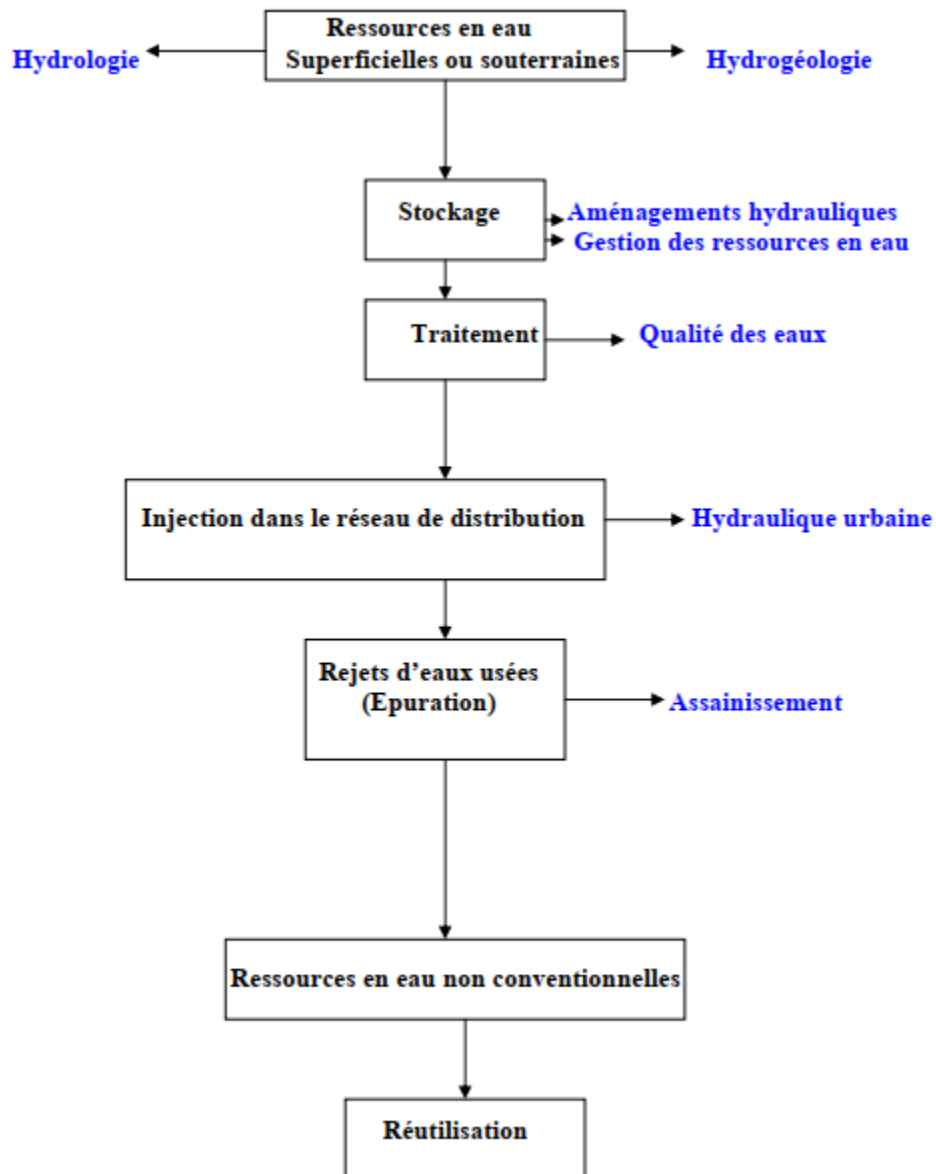


## Hydraulique générale



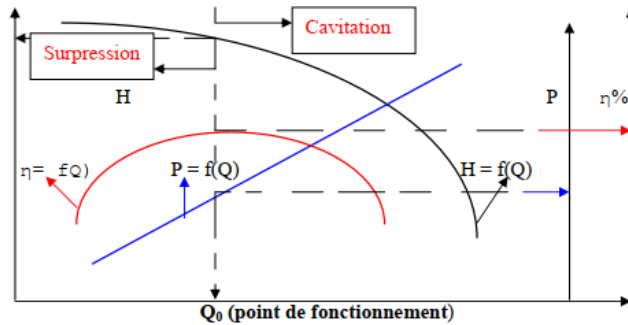
- **L'hydraulique** : est la science et la technique qui étudie l'eau sous l'aspect aussi bien statique que dynamique. Elle essaie de décrire, analyser et expliquer un certain nombre de phénomènes ou propriétés à travers des lois connues de sciences exactes.
- **Le bilan hydrologique** :  $P = R + I + ET$ 
  - ✓ **P** = *pluviométrie* : quantité d'eau de pluie
  - ✓ **R** = *ruissellement* : c'est la partie d'eau qui s'écoule en surface tout en donnant naissance à des rivières. Le ruissellement est favorisé par un sol perméable.

- ✓ **I** = *infiltration* : c'est la partie qui s'infiltre dans le sous-sol (lorsque le terrain est perméable pour alimenter les nappes d'eau souterraines).
  - ✓ **ET** = *évapotranspiration* : phénomène occasionnant l'évaporation de l'eau par le sol nu (fortes chaleurs) et par le couvert végétal (phénomène de photosynthèse).
- Température d'ébullition : 100°C
  - Température de fusion : 0°C
  - Les besoins en eaux moyens en milieu urbain Marocain sont de l'ordre de 80 à 150 l/j/habitant (ville moyenne à grande ville).
  - En milieu rural, ils sont de l'ordre de 30 à 40 l/j/habitant.
  - **Loi d'accroissement démographique** :  $P_n = P_o \cdot (1+i)^n$
  - Les besoins en eau potable varient donc d'une manière exponentielle.
  - Dans la conception d'un projet d'eau potable. Il faut fixer les paramètres suivants :
    - ✓ L'année de référence (année où l'étude se fait).
    - ✓ L'année de mise en service.
    - ✓ L'horizon de l'étude ou l'année de saturation.
  - **Le débit fictif** : continu est le débit qui serait théoriquement pompé d'une manière continue (24h/24h).
  - **Le taux de branchement** : est le pourcentage d'abonnés qui sont branchés sur le réseau.
  - **Le taux d'accès à l'eau potable** : est le pourcentage de la population ayant accès à l'eau potable dans de bonnes conditions.
  - **Hydrostatique** : est l'étude des liquides au repos.
  - Unités :  $N/m^2 = \text{Pascal}$  ;  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$  ;  $1 \text{ kg/cm}^2 = 1 \text{ bar}$  ;  $1 \text{ atm} = 10.33 \text{ m d'eau} = 177 \text{ mm Hg}$
  - **La surface isobare** : une surface d'égale pression. Pour  $h = \text{cte}$  on aura donc une surface isobare.
  - $P_{\text{eff}} = P_{\text{absolue}} - P_{\text{atmosphérique}}$  ;  $P_a = P_o + \omega h$  (poids volumique du liquide)
  - **Le manomètre** : est un appareil qui donne la pression manométrique en un point donné.
  - **Le baromètre** : appareils qui mesurent uniquement la pression atmosphérique.
  - La pression manométrique au fond du réservoir est  $P = \omega h$ .
  - **Centre de poussée** : est le point d'application de la force de pression.
  - **Tirant d'eau** : est la profondeur d'enfoncement du point inférieur de la surface mouillée d'un corps.
  - Pour un fluide parfait  $\mu = \nu = 0$ ; pour un liquide réel  $\mu \neq 0$  ( $\mu$ ,  $\nu$  viscosité dynamique et cinématique).
  - Lorsque la température augmente, la viscosité cinématique de l'eau diminue.
  - **L'hydrodynamique** : est de déterminer en un point donné la vitesse, la pression, le débit et leurs relations au cours de l'écoulement.
  - **Écoulement permanent** : est un écoulement où les caractéristiques d'une particule liquide ne dépendent que de la position du point M.
  - En contrepartie un écoulement non permanent fait intervenir  $x$ ,  $y$ ,  $z$  et  $t$ .
  - **La ligne de courant** : une ligne qui à un instant donné est tangente en chacun de ses points au vecteur vitesse.
  - **Tube de courant** : l'ensemble des lignes de courant appuyées sur un contour fermé placé à l'intérieur de l'écoulement.

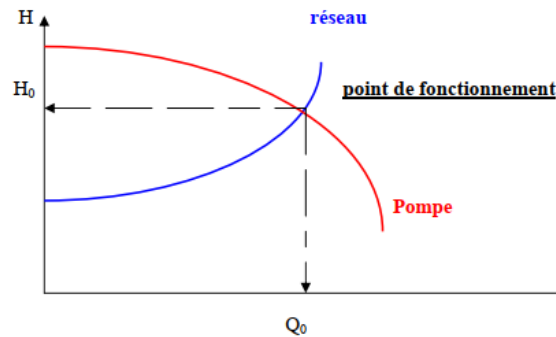
- **L'écoulement laminaire** : si les particules liquides se déplacent suivant des filets parallèles et qui ne changent pas tout le long de l'écoulement.
- **L'écoulement turbulent** : si au contraire, les particules liquides suivent des trajectoires non régulières et non rectilignes.
- Si  $Re < 2000$  : écoulement laminaire.
- Si  $Re > 2000$  : écoulement turbulent.
- **Un écoulement en charge** : s'il n'y a pas de contact entre le liquide et l'atmosphère. C'est le cas des écoulements dans les conduites.
- **Un écoulement à surface libre** : si le liquide s'écoule en contact avec l'atmosphère, c'est le cas des écoulements dans les canaux découverts et dans les oueds.
- **Les pertes de charge** : se composent de deux parties : les pertes de charges singulières  $\Delta H_S$  et les pertes de charges linéaires  $\Delta H_L$ .
- **Les pertes de charge linéaires** : sont les pertes de charges qui s'effectuent le long d'une conduite dépourvue de singularités.
- $\Delta H_L = \lambda \cdot (1/d) \cdot (v^2/2g)$  : (Formule de Darcy-Weisbach ;  $\lambda$  : coeff de perte de charge).
- Pour un écoulement laminaire dans une conduite cylindrique  $\lambda = 64/Re$ .
- Pour un écoulement turbulent, les formules sont très nombreuses et très compliquées, la formule la plus utilisée est celle de coolbrook :  $1/\sqrt{\lambda} = -2 \log_{10} [(\epsilon/3,7 D) + (2,51/ Re \sqrt{\lambda})]$ .
- En pratique on utilise un abaque : il suffit de connaître  $Re$  et  $\epsilon/D$ . (voir Graphiques).
- **Les pertes de charges singulières** : celles qui sont occasionnées par les singularités (Coudes, vannes, clapets, branchement ...etc), c'est à dire en dehors de longs alignements.
- $\Delta H_S = k \cdot (v^2/2g)$  ( $k$  est un coefficient sans dimension qui dépend de la forme et des dimensions de l'irrégularité.)
- Un courant d'eau est dit uniforme si la profondeur d'eau, la section d'eau  $S$ , la vitesse  $V$  et la pente hydraulique restent constantes tout le long du canal.
- **Rh = rayon hydraulique** = section mouillée/périmètre mouillé.
- Énergie spécifique :  $H_e = D + (V^2/2g)$ .
- **Profondeur critique** : C'est la profondeur pour laquelle le débit  $Q$  s'écoule avec l'énergie spécifique minimum  $(Q^2 / g S^3) \cdot dS/dD = 1$
- **Débit critique** : C'est le débit correspondant à la profondeur critique.
- **Pente critique** : C'est la pente associée au débit et profondeur critiques.
- **Nombre de Froude** :  $Fr = V/\sqrt{g \cdot D}$ 
  - ✓ Si  $Fr < 1$  ----- écoulement fluvial
  - ✓ Si  $Fr > 1$  ----- écoulement torrentiel
  - ✓ Si  $Fr = 1$  ----- écoulement critique
- **Un orifice en hydraulique** : est une ouverture de forme régulière, Pratiqué dans une paroi ou dans le fond du récipient à travers laquelle s'écoule le liquide contenu dans le récipient.
- **Un ajutage** : est une tubulure de forme variable et de section généralement circulaire par où s'écoule le liquide contenu dans un réservoir.
- **Un déversoir** : est un orifice superficiel ouvert à sa partie supérieure et pratiqué dans une paroi généralement verticale.

