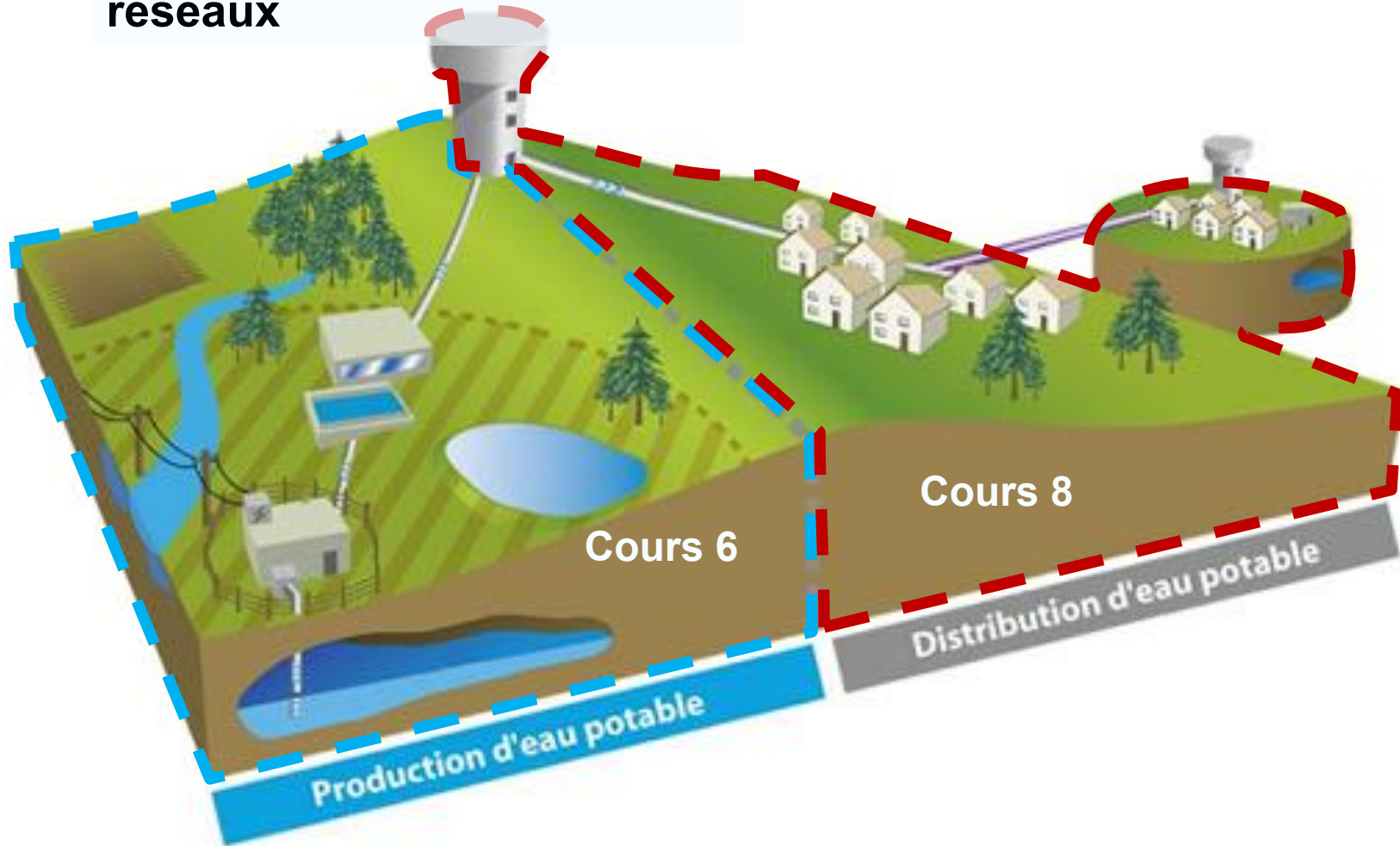


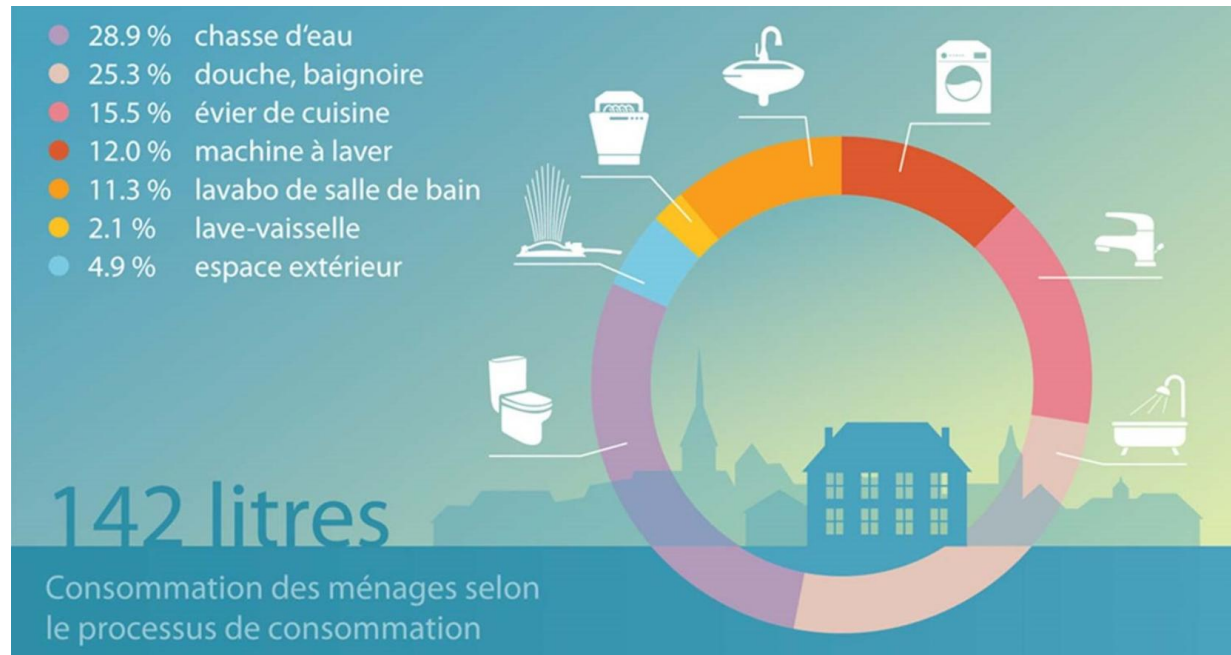
SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



Principaux éléments

- Stations de pompage
- Réservoirs
- Réseaux
- Plan directeur de la distribution de l'eau [PDDE]

- **Consommation totale moyenne par habitant : 280 l/hab/j**
(Statistiques suisses SVGW / SSIGE – 2024)
 - Ménages et petit artisanat 55 % - 154 l/hab/j
 - Artisanat et industrie 26 % - 73 l/hab/j
 - Services publics et fontaines 5 % - 14 l/hab/j
 - Services des eaux 2 % - 6 l/hab/j
 - Pertes 12 % - 33 l/hab/j



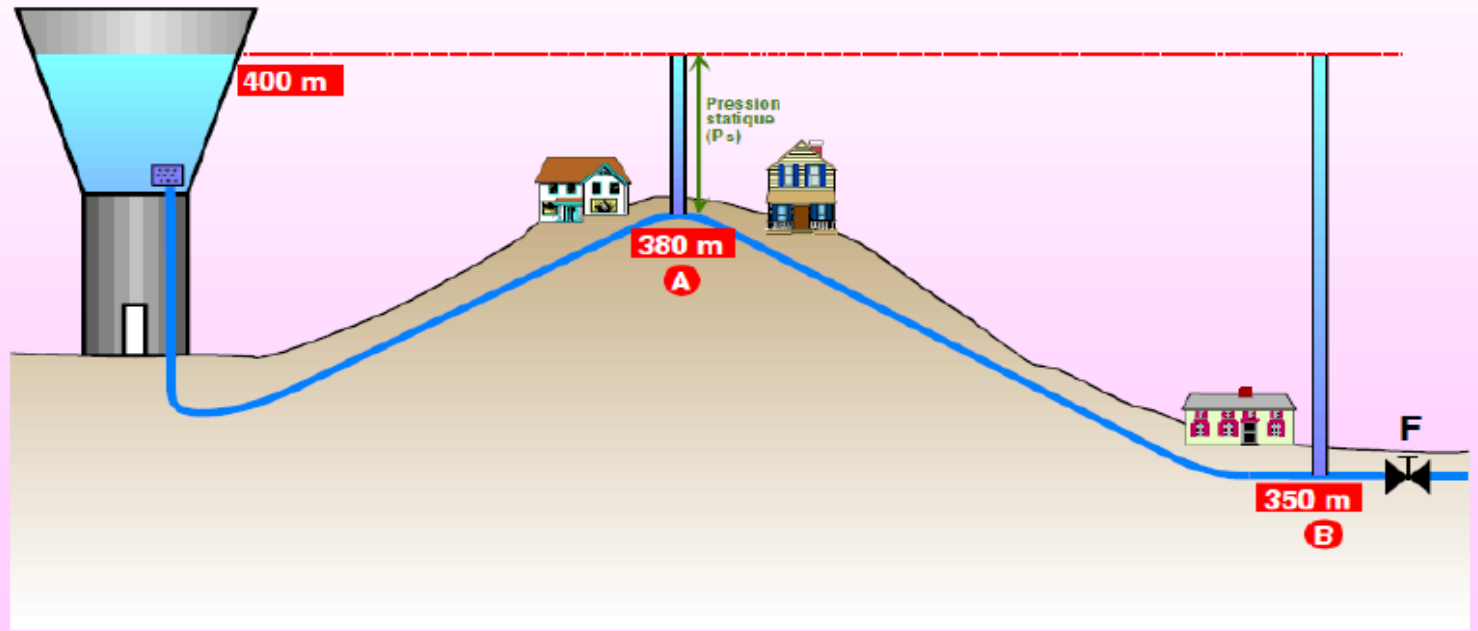
Fonctions :

- Assurer et regulariser les **pressions** dans le reseau
- compenser les ecart **horaires et journaliers** entre apports et consommation
- Independance des debits de pompage et des captages
- Reserve de secours
- Reserve d'incendie (vanne incendie specifique)

Pression statique : quand (si) l'eau ne coule pas (la nuit)



