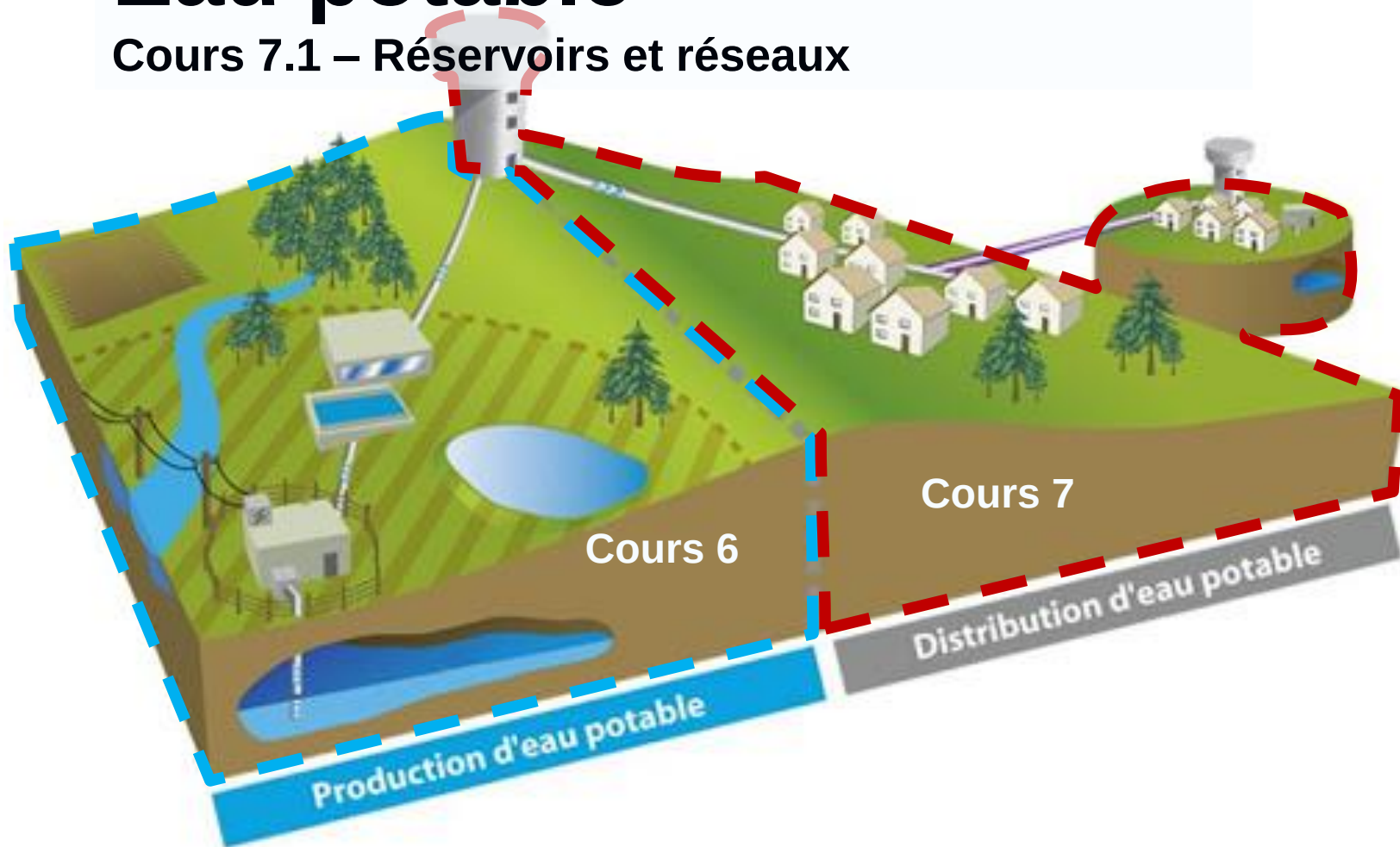


Eau potable

Cours 7.1 – Réservoirs et réseaux

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]

Fonctions :

- Assurer et régulariser les **pressions** dans le réseau
- compenser les écarts **journaliers** entre apports et consommation
- Indépendance des débits de pompage et des captages
- réserve d'imprévu
- réserve d'incendie (vanne spéciale)

Dimensionnement pratique (SSIGE) :

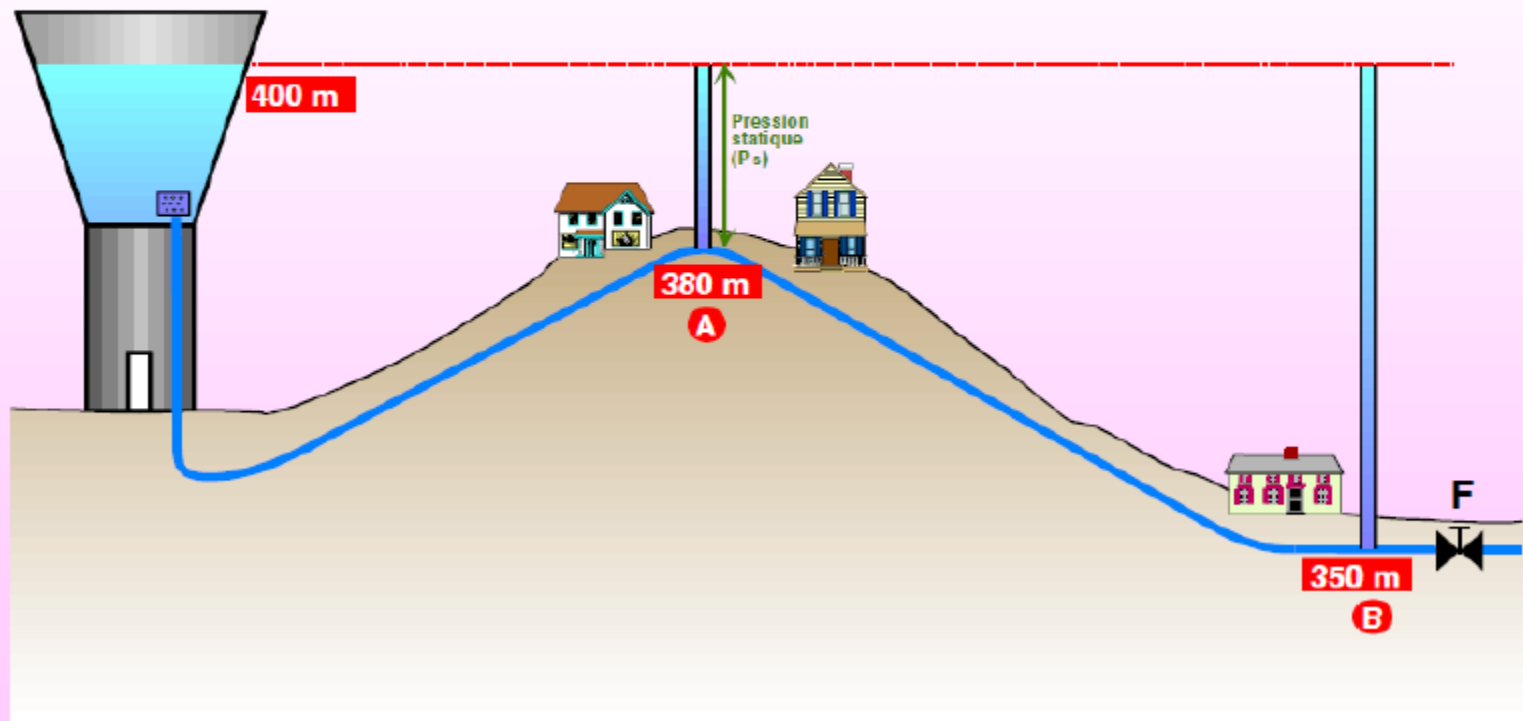
- **Réserve d'alimentation = réserve d'incendie** = 50 % des besoins journaliers moyens : 400 à 600 L/hab
 - zone urbaine : volume plus réduit (lissage consommation)
 - zone rurale ou alimentation unique : volume augmenté
- En pratique : agrandissement par à-coup (planification sur 30 ans !)
- Hauteur d'eau optimum (coûts de construction, variations de pression, nettoyage) :