## Hydraulique urbaine

- **Une pompe hydraulique** est une machine constituée d'un ensemble d'organes électromécaniques aspirant l'eau au niveau d'un point pour le refouler vers un autre.
- Dans le choix technico-économique d'une pompe, on doit tenir compte des aspects suivants :
  - ✓ *Il faut que l'eau arrive jusqu'à l'utilisateur en débit et pression demandés.*
  - ✓ *Assurer un bon rapport qualité/prix.*
  - ✓ *Bonne qualité des matériels.*
- **Les pompes centrifuges** : sont les pompes les plus utilisées en pratique. Ces pompes donnent des débits qui varient en raison inverse des hauteurs de refoulements.
- Les types des pompes centrifuges :
  - ✓ *Pompe mécanique à axe vertical (très utilisées en milieu rural Marocain pour l'irrigation)*
  - ✓ *Pompe mécanique à axe horizontal (souvent pour pomper dans une rivière...)*
  - ✓ *Pompe immergée*
- **HMT** est la somme de la hauteur géométrique et la perte de charge.
- Une pompe centrifuge est toujours caractérisée par le couple (Q, HMT).
- Protection de la pompe :
  - ✓ **Clapet anti-retour** : il faut l'installer juste à la sortie de la station de pompage pour éviter le retour des eaux de la canalisation.
  - ✓ **Vannage** : le démarrage de la pompe doit être lent et progressif, ainsi la vanne installée à la sortie de la pompe doit être fermée lors de la mise en marche.
  - ✓ **Compteur** : il permet le suivi quantitatif des volumes d'eau produits.
  - ✓ **Manomètre** : il permet de contrôler la pression de l'eau au moment du démarrage.
  - ✓ **Dispositif anti-bélier** : les pompes doivent être généralement protégées contre les coups de bélier (augmentation ou diminution brutale de la pression) qui sont provoqués par les arrêts ou mise en marche brutaux.
- **La cavitation** est une formation de bulles de vapeur due à une baisse de pression lors de l'aspiration, ceci occasionne une détérioration du matériel.
- Il faut toujours respecter le point de fonctionnement optimal d'une pompe, sinon on a soit un risque de surpression, soit un risque de cavitation.
- Critères de choix d'une pompe :
  - ✓ *Profondeur de l'eau*
  - ✓ *Energie de pompage*
  - ✓ *Débit désiré*
  - ✓ *Rendement du pompage*
- **Le rendement d'une pompe** est le rapport entre la puissance efficace réellement fournie par la pompe et la puissance fournie au moteur de la pompe.
- Le rendement varie entre 60 et 80% en fonction du diamètre du corps et de la qualité.
- **La puissance nécessaire au pompage** est donnée par la formule suivante :
$$P \text{ (KW)} = 9,8 \times \text{HMT (m)} \times Q \text{ (m}^3/\text{s)} / \eta$$
- Courbes caractéristiques d'une pompe :
  - ✓ *Une courbe des hauteurs manométriques en fonction des débits,  $\text{HMT} = f(Q)$*
  - ✓ *Une courbe des puissances absorbées en fonction des débits,  $P = f(Q)$*
  - ✓ *Une courbe des rendements globaux (pompe et moteur) en fonction des débits  $\eta = f(Q)$*



- Couplage d'une pompe et d'un réseau :



- Quelques défauts de fonctionnement et causes probables :
  - ✓ La pompe ne fonctionne pas (pièces oxydés ; absence de jeu entre turbine et diffuseur ; voltage très bas ; fusible ; problème du moteur ; problème électrique)
  - ✓ La pompe ne débite pas (immersion ; clapet ou crépine bouchée ; vitesse de rotation très basse ; rotation en sens contraire ; HMT élevé ; Arbre brisé ; Tuyaux obturés)
  - ✓ Débit insuffisant (diamètre de la tuyauterie ; vitesse de rotation très basse ; turbine libre sur l'arbre (serrage) ; HMT élevée / capacité de la pompe ; Immersion insuffisante)
  - ✓ Pression insuffisante (air ou gaz dans l'eau ; viscosité supérieure à la normale)
  - ✓ La pompe débite puis coupe (niveau d'eau inférieur à la première turbine ; cavitation ;  $NPSH < NPSH_d$  ; immersion insuffisante)
- Caractéristiques à préciser pour le choix des conduits d'eaux : nature, longueur, diamètre, pression de service.
- Le dimensionnement d'une conduite doit être conçu de manière à minimiser les pertes de charges.
- Sur le plan économique, le calcul d'une conduite doit tenir compte des paramètres suivants :
  - ✓ *L'investissement initial*
  - ✓ *Le phasage de réalisation (chronologie de réalisation)*
  - ✓ *Les frais d'exploitation*
  - ✓ *Les frais d'entretien et de renouvellement*
- Une conduite doit être généralement enterrée et posée sur une couche de sable (10 à 20 cm) puis remblayée par un tout venant sélectionné.
- En terrain meuble, le lit de pose sera constitué par du sable fin, en terrain rocheux par de la gravette.

- La conduite doit être aussi protégée contre la corrosion par un revêtement protecteur tel que les peintures.
- Lorsqu'un écoulement est conçu d'être gravitaire au sein d'une conduite, il faut que les pertes de charges totales soient inférieures à la hauteur géométrique disponible.
- **La pression de service** est la pression maximale à laquelle peut résister une conduite donnée sans éclatement ou fissuration.
- La pression de service est donnée par le constructeur et peut être testée avec des essais de pression en tranchée.
- L'essai en tranchée à une durée minimale d'une demi-heure et ne devra en aucun cas excéder 2 heures.
- PN6 : pression nominale de 6 bars.
- **La classe d'une conduite** est la pression à laquelle elle est éprouvée en usine. Il est recommandé d'utiliser des conduites dont la classe est le double de la pression de service.
- En augmentant le diamètre, on augmente le prix de la conduite, on diminue très vite les pertes de charges et par suite les dépenses en énergie pour faire circuler l'eau.
- En diminuant le diamètre, on augmente les pertes de charge et on crée des surpressions sur les parois de la conduite mais en contrepartie, on diminue le coût.
- Les contraintes à respecter lors du choix du diamètre :
  - ✓ La vitesse doit être de l'ordre de 1 m/s
  - ✓ La vitesse minimale est de l'ordre de 0,5 m/s pour éviter les dépôts
  - ✓ Le maximum est de l'ordre de 1,5 m/s pour éviter les bruits et les coups de bélier
  - ✓ Les pertes de charges doivent être minimales
  - ✓ La pression demandée au niveau de l'utilisation doit être assurée
- Quelques approches pour le calcul du diamètre optimal :
  - ✓ Il y a lieu de faire un certain nombre de simulations avec des diamètres donnés et choisir celui qui répond le mieux :

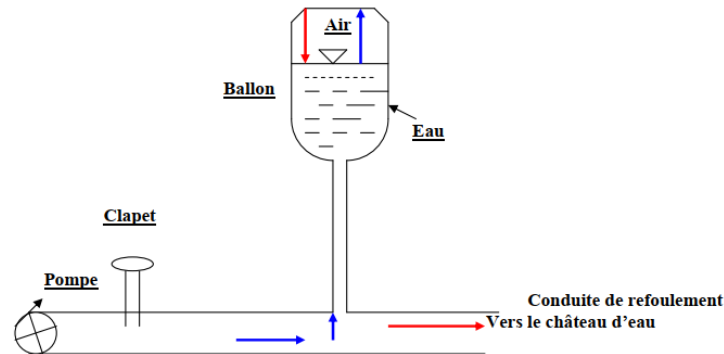
D (pouces)	Q (l/s)	V (m/s)	Re (Nombre de Reynolds)	$\lambda$	Longueur de la conduite (m)	$\Delta H$ (m)
1,5	1	0,88	29329	0,065	18	1,3
2	1	0,5	21997	0,058	18	0,28
2,5	1	0,32	17598	0,054	18	0,08
3	1	0,22	14665	0,051	18	0,03

D= 2 pouces (diamètre minimisant les pertes de charges et permettant une vitesse acceptable).

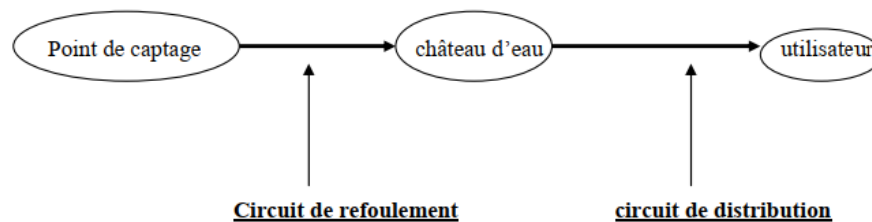
- ✓ Cas du pompage :  
On adopte directement  $V = 1\text{ m/s}$ ,  $Q = VS = V\pi d^2 / 4$  soit  $d \text{ (m)} = 2 \sqrt{Q/\pi}$
- ✓ Cas du gravitaire :  
Pour que l'eau arrive du point A pour alimenter le robinet de la maison située au point B, il faut adopter un diamètre d tel que :  $\Delta H_{AB} < h$
- Le débit unitaire d'un robinet est en moyenne de 6 litres/minute = 0,1 l/s.
- Logiciels informatiques : Piccolo, Epanet, Loop...