STATIQUE

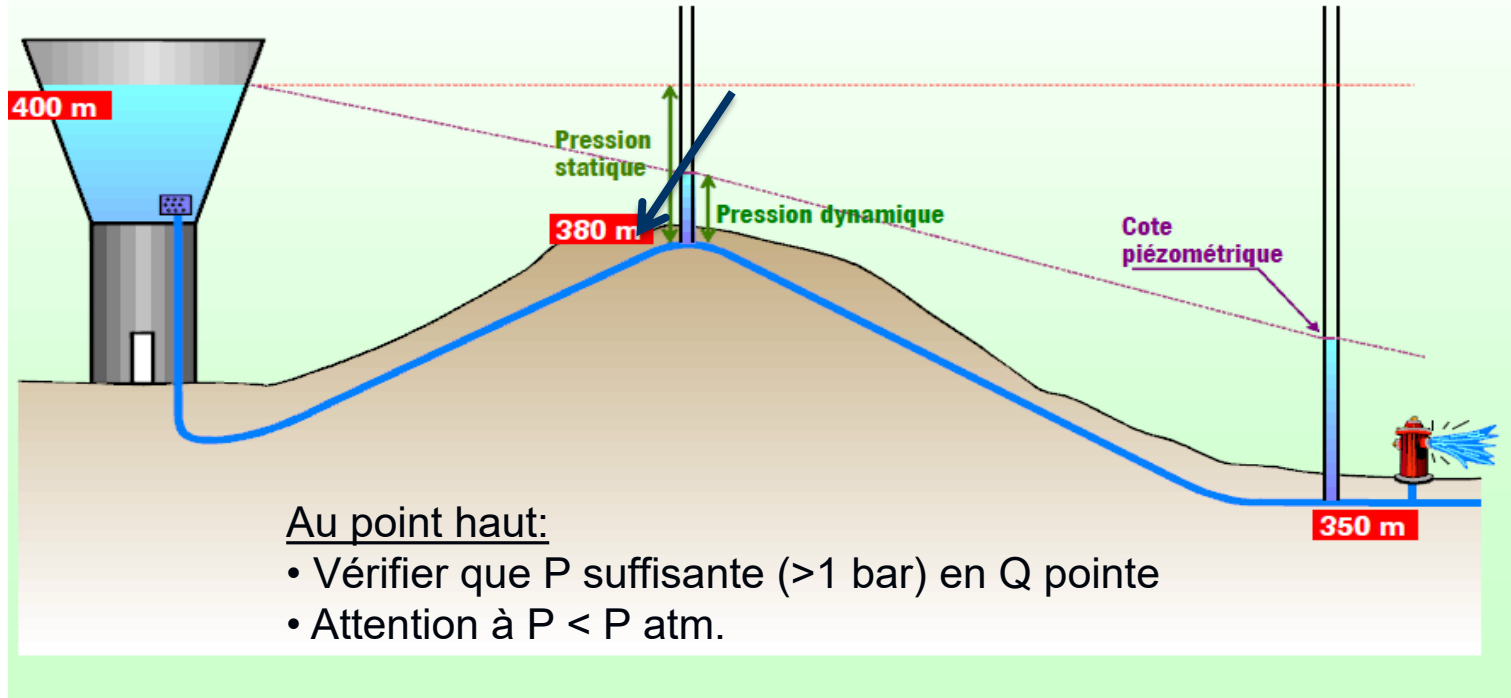


SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets

Pression dynamique : quand l'eau coule et ... perd de l'energie



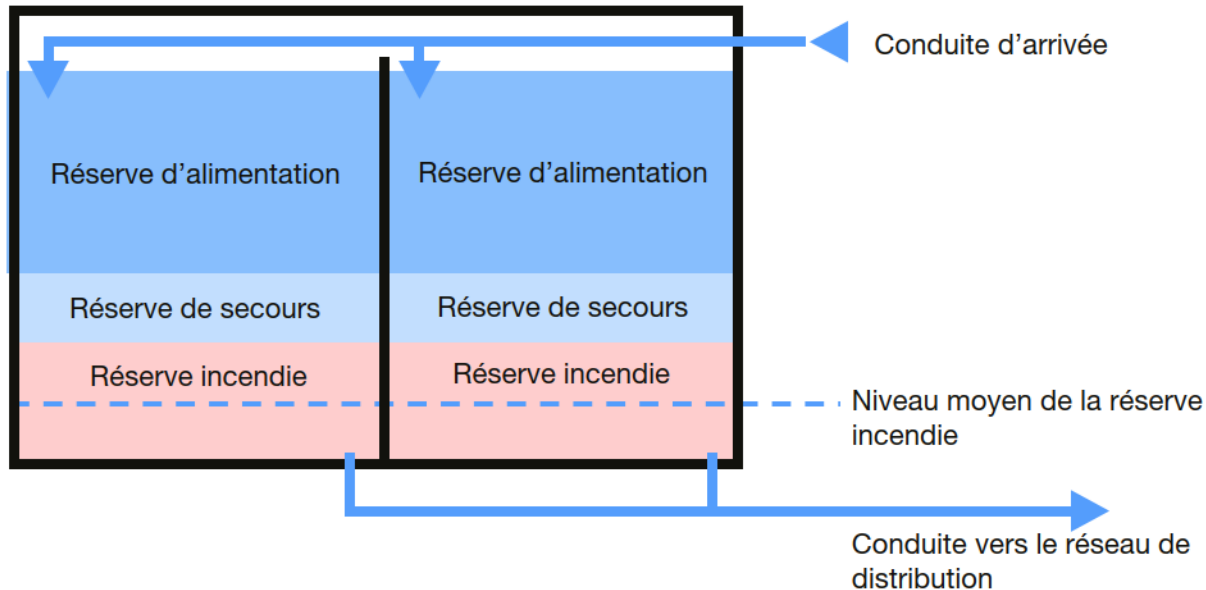
LIGNE PIEZOMETRIQUE DYNAMIQUE



Au point haut:

- Vérifier que P suffisante (>1 bar) en Q pointe
- Attention à $P < P_{atm}$.

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



Dimensionnement (directives W6 et W5 de la SVGW / SSIGE) :

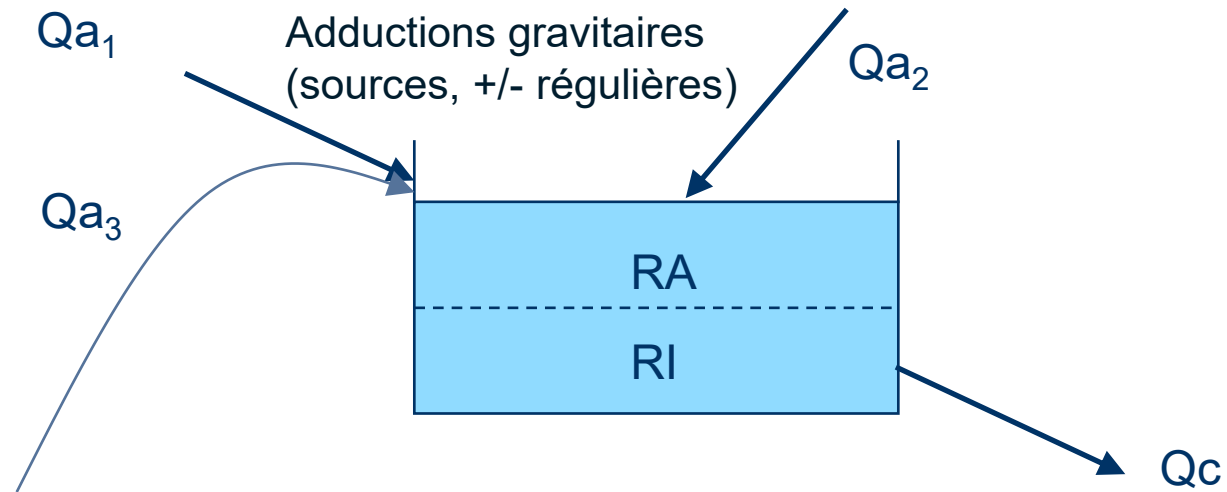
- **Réserve d'alimentation**
 - 0,5 x besoin journalier moyen (BJM) (p.ex : 300 l/hab) = **0.15 m³/hab**
- **Réserve de secours**
 - Petits réseaux (BJM < 4000 m³) : 0.5 x BJM = **0.15 m³/hab**
 - Grands réseaux (BJM > 4000 m³) : 2 x besoin horaire maximal annuel
- **Réserve incendie**
 - Variable selon taille du réseau et objets à défendre contre l'incendie
 - Généralement comprise entre 150 m³ et 1'000 m³
- **Capacité totale de stockage**
 - En moyenne **0.4 à 0.5 m³ par habitant**
(Soit env. le besoin journalier moyen BJM)

ΣQ_a = debit des adductions (m^3/h ou L/min)

Q_c = debit de consommation (m^3/h ou L/min)

RA = reserve d'alimentation (m^3)

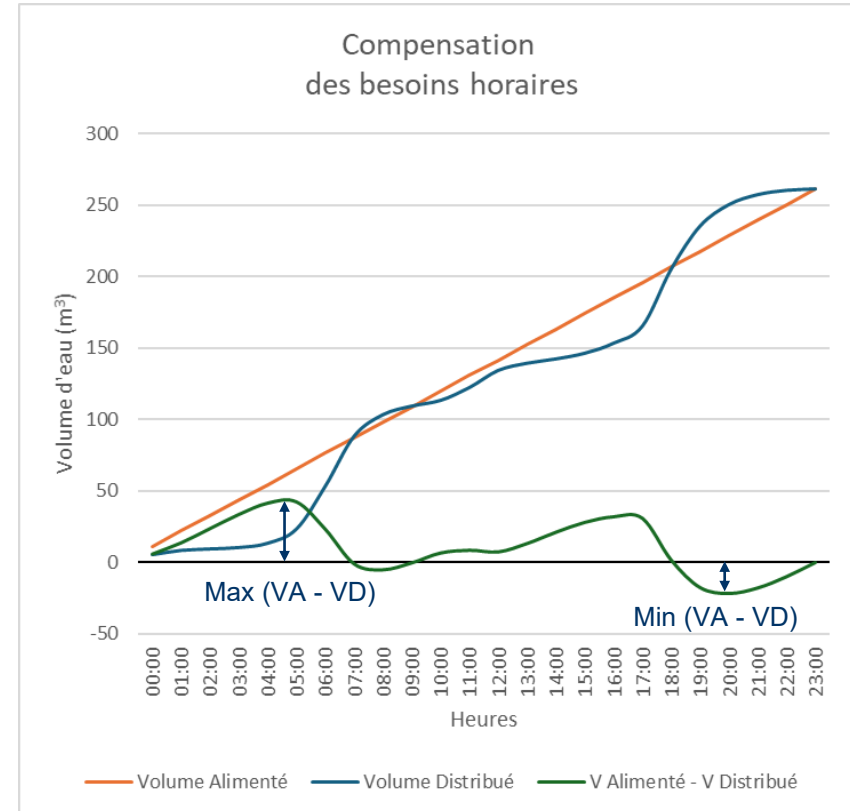
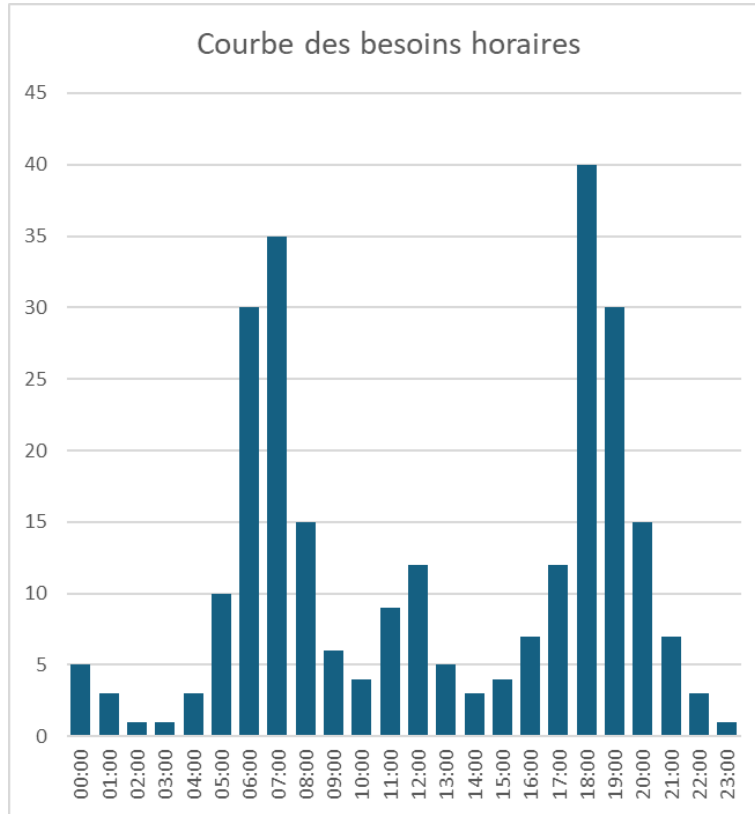
RI = reserve d'incendie (m^3)