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

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



STATIQUE



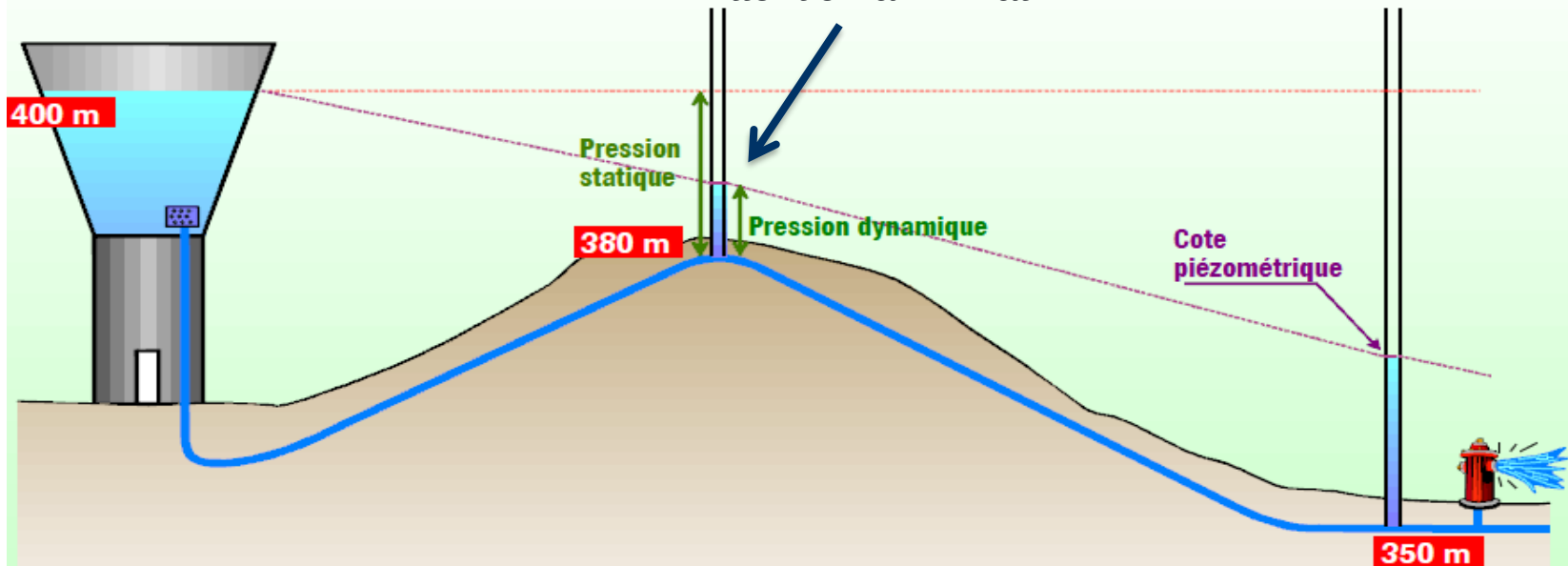
SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets

Pression dynamique : quand l'eau coule et ... freine

LIGNE PIEZOMETRIQUE DYNAMIQUE

Au point haut:

- Vérifier que P suffisante (>1 , voire 2 bar) en Q point
- Attention à $P < P_{atm}$.



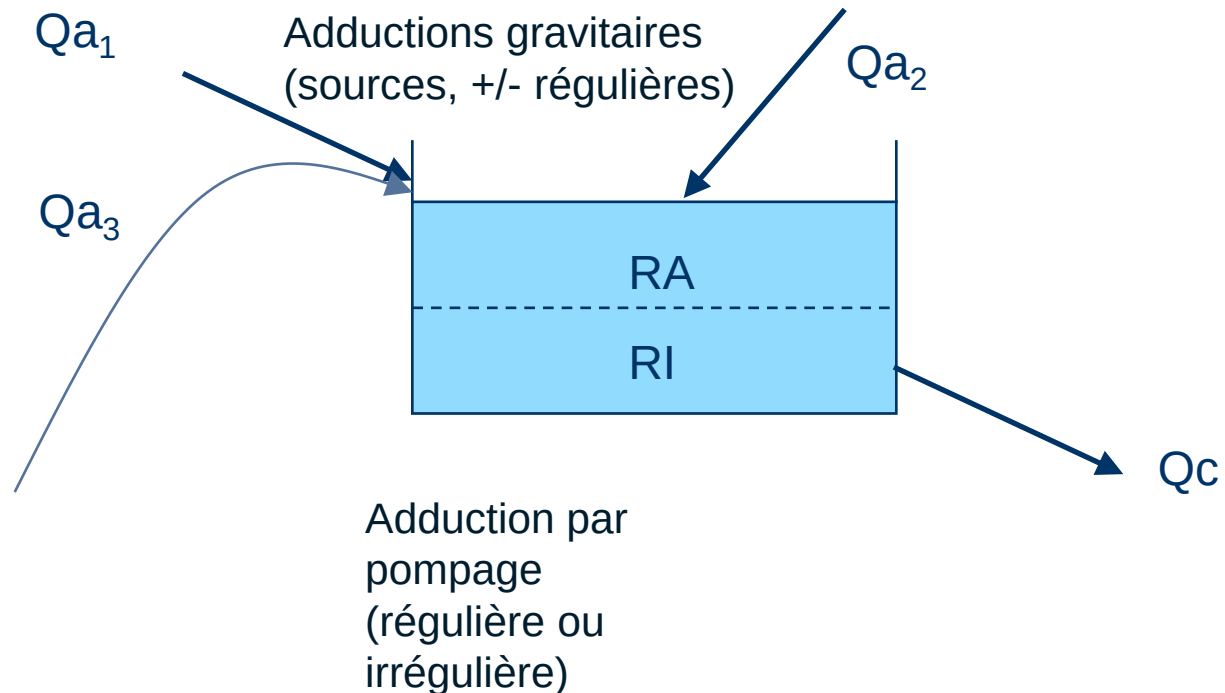
- Que faire si P trop basse au point haut : ???

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

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

RI = réserve d'incendie (m^3)

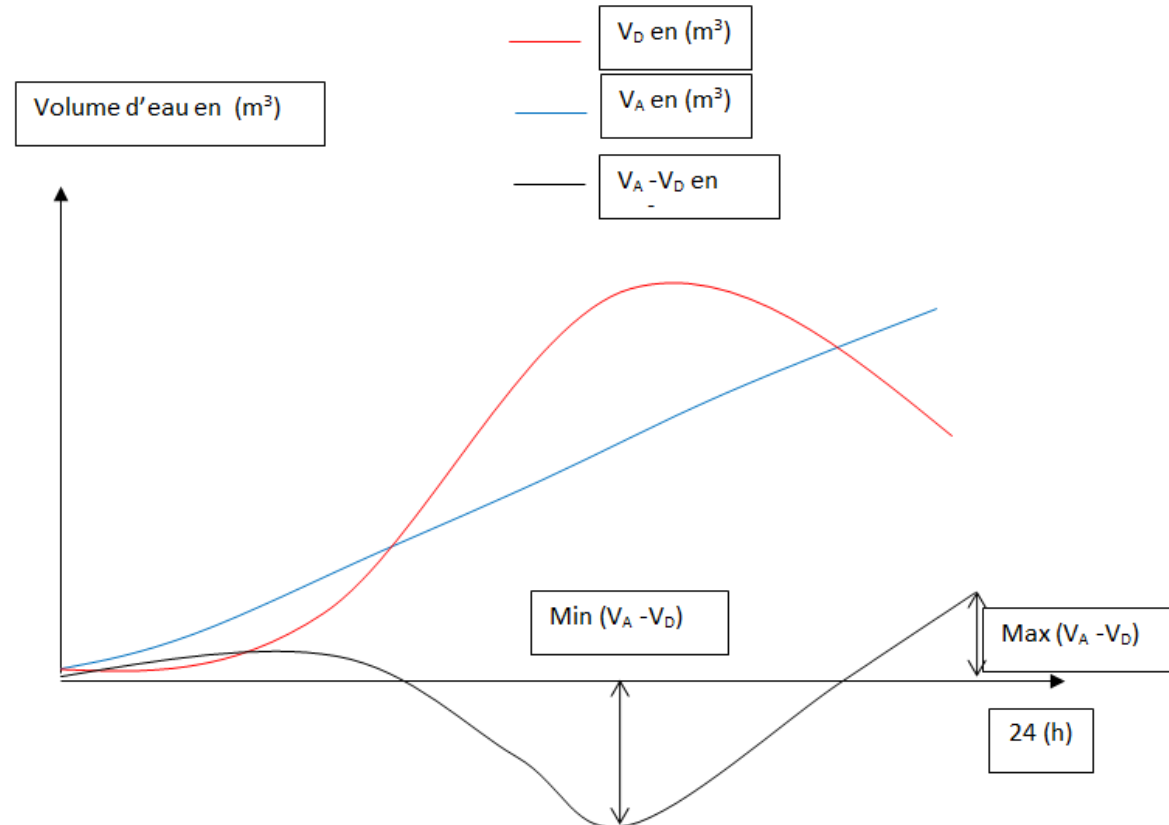
RA = réserve d'alimentation (m^3)



Absorber les fluctuations de la demande

Stockage la nuit pour absorber les besoins **de la journée**

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



Sécurité : la réserve de défense incendie (DI)

La directive SSIGE recommande :

- 150 - 200m³ en zone village et résidentielle
- 200 - 400m³ en zone urbaine / artisanale

Jamais en dessous de **150 m³**

Réserve d'alimentation = Réserve d'incendie = 50 % des besoins journaliers moyens : 400 à 600 l/hab