- Suivant les diamètres, les pressions supportées et les conditions d'installation, on est amené à réaliser les conduites en charge avec des matériaux de nature et de types différents :
- **Tuyaux en fonte :**
  - ✓ Ils sont couramment utilisés pour la distribution comme pour l'assainissement.
  - ✓ Ils supportent une pression de service atteignant 50 bars pour les tuyaux ne dépassant pas 0,60 m de diamètre.
- **Tuyaux en acier :**
  - ✓ L'inconvénient de ces conduites est qu'elles sont sensibles à la corrosion, pour remédier à ce problème on a recours à l'acier galvanisé.
  - ✓ 60 bars jusqu'à 150 mm de diamètre (Ø 150)
  - ✓ 50 bars jusqu'à 275 mm de diamètre (Ø 275)
  - ✓ 40 bars jusqu'à 275 mm de diamètre (Ø 400)
- **Tuyaux en béton :**
  - ✓ Fréquemment utilisé à cause de son prix bon marché par rapport au métal.
  - ✓ Les faibles effets dus à la pression dans les tuyaux usuels en béton.
  - ✓ Les tuyaux doivent bien entendu résister à l'écrasement dû à ces charges.
  - ✓ On définit pour estimer cette résistance, une charge de fissuration F et une charge de rupture R.
  - ✓ La charge de fissuration est celle qui développe dans la conduite une fissure de 0,2 mm de largeur et de 1,30 m de longueur.
- **Tuyaux en plastique :**
  - ✓ Ils sont utilisés pour la distribution (plastique dur ou mi souple) comme pour l'assainissement (plastique dur).
  - ✓ Ces tuyaux beaucoup moins rugueux ont donc l'avantage de diminuer les pertes de charge.
  - ✓ Les joints sont facilement réalisés soit par collage, soit par soudure à l'air chaud (PVC).
  - ✓ Les conduites en plastique les plus utilisés sont polyéthylène haute densité (PEHD).
  - ✓ Son grand avantage réside dans le fait qu'il épouse facilement la topographie du terrain puisqu'il est livré en rouleau.
- Il est fréquent de trouver plusieurs natures de conduites sur un même tracé et également avec des variations dans le diamètre.
- En tenant compte de la topographie et du tracé de la conduite, il faut équiper les points hauts et les points bas, surtout lorsqu'il s'agit d'un linéaire de conduite très important.
- **Equipement du point haut :** Le problème est souvent l'accumulation de l'air aux points hauts, on installe souvent des ventouses à double effet pour le dégazage et l'évacuation de l'air.
- **Equipement du point bas :** Ce sont les points où la pression d'eau est maximale, on installe souvent des vidanges, Le diamètre de la vidange doit être au minimum égal au ¼ du diamètre de la conduite.
- **Le coup de Bélier** dans une conduite apparaît au moment de variation brusque de la vitesse d'écoulement par suite d'une fermeture ou ouverture rapide de la vanne, soit d'un brusque arrêt de la pompe.
- Ce phénomène peut conduire à des surpressions pouvant endommager la conduite et les équipements accessoires, soit à des dépressions pouvant occasionner une cavitation donnant naissance à des gaz.

- **Dispositifs anti-bélier (DAB) :** dispositifs qu'on installe entre la pompe et le château d'eau, Il s'agit principalement de ballons d'air sous pression, la dilatation ou la compression de cet air permet d'amortir les coups de bélier jusqu'à des valeurs acceptables et supportables par le matériel.



- **Les châteaux d'eau :**

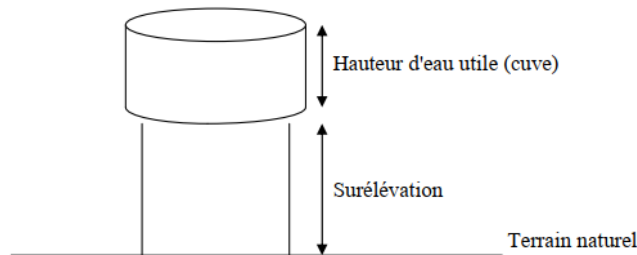


- Au cours d'une même journée, le débit de la conduite d'adduction est constant alors que celui de la distribution est essentiellement variable dans le temps. Les châteaux d'eau jouent un rôle régulateur entre les deux régimes.
- Les rôles à jouer par un château d'eau sont comme suit :
  - ✓ Régulariser le fonctionnement des pompes
  - ✓ Assurer le débit nécessaire pendant les heures de pointe
  - ✓ Assurer la mise en pression du réseau de desserte.
  - ✓ Réserve de 120 m3 pour les grandes villes
  - ✓ Assurer l'alimentation en cas d'incidents sur les ouvrages de production (pannes de pompe par exemple)
- Lorsqu'il s'agit de capacités relativement faibles (10 m3 à 15 m3), on parle également de bâches.
- L'emplacement du réservoir :
  - ✓ Proche du point de captage pour éviter des linéaires de conduites très importants.
  - ✓ Soit plus élevé par rapport à la côte maximale des localités à desservir pour pouvoir les alimenter par simple gravité.
  - ✓ Compte tenu de la topographie, les réservoirs peuvent être soit enterrés, semi-enterrés, ou surélevés. Le premier type est satisfaisant sur le plan esthétique, le deuxième est le plus économique. Les réservoirs surélevés sont le seul mode de construction possible en plaine.
- Capacité du réservoir :

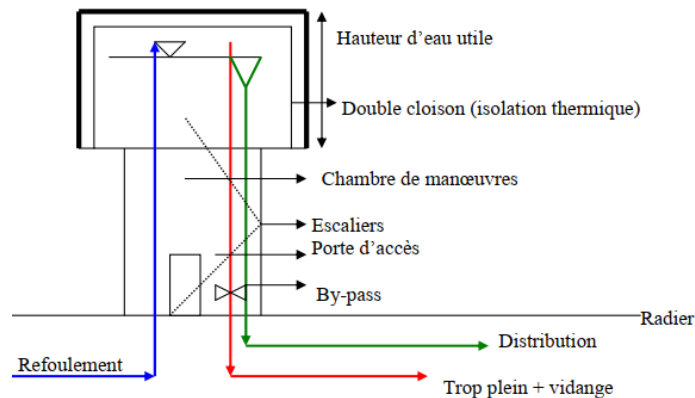


- ✓ La capacité théorique d'un réservoir dépend des variations en matière de consommation d'eau durant la journée.
- ✓ La capacité d'un réservoir est calculée pour une durée d'autonomie de 24 heures.
- ✓ Pour les petites villes, on peut adopter une autonomie de 10 à 12 heures.
- ✓ Pour les petites et moyennes installations, le planning de pompage est de 8 à 10 heures/24 h.
- ✓ Pour les grandes villes, on peut atteindre 24 h/24 h.
- Forme du réservoir :
  - ✓ La section en plan des réservoirs est le plus souvent circulaire, notamment pour des raisons de coût.
  - ✓ La hauteur d'eau pour les agglomérations d'importance petite ou moyenne se situe le plus souvent vers 4 à 5m.
  - ✓ Pour les réservoirs de grande importance (grandes villes), la hauteur d'eau peut atteindre 7 à 10m.

#### Château d'eau surélevé



- Organes et accessoires d'un château d'eau :



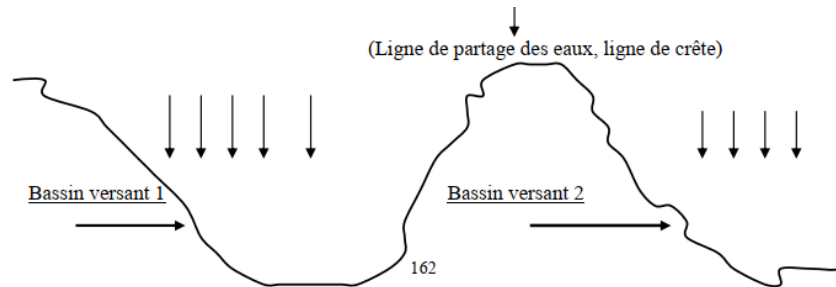
- ✓ Trop plein : conduite permettant d'évacuer la totalité du débit arrivant au réservoir (souvent en acier galvanisé).
- ✓ Vidange : conduite partant du point bas du réservoir et se raccordant sur la canalisation de trop plein (souvent en acier galvanisé), cette conduite est indispensable pour les réparations éventuelles et nettoyages périodiques.
- ✓ Conduite de refoulement : c'est la conduite qui doit permettre l'alimentation du réservoir.

- ✓ Conduite de distribution : c'est la conduite permettant d'alimenter les utilisateurs.
- ✓ By-pass : en cas de travaux sur le réservoir, il y a lieu de prévoir une communication entre la conduite de refoulement et celle de distribution. Le système by-pass permet de faire cette liaison.
- ✓ Chambre de manœuvres : elle se trouve au pied de la tour, les différentes vannes s'y trouvent.
- ✓ Double cloison : il est intéressant, voire impératif de prévoir une double cloison au niveau de la cuve afin d'assurer une isolation thermique.
- ✓ Un tampon de visite : (ou capot regard) pour des visites périodiques de l'ouvrage.
- Les matériaux de construction du réservoir :
  - ✓ L'hérissongage constitué de moellons calcaires de 20 cm d'épaisseur
  - ✓ Le béton de propreté B5 dosé à 150 Kg/m<sup>3</sup>
  - ✓ Le béton armé B2 dosé à 350 Kg/m<sup>3</sup> pour l'ossature principale du réservoir (radier, parois verticales) avec un hydrofuge de masse type SIKA pour assurer l'étanchéité
  - ✓ Le béton armé B2 dosé à 350 Kg/m<sup>3</sup> pour la dalle supérieure, la coupole....
  - ✓ Les enduits constitués de mortier de ciment
- Critères à satisfaire :
  - ✓ Résistance mécanique aux différents efforts et pressions auxquels il est soumis et notamment la charge de l'eau lorsque la cuve est pleine.
  - ✓ Etanchéité, c'est-à-dire qu'il ne doit y avoir aucune fuite dans l'ossature de l'ouvrage.
  - ✓ Durabilité en ce sens que le béton doit conserver ses propriétés mécaniques en contact avec l'eau.
- Entretien des réservoirs :
  - ✓ Désinfection à l'aide de produits chlorés pour l'élimination des bactéries
  - ✓ Vidange et traitement des dépôts sur les parois
  - ✓ Auscultation générale en matière de fuites et suintements
  - ✓ Diagnostic des équipements vétustes (vannes, robinets, conduites)
- **Les réseaux de distribution** : est un ensemble de canalisations et d'équipements destinés à desservir les utilisateurs ou abonnés à partir d'un réservoir de stockage.
- Dans un réseau de distribution, on distingue trois sortes de conduites :
  - ✓ Conduites principales ou réseau primaire (juste à la sortie du réservoir).
  - ✓ Conduites de transit ou réseau secondaires (desservant les quartiers et grandes agglomérations).
  - ✓ Conduites d'alimentation ou réseau tertiaire (desservants les maisons, administrations).
- Les différents types de réseau :
  - ✓ Réseau ramifié : (structure d'arbre)
  - ✓ Réseau maillé : (qui présente des mailles)
  - ✓ Réseau mixte
  - ✓ Réseau étagé : (pour les zones à topographie accidentée)
- Caractéristiques d'un réseau de distribution :
  - ✓ Assurer le débit maximal demandé en période de pointe horaire.