Absorber les fluctuations de la demande

Stockage la nuit pour absorber les besoins de la journée

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



$$\text{Volume de compensation} = \text{Min (VA - VD)} + \text{Max (VA - VD)}$$

Simulation : faire la somme des entrées, respectivement des sorties :
l'écart maximum correspond au volume à stocker

La reserve de defense incendie (RI)

La directive SVGW / SSIGE donne les volumes indicatifs suivants :

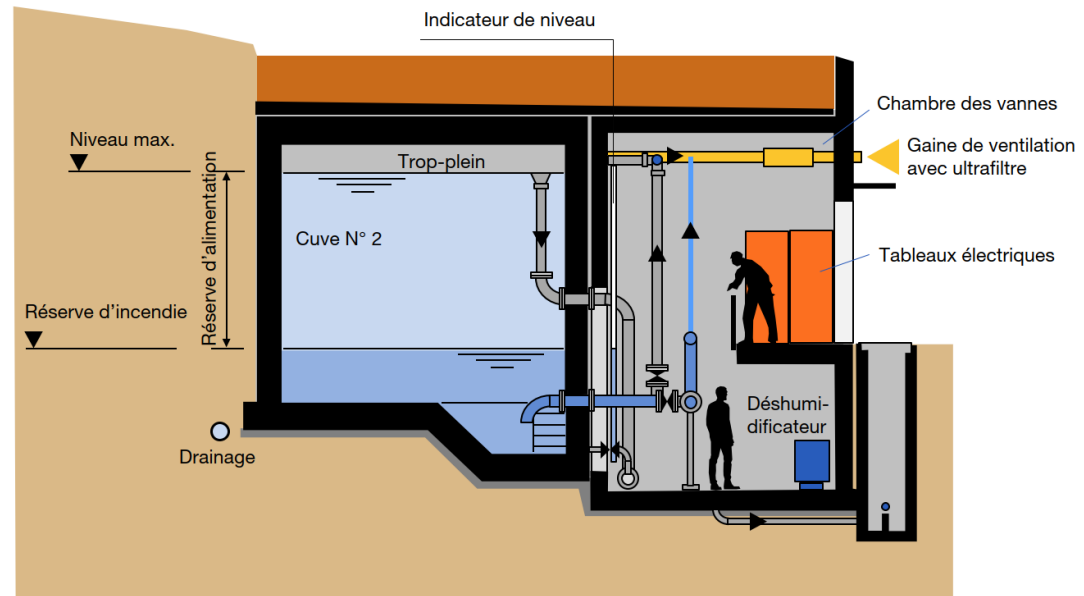
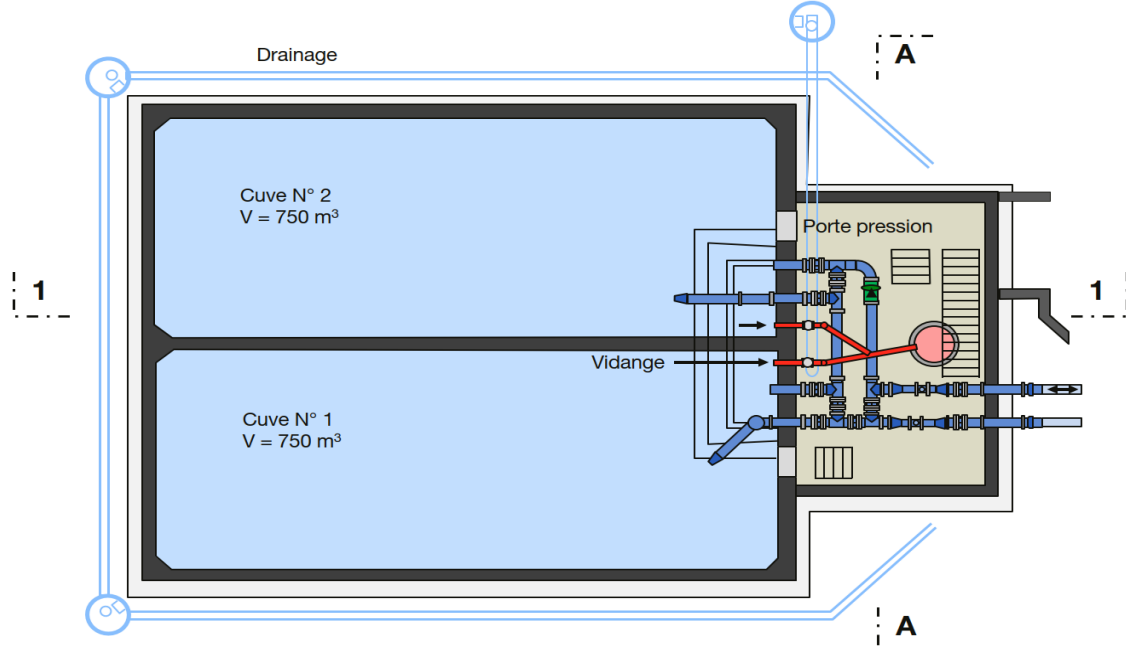
- 100 – 200 m³ en zone village et residentielle
- 200 – 400 m³ en zone urbaine / artisanale

En pratique, volume fixe dans chaque canton par l'ECA (Etablissement Cantonal d'Assurance) pour chaque commune selon le risque incendie des biens a couvrir.

Exemple : dans le canton de Vaud, la reserve de Defense Incendie (DI) se definit theoriquement comme suit :

2'000 L/min pendant 2 heures a 2,5 bar de pression minimum (au point le plus defavorable du reseau). La reserve incendie doit donc etre au minimum de 240 m³.

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



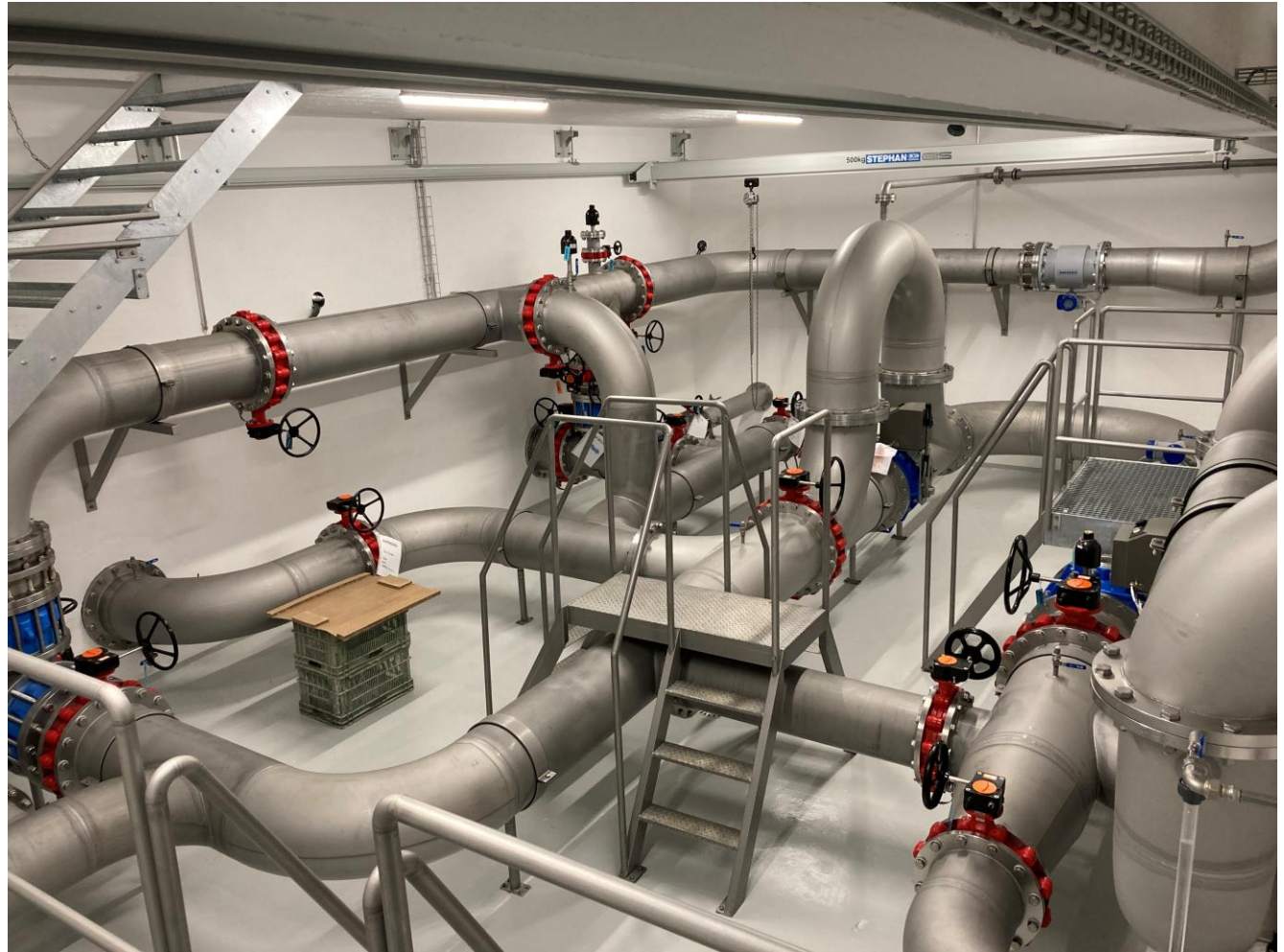
Quelques principes

1. Ne pas laisser stagner l'eau de la reserve incendie
 - Entree par le haut
 - Une sortie unique au point bas
 - Commande de vanne de reserve incendie a distance
2. Faciliter le nettoyage (eviter les angles morts, 2 cuves)
3. Filtrer l'air (pour eviter les insectes, animaux ou salissures)
4. Trop-plein
5. Reservoir enterré si possible : temperature fraiche et constante
6. Matériaux inox ;
7. Eau passe par un siphon inversé (col de cygne) ventilé, pour créer un appel d'air et éviter que la reserve incendie ne se vide par siphonage.
8. 2 cuves symétriques en liaison avec vanne, pour permettre les interventions sur l'une ou l'autre tout en assurant le service – ex. nettoyage 1x/an

- Le plan d'eau se situe en general entre 60 et 100 m au-dessus de la zone de distribution
 - Si pression trop forte : les fuites le long du reseau augmenteront / risques de casse chez les particuliers.
 - Si pression trop basse en statique, sera encore plus basse en dynamique.
- Si la difference de niveau est superieure a 100 m → installer plusieurs zones de pression
 - (ex: chambre coupe pression, reducteurs de pression)
- L'eau doit pouvoir circuler et se renouveler → renouvellement integral en 3 jours maximum
- En pratique : agrandissement par etapes (planification sur 30 ans !)
- Forme rectangulaire ou circulaire en beton
- Hauteur d'eau optimum (coûts de construction) :

< 500 m ³	3 à 4 m
< 1'000 m ³	4 à 5 m
< 5'000 m ³	5 à 6 m

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des dechets



de l'ecoulement gravitaire de l'antiquite, ...