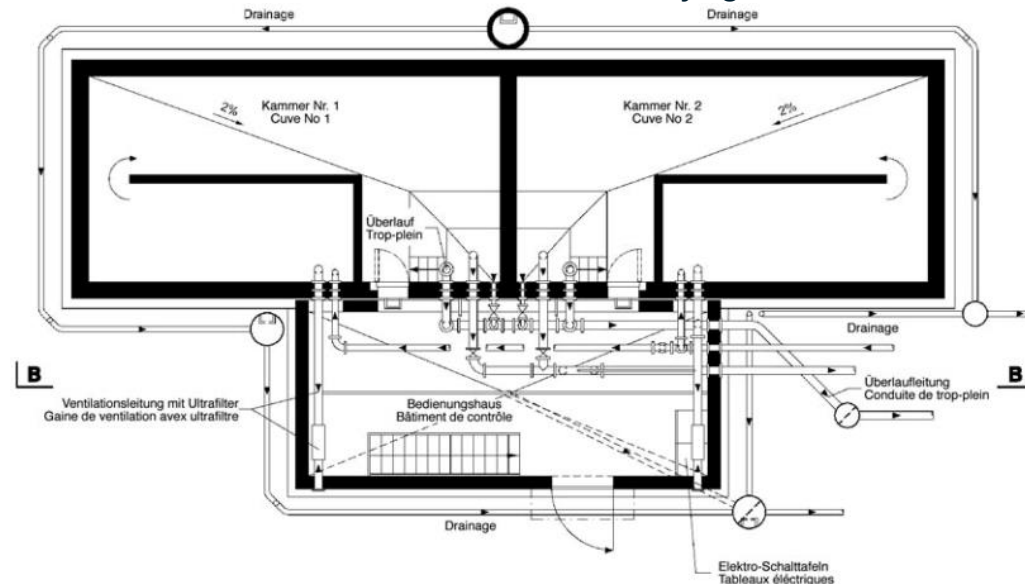
En pratique, volume fixé en Suisse par l'ECA (Etablissement Cantonal d'Assurance) pour chaque commune :

Exemple : dans le canton de Vaud, la réserve de Défense Incendie (DI) se définit comme suit :

2'000 L/mn pendant 2 heures à 2,5 bar de pression minimum (au point le plus défavorable du réseau). La réserve incendie doit donc être au minimum de 240 m³.

Quelques principes :

1. Ne pas laisser stagner l'eau de la réserve incendie
 - Entrée par le haut
 - Une sortie unique au point bas
 - Commande de vanne de réserve incendie à distance
2. Faciliter le nettoyage (éviter les angles morts, 2 cuves)
3. Filtrer l'air (pour éviter les insectes, animaux ou salissures)
4. Trop-plein
5. Réservoir enterré si possible : température fraîche 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 réserve 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 général entre 40 et 100 m au-dessus de la zone de distribution
 - Si pression trop forte : les fuites le long du réseau augmenteront / risques de casse chez les particuliers.
 - Si pression trop basse en statique, sera encore plus basse en dynamique.
- Si la différence de niveau est supérieure à 100 m → installer plusieurs zones de pression
 - (ex: chambre coupe pression, réducteurs de pression)
- L'eau doit pouvoir circuler et se renouveler (grands réservoirs) → renouvellement intégral en 3 jours
- Forme rectangulaire (mise en place facilitée) ou circulaire en béton

de l'écoulement gravitaire de l'antiquité, ...



Aqueduc romain de Elvas au Portugal

... aux réseaux sous pression



SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



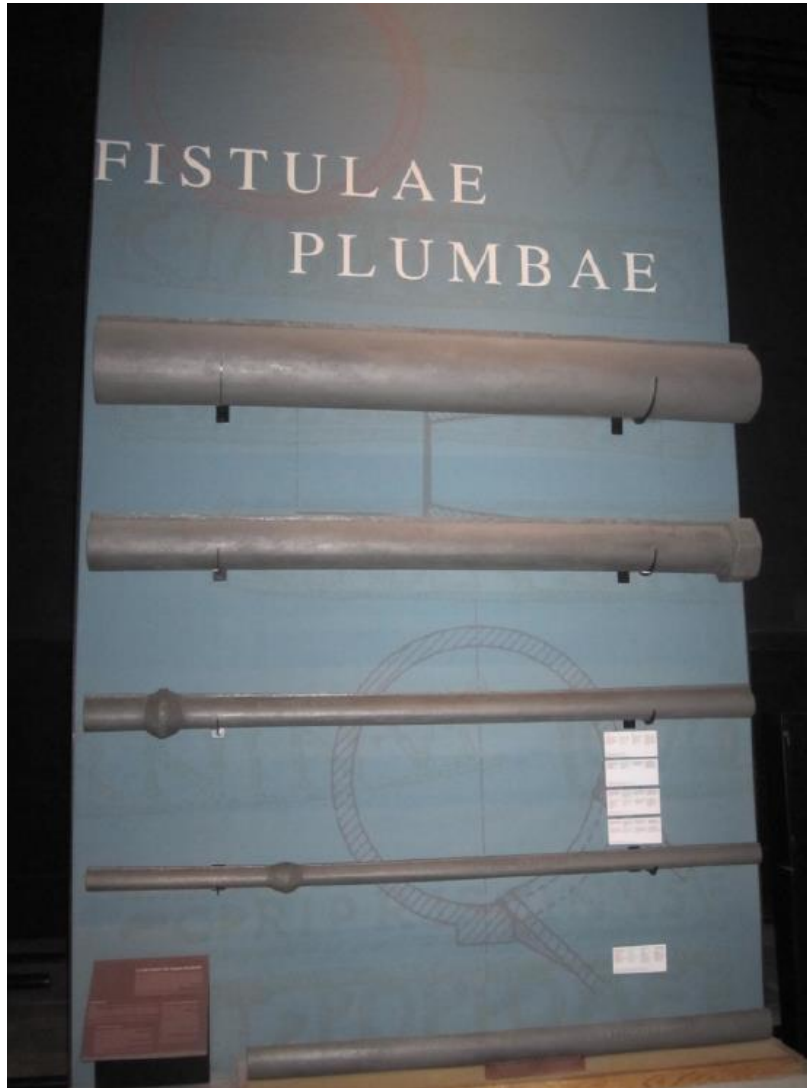
Certaines villes romaines possédaient des réseaux de distribution digne des nôtres, car les maisons riches – nombreuses – étaient dotées de pièces d'eau.

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



Conduites d'eau époque romaine, Musées du Pont du Gard, Pont-du-Gard, France

Les reseaux
d'eau potable
sont des
écoulements
en charge.

Il y a donc de
la pression !



F. Schmidt

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.

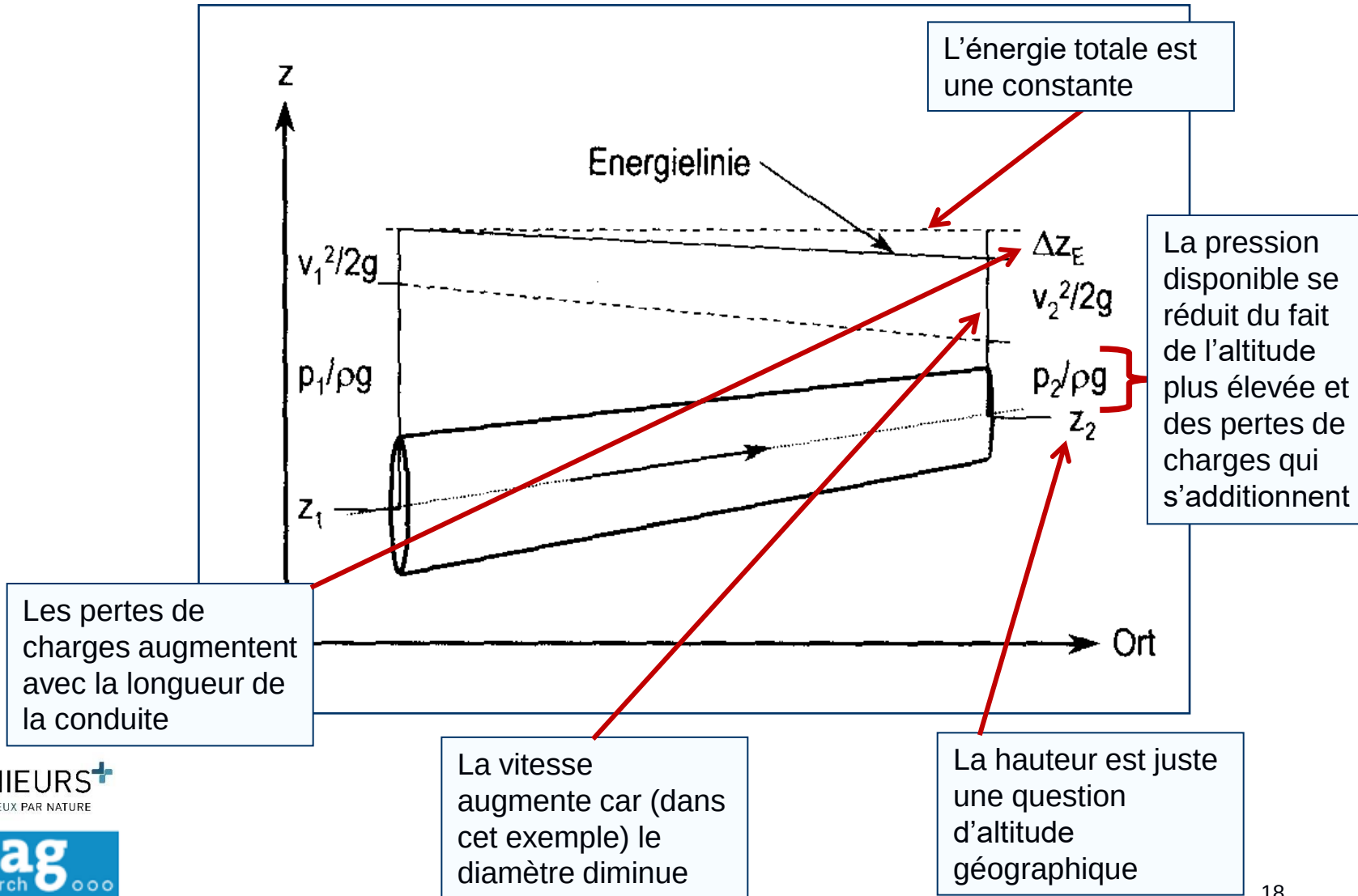
$$\text{débit} = Q = V \times \text{Section} \rightarrow m^3/s = m/s \times m^2$$

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).