- ✓ Les conduites doivent être enterrées au minimum de 80 cm par rapport à la génératrice supérieure.
- ✓ Doivent se situer obligatoirement plus haut que les conduites d'assainissement afin d'éviter toute contamination.
- ✓ La vitesse de l'eau doit être de l'ordre de 0,6 à 1,2 m/s.
- ✓ Une vitesse inférieure à 0,6 m/s favorise les dépôts.
- ✓ Une vitesse supérieure à 1,2 m/s favorise les bruits.
- ✓ La pression maximale dans un réseau de distribution doit être de 40 m (4 bars).
- ✓ La pression minimale au point de puisage le plus élevé doit être de 3 m (0,3 bars).
- ✓ Le réseau doit être bien géré et contrôlé en matière de fuites pour permettre une économie sur la ressource.
- Les paramètres hydrauliques d'un réseau de distribution :
  - ✓ Le débit de pointe horaire : C'est le débit de l'heure la plus chargée.
  - ✓ Les diamètres : Le calcul d'un réseau maillé est similaire à celui d'un réseau électrique.
  - ✓ Pression nécessaire
- Dans un réseau maillé la somme algébrique des pertes de charges est nulle (loi de maille).
- Dans un réseau maillé la loi des nœuds exprime la conservation des débits au niveau de chaque nœud.
- Les durées de vie techniques moyennes des matériels sont comme suit :
  - ✓ *Génie- Civil, canalisations* : m = 40 ans
  - ✓ *Equipement de refoulement* : m = 13 ans
  - ✓ *Pièces spéciales* : m = 20 ans
- **PAGER** : programme d'alimentation groupé en eau rurale (1995)
- Problématique de l'eau potable du monde rural :
  - ✓ Le plan technique : les besoins sont trop faibles ; l'habitat est très dispersé
  - ✓ Le plan financier : enveloppes budgétaires importantes ; prix de revient de l'eau élevé.
  - ✓ Le plan institutionnel : Il faut qu'il y ait un organisme capable de gérer sur le plan technique et financier les SAEP réalisés.
- Pour les douars, les besoins sont calculés sur la base de 20 à 25 l/j/habitant en cas de desserte par borne fontaine BF, elle devient 40 à 45 l/j/habitant en cas de desserte par branchements individuels.

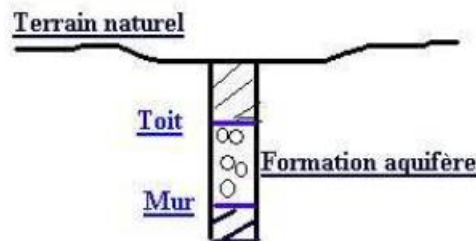
## Hydrologie

- **L'hydrologie** est la science qui étudie le cycle de l'eau ainsi que ses paramètres fondamentaux : pluie, ruissellement, infiltration, évapotranspiration.
- **Le bassin versant** ou l'air d'apport est la surface pour laquelle tous les écoulements dus aux précipitations les traversent la section jusqu'à l'exutoire, c'est la surface drainée par le cours d'eau et ses affluents en amont de la surface.
- Un bassin versant sera limité par des lignes de partage des eaux.
- Le bassin versant hydrologique est alors confondu avec le bassin versant topographique.



- Un bassin versant est décomposé en sous bassins élémentaires selon les critères suivants :
  - ✓ Répartition en fonction de l'altitude.
  - ✓ Répartition en fonction de la surface occupée par des glaciers (bassins de haute montagne).
  - ✓ Répartition en fonction de la nature lithologique et notamment de la perméabilité.
- **L'équation bilan** :  $P = E + R + I$
- **Précipitations** : mesurées à l'aide d'un pluviomètre ou pluviographe.
- **Ruissellement** : C'est l'écoulement en surface et qui est favorisé par un sol imperméable et une pente assez importante (déterminé par jaugeage au niveau des oueds).
- **Infiltration** : C'est la partie d'eau qui rejoint le sous-sol pour alimenter les nappes d'eau souterraines.
- **Évapotranspiration : 3**
  - ✓ **L'évaporation** : perte d'eau dans l'atmosphère qui se produit sur un sol nu.
  - ✓ **Transpiration** : phénomène biologique qui se produit à l'intérieur des plantes.
- **L'évapotranspiration réelle (ETR)** : celle que l'on obtient réellement lorsqu'il y a des contraintes (ex : pluies insuffisantes).
- **L'évapotranspiration potentielle (ETP)** : C'est donc en fait la quantité d'eau qui serait évaporée et transpirée si les réserves en eau étaient suffisantes pour compenser les pertes maximales.
- Les paramètres qui régissent l'évapotranspiration sont : La température ; Le vent ; Le rayonnement ; Le type de végétation...
- **Les averses** sont un ensemble de pluies associées à une même perturbation météorologique.
- **Régime pluviométrique** est la répartition au cours de l'année de la quantité annuelle de pluie.
- Au niveau d'un poste pluviométrique on mesure et on calcule la pluie journalière, mensuelle et annuelle.

- Méthodes de traitement des cours d'eaux :
  - ✓ Le recalibrage : consiste à rechercher à l'aide d'engins puissants, des tracés rectilignes permettant d'évacuer dans un lit unique et sans débordement le débit de pointe de la crue décennale.
  - ✓ Aménagement de seuils : consiste à Renforcer le temps de séjour de l'eau et favoriser l'infiltration au profit des nappes d'eau souterraines.
  - ✓ Endiguement des rives : consiste à élever la hauteur des berges jusqu'à une hauteur permettant d'éviter les débordements et canaliser les eaux de crues.
  - ✓ Protection des berges : consiste à renforcer la tenue des berges et notamment lorsqu'il s'agit de terrains meubles et friables.
- **La modélisation des phénomènes hydrologiques** est un outil dont l'objectif est la prévision des phénomènes ou paramètres hydrologiques (inondations par exemple) ainsi que le dimensionnement d'ouvrages hydrauliques (débits des projets pour ponts, barrages...)
- Les données nécessaires à une étude de modélisation :
  - ✓ *Un modèle numérique de terrain (MNT).*
  - ✓ *Un modèle hydrodynamique pour la simulation des phénomènes.*
- **Une nappe d'eau souterraine** ou aquifère est un réservoir d'eau souterraine continu avec des circulations d'eau plus ou moins importantes dans une roche magasin.
- Les fonctions des aquifères :
  - ✓ *Une fonction de stockage : (emmagasinement)*
  - ✓ *Une fonction de transfert (perméabilité transversale)*



- **Un forage** est un « trou » réalisé selon des règles techniques et avec un matériel approprié : machines foreuses ou ateliers de forages.
- Dans les forages d'eau, on considère deux grandes familles : les sondages de reconnaissance et les forages d'exploitation.
- **Un sondage de reconnaissance** est une phase exploratoire pendant laquelle on doit d'abord confirmer ou pas des hypothèses hydrogéologiques : existence ou pas d'aquifères. Si oui, en quelle quantité et qualité l'eau existe-t-elle ?
- **Un forage d'exploitation** est l'ouvrage final qui est équipé en tubage, pompe et destiné à assurer un besoin (alimentation en eau potable, irrigation, industrie).
- Méthodes de forage :
  - ✓ *Forage à l'air*
  - ✓ *Forages au rotary à la boue*

## Qualité et traitement des eaux

- **L'eau** est une molécule plane constituée par deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène.
- Masse molaire de l'eau = 18g
- Température d'ébullition:  $\theta = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , température de fusion :  $0^{\circ}\text{C}$ .
- Densité,  $d = 1$  ; masse volumique,  $\rho = 1\text{g/cm}^3 = 1000\text{ Kg/m}^3$  ; poids volumique,  $\omega = 104\text{ N/m}^3$ .
- Pour les normes de potabilité, on parle de :
  - ✓ La valeur maximale admissible : qui ne doit être jamais dépassée.
  - ✓ La valeur maximale recommandée : on considère que c'est satisfaisant.
  - ✓ La valeur minimale requise : qui doit être toujours dépassée.
- Les normes Marocaines sont conformes à celles de l'OMS (organisation mondiale de la santé).
- **Les germes aérobies** sont ceux qui ne se développent qu'en présence de l'oxygène de l'air, sinon on parle de germes anaérobies.
- La charge polluante d'un effluent s'exprime à partir des concentrations en :
  - ✓ *MES* : une concentration élevée est souvent attribuée au fait que les réseaux sont de type unitaire.
  - ✓ *Charge organique (DBO<sub>5</sub>, DCO)*
  - ✓ *Substances azotées et phosphorées*
  - ✓ *Germes témoins de contamination fécale (GT, SF, CF)*
  - ✓ *Œufs d'helminthes (OH)*
- Les indicateurs de pollution :
  - ✓ L'oxygène dissous : intense vie microbienne, d'où une diminution de la teneur en oxygène de l'eau.
  - ✓ Germes pathogènes : La contamination fécale de l'eau.
- Mesure de pollution :
  - ✓ La DBO (exprimé en mg d'O<sub>2</sub> /litre) : un bon indicateur en matière de présence de la matière organique biodégradable. Ce paramètre correspond à la quantité d'oxygène consommée par les eaux usées pour oxyder la matière organique (5 jours).
  - ✓ La DCO : est un paramètre permettant d'évaluer la charge polluante d'un effluent. C'est la consommation en oxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder la totalité des substances organiques et minérales de l'eau (2 heures).
- La DCO présente une précision plus grande que la DBO<sub>5</sub>.
- Au Maroc, et pour un effluent urbain, on a généralement DCO/DBO<sub>5</sub> = 2,5 à 3 traduisant ainsi le caractère domestique dominant et biodégradable.
- Quelques statistiques marocaines (depuis 1990) :

Paramètre (mg/l)	Centre < 20 000 habitants	20 000 < hab < 100 000	> 100 000
DBO <sub>5</sub>	400	350	300
DCO	1000	950	850
MES	500	400	300

- La dernière réglementation Marocaine pour le rejet des eaux usées domestiques est :
  - ✓ DBO<sub>5</sub>: 120 mg O<sub>2</sub>/l
  - ✓ DCO: 250 mg O<sub>2</sub>/l
  - ✓ MES : 150 mg/l

- Exemple d'évaluation de la charge polluante :

✓ Hypothèses : DBO5 = 300 mg/l

✓ Calcul :

Années	1995	2000	2005	2010
Débit des eaux usées En m <sup>3</sup> /j	760	1160	1525	1900
Charge polluante en Kg/j	230	350	460	570

