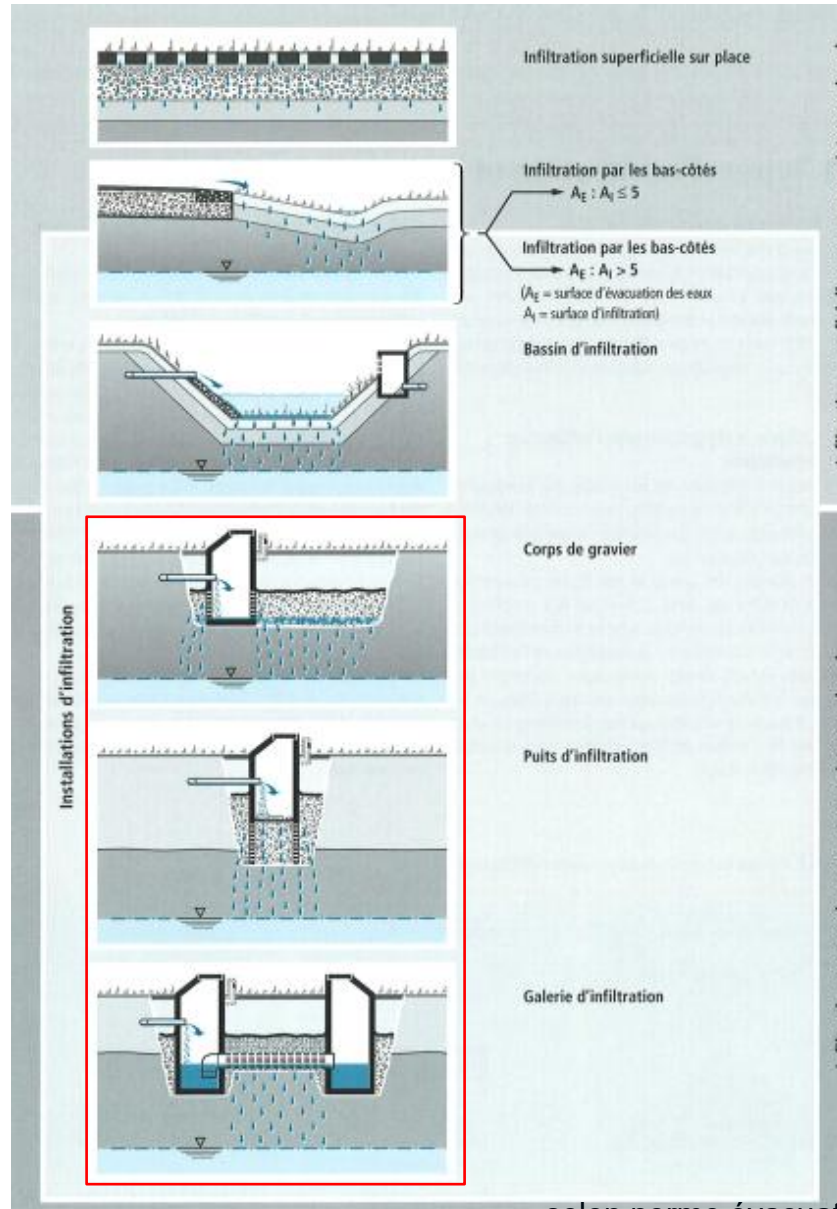
Établi au niveau communal, il définit :

- **Le périmètre** à l'intérieur duquel 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 points 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.

- Contraintes : qualité de l'eau, géologie, zones de protection des eaux
- Objectif:
 - Diminuer les débits de pointe au milieu récepteur
 - Recharger les nappes, rétablir la situation hydrologique initiale
 - Doit préférentiellement passer par une couche de sol biologiquement active → **infiltration directe dans le sous-sol déconseillée hors drainages**



Principes pour les eaux usées

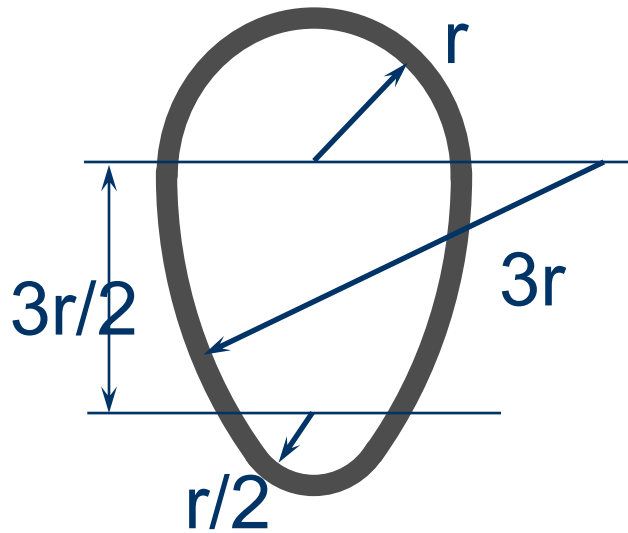
- Débit: Q_{ts} = débit par temps sec (débit spécifique x producteurs)
- Débits spécifique $Q_{ts} \approx 170$ l/EH/jour
- Temps de parcours réduit : doit pouvoir éviter putréfaction
- Ecoulement biphasique, confinés et turbulents
- Vitesse minimale à respecter pour autocurage
- Pas de points bas (sauf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

Écoulement	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)