→ Représentation de la ligne d'énergie

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



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.

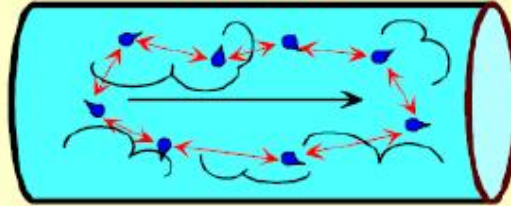
ΔP_S = pertes de charges singulières: elles sont créées par les obstacles (coudes, rétrécissement, vannes, filtres, clapets, etc...)

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

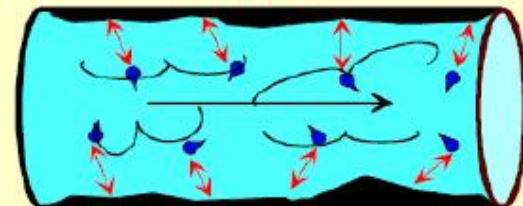


ORIGINES DES PERTES DE CHARGE

VISCOSITE



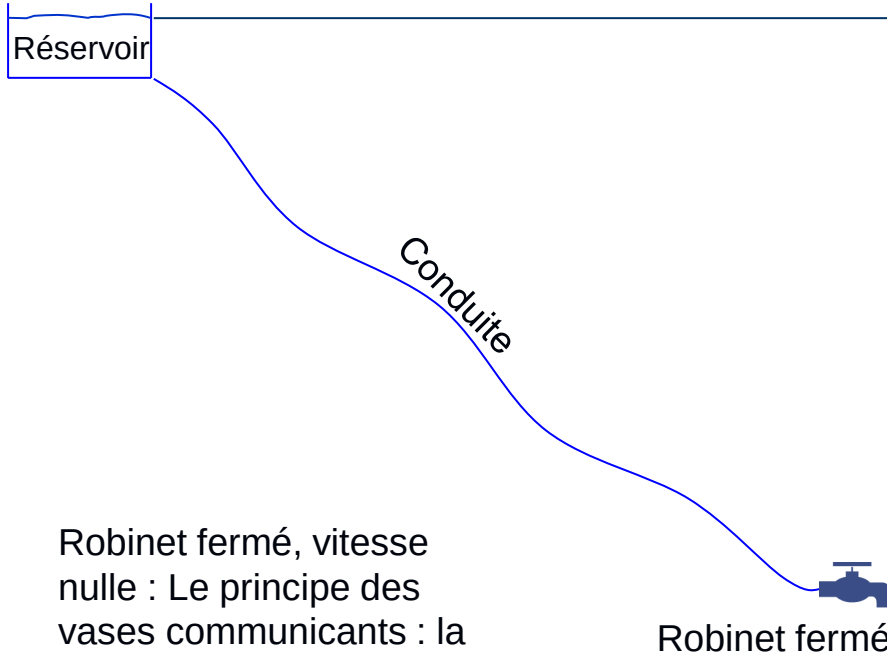
RUGOSITE



SINGULARITES

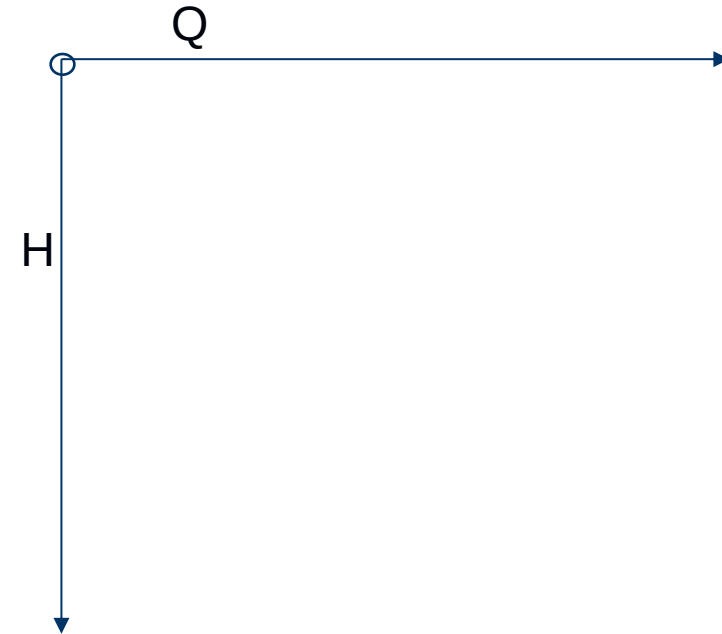


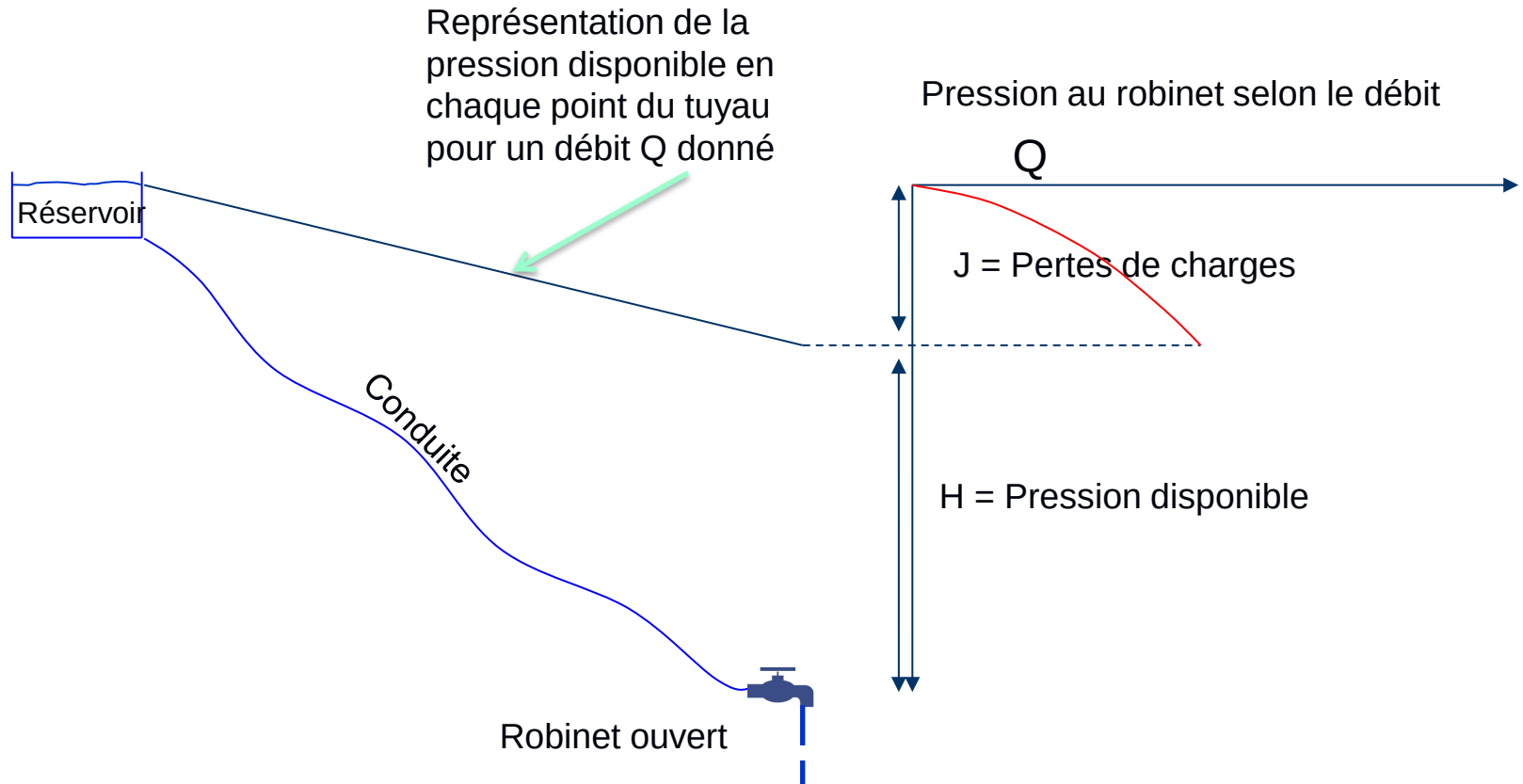
Pression le long du profil
Pour un débit donné