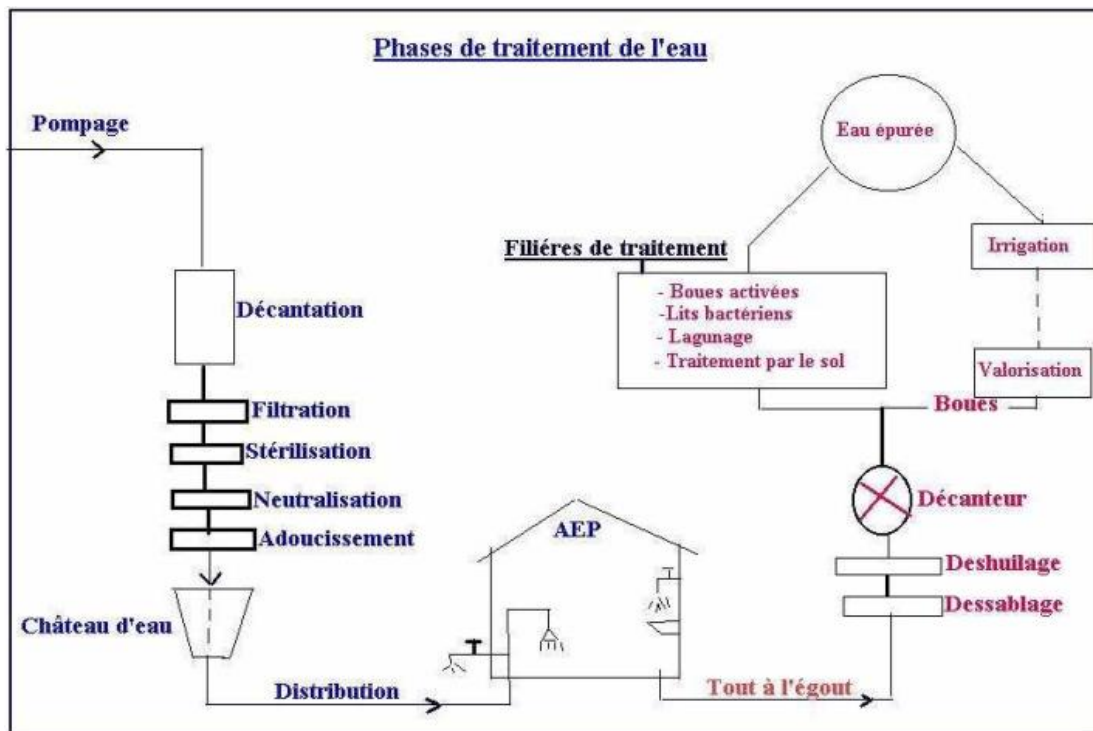
✓ Explication : 230 = 760 x 0,3

- Notion d'équivalent-habitant (Eq/Hab)** : Si on considère qu'un habitant rejette 54g de DBO5 par jour, on peut exprimer la DBO5 d'un rejet en équivalent habitant et ce par le rapport Poids DBO5 du rejet(g)/ 54.
- Les facteurs influant sur la composition de l'eau en matière de pollution :
  - ✓ La topographie du site,
  - ✓ L'occupation des sols,
  - ✓ Les activités humaines,
  - ✓ Le climat,
  - ✓ La fréquence des pluies,
  - ✓ Le nettoyage des rues,
  - ✓ Le type de réseau (séparatif ou unitaire).
- Station de traitement** : un ouvrage consiste à traiter les eaux capter dans la nature afin de rendre leur qualité conforme aux normes admises.
- La plus grande station de traitement au Maroc est celle du complexe de Bouregreg qui alimente Rabat, Salé, Casablanca, et centres avoisinants.
- Phases de traitement des eaux potables :
  - ✓ L'élimination des particules en suspension par décantation et filtration.
  - ✓ La stérilisation et ce par le chlore ou ses dérivés ou bien encore par l'ozone.
  - ✓ L'amélioration qui consiste à corriger les propriétés chimiques de l'eau captée, soit par addition de corps chimiques appropriés, soit par adsorption de corps à supprimer.
- Phase 1** : élimination des éléments en suspension (La décantation et filtration) :

décantation		filtration	
Le principe est basé sur la différence de densité entre l'eau et les particules en suspension. Selon la granulométrie des éléments, on considère deux types de décantation :		Le procédé consiste à faire écouler l'eau à travers un filtre. C'est généralement une couche de sable épaisse de plusieurs décimètres. On distingue deux types de filtration :	
La décantation simple : Les particules sont assez grosses donc les éléments se déposent Facilement au fond. Il est nécessaire d'évacuer les boues déposées soit par raclage, soit par écoulement.	Décantation assistée : Lorsque les particules sont fines, la décantation se fait en agglutinant les éléments au moyen de coagulants. Ceci donne lieu à des flocons qui précipitent au fond.	Filtration lente : La vitesse de filtration est comprise entre 10 et 80 cm/heure. Ce type de filtre ne devient donc efficace qu'au bout de plusieurs jours.	Filtration rapide : Les filtres rapides sont les plus répandus car moins onéreux. Leur vitesse de filtration atteint en exploitation 6 mètres/heure.

- **Phase 2** (La stérilisation) :
  - ✓ Cette opération a pour but de supprimer les germes pathogènes contenus dans l'eau.
  - ✓ Ceci se fait par addition de chlore ou de ses dérivés.
  - ✓ L'ozone est également un moyen très efficace pour stériliser l'eau (O3) mais son utilisation coûte relativement cher.
  - ✓ Il fait disparaître également les goûts et couleurs dus à certaines matières organiques présentes dans l'eau.
  - ✓ Un autre moyen pouvant être utilisé mais encore plus cher est le traitement par rayons ultraviolets.
- **Phase 3** (Amélioration des eaux potables) :

Amélioration des eaux potables		
Cette opération correspond à trois phases : la neutralisation, l'adoucissement, et la suppression des polluants organiques.		
<p>La neutralisation :</p> <p>Lorsqu'une eau est légèrement acide, on corrige le PH par addition de chaux.</p> <p>On fait circuler l'eau sur des filtres chargés de calcaires naturels concassés.</p>	<p>L'adoucissement :</p> <p>Il s'agit de réduire la dureté de l'eau lorsque celle-ci est élevée (dépôts et incrustations dans les conduites).</p> <p>L'adoucissement peut se faire par la chaux.</p>	<p>Suppression des polluants organiques :</p> <p>Par utilisation par exemple du charbon actif.</p> <p>le charbon actif élimine également les mauvaises odeurs et les mauvais goûts.</p>

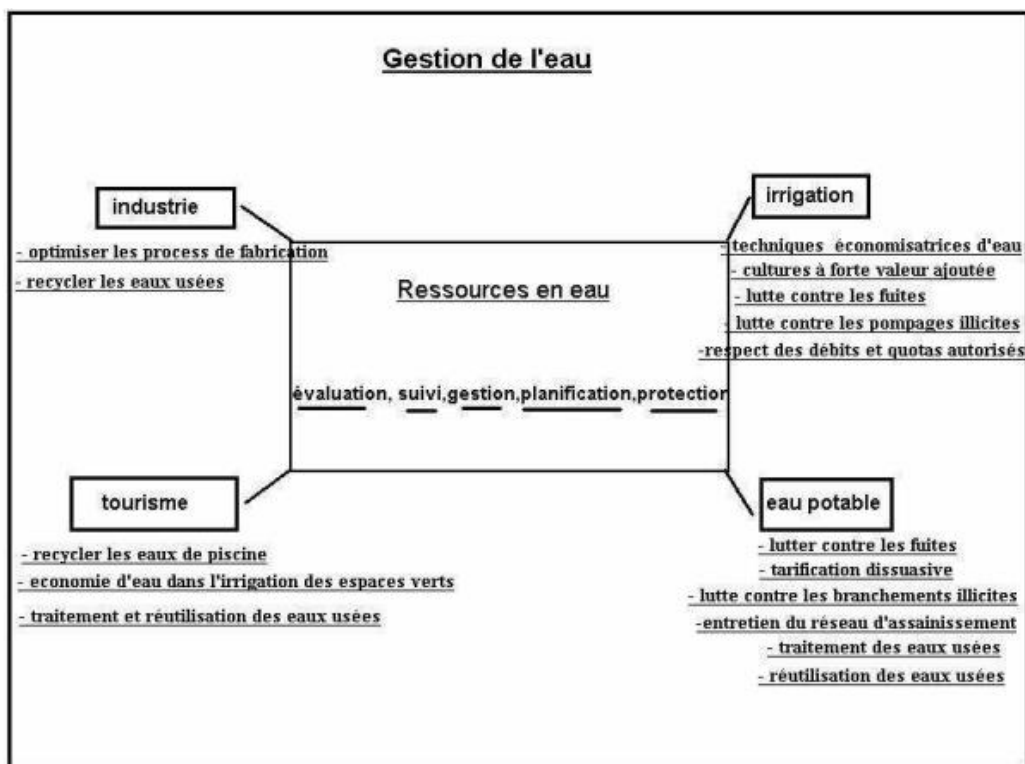




## Gestion des ressources en eaux

- Une bonne gestion de l'eau est celle qui tient compte de tous les paramètres du contexte de la production et de mobilisation, à savoir :
  - ✓ Aspect technique : optimisation des techniques et des procédés.
  - ✓ Aspect économique : tirer le meilleur profit d'un m<sup>3</sup> produit ou mobilisé.
  - ✓ Aspect social : éviter les situations conflictuelles dont l'origine est l'eau.
  - ✓ Aspect environnemental : les projets hydrauliques doivent s'inscrire dans une vision respectueuse de l'environnement.
  - ✓ Aspect politique : l'eau doit être un facteur de stabilité politique.
  - ✓ Aspect institutionnel : organisation du secteur et responsabilisation des institutions et organismes.
  - ✓ Aspect législatif : élaboration et respect des textes réglementaires.
  - ✓ Aspect médiatique : information et sensibilisation du grand public sur les problèmes de l'eau.
- Une gestion rigoureuse des ressources en eau est celle qui intègre dans une vision globale les eaux souterraines, les eaux de surface ainsi que les ressources non conventionnelles (eaux usées, eaux pluviales...)
- **Gestion et planification des eaux souterraines :**
  - ✓ Garder un équilibre naturel tel que  $Q_e \leq Q_s$  (débit d'entrée et de sortie)
  - ✓ Installer des captages pour exploiter le débit se perdant naturellement ex : déversement à la mer.
  - ✓ Installer une batterie de piézomètres et faire des mesures régulières ( au moins 1 fois/mois) ce qui permettra de tracer des historiques.
  - ✓ La réalisation de puits ou forages ne doit pas être anarchique mais conforme à des autorisations de pompage livrées par les services compétents.
  - ✓ Connaître la limite de saturation des ouvrages c'est à dire l'horizon pour lequel l'ouvrage en question n'assurera plus en totalité les besoins demandés.
  - ✓ Sur le plan qualitatif, des prélèvements d'échantillons doivent être faits de façon périodique en des points choisis au sein d'un réseau de contrôle.
  - ✓ Il faut également délimiter des périmètres de protection autour des captages d'eau potable.
- **Gestion et planification des eaux de surface :**
  - ✓ Les eaux de surface s'écoulant en rivière doivent être aménagées sous forme de retenues de barrages, bassins de rétention, dérivations par séguis ou diguettes pour recharge artificielle de nappes d'eaux souterraines.
  - ✓ La définition d'une stratégie de gestion du réservoir (choisir le programme de fourniture à adopter)
  - ✓ La définition des règles de gestion en temps réel (déterminer à chaque pas de temps le volume d'eau à lâcher à partir du barrage pour satisfaire au mieux les différents besoins exprimés).
  - ✓ Sur le plan qualitatif, il faut également surveiller et contrôler la qualité chimique et bactériologique de l'eau.
  - ✓ Lutter contre les fuites que ce soit dans les réseaux d'eau potable ou d'irrigation.