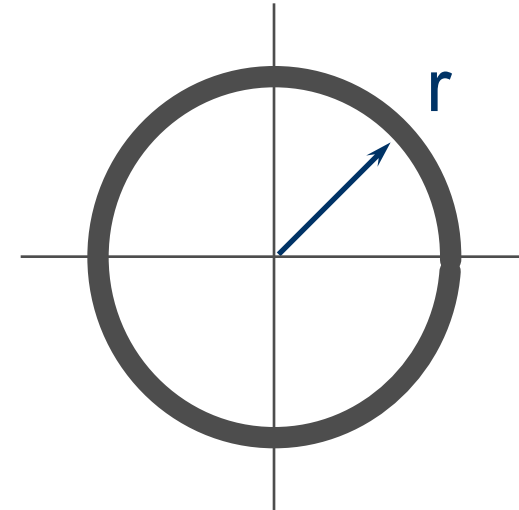
- Écoulement à surface libre (généralement pas de mise en pression)
- Variations importantes du débit
- Diamètre minimum
 - Eaux usées : Ø200 mm
 - Eaux mixtes et eaux de ruissellement : Ø250 mm
- Matériaux
 - PPHM, PE rigide, PRV
- Procédure d'essai à l'étanchéité
- Calcul statique : vérification de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



Confinement de l'eau

→ Augmentation de la vitesse lorsque le débit est faible

→ Bien pour EU et unitaire (EM)



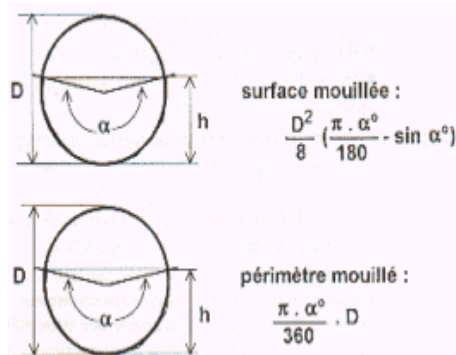
Facile pour la conception

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 m³/s

S: surface mouillée de la conduite en m²

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 m^{1/3}s⁻¹

L'équation s'applique uniquement si $K > (60\nu)^{10/9}$
avec ν = la viscosité cinématique du fluide en m²s⁻¹.

On trouve aussi :

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

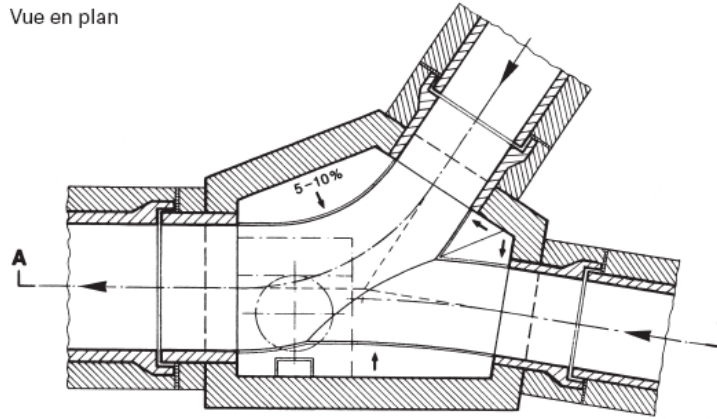
Description	n	Ks
Parois très lisses : Mortier de ciment et sable très lisse, planches rabotées, tôles métalliques sans soudures saillantes. Mortier lissé	0,010 à 0,0111 0,0119	90 à 100 85
Parois lisses : Planches avec des joints mal soignés, enduits ordinaires, grès Béton lisse, canaux en béton avec des joints nombreux Maçonnerie ordinaire, terre exceptionnellement régulière	0,0125 0,0134 0,0142	80 75 70
Parois rugueuses : Terre irrégulière, béton rugueux ou vieux, maçonnerie vieille ou mal soignée	0,0167	60
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	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 :