Aqueduc romain de Elvas au Portugal

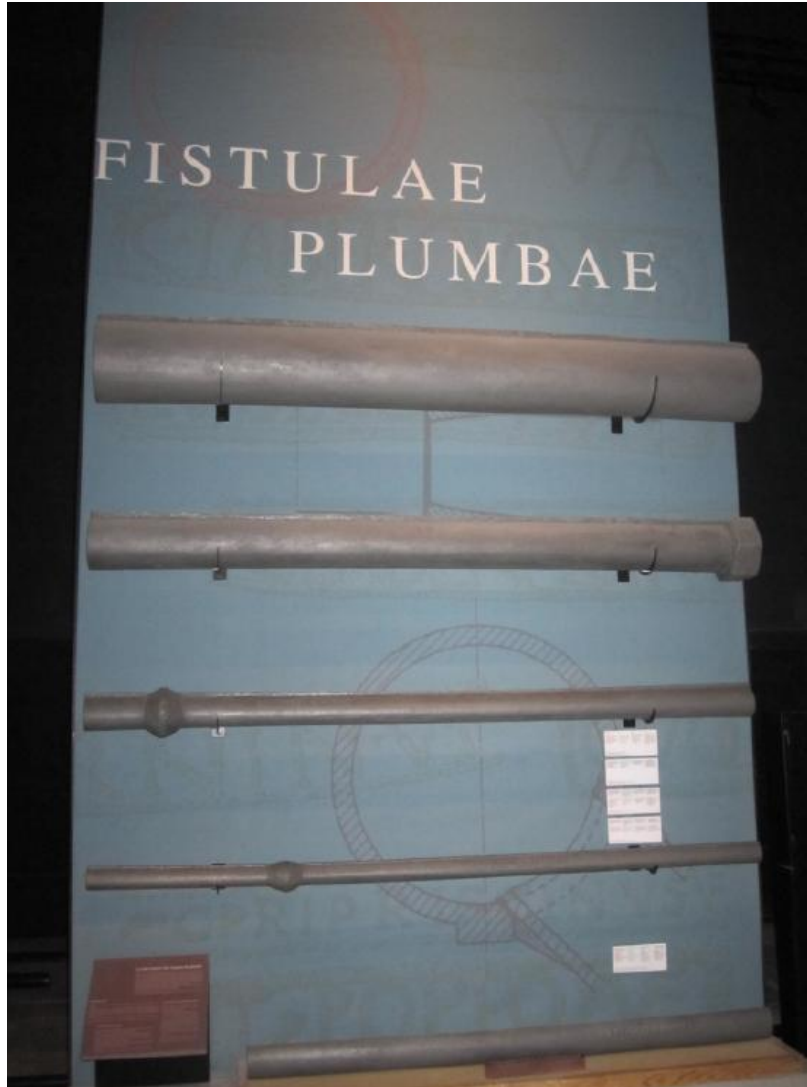
... aux reseau sous pression



SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



Conduites d'eau année 1341, musée de la ville et de l'industrie, Lottehaus à Wetzlar, Allemagne,



Certaines villes romaines possédaient des réseaux de distribution digne des nôtres, car les maisons riches – nombreuses – étaient dotées de pièces d'eau.

Elles ont permis le développement des villes.

Elles étaient parfois en plomb.

Certains disent que le saturnisme a joué un rôle dans la chute de l'empire...

Terminologie:
Eau sous pression = conduite
Eau gravitaire = canalisation

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des dechets

Les reseau
d'eau potable
sont des
ecoulements
en charge.

Il y a donc de
la pression !



La pression c'est une **force par unité de surface**

Unités:

$$1 \text{ Pascal (Pa)} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s}^2) \quad \text{car } 1 \text{ N} = \sim 1 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$$

En hydraulique on exprime principalement la pression en :

- Bar : 1 bar = 100'000 Pa
- mCE = mètre de colonne d'eau : 1 mCE (4°C) = ~ 10 m de hauteur d'eau
- atmosphère normale (atm): 1 atm = 101 325 Pa. = 1.013 bar = ~ 10 mCE

Pour simplifier on utilise : 1 bar = 100'000 Pa = 10 mCE = 1 atm

On trouve aussi dans la littérature

- Le **pièze** est une unité dérivée du système mètre-tonne-seconde (système mts) utilisé dans l'ancienne Union Soviétique entre 1933 et 1955: 1 pz = 1'000 Pa.
- Le **millimètre de mercure** (mmHg), 1 mmHg = 133,3 Pa
- Le **psi**, pound per square inch (livre par pouce carré) est une unité anglo-saxonne: 1 psi = 6 894 Pa.

- La conservation du débit : dans un écoulement permanent (indépendamment du temps), le débit reste constant et indépendant du diamètre de la conduite.

la conduite peut présenter des variations de diamètre, le débit restera le même.
Seule la vitesse changera.

$$\text{débit} = Q = V \times \text{Section} \rightarrow m^3/s = m/s \times m^2$$

D'où : si la section diminue, la vitesse s'accroît

- La charge hydraulique (ou énergie par unité de poids ou volume) se conserve tout au long de l'écoulement – dans le cas d'un fluide parfait (théorème de Bernouilli).

Les pertes de charge (comme tous les frottements) **sont toujours proportionnelles au carré de la vitesse.**

Elles sont de deux types:

ΔP_L = pertes de charges linéaires : dues aux aspérités (rugosité) le long du linéaire de la conduite ; sont de loin les plus importantes.

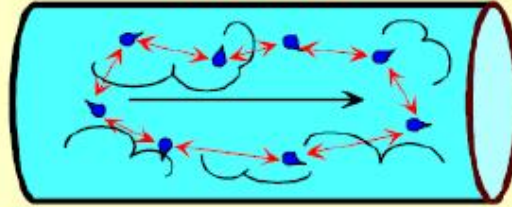
ΔP_S = pertes de charges singulières: elles sont créées par les obstacles (coudes, rétrécissement, vannes, filtres, clapets, etc...)

$$\Delta P = \Delta P_L + \Delta P_S$$

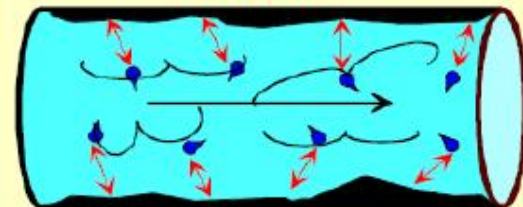


ORIGINES DES PERTES DE CHARGE

VISCOSITE



RUGOSITE

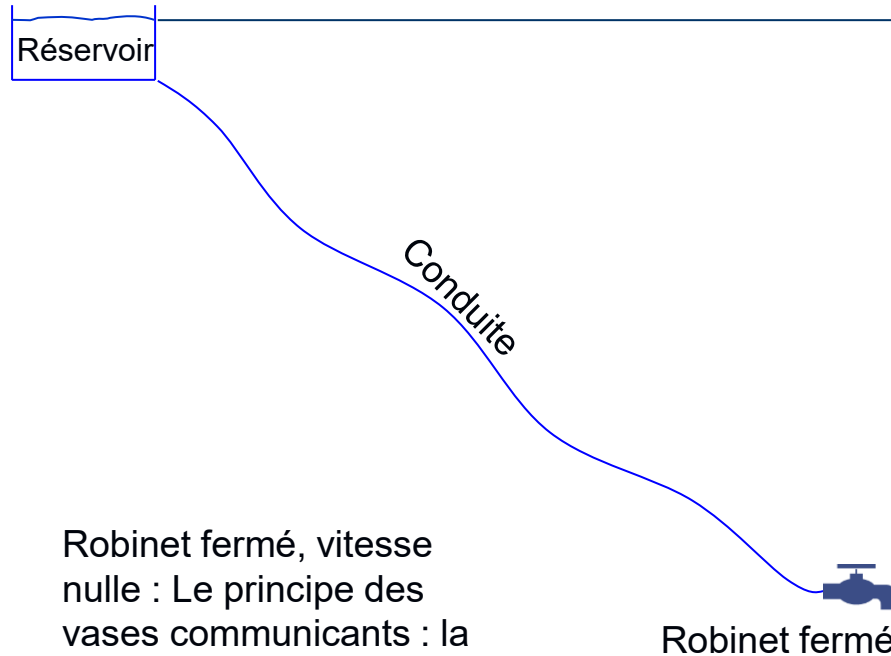


SINGULARITES



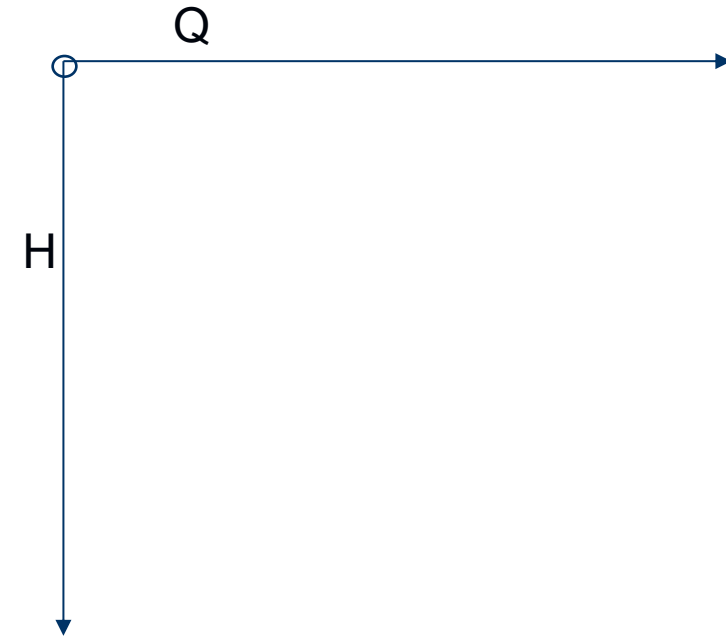
SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets

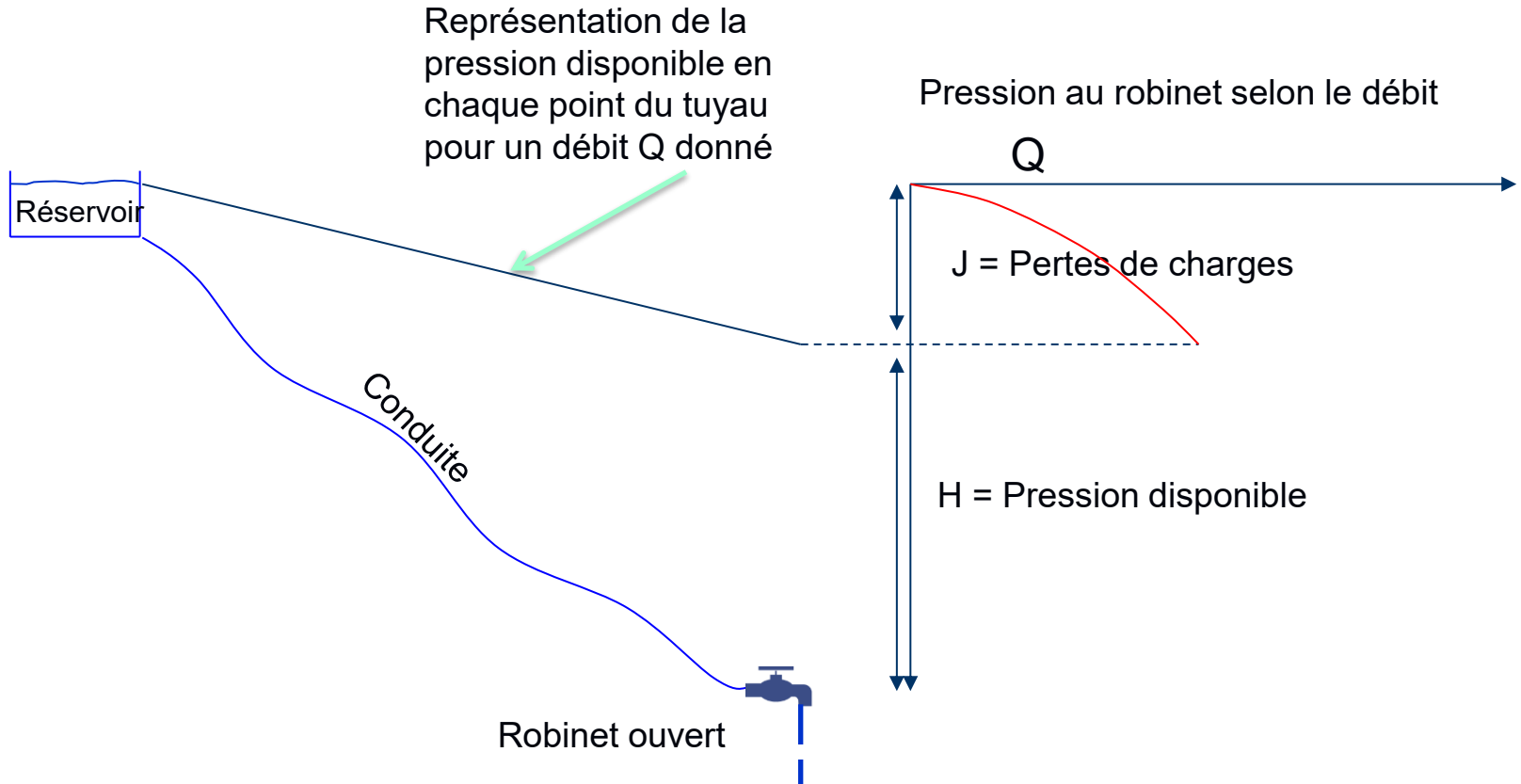
Pression le long du profil
Pour un débit donné



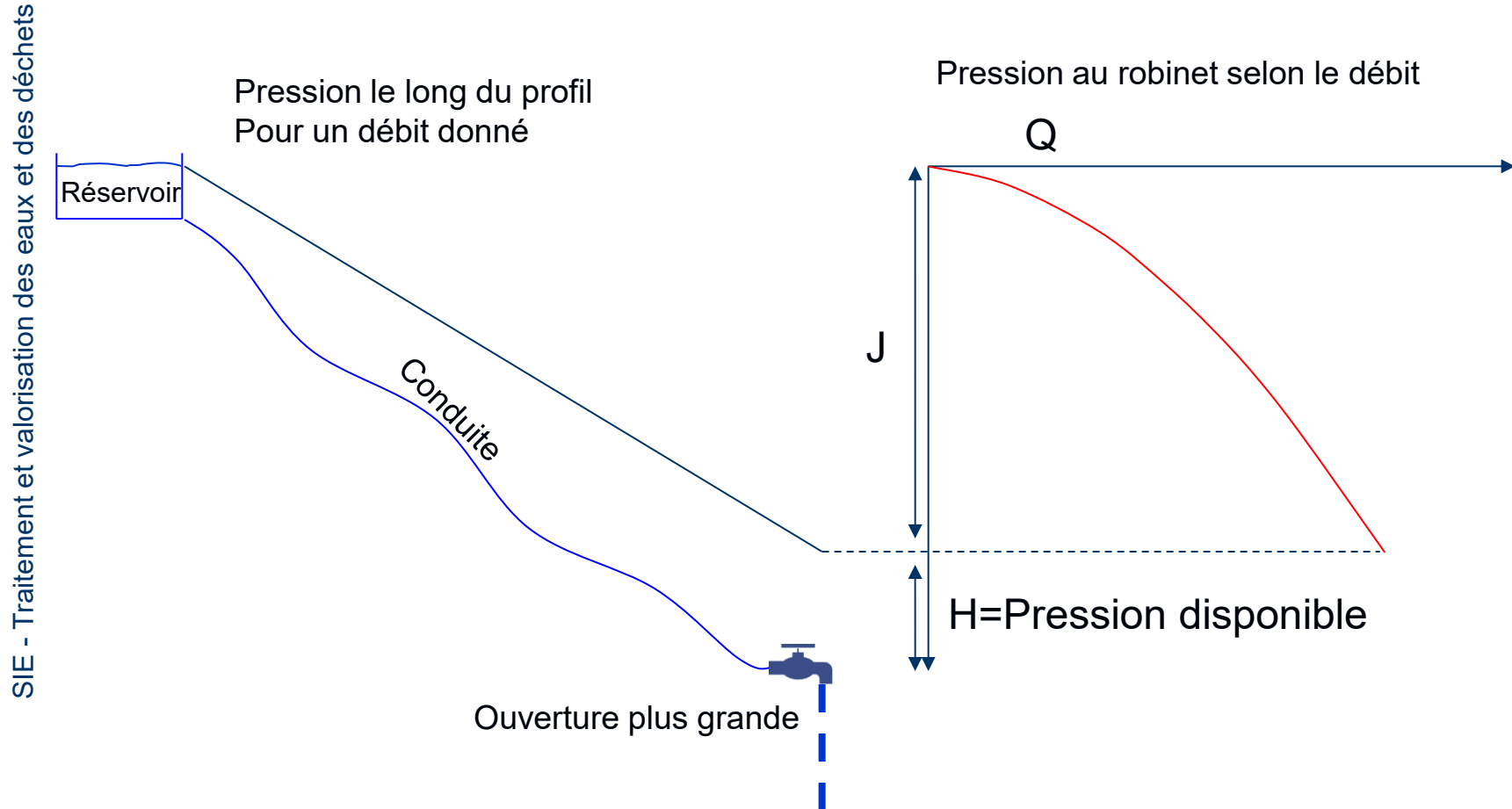
Robinet fermé, vitesse nulle : Le principe des vases communicants : la pression au robinet équivaut à la hauteur de la charge d'eau du réservoir

Pression au robinet selon le débit



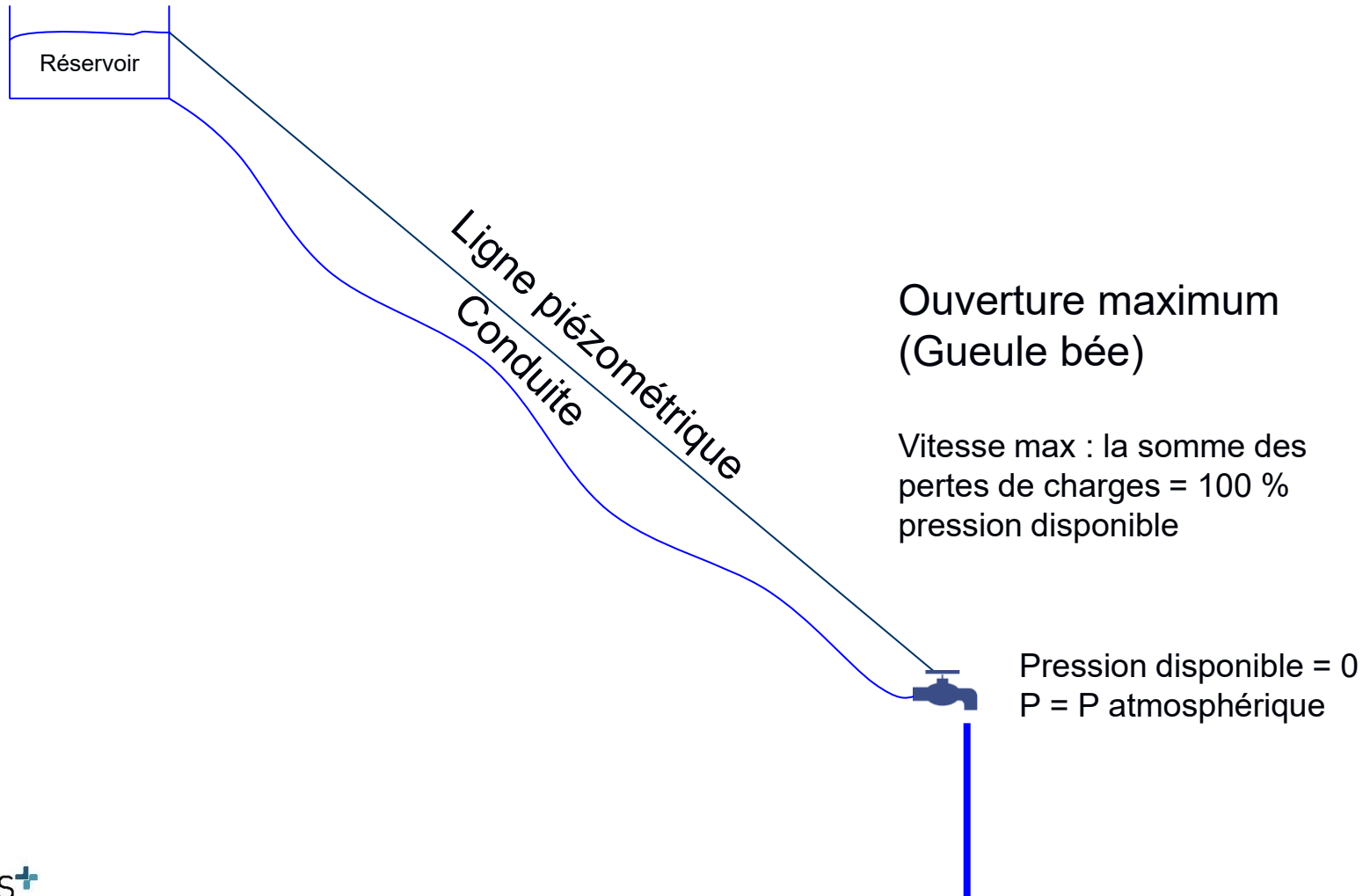


Robinet faiblement ouvert \rightarrow vitesse faible, les frottements commencent et la pression disponible diminue au fur et à mesure de la conduite.