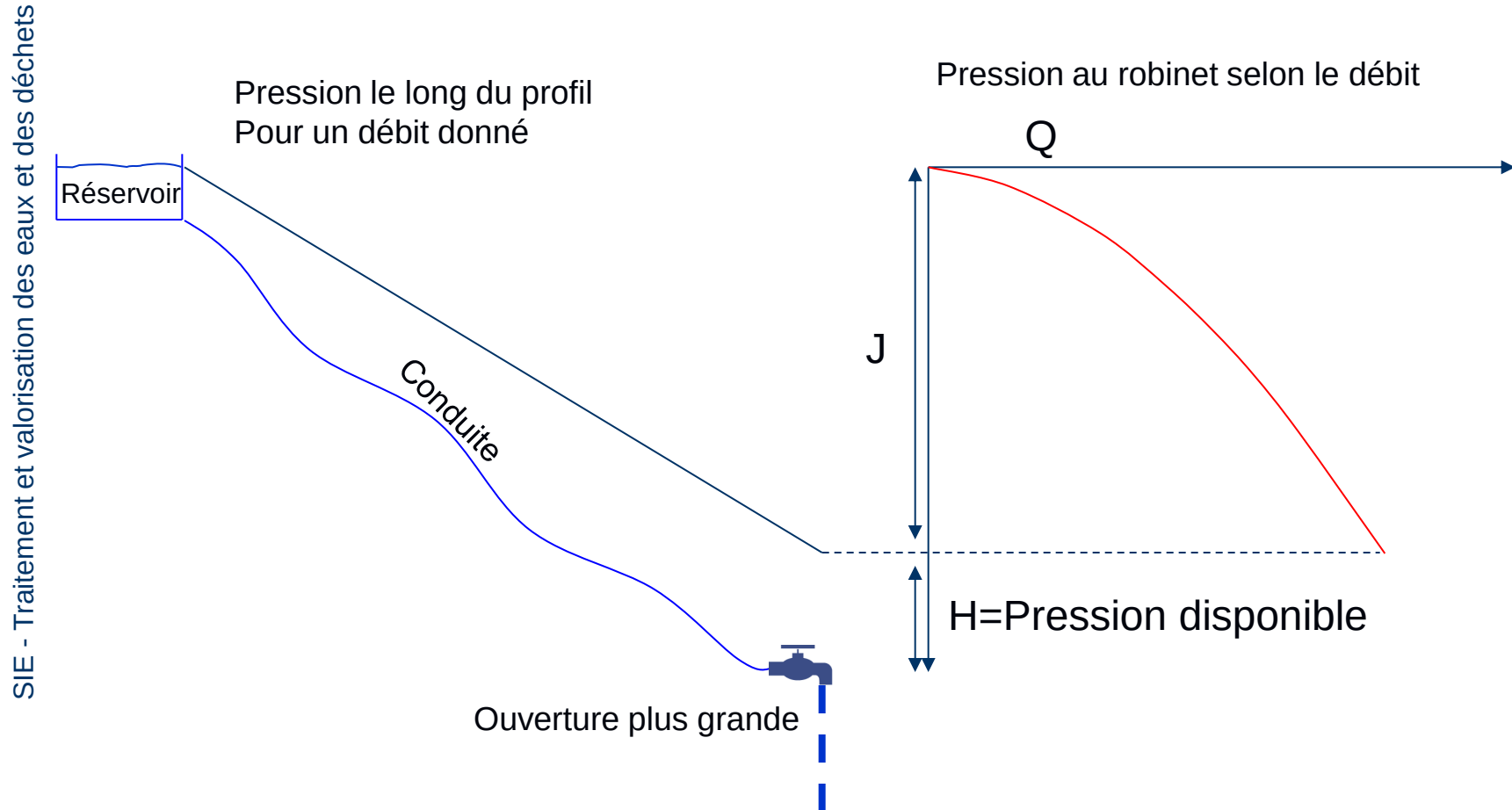
Robinet fermé, vitesse nulle : Le principe des vases communicants : la pression au robinet équivaut à la hauteur de la charge d'eau du réservoir

Pression au robinet selon le débit



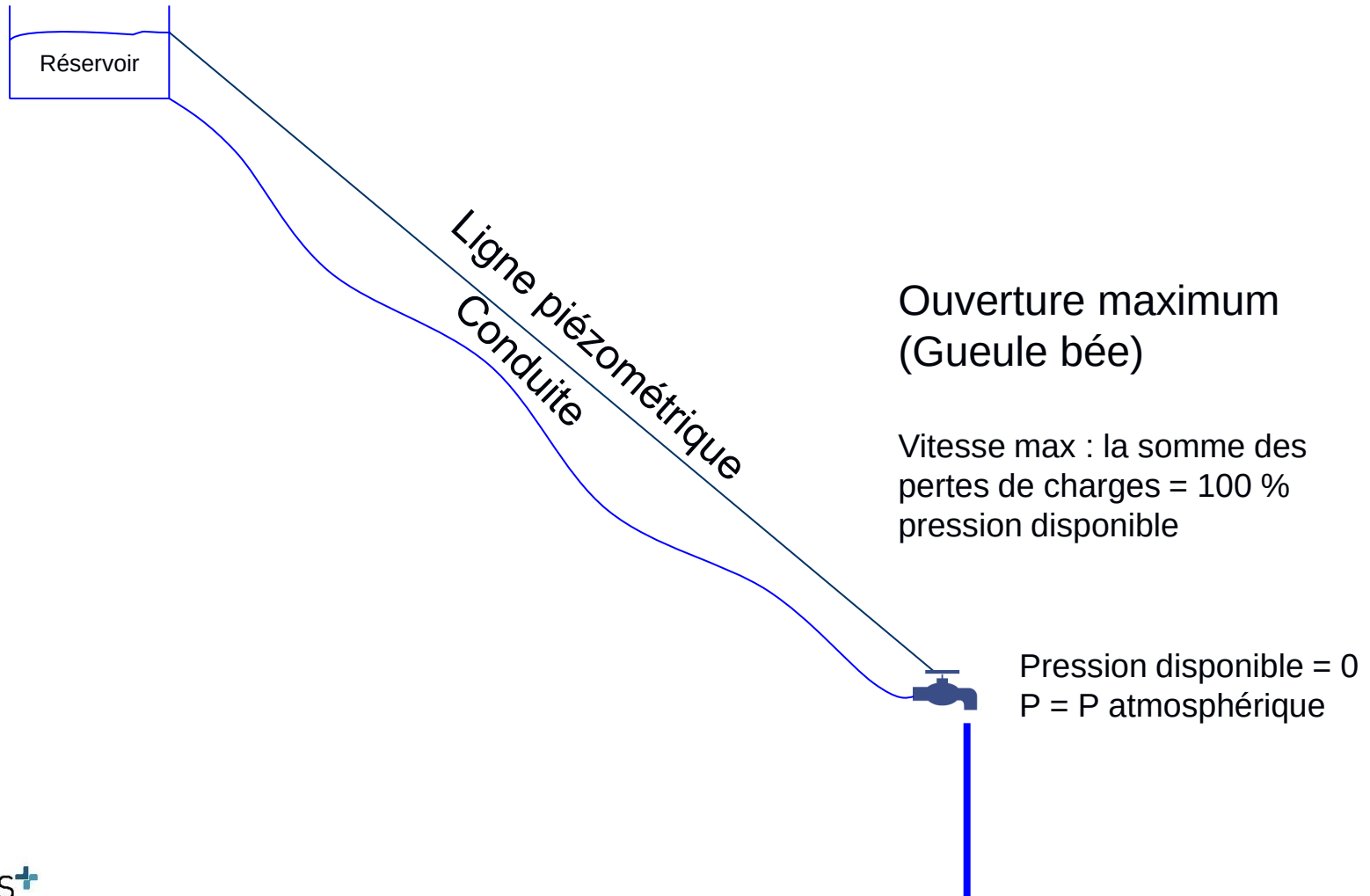


Robinet faiblement ouvert $\rightarrow$ vitesse faible, les frottements commencent et la pression disponible diminue au fur et à mesure de la conduite.