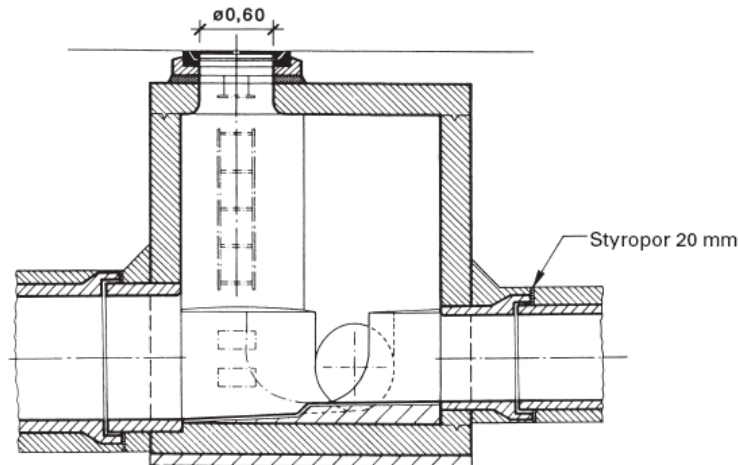
$$B = DE + A + A1 + 2 \cdot S$$

Chambre de jonction

Vue en plan



Coupe A-A

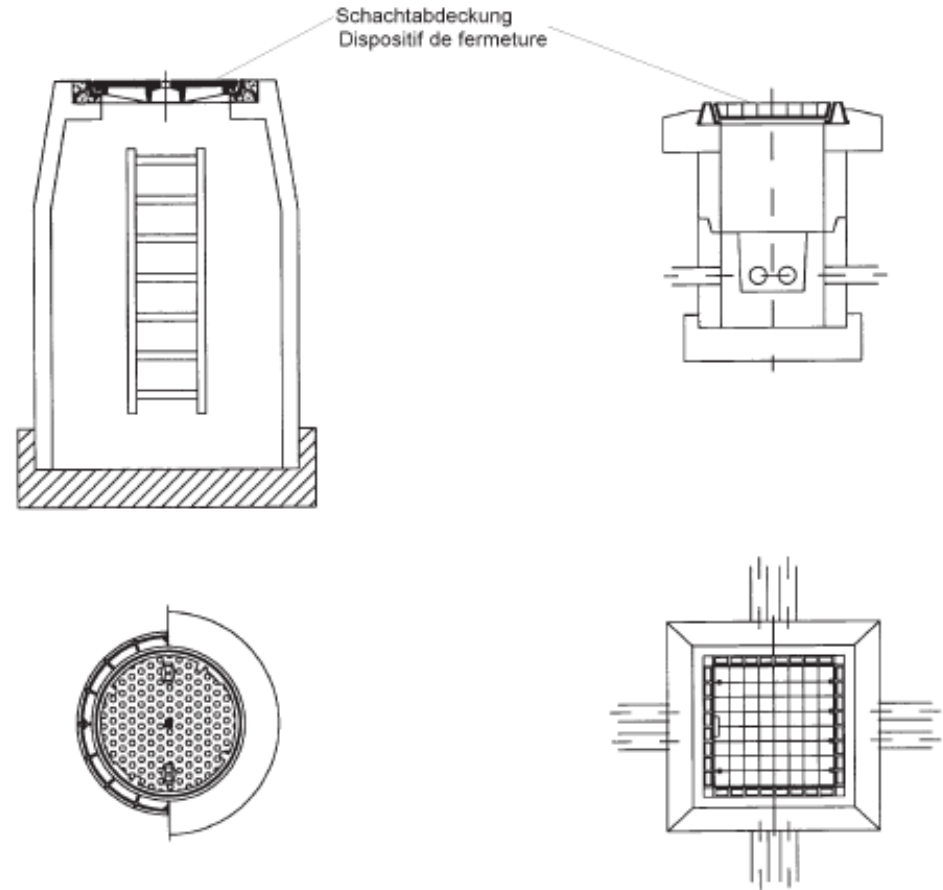


Source: norme SIA 160

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.

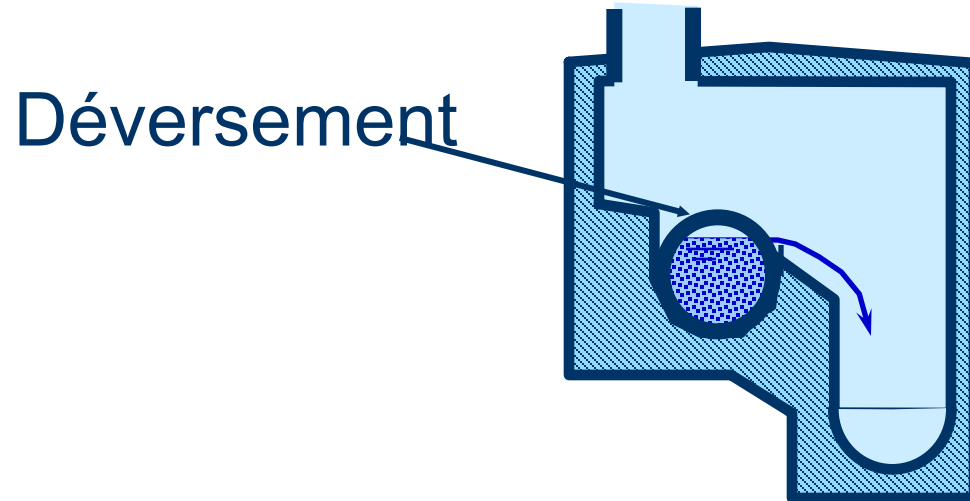
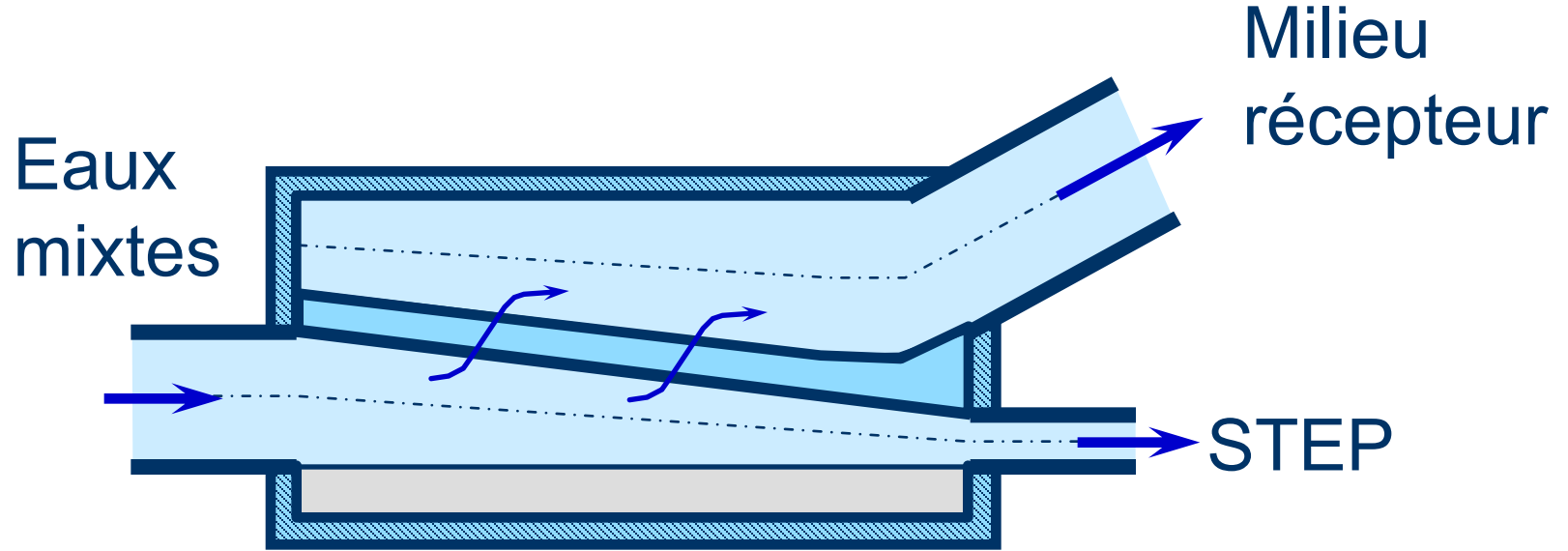
Chaque 80-100 mètres