Conclusion: la difficulte des problemes de l'hydraulique en charge est d'evaluer ces pertes de charges.

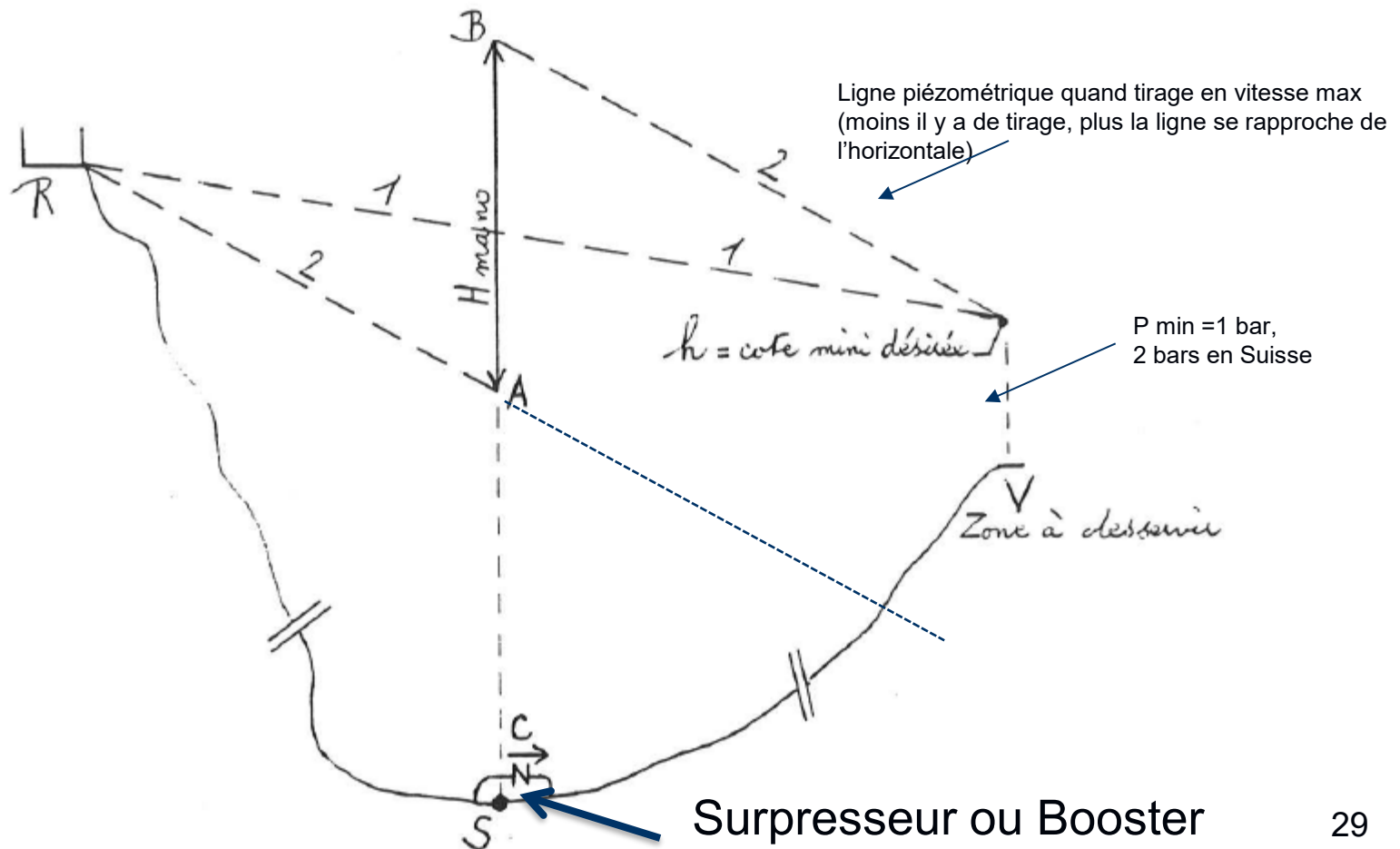
SIE - Traitement et valorisation des eaux et des dechets

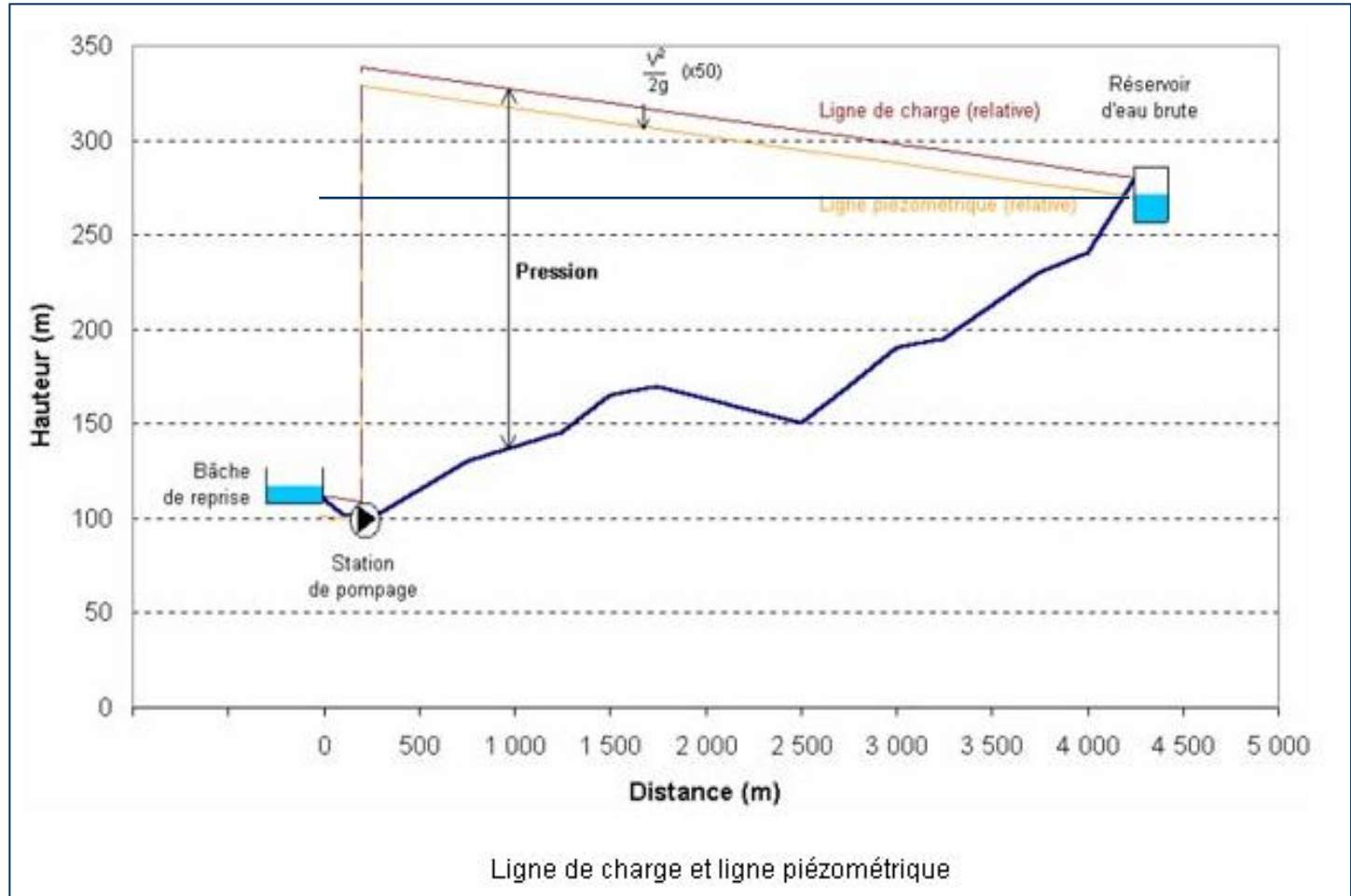


3 solutions :

- 1 Rehausser reservoir (ou nouveau)
2. Diminuer pertes de charges en amont (conduite nouvelle ou additionnelle)
3. Surpresseur quelque part (illustre ici)

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des dechets





Dimensionnement: pour le **débit horaire** de pointe et/ou le **débit incendie**

1. Choisir le débit critique Q [m³/s].
2. Choisir un Diamètre D [m] et une qualité de tuyau
 ⇒ Définir la **rugosité**, définie par le coefficient de **Strickler** K_s [m^{1/3}s⁻¹],
 $85 \leq K_s \leq 110$ (dépend du type et de l'âge du tuyau)

3. Calculer la somme des perte de charge linéaire de chaque tronçon

$$\Delta P_L \text{ [m]} = \Sigma i \text{ [m/m]} * L \text{ [m]}$$

4. Calcul de la somme des pertes de charges singulières $\Sigma \Delta P_s$ [m]
5. Vérifier la pression aux endroits critiques en vitesse maximum
6. Vérifier la vitesse V [m/s]

vitesse recommandée : $0.5 < V < 2$ m/s

- Vitesse trop forte: risques de coups de bélier, grandes variations de pression entre heures creuses et de pointe
- Vitesse trop faible: dépôts, risques qualité, surdimensionnement (coûts)

Plusieurs equations experimentales existent

Par exemple :

Strickler : Perte de charge lineaire = $i = V^2 / (k_s^2 \cdot (D/4)^{4/3})$ [m/m]

avec $Q = S \cdot V = \pi \cdot (D^2/4) \cdot V$ [m³/s] et $V = 4Q / (\pi \cdot (D^2))$ [m/s]

on a ainsi :

Somme des pertes de charges lineaires : $\Delta P_L = L \cdot i = 4^{10/3} / \pi^2 \cdot L \cdot Q^2 / (k_s^2 \cdot D^{16/3})$

d'où : $\Delta P_L = \underline{10.29 \cdot L \cdot Q^2 / (k_s^2 \cdot D^{16/3})}$ [m]

k_s le coefficient de rugosite de Strickler (inverse de C_x de Manning). Plus il est grand, plus la conduite est lisse. Il n'est pas exprime en mm mais en m^{1/3}/seconde. Les valeurs de K_s sont a chercher dans la bibliographie concernant ce coefficient ou aupres du fournisseur de conduite.

k_s varie entre 85 et 110 m^{1/3}/sec, depend du type et de l'age de la conduite

Il existe d'autre formules empiriques (avec des K differents) :

- **Formule de Hazen – Williams**
- **Formule de Darcy - Weisbach**

Dimensionnement d'une conduite – pertes de charges singulières

Elles expriment les **frottements** et pertes d'énergie à chaque changement géométrique : sortie de réservoir, rétrécissement, élargissement, coude, vanne, etc.

Elles s'additionnent aux pertes de charges linéaires, mais sont souvent secondaires.