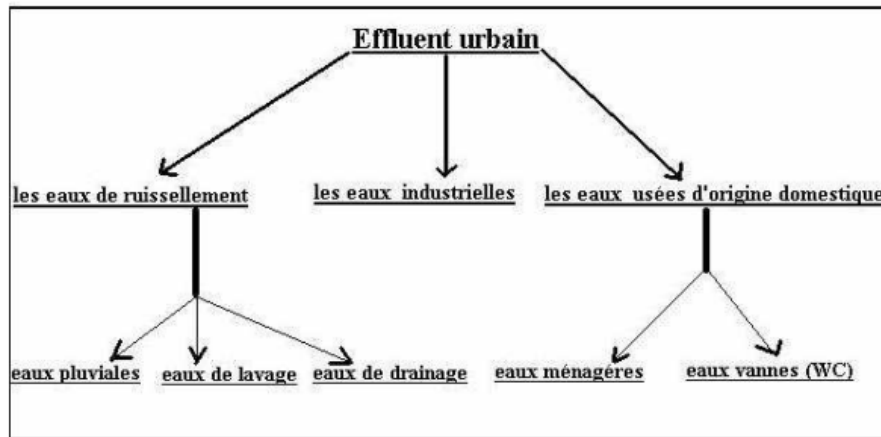
- ✓ Utiliser des techniques économisatrices d'eau pour l'irrigation telles que le goutte à goutte, aspersion.
  - ✓ Adopter une tarification dissuasive pour éviter le gaspillage d'eau.
  - ✓ Réutilisation des eaux usées traitées dans l'irrigation en supposant un réseau d'irrigation en bon état.
  - ✓ Captage des eaux pluviales et exploitation des eaux de crues dans la recharge artificielle de nappes souterraines.
  - ✓ Réalisation des bassins d'accumulations joue le rôle en fait d'un château d'eau et il a l'avantage de minimiser la fuite et la dispersion des eaux de la source ainsi que la mise en charge de l'eau (fréquemment adopté pour l'AEP du monde rural en zone montagne).
- **PDAIRE** : plans directeurs d'aménagement intégré des ressources en eau.



- **Les données structurantes du réseau d'AEP** : changements de diamètres, extension de réseaux, pose de nouveaux ouvrages, création de lotissements.
- **Les données de fonctionnement du réseau d'AEP** : nouveaux abonnés, pertes et fuites.

## Assainissement

- Les objectifs de l'assainissement:
  - ✓ *Protection de l'environnement*
  - ✓ *Amélioration des conditions sanitaire de la population*
  - ✓ *Protection contre les inondations*
- L'effluent urbain se compose de la manière suivante :



- **Systèmes d'évacuations :**
  - ✓ Système unitaire : toutes les eaux sont recueillies dans un réseau unique de collecte qui aboutit à une station d'épuration.
  - ✓ Système séparatif : comprend un réseau pluvial et un réseau d'eaux usées domestiques.
  - ✓ Système pseudo séparatif : les eaux usées et les eaux de toiture sont évacués dans une conduite, tandis que les eaux de voirie sont évacuées dans une autre conduite.
  - ✓ Système mixte : réseau constitué, selon les zones en partie en système unitaire et en partie en système séparatif.

système	Avantages	Inconvénients
séparatif	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Diminuer la taille de la STEP.</li> <li>➤ Meilleure maîtrise des rejets.</li> <li>➤ Meilleure protection de l'environnement.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Solution coûteuse.</li> <li>➤ Risques d'erreurs de branchement.</li> <li>➤ Problème de raccordement.</li> </ul>
unitaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Simple et moins coûteux.</li> <li>➤ Facilite la réalisation.</li> <li>➤ Auto curage vérifié lors des orages.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Risque de dépôt par temps sec.</li> <li>➤ Fonctionnement perturbe de la STEP vu la variation des débits.</li> </ul>

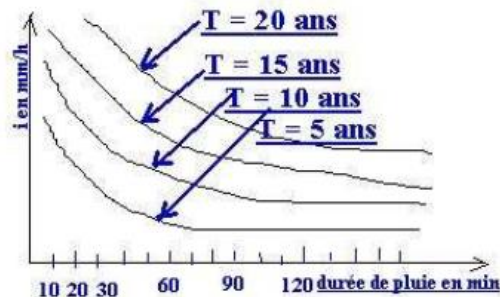
- En définitive, il faut faire un bilan pour le choix du type de réseau. Généralement le système séparatif est intéressant dans les villes dont la densité de population est moyenne et où le relief est peu accentué.

- **Facteurs influençant la conception d'un projet d'assainissement :**

- ✓ Les données naturelles du site (pente, lithologie...etc.).
- ✓ Les données relatives aux agglomérations existantes (population, taux de branchement...).
- ✓ Les données relatives au développement urbanistique (plan directeur d'aménagement homologué).
- ✓ Les données propres à l'assainissement. (Diamètre des canalisations, tracé des collecteurs, emplacement des regards, choix de l'exutoire...etc.).

- **Quelques définitions :**

- ✓ Averse : précipitation continue dont la durée peut varier de quelques minutes à plusieurs heures.
- ✓ Averse type : averse exceptionnelle qui intervient selon une probabilité déterminée: période de retour 10 ans, 100 ans...etc.
- ✓ Intensité : soit une averse qui s'est produite pendant une durée T avec une hauteur h. on définit  $i = h / T$ , i est souvent exprimée en mm/h.
- ✓ Coefficient de ruissellement : rapport de la lame d'eau ruisselée par rapport à celle tombée.
- ✓ Courbes d'intensité-durée-fréquence : (courbes IDF) sont des courbes représentant la variation de l'intensité moyenne de pluie en fonction de la durée de pluie et ce pour différentes périodes de retour.



- **Calcul des débits des eaux usées :**

- ✓ Débit moyen :  $Q_m = Q(AEP) * C_r * T_r * R$   
 $Q(AEP)$  : débit consommé en AEP  
 $C_r$  : coeff de retour à l'égout (80%)  
 $T_r$  : taux de raccordement au réseau d'assainissement  
 $R$  : rendement du réseau
- ✓ Débit de pointe journalière :  $Q_{pj} = C_{pj} * Q_m$
- ✓ Débit de pointe horaire :  $Q_{ph} = C_{ph} * Q_m$

- **Calcul des débits des eaux pluviales :**

- ✓ Méthode rationnelle :  $Q = K * C * i * A$   
 $C$  : coeff de ruissellement  
 $i$  : intensité de pluie (mm/h)  
 $A$  : superficie du bassin versant (KM<sup>2</sup>)
- ✓ Méthode superficielle de Caquot :  

$$Q(T) = K(T) * I^{x(t)} * C^{y(t)} * A^{z(t)} * (L/2\sqrt{A})^{l(t)}$$

- **Quelques valeurs du coeff de ruissellement :**

- ✓ Zones d'habitations très denses  $C = 0,9$
- ✓ Zones d'habitations moins denses  $C = 0,4$  à  $0,7$
- ✓ Quartiers résidentiels, zones industrielles  $C = 0,2$  à  $0,3$
- ✓ Squares et jardin  $C = 0,05$  à  $0,2$

- **Conditions d'application de la méthode de Caquot :**

- ✓ Superficies inférieures à 200ha.
- ✓  $C > 20\%$ .
- ✓  $0,2\% < I < 5\%$

- Le modèle de Caquot ainsi que la méthode rationnelle sont fondées sur le principe de transformation de la pluie en débit.
- Les deux méthodes s'appliquent principalement dans des bassins urbains puisqu'elles supposent que les écoulements sont entièrement canalisés.
- En cas des bassins de grand taille (>200ha), le calcul du débit des eaux pluviales se fait pratiquement en décomposant le bassin étudié en un certain nombre de bassins élémentaires correspondant à des zones homogènes c'est à dire qui présentent des caractéristiques hydrauliques homogènes.
- **Assemblage des bassins :**

Type d'assemblage	$A_{\text{équivalent}}$	$C_{\text{équivalent}}$	$I_{\text{équivalent}}$	$M_{\text{équivalent}}$
Bassins en série	$\Sigma A_i$	$\Sigma C_i A_i / \Sigma A_i$	$[\Sigma L_i / \Sigma (L_i / \sqrt{I_i})]^2$	$(\Sigma L_i / \sqrt{\Sigma A_i})$
Bassins en parallèle	$\Sigma A_i$	$\Sigma C_i A_i / \Sigma A_i$	$[\Sigma I_i Q_{pi} / \Sigma Q_{pi}]$	$L(Q_{pi \text{ max}}) / \sqrt{\Sigma A_i}$

- **Assainissement routier :**

- ✓ Formule de Mac-Math : (pour les bassins versant < 100 ha).
- ✓ Formule de Mallet-Gauthier (pour B.V  $\geq 100$  ha).