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



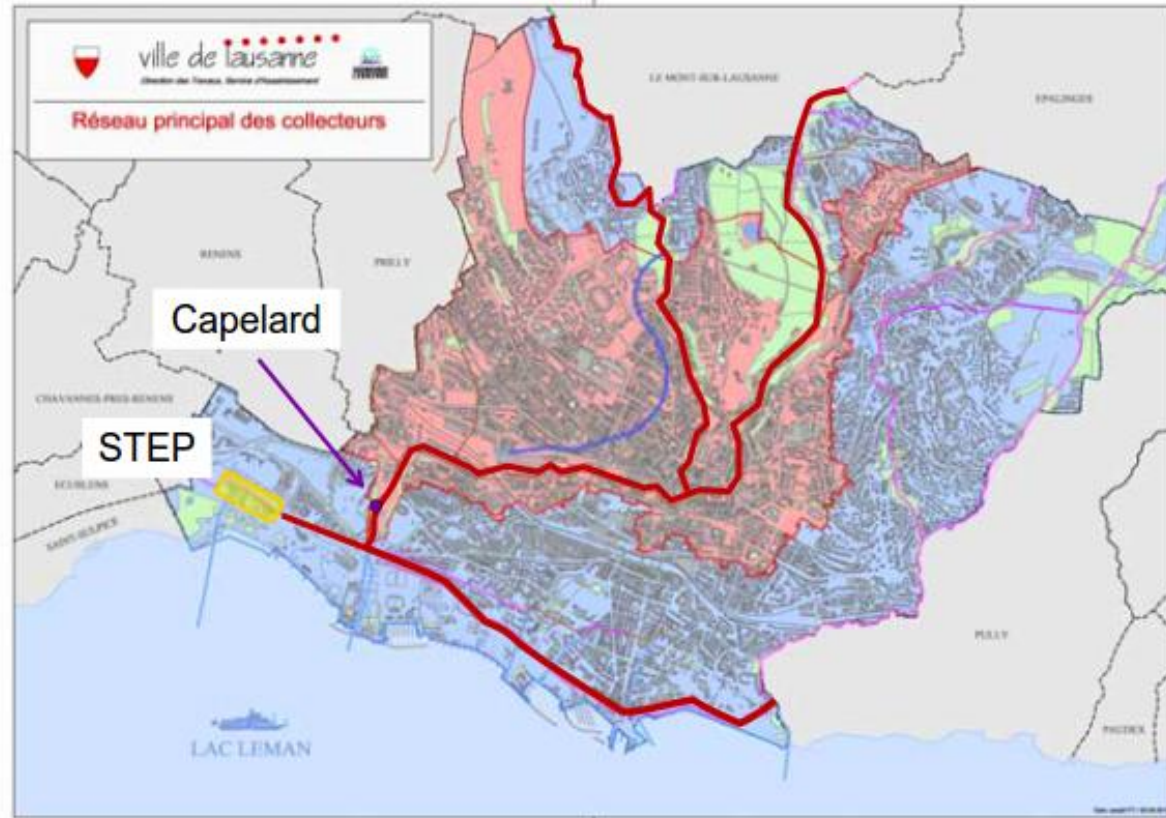
Source: norme SNV 640'366

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets





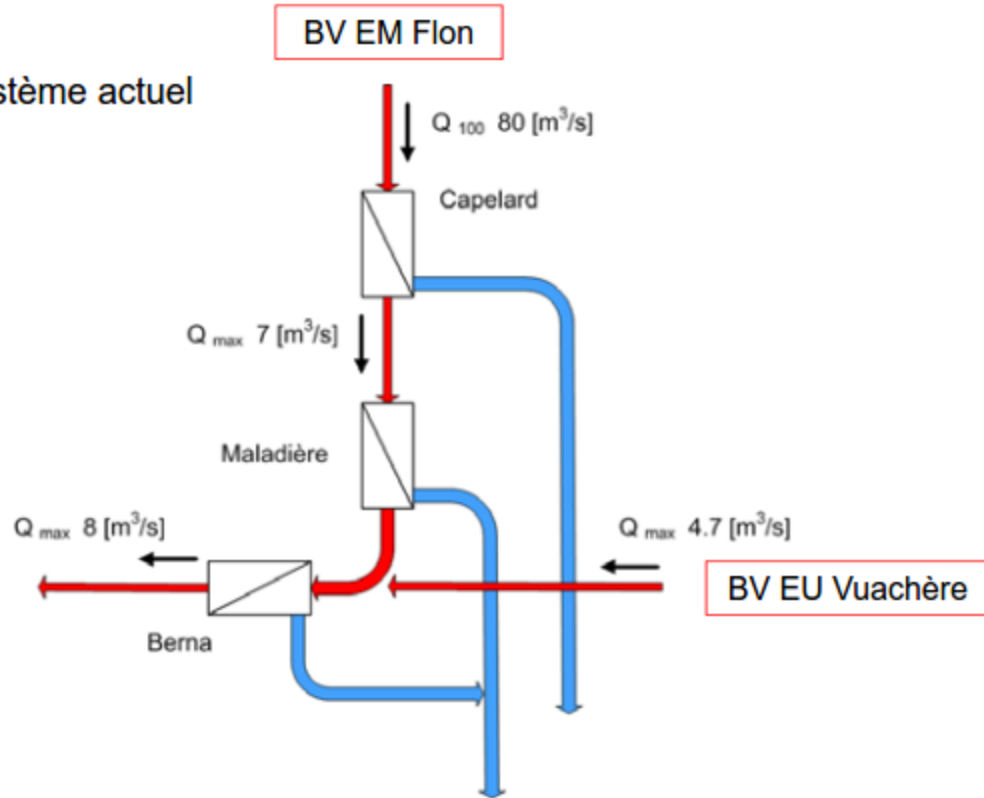
Réseau Lausannois





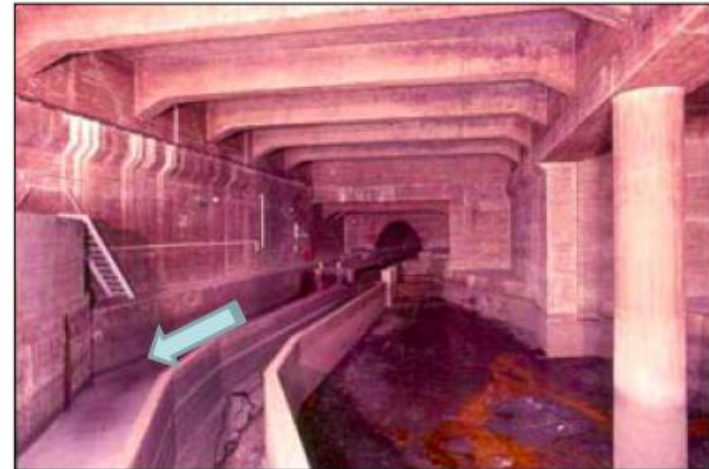
Flux

Limites du système actuel