Elles sont toujours proportionnelles au carré de la vitesse

$$\Delta h = k * V^2 / (2g) \text{ (m)}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

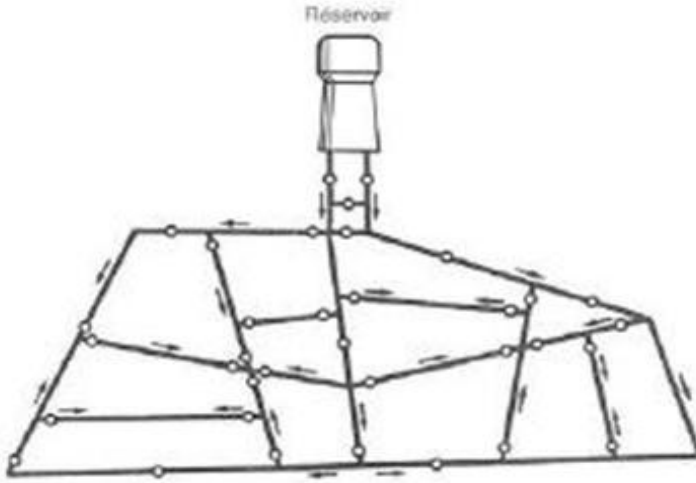
Détermination des **pertes de charges singulières** :

- Soit on les détermine éléments par éléments avec $\Delta h = kV^2 / (2g) \text{ [m]}$
(pour $k \rightarrow$ encore un autre coefficient : voir tables expérimentales, fournisseurs)
- Soit on estime à **5 à 10 % des pertes de charges linéaires**
- Soit on les néglige

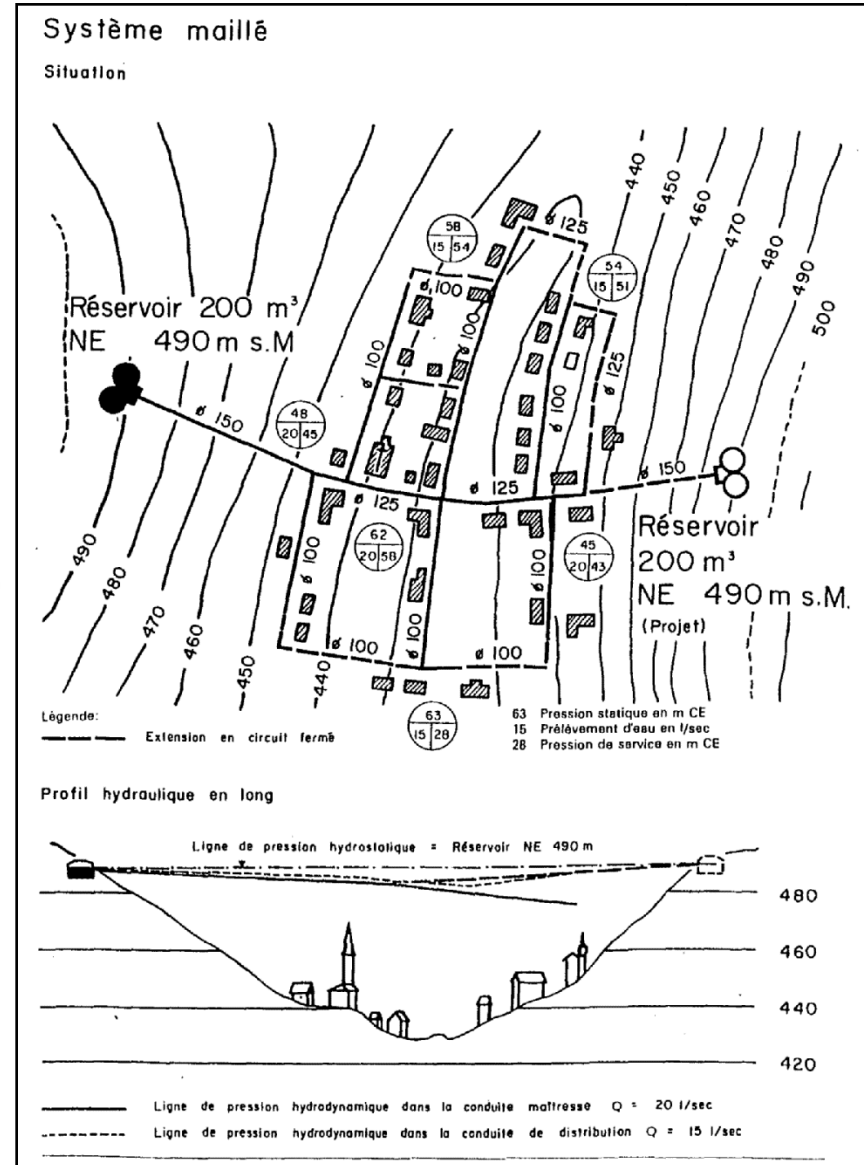
Deux types de reseau:

- 1. Reseau ramifies:** conduites alimentees par une seule source situee en amont (souvent en zone rurale)
 - Avantages : reseau economiques
 - Inconvenients: manque de securite et de souplesse (rupture d'une branche=> tous les usagers situes a l'aval sont prives d'eau), perte de charge et coups de belier importants, risque de stagnation de l'eau
- 2. Reseau mailles:** conduites raccordees a chacune de leurs extremités (solution habituelle)
 - Avantages: en cas de rupture ou de travaux, les usagers ne sont pas prives d'eau, perte de charge et coups de belier plus faibles, aeration facilitee,, systeme fiable
 - Inconvenients: reseau plus couteux

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



Calculs : modélisation nécessaire



- Conduites d'adduction ou de transport
 - captage - reservoir
 - en principe pas de soutirage
- Conduites principales
 - alimentation des conduites de distribution
 - en principe pas de branchements
- Conduites de distribution ou d'approvisionnement
 - alimentation locale des branchements
- Branchements
 - entre la conduite (avec vanne) et le compteur

- On connait Q en chaque troncon (additionnes depuis l'aval) et la perte de charge max.
- On calcule les pertes de charges lineaires
- On estime les pertes de charges singulieres
- On en deduit les pertes de charges totales admissibles

- On calcule D min, on choisit un D existant, on verifie la vitesse

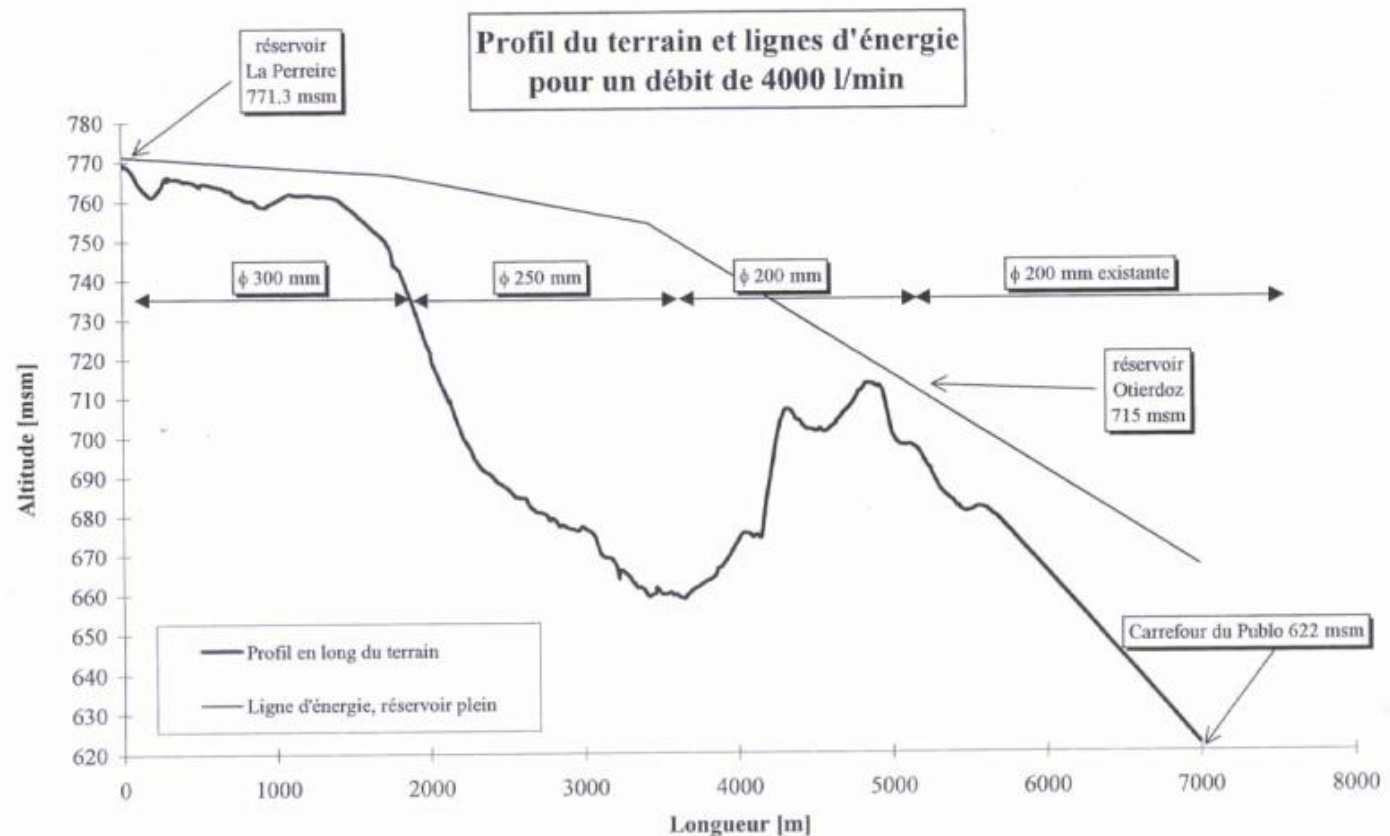
On recommence si necessaire par iteration

But : éviter que la ligne de charge ne coupe le profil en long de la conduite

Risque de cavitation

Dessinée depuis le réservoir, et avec le cas le plus défavorable (réservoir vide, débit max.)

Le cas échéant : augmenter le diamètre des tronçons supérieurs



- Éviter l'accumulation d'air dans les conduites
 - Causes :
 - Mise en service ou réparation, gaz dissous, dépression locale, ...
 - Conséquences:
 - Accumulation aux points hauts, rétrécissement section et diminution du débit
 - Solutions :
 - Limiter le nombre de points hauts (conception): pente minimale 3 ‰
 - Placer un aérateur à chaque point haut (flotteur)
- Prévoir organes d'arrêts (vannes) aux points de raccordement
 - Pour limiter l'étendue des coupures lors de raccordements ou défauts
- Corrosion des conduites métalliques, courants vagabonds

Tracé à l'écart des constructions (actuelles... et futures : nécessité d'anticiper)

En général en bordure de route (trottoir) :

- 1 côté : eau potable et gaz
- Centre : eaux usées, eau claires (plus profond)
- Autre côté : électricité, téléphone, réseaux...