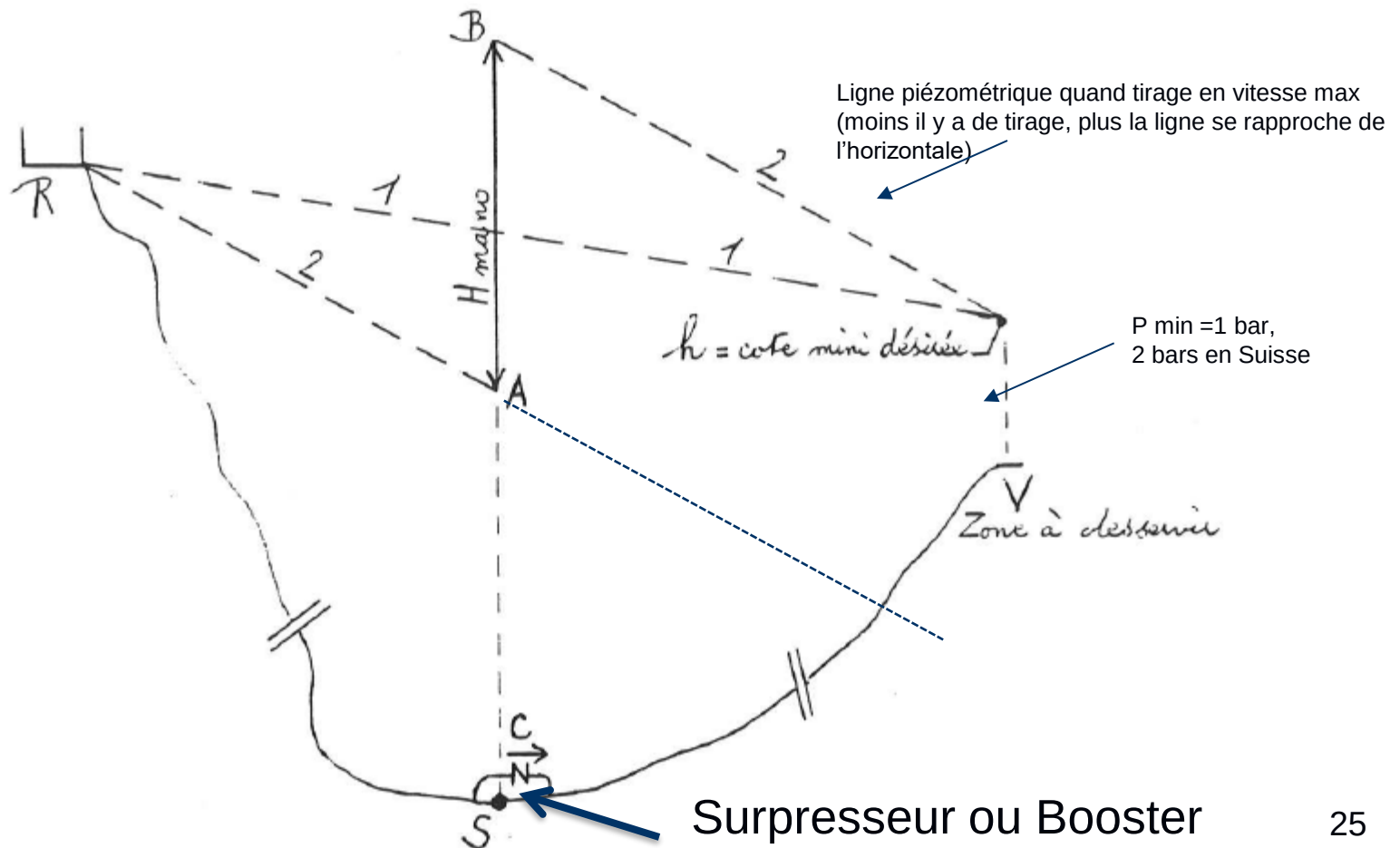
Conclusion: la difficulté des problèmes de l'hydraulique en charge est d'évaluer ces pertes de charges.

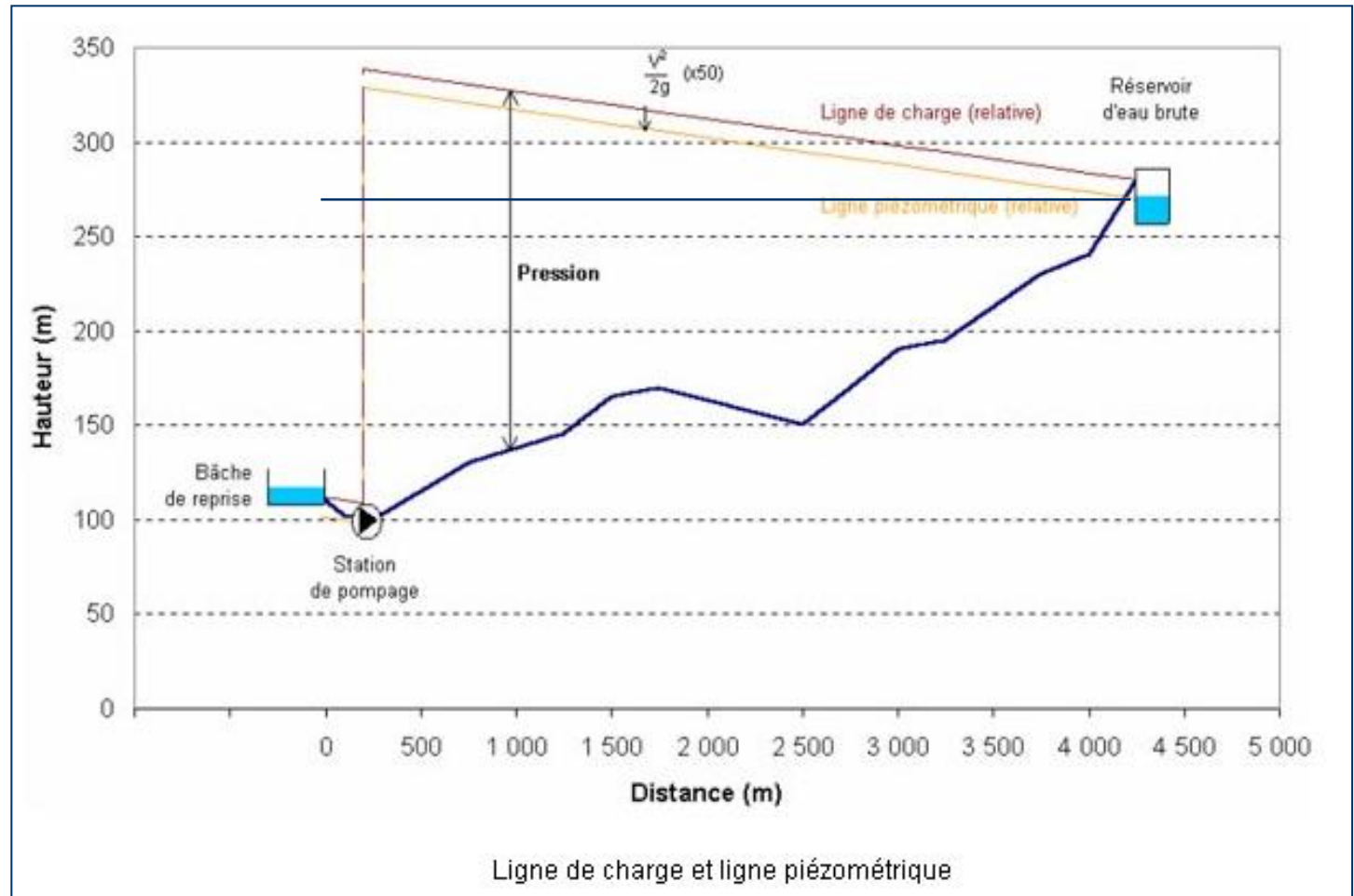
SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



3 solutions :

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





Source: http://www.si.ens-cachan.fr/ressource/r17/r17_principe2.htm

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
 $\Rightarrow$ 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

$$\Delta P_L \text{ [m]} = \sum i \text{ [m/m]} * L \text{ [m]}$$
4. Calcul de la somme des pertes de charges singulières $\sum \Delta P_s$ [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)

Dimensionnement d'une conduite – pertes de charges linéaires (Strickler)

Plusieurs équations expérimentales existent

Par exemple :

Strickler : Perte de charge linéaire = $i = V^2 / (k_s^2 \cdot (D/4)^{4/3})$ [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 linéaires : $\Delta P_L = L \cdot i = 4^{10/3} / \pi^2 \cdot L \cdot Q^2 / (k_s^2 \cdot D^{16/3})$

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 rugosité de Strickler (inverse de c_x de Manning). Plus il est grand, plus la conduite est lisse. Il n'est pas exprimé en mm mais en m^{1/3}/seconde. Les valeurs de K_s sont à chercher dans la bibliographie concernant ce coefficient ou auprès du fournisseur de conduite.

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

Il existe beaucoup d'autre formules ou de tables (avec des K souvent différents)

Attention aux unités : on trouve de tout dans les K !

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

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

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

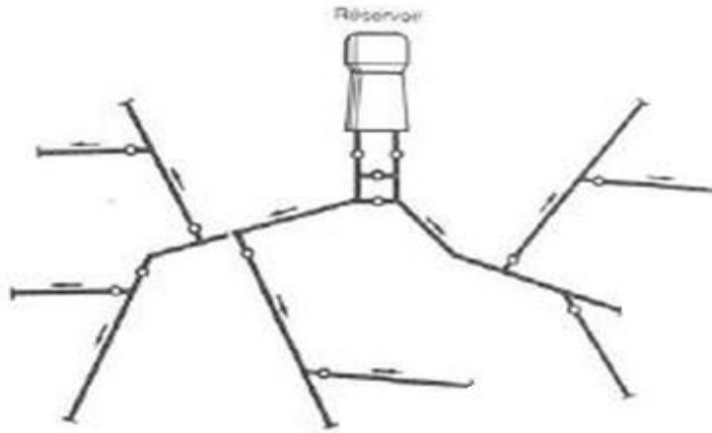
Détermination des **pertes de charges singulières** :

- 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 réseaux:

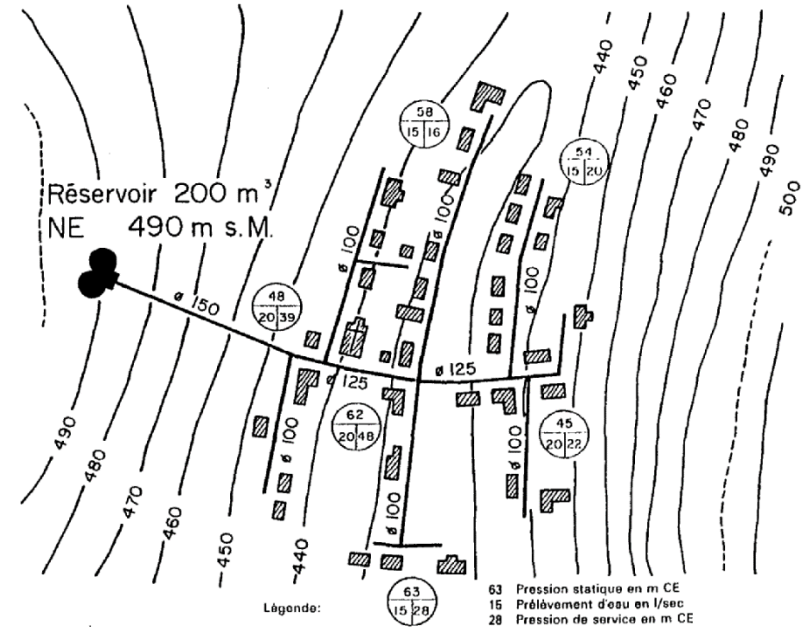
1. **Réseaux ramifiés:** conduites alimentées par une seule source située en amont (souvent en zone rurale)
 - Avantages : réseaux économiques
 - Inconvénients: manque de sécurité et de souplesse (rupture d'une branche=> tous les usagers situés à l'aval sont privés d'eau), perte de charge et coups de bélier importants, risque de stagnation de l'eau

2. **Réseaux maillés:** conduites raccordées à chacune de leurs extrémités (solution habituelle)
 - Avantages: en cas de rupture ou de travaux, les usagers ne sont pas privés d'eau, perte de charge et coups de bélier plus faibles, aération facilitée,, système fiable
 - Inconvénients: réseaux plus coûteux

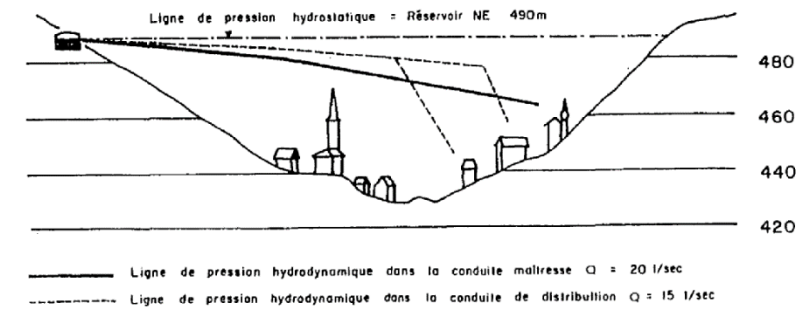


Système à ramifications

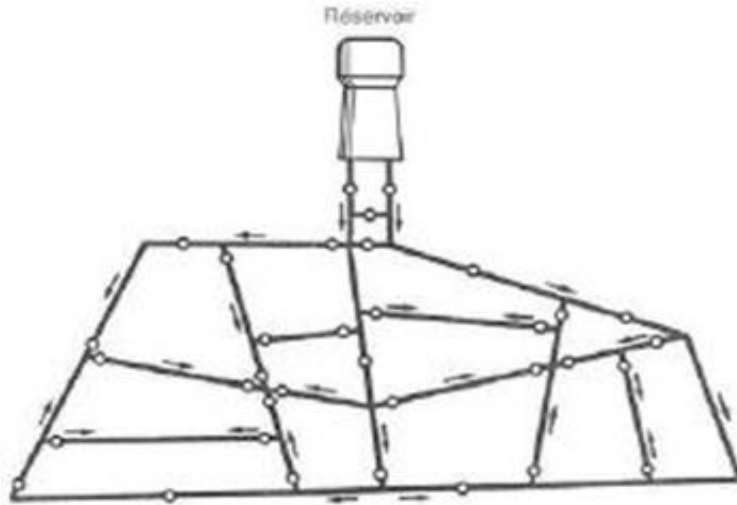
Situation



Profil hydraulique en long

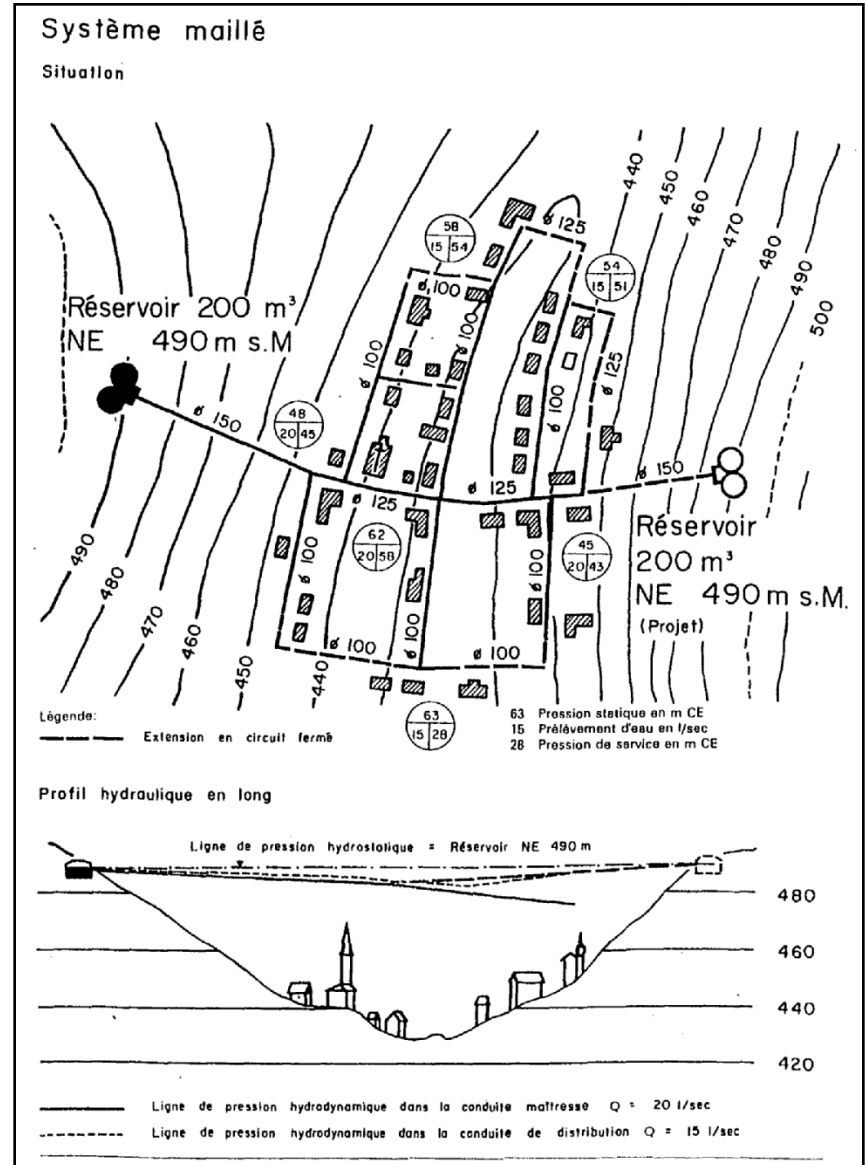


5



SIE - Traitement

Calculs : modélisation nécessaire



- Conduites d'adduction ou de transport
 - captage - réservoir
 - 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 connaît Q en chaque tronçon (additionnés depuis l'aval) et la perte de charge max.
- On calcule les pertes de charges linéaires
- On estime les pertes de charges singulières
- On en déduit les pertes de charges totales admissibles