Système de déversoirs

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



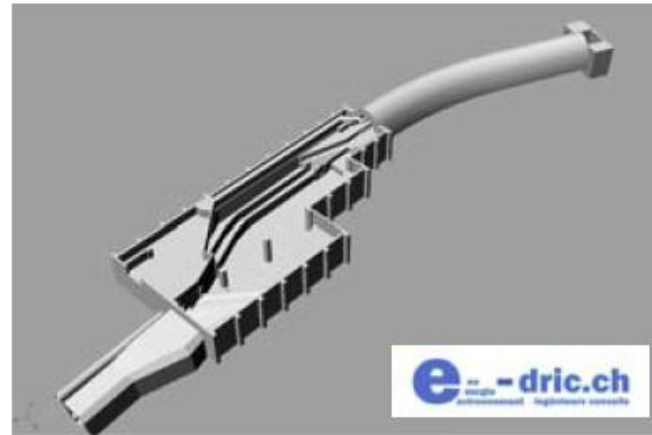


Modélisation

Maquette (EPFL – LCH)



Modèle 3D (e-dric)



Modélisation physique - Dégrilleur

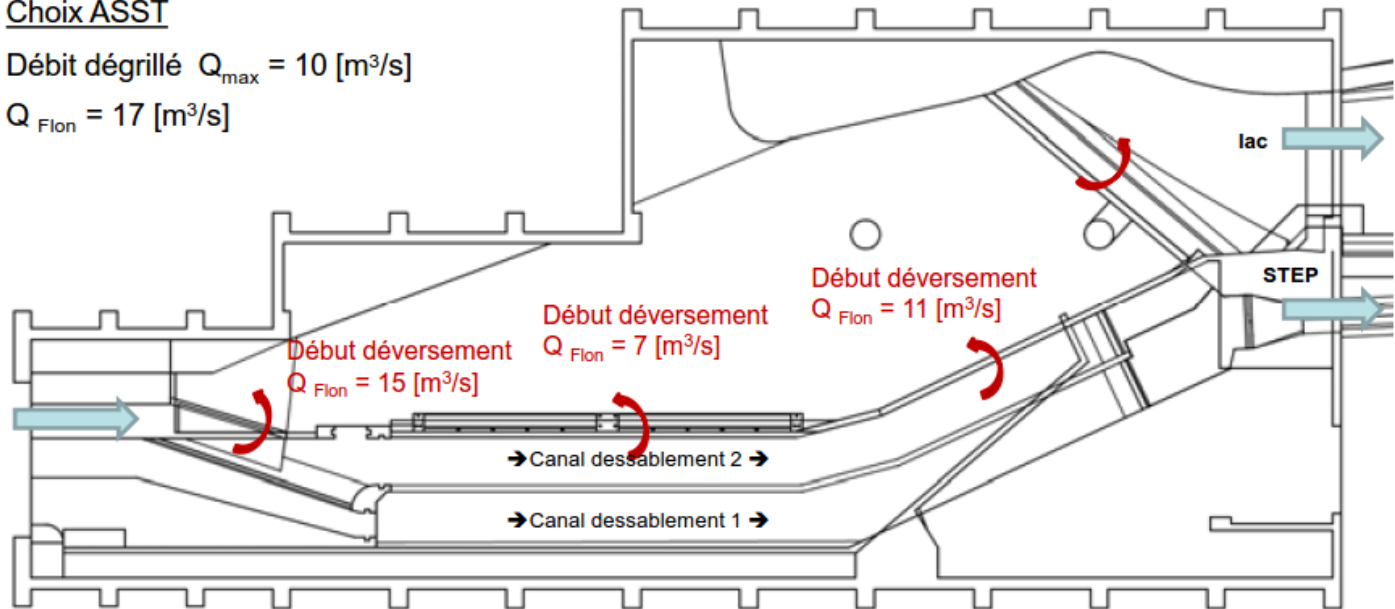
SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets