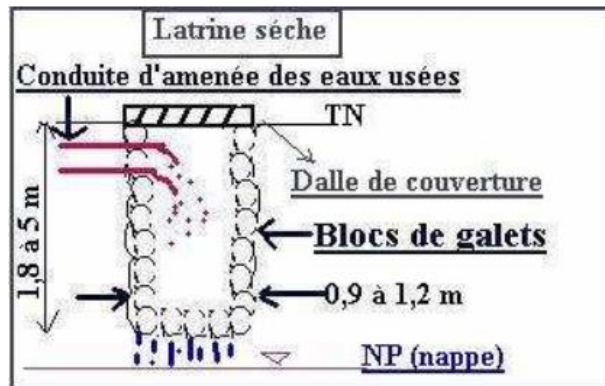
## Conception et calcul des réseaux d'assainissement

- Les sections à donner aux ouvrages se calculent souvent par la formule  $V = k * R^n * I^{1/2}$ 
  - ✓  $R$  = rayon hydraulique = section mouillée/périmètre mouillé
  - ✓  $I$  = pente de l'ouvrage en mètre/mètre
- Le coefficient  $k$  varie de 60 à 100 en fonction de :
  - ✓ La nature de l'effluent
  - ✓ La nature de la canalisation
  - ✓ Le type de joint
- Le débit est obtenu par la formule  $Q = V.S$
- **Réseaux unitaires :**  
 $Q = 60 R^{3/4} I^{1/2} . S$  ; ( $n = 3/4$  et  $k = 60$ )
  - ✓ Vitesse max limite = 4m/s
  - ✓ Vitesse min limite = 0.3m/s
- Lorsqu'il n'est pas possible (ou trop onéreux) de respecter les conditions d'auto-curage, il faut prévoir des dispositions de nettoyage. (Chasse, usage d'hydrocureuses par exemple).
- Le diamètre minimal des canalisations a été fixé à 0,30 m.
- La pente est telle que :  $5\% < I < 10\%$ .
- **Emissaires d'évacuation** : doivent être situés en amont des stations d'épuration, pour faire transiter le débit de pointe des eaux usées augmenté du débit des eaux pluviales conservé après fonctionnement des déversoirs d'orage.
- **Déversoir d'orage** : sont des ouvrages hydrauliques visent à effectuer le déversement dans le milieu naturel, des débits d'orage et de ne dériver vers la station d'épuration que les débits d'eaux usées appelées « débits de temps sec ».
- **Réseaux séparatifs :**
  - ✓ Les eaux usées :  
 $Q = 70 R^{2/3} I^{1/2} S$
  - ✓ Eaux pluviales :  
 $Q = 60 R^{3/4} I^{1/2} S$
- Le diamètre minimal des canalisations a été fixé à 0,20 m.
- **Conditions d'écoulements (auto curage) :**
  - ✓ A pleine ou à demi section, la vitesse d'écoulement doit être supérieure à 0,70 m/s.
  - ✓ Le remplissage de la conduite doit être assuré au 2/10 du diamètre pour le débit moyen des eaux usées et doit assurer une vitesse d'écoulement au minimum de 0,30 m/s.
- Pente minimale admissible pour un réseau de petite section et de 5%.

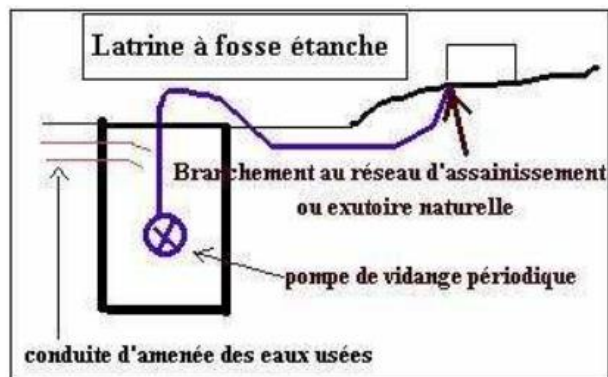
- **Procédures de curage des canalisations :**
  - ✓ Utiliser des hydro cureuses qui sont des machines automotrices pratiquant le curage de canalisations d'égout (jusqu'à  $\phi$  600 mm) au moyen d'un jet d'eau sous très forte pression (70 à 200 bars).
  - ✓ Effectuer des chasses (commandées ou automatiques) pour entraîner les matières déposées.
- **Pose des conduites :**
  - ✓ Lorsque le terrain ne risque pas d'affaissements, on peut creuser une tranchée de profondeur 1m environ et poser les conduites sur un lit de sable de 10 cm environ.
  - ✓ En cas de mauvais terrain, on peut confectionner des dèes en maçonnerie ou une dalle en béton.
- **Classe de résistance des tuyaux** (cas du CAO : ciment armé ordinaire):
  - ✓ Il existe 3 classes : 60 A, 90 A, 135A.
  - ✓ Explication : un tuyau  $\phi$  600 série 90 A devra supporter comme charge de rupture par ml :  $0,6 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 90 \text{ KN} = 54 \text{ KN/ml}$
- **Les ouvrages d'assainissement :**
  - ✓ Ouvrages de collecte : Canalisations, émissaire d'évacuation.
  - ✓ Ouvrages annexes : Caniveaux, bouche d'égout, regards, branchement particulier, bassin de dessablement, déversoirs d'orage, siphons, station de relevage...
- **Les égouts ovoïdes** ont l'avantage d'assurer au faible débit un meilleur écoulement que les tuyaux circulaires.
- **Les caniveaux** : Ils sont destinés à collecter jusqu'à des bouches d'égout les eaux de la voirie. Ils sont souvent placés dans des bordures de trottoir.
- **Bouche d'égout** : On distingue les bouches ouvertes et les bouches sélectives (qui stoppent les détritiques). Elles se trouvent aux points bas des rues ou parfois en cours de pente si la rue est très inclinée.
- **Regards** : Sur les canalisations non visitables, on prévoit un regard de visite aux changements de direction, à certains changements de pente et tous les 35 m au moins. Sur les égouts visitables, les regards d'accès sont espacés au minimum de 50 m.
- **Branchement particuliers** : En système unitaire, il y a un branchement unique pour immeubles par les eaux pluviales et les eaux usées. Son diamètre est au maximum de 0,20 mètre. La pente des conduites doit être supérieure à 3% et le tracé rectiligne.
- **Bassins de dessablement** : Les sables sont retenus en principe par les bouches sélectives. Il soit nécessaire de disposer de bassins de dessablement sur le réseau et en particulier sur les collecteurs secondaires avant leur raccordement au collecteur général.
- **Siphons** : Ce sont des ouvrages permettant la traversée d'obstacle (chaussée, voie ferrée, rivière...etc.)
- **Station de relevage** : lorsque l'évacuation par gravité est impossible, on dispose de poste de relèvement, soit à l'arrivée sur la station d'épuration (généralement par le biais d'une vis d'Archimède), soit dans le corps du réseau pour la desserte des zones basses.

- Il faut implanter un regard à chaque singularité du collecteur. Sont des singularités les situations suivantes :
  - ✓ *Changement de diamètre*
  - ✓ *Changement de côte de radier (chute)*
  - ✓ *Changement de pente ou de direction*
  - ✓ *Intersection avec un autre collecteur*
- La distance maximale entre regards à respecter est :
  - ✓ *80 m sur les collecteurs de  $\varphi \leq 1500$ .*
  - ✓ *100 m sur les collecteurs de  $\varphi > 1600$ .*
- L'angle de raccordement de deux collecteurs soit inférieur à 60° pour éviter les perturbations hydrauliques qui ralentissent les écoulements et favorisent les obstructions.
- **Pour le branchement particulier :**
  - ✓ Pente de la canalisation au minimum à 2%.
  - ✓ Diamètre :  $\phi$  150,  $\phi$  200,  $\phi$  300, (en général  $\phi$  200).
  - ✓ Le diamètre doit être inférieur à celui du collecteur sur lequel on a le raccordement.
- **La gestion d'un réseau d'assainissement a pour principal objet d'assurer :**
  - ✓ *La pérennité des ouvrages par des opérations de conservations.*
  - ✓ *L'entretien courant des réseaux et des organes mécaniques.*
  - ✓ *L'exploitation par la régularisation des débits et la synchronisation.*
- Les réseaux d'assainissement peuvent au bout de quelques années présenter des anomalies susceptibles de perturber le fonctionnement du système d'assainissement, On peut distinguer les anomalies suivantes :
  - ✓ *Perturbations du fonctionnement du système d'assainissement :*
    - Fissures de canalisations.
    - Joints mal faits ou dégradés.
    - Fuites de réseaux d'eau potable.
    - Agressivité des effluents.
  - ✓ *Restriction de la pérennité des ouvrages :*
    - Remblais mal compactés au-dessus des canalisations.
    - Dégradation de l'état de la conduite.
    - Racine d'arbres, chiffons...etc. introduits à l'intérieur de conduites.
  - ✓ *Nuisances à l'environnement :*
    - Eaux usées dans la conduite d'eaux pluviales (cas du système séparatif).
- **L'assainissement autonome ou individuel :**
  - ✓ *Latrine sèche :* Le rôle principal à jouer par ce genre d'ouvrage est l'infiltration de l'effluent « partiellement épuré » dans le sous-sol. Le problème majeur posé engendré par ce genre de système est l'odeur qu'il dégage ainsi que les insectes qu'il peut attirer.

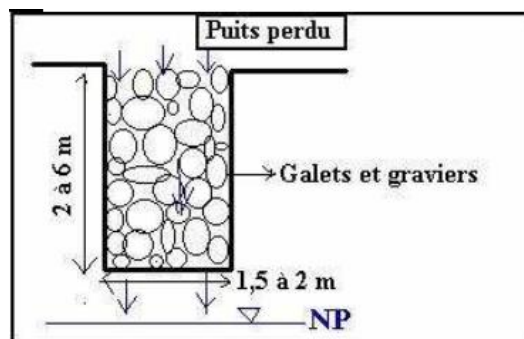




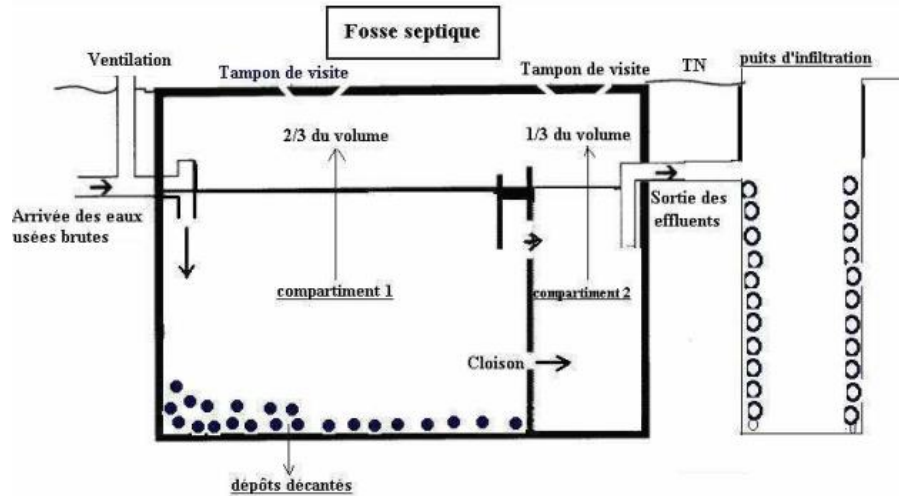
- ✓ Latrine à fosse étanche : Ce système est souvent pratiqué dans les zones se trouvant à une côte topographique plus basse par rapport à un réseau d'assainissement existant.



- ✓ Le puits perdu : Ce système est pratiqué en zone perméable, il est constitué d'une fosse à parois naturelles et comblée de gros graviers jouant le rôle de filtre.



- ✓ La fosse septique : Ce système est de loin le plus efficace et moderne pour l'évacuation des eaux usées. Il se compose principalement de :
  - Une fosse compartimentée (2/3 ; 1/3 du volume total).
  - Un puits d'infiltration pour les effluents épurés provenant de la fosse.