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

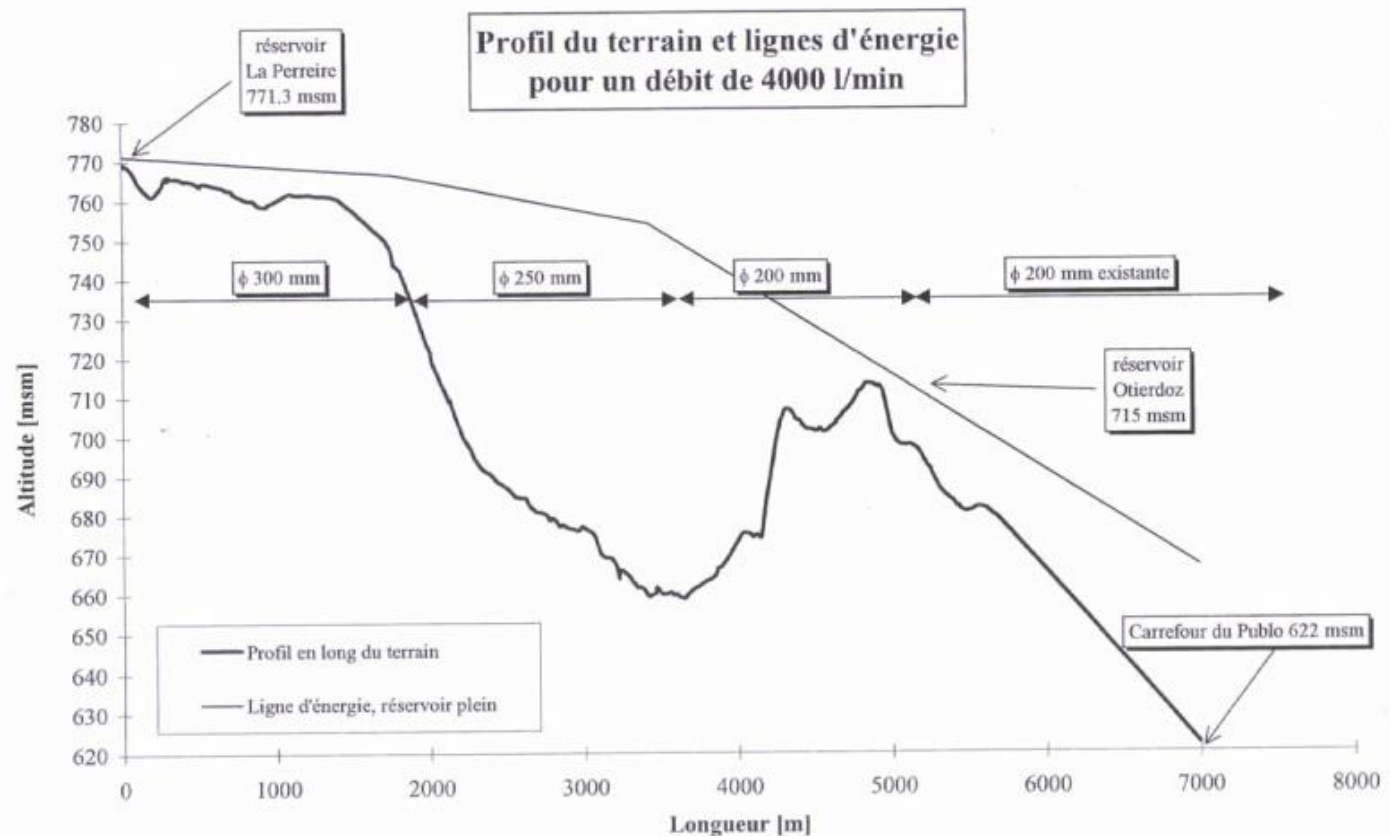
On recommence si nécessaire par itération

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)

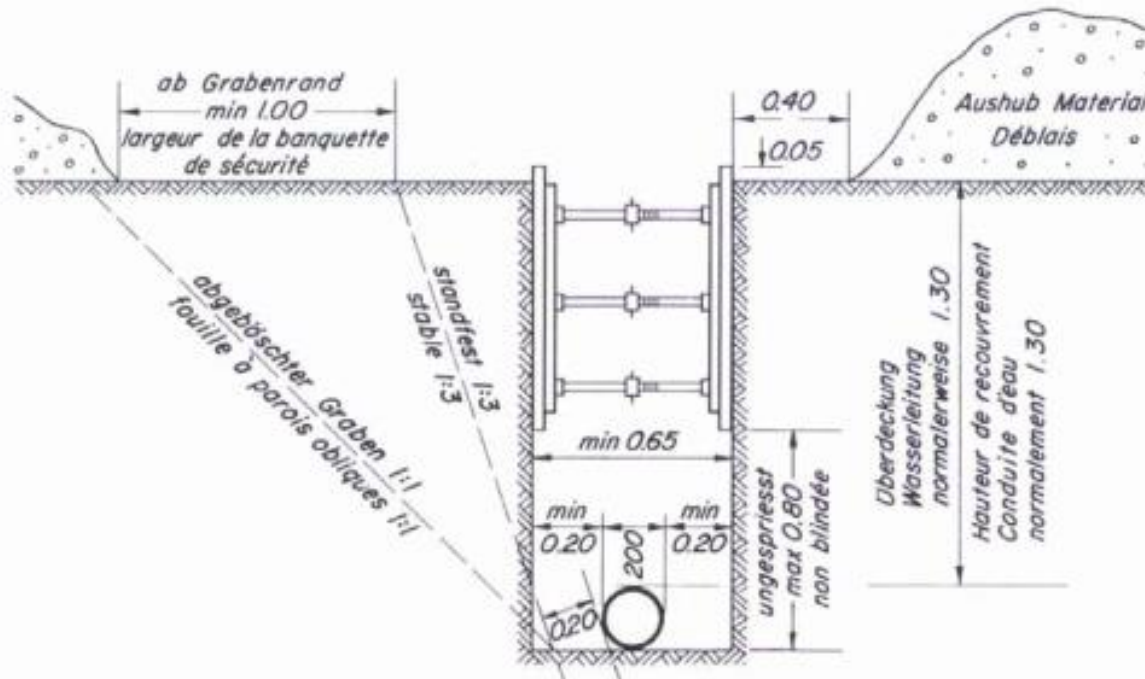
- Profondeur (CH) : hors gel, normalement 1.30 m, min 1.00 m
- Blindage des fouilles: obligatoire dès 1.50 de profondeur, sinon selon besoins (terrains meubles, eau ou constructions voisines à protéger)
- Largeur minimum fouilles : fonction du diamètre et de la profondeur
 - jusqu'à 1 m : libre
 - jusqu'à 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

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 1,30 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

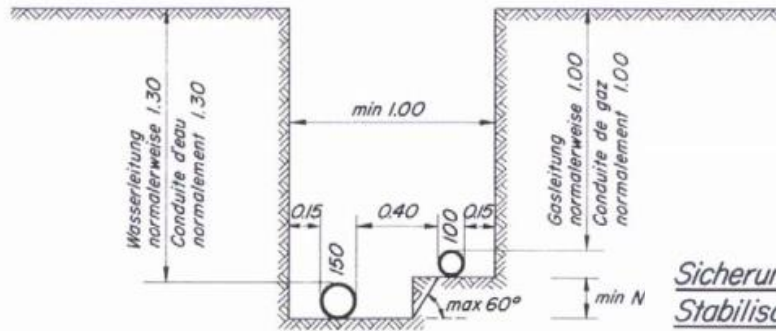


Caisson métallique type Krings



Battage de palplanches

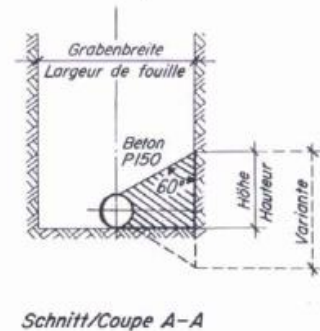
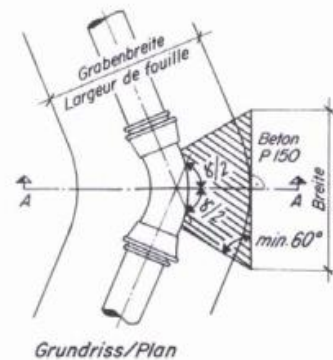
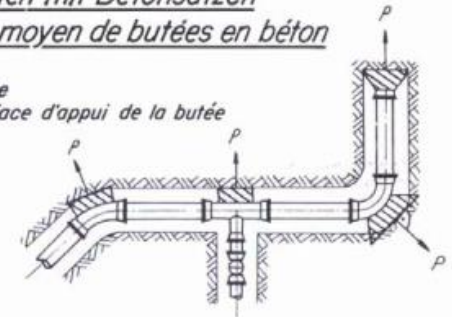
für zwei Leitungen pour deux conduites



SVGW Anhang 3
SSIGE Annexe

Sicherung von Leitungsfixpunkten mit Betonsätzen Stabilisation des conduites au moyen de butées en béton

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



Les efforts dans les courbes
nécessitent des butées en béton bien
dimensionnées

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

- établir le budget,
- obtenir la consommation journalière moyenne
- en milieu rural, dimensionner la réserve de sécurité du réservoir

Consommation journalière de pointe, elle sert à:

- dimensionner la conduite de transport et l'usine de traitement

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

Besoin du jour de pointe = $K1 \times$ Besoin du jour moyen

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

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

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) !!!

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

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 matériaux:

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

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

Faible à moyenne pression (PN5, 10, 16)
Durée de vie ??? 30-50 ans ???

Avec un grand choix de revêtements intérieur et extérieur

Il existe pour chaque matériau : différentes classes de pression

Attention au diamètre : intérieur ou extérieur !!

Pression : prévoir marge de surpression liée au coup de bélier

+ 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 tracé : implantation en plan, et repérage de terrain (**indispensable** : pour repérer les obstacles visibles, arbres, lignes aériennes, regards de réseaux 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 réseaux 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).

- Vérifier que le chantier est bien sécurisé: études flux, panneau et barrières, circulation, cheminement vélos, piétons, installations de chantier.
- Arbres, pas de fouille à moins de 2 m des arbres et pas de découpe de grosses racines, protection des troncs proches avec planches
- Conduites : Vérifier qu'elles soient correctement stockées (fermées aux deux bouts sur forme en bois / pas au soleil pour plastiques) et correctement manutentionnées.
- Fouilles effectuées dans les règles de l'art : ATTENTION au blindage!!!
- Conduites correctement posées (bien emboîtées, graisse alimentaire pour tuyaux en fonte).
- Lit de pose en sable.
- Test d'étanchéité.
- Purge / désinfection

En phase étude et travaux :

Profil en long d'un réseau d'eau