Essai dégrilleur latéral

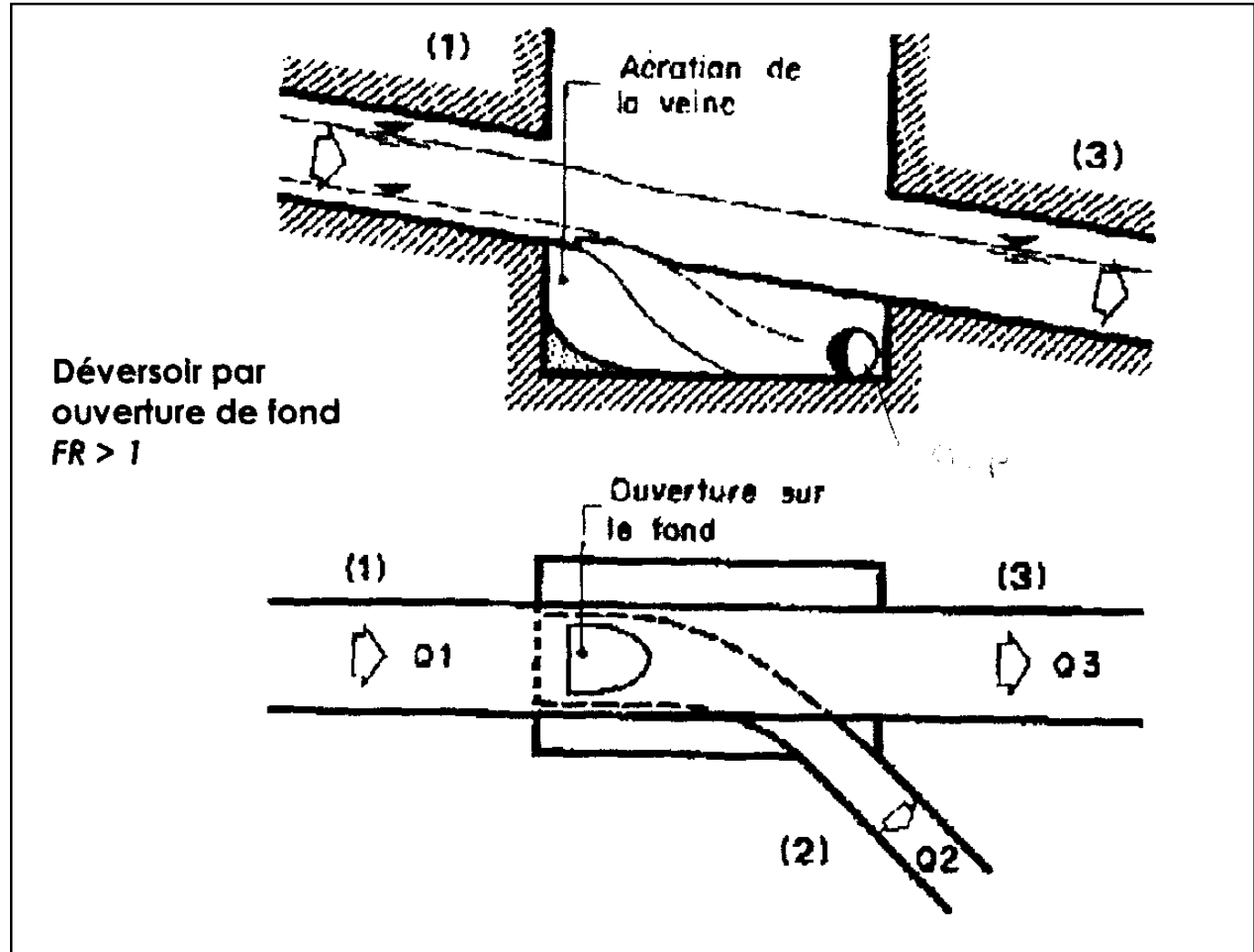
Choix ASST

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

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

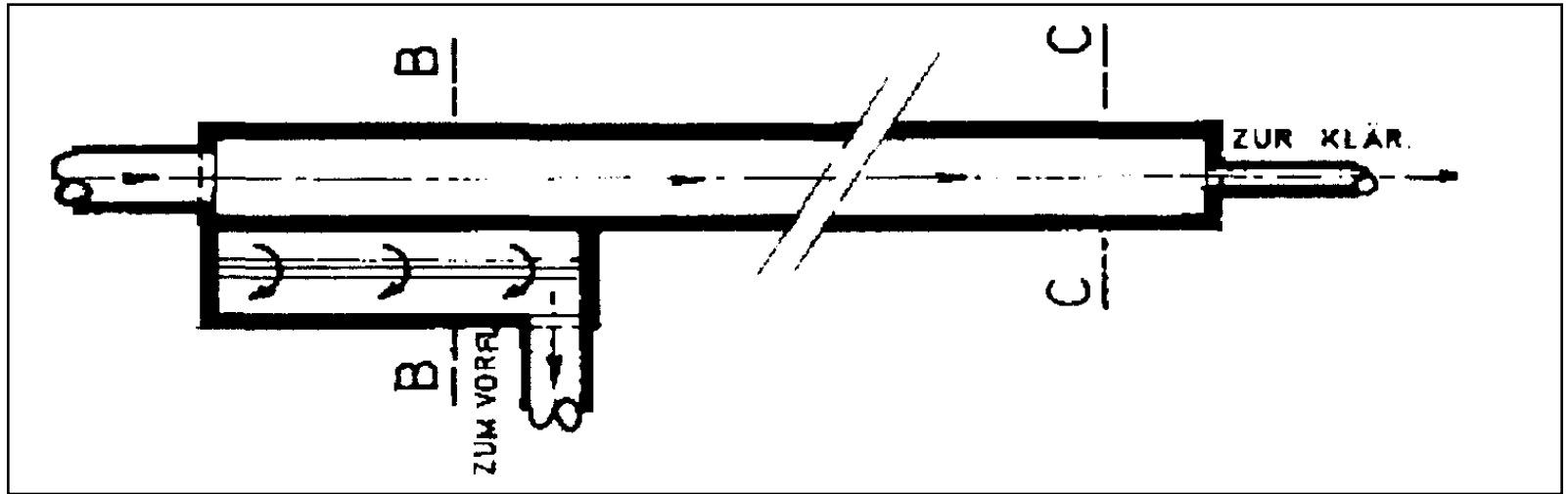


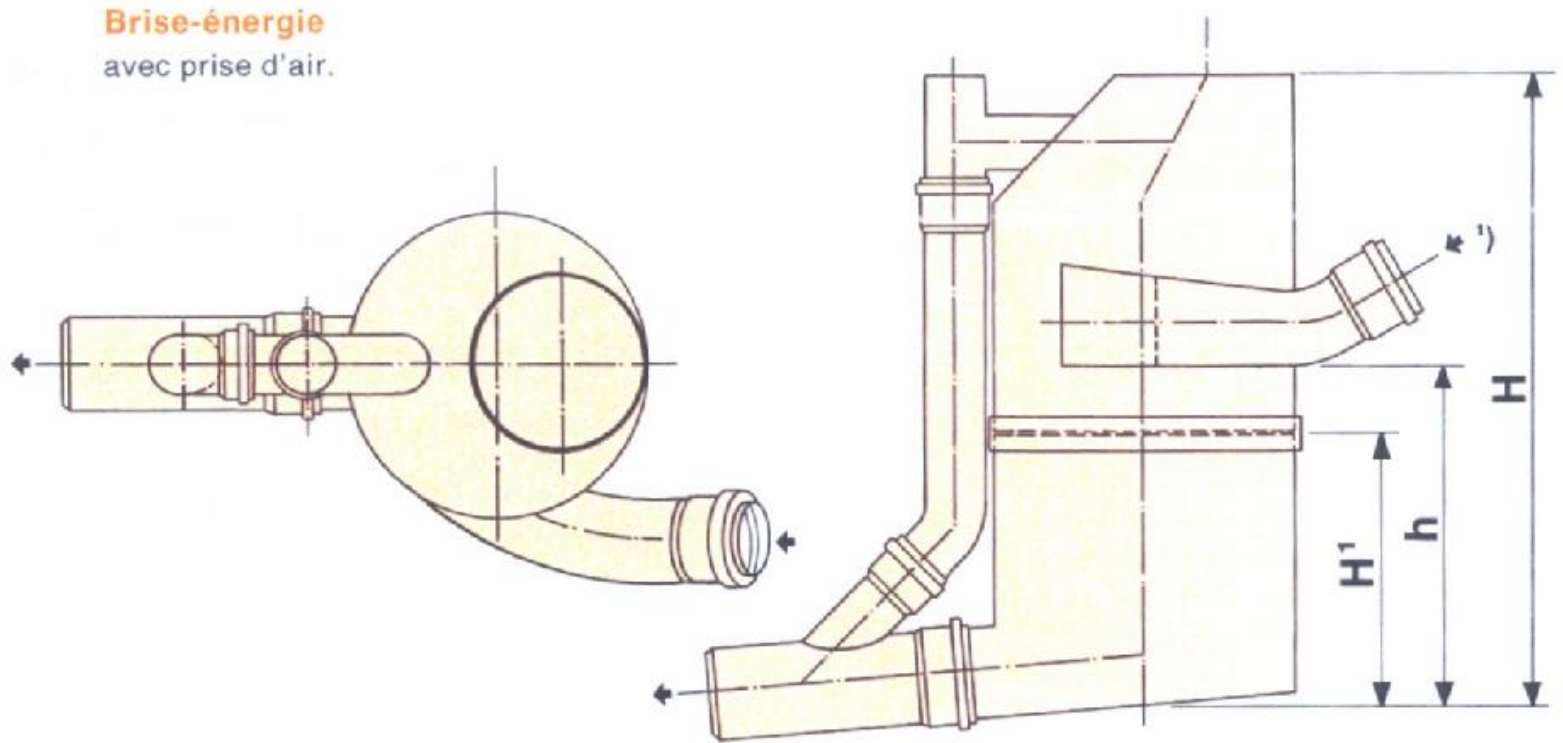
Déversoir de fond (leaping Weir)



- Les eaux pluviales en provenance de routes à fort trafic (ou parking, zones de circulations d'industries, etc.) nécessitent d'être traitées avant rejet au milieu.
- Type de pollution rencontrée : métaux (Cu, Zn, Pb) présents sur les matières fines, résidus de pneus, hydrocarbures.
- Types de traitement à privilégier : décantation et filtration à travers un sol naturel (fossés, bassins) ou artificiel (chambres avec filtres).
- Risques d'accidents (ex : fuites d'hydrocarbures dans stations services) à intégrer par l'installation de séparateurs à hydrocarbure (fonctions de décantation et séparation gravitaire, avec éventuel filtre à coalescence).