A éviter si possible :

- Ponts (gels, mouvements)
- Zones de glissements
- Proximité de citernes, fosses à purin, sites contaminés, ...
- Sites sensibles, biotopes (travaux)

- Profondeur (CH) : hors gel, normalement 1.30 m, min 1.00 m
- Blindage des fouilles: obligatoire dès 1.50 de profondeur, sinon selon besoins (terrains meubles, eau ou constructions voisines à protéger)
- Largeur minimum fouilles : fonction du diamètre et de la profondeur
 - jusqu'à 1 m : libre
 - jusqu'à 1.5 m: 0.65 m
 - jusqu'à 2 m: 0.75 m
 - jusqu'à 3 m: 0.80 m
 - jusqu'à 4 m: 0.90 m
 - > 4 m : 1.00 m
- Réglage du fond soigné
- Bourrage de la conduite avec des matériaux fins sur 20 cm au moins au-dessus de la conduite
- Contrôles, essais de pression,
- Remblayage par couches, compactées mécaniquement dès 50 cm au-dessus de la conduite

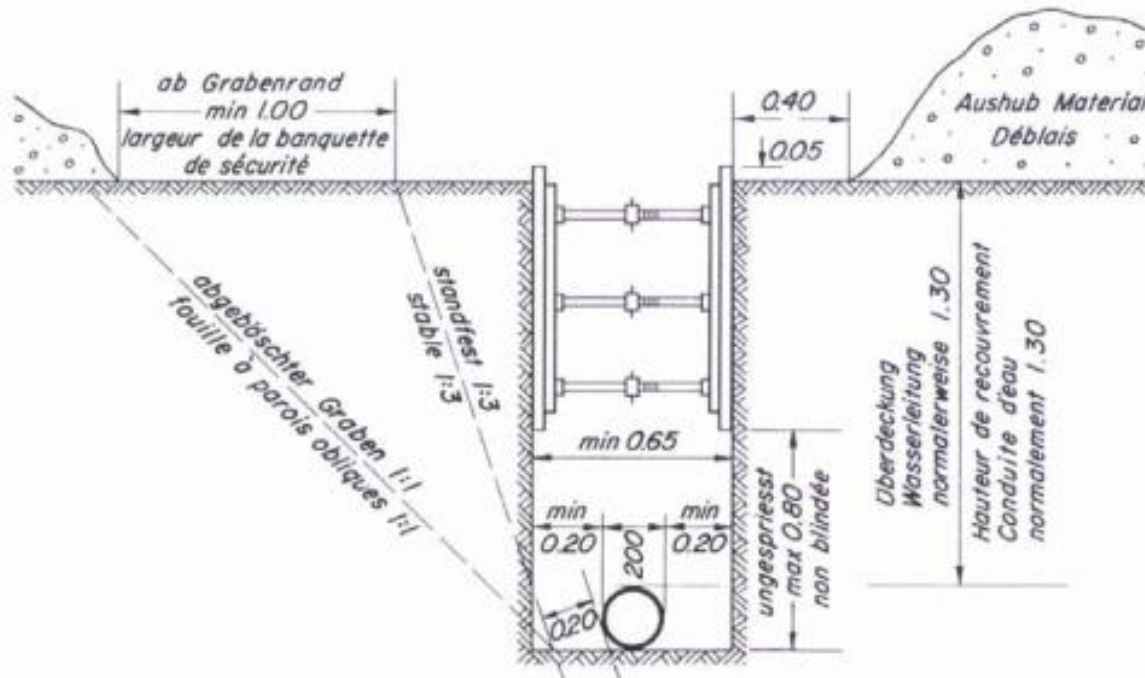
SIE - Traitement et valorisation des eaux et des dechets

Grabenprofile

Profils de tranchées

für eine Leitung

pour une conduite



La sécurité n'est pas une option !

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets

Fouille de plus de 1,50 m : Blindage (au-delà, tout enfouissement d'une personne est mortel).

Ne transigez pas avec la sécurité : même si vous n'effectuez pas les travaux : si vous êtes impliqué dans le projet, il y a de très grandes chances que votre responsabilité d'ingénieur soit engagée !!

Une tranchée s'effondre : il est partiellement enseveli



Avec d'énormes précautions, les sapeurs-pompiers dégagent la victime de sa prison de terre.

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



Caisson métallique type Krings

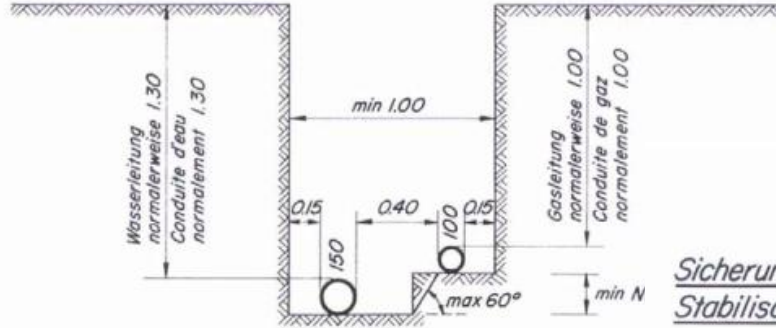


Battage de palplanches

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des dechets



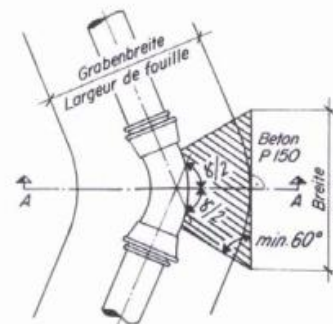
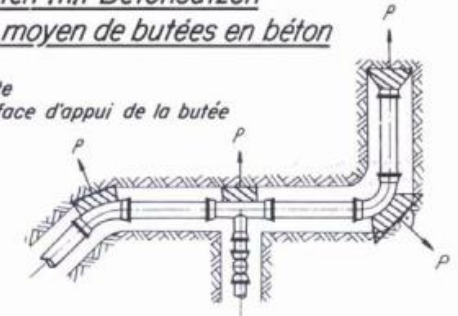
für zwei Leitungen pour deux conduites



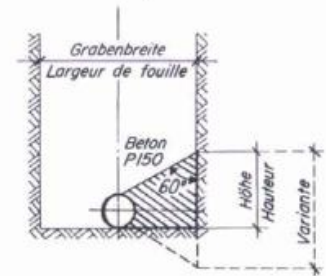
Les efforts dans les courbes necessitent des butees en beton bien dimensionnees

Sicherung von Leitungsfixpunkten mit Betonsätzen Stabilisation des conduites au moyen de butees en beton

P =resultierende Kraft/Force resultante
 A =Auflagefläche des Betonsatzes/Surface d'appui de la butee



Grundriss/Plan



Schnitt/Coupe A-A

SVGW Anhang 3
SSIGE Annexe

Consommation annuelle, elle est obtenue par comptage ou par valeur statistique. Elle sert à:

- etabli le budget,
- obtenir la consommation journaliere moyenne
- en milieu rural, dimensionner la reserve de securite du reservoir

Consommation journaliere de pointe, elle sert à:

- dimensionner les ressources d'eau (usines, puits, source...)
- dimensionner la conduite de transport / d'adduction

Elle est obtenue à partir des enregistrements ou en rajoutant un coefficient multiplicateur K1 à la consommation journaliere moyenne:

Besoin du jour de pointe = K1 * Besoin du jour moyen

$$1,2 < K1 < 1,8$$

K1 pouvant monter jusqu'à 3 pour une population saisonniere (tourisme)

Consommation horaire de pointe (du jour de pointe) sert à dimensionner les conduites de distribution et le reservoir.

Elle est obtenue à partir des enregistrements ou en rajoutant un coefficient multiplicateur K_2 à la consommation horaire moyenne du jour de pointe:

Besoin de l'heure de pointe = $K_2 * \text{Besoin de l'heure moyenne du jour de pointe}$

$$1,2 < K_2 < 2,5$$

Attention: pour de petites communes < 200 hab, debit de pointe beaucoup plus fort (x2 env. que celui obtenu par methode classique)

La connaissance des besoins nécessite de connaître les fuites.

Pour cela:

- Sectoriser : des compteurs aux endroits clés.
- Installer les compteurs dans les règles de l'art, pour éviter les perturbations par turbulences (ce n'est pas toujours le cas):
 - en général à une distance minimum de $10 \times D$ de toute singularité avant et après (vérification avec le constructeur);
 - dont le calibre correspond aux débits passants.
- Et qui comptent juste (calibration) !!!

$$R_{net} = \frac{\text{Volume utilisé (consommé)}}{\text{Volume mis en distribution}}$$

Ordres de grandeur du rendement consommateur et état du réseau :

50 à 60 %	Mauvais
60 à 70 %	Médiocre
70 à 75 %	Moyen
75 à 80 %	Bon
80 à 85 %	Très bon
85 à 90 %	Excellent

Mais le meilleur : indicateur linéaire de perte m³/j/km

Il existe un grand nombre de materiaux:

- Fonte grise, fonte ductile
- Acier
- Inox
- PEHD...grand cx de dilatation
- PP
- PVC (autrefois, a proscrire)
- Amiante-ciment (Eternit) a eviter..

Moyenne a forte pression (PN10, 20 et +)
Longue duree de vie 50-100 ans

Faible a moyenne pression (PN5, 10, 16)
Duree de vie ??? 50 ans ???

Avec un grand choix de revetements interieur et exterieur

Il existe pour chaque materiau : differentes classes de pression

Attention au diametre : interieur ou exterieur !!

Pression : prevoir marge de surpression liee au coup de belier

+ Légers à transporter, à mettre en œuvre, facile de pose (pose « spaghetti » pour le PE), peu couteux (pour $d < 200\text{mm}$),

Ils n'ont cependant pas que des avantages:

- temps de soudure prohibitif si nombreux raccords (centre-ville)
- forte réduction de durée de vie si stockage au soleil ou à la chaleur
- perméabilité du PE aux hydrocarbures
- écrasement si compactage excessif ou remblayage mal fait
- attention aux charges roulantes si trop près de la surface
- questions récentes, certes discutées, sur certains plastiques (PET) et perturbateurs endocriniens

C'est aussi une question de style et de mode....

- Projet de trace : implantation en plan, et repere de terrain (**indispensable** : pour repere les obstacles visibles, arbres, lignes aeriennes, regards de reseau divers, contraintes de circulation, etc..).
- Privilégier le terrain public, le long de chaussée, sur le trottoir, sinon long et coûteux (contrat de servitudes, indemnisation de récoltes / sauf si faible nombre de parcelles).
- Demander aux concessionnaires, exploitants, maîtres d'ouvrages si d'autres reseau sont présents.
- Etude de sol par bureau spécialisé (nature des sols pour sécurité de la fouille, présence de roches qui renchériront le prix du chantier, réutilisation de matériau pour le remblais, nappe et besoin de pompage pendant travaux, présence de courants vagabonds).

- Verifier que le chantier est bien securise: etudes flux, panneau et barrieres, circulation, cheminement velos, pietons, installations de chantier.
- Arbres, pas de fouille a moins de 2 m des arbres et pas de decoupe de grosses racines, protection des troncs proches avec planches
- Conduites : Verifier qu'elles soient correctement stockees (fermees aux deux bouts sur forme en bois / pas au soleil pour plastiques) et correctement manutentionnees.
- Fouilles effectuees dans les regles de l'art : ATTENTION au blindage/etayage des parois de fouille !!!
- Conduites correctement posees (bien emboitees, graisse alimentaire pour tuyaux en fonte).
- Lit de pose en sable.
- Test d'etanchete.
- Purge / desinfection

En phase etude et travaux :

Profil en long d'un reseau d'eau