- **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 :**
 - **Téc < 15 min** (forte concentration en polluant)

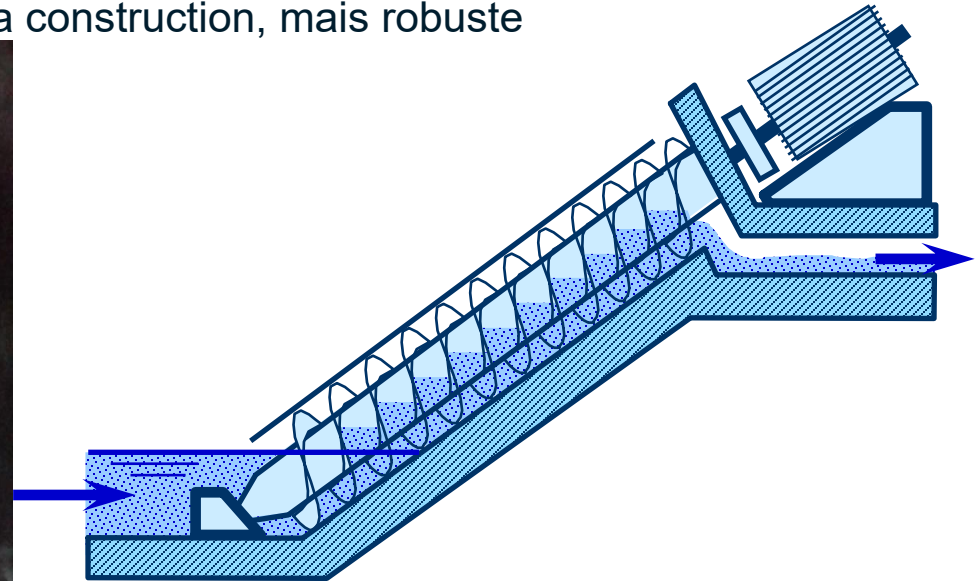




*) Entrée tangentielle «SOMO» avec section de pénétration assurant un fonctionnement optimal, quels que soient le débit et la vitesse d'arrivée.

- **Relevage = sur place ↔ Refoulement = à distance**
- **Pompe → toujours au moins 2 pompes (relevage et refoulement)**
- **Vis d'Archimède (relevage) :**
 - pomper de l'eau
 - permet de transformer un mouvement de rotation en une rotation selon un axe perpendiculaire
 - Coûteux à la construction, mais robuste

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



- EU présente une vie bactérienne → prendre en compte les temps de séjour des effluents dans les ouvrages de refoulement car risque de formation d'H₂S
- H₂S gaz mortel, au-delà d'un certain seuil, on ne le sent plus
- H₂S corrosif pour les bétons = dégradation des ouvrages



Eaux usées

- **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)

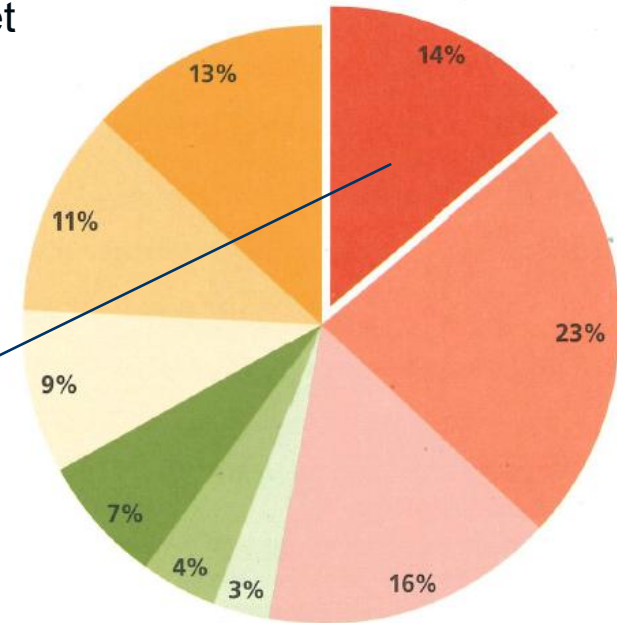
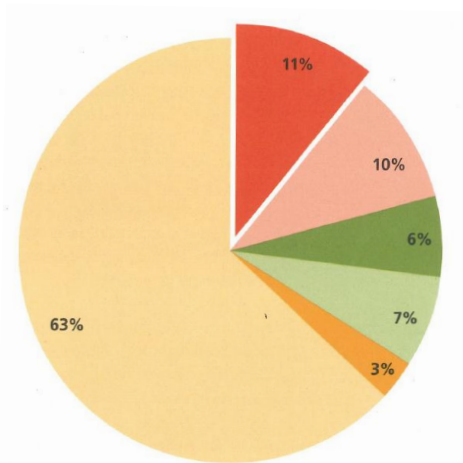
Eaux claires

- **Ville éponge**

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



- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| Stations d'épuration | Approvisionnement en eau |
| Traitement des déchets | Loisirs, culture, église |
| Administration publique | Transport |
| Ménages | Écoles |
| Éclairage public | |

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