- **Méthodologie et plan d'une étude d'assainissement :**

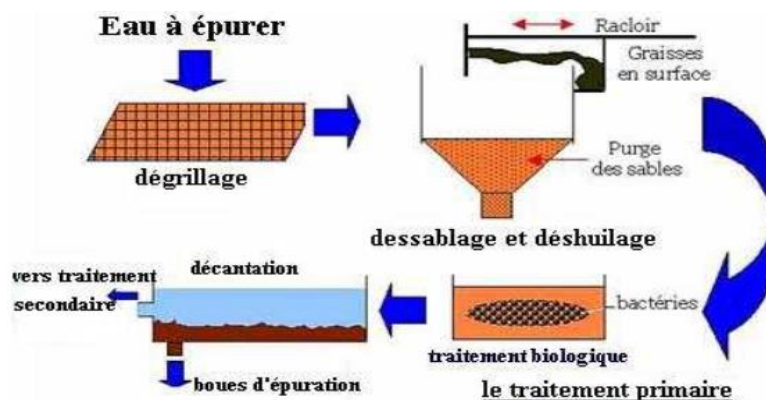
- ✓ Mission A : Analyse et diagnostic de la situation existante
- ✓ Mission B : Identification, comparaison et choix des variantes.
- ✓ Mission C : Etude du plan directeur d'assainissement :
  - Études démographiques et de développement urbain.
  - Évaluation des flux d'eaux usées.
  - Evaluation des risques d'inondations.
  - Identification des contraintes environnementales (qualité des rejets traités).
  - Identification des réseaux à mettre en place.
  - Identification des types de traitement à adopter.
- ✓ Mission D : Etude APS et APD de la tranche d'urgence.
- ✓ Mission E : Etudes organisationnelles.
- ✓ Mission F : Etude d'impact sur l'environnement.

## Epuración des eaux usées :

- L'épuration d'une eau résiduaire doit logiquement passer par les phases suivantes :
  - ✓ Phase de prétraitement : Elimination des éléments grossiers.
  - ✓ Traitement primaire : Elimination des matières en suspension dont la densité est suffisamment différente de celle de l'eau.
  - ✓ Traitement secondaire : Elimination de la pollution (généralement par voie biologique) en s'attaquant aux matières colloïdales et dissoutes.
  - ✓ Traitement tertiaire : Elimination des pollutions résiduelles qui pourraient être gênantes en aval : germes pathogènes, azote, phosphore...etc.
- Le prétraitement : Il comporte trois phases principales :
  - ✓ La séparation des éléments grossiers ou dégrillage.
  - ✓ Le dessablage.
  - ✓ Le déshuilage, dégraissage.

dégrillage	Le dessablage	Déshuilage et dégraissage
<p>Il s'agit de faire passer l'eau à travers des barreaux plus ou moins espacés.</p> <p>Le dégrillage a pour effet de retenir les objets les plus volumineux afin de faciliter l'évacuation des matières retenues.</p> <p>Ces grilles sont souvent équipées d'un râteau pour nettoyage.</p>	<p>Cette opération s'effectue dans des bassins de dessablement où l'on assure à l'effluent un écoulement calme à faible vitesse ceci permet le dépôt des particules sableuses.</p> <p>Le dessablage est indispensable lorsque les eaux à traiter viennent d'un réseau unitaire.</p>	<p>Les huiles et graisses ont tendance à flotter au repos ou à faible vitesse d'écoulement à la surface de l'effluent.</p> <p>On les sépare en utilisant leur plus faible densité par une opération de décantation.</p> <p>Cette Opération est indispensable lorsque les effluents proviennent de laiterie, d'abattoirs ou d'industries.</p>

- Le traitement primaire :
  - ✓ Décantation dans un décanteur primaire qui permet un temps de séjour de l'ordre de deux heures.
  - ✓ La vitesse de surverse est souvent de l'ordre de 1 à 2m/h.
  - ✓ Cette opération élimine environ le 1/3 de la DBO5.



- **Le traitement secondaire :**

- ✓ Le but recherché est d'atteindre l'abattement maximal en matière de DBO5 et de DCO pour éviter la sous oxygénation du milieu récepteur.
- ✓ Le principe de ce traitement consiste à oxyder la matière organique de l'effluent par l'intermédiaire de bactéries.
- ✓ Il s'agit donc d'une épuration biologique, les réactions aérobies (en présence d'oxygène) qui sont beaucoup plus rapides auront la préférence.
- ✓ Les traitements biologiques fonctionnent tous selon le même principe : la dégradation de la matière organique par la faune bactérienne.

- **Les procédés de traitements :**

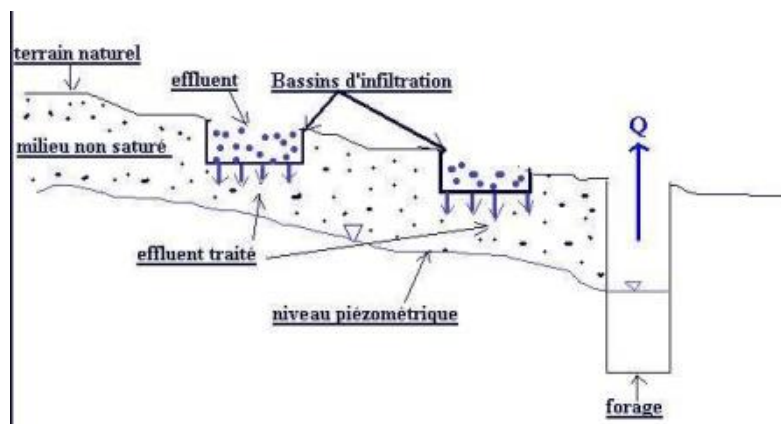
- ✓ Epuration biologique par le sol
- ✓ L'infiltration – Percolation
- ✓ Epuration biologique par lits bactériens
- ✓ Epuration par boues activées
- ✓ Le lagunage

- **Epuration biologique par le sol :**

- ✓ Cette opération se fait en pratiquant l'épandage de l'effluent sur le sol.
- ✓ Les matières organiques contenues dans l'effluent sont fixées par les particules terreuses, puis oxydées sous l'action des microbes et bactéries dont la plupart sont aérobies.
- ✓ Les meilleurs sols que l'on puisse utiliser sont sableux, les sols argileux sont peu propices car moins poreuses.

- **L'infiltration - Percolation :**

- ✓ Le principe est le même que l'épandage à la différence que l'eau est drainée verticalement et que le traitement biologique se fait dans le milieu non saturé.
- ✓ On risque de polluer des eaux souterraines "Saines" à l'origine.

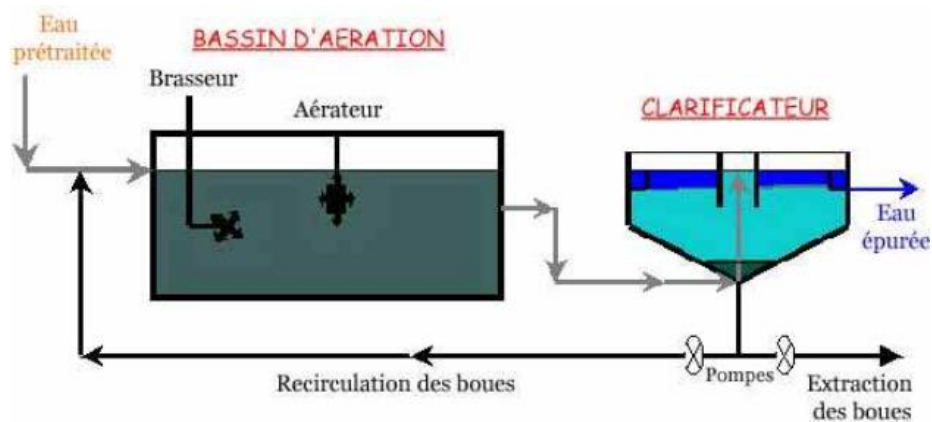


- **Epuration biologique par lits bactériens :**

- ✓ Le principe de la méthode consiste à créer un sol artificiel matérialisé par un milieu poreux et perméable et ce sur une hauteur de 1,5m à 5m.

- **Epuration par boues activées :**

- ✓ Cette méthode consiste à apporter à l'effluent des bactéries aérobies destinées à accélérer l'oxydation. Les bactéries sont amenées sous forme de boues que l'on ajoute à l'effluent.
- ✓ Pour la technique des boues activées, les effluents décantés sont soumis à une aération violente dans des bassins d'activation dans lesquels les matières organiques sont oxydées puis ils passent dans un décanteur secondaire ou clarificateur où les floccs sédimentent.
- ✓ La fourniture d'oxygène indispensable à la vie des bactéries constitue une part importante des frais d'exploitation de ce type de traitement.
- ✓ Les stations de traitements par boues activées sont dites compactes et le procédé est dit intensif.
- ✓ Les inconvénients sont que telles stations demandent trop d'énergie et notamment pour le processus d'aération, une main d'œuvre spécialisée et une mécanisation de plus en plus sophistiquée.
- ✓ L'avantage est qu'elles occupent peu d'espace et permettent un bon rendement (le rapport DBO5 de sortie/ DBO5 entrée) est de l'ordre de 90 à 95%.



- **Le lagunage :**

- ✓ Le lagunage est un procédé naturel d'épuration des eaux usées qui permet une séparation des éléments solides de la phase liquide par sédimentation et une épuration biologique due essentiellement à l'action des bactéries.
- ✓ Le lagunage fait partie de la série des traitements biologiques.
- ✓ Son grand avantage réside dans sa viabilité économique puisqu'on laisse la nature faire ce qu'elle peut.
- ✓ Cette technique nécessite un climat chaud et ne s'adapte pas pour les zones à faibles températures.
- ✓ Pour être efficace, le temps de séjour de l'eau au niveau des lagunes doit être de 30 jours au moins, la lagune ayant une profondeur de 1,5m à 2m.
- ✓ Le traitement biologique est assuré par la nature et en particulier par l'ensoleillement, la température minimale du site doit être supérieure à 10°C.
- ✓ L'inconvénient de cette technique est qu'elle occupe beaucoup d'espace : 5 ha environ pour une population de 40.000 habitants.

- ✓ Ce genre de stations se compose de bassin anaérobie, d'un bassin facultatif, un bassin de maturation.

Bassin anaérobie	Bassin facultatif	Bassin de maturation
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Il s'effectue dans des bassins peu profonds de 0,8 à 1,20m.</li> <li>➤ La lumière peut pénétrer et favoriser le développement d'algues vertes.</li> <li>➤ Ce procédé simple demande des surfaces importantes car les temps de réaction sont très longs.</li> <li>➤ on peut traiter par ce procédé de 25 à 50 Kg de DBO5 par hectare et par jour.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La profondeur d'un bassin facultatif varie entre 1,5 et 2,5m.</li> <li>➤ La couche supérieure est aérobie, la zone centrale peuplée de bactéries facultatives et la zone inférieure est aérobie.</li> <li>➤ les bactéries aérobies consomment de la matière organique en utilisant l'oxygène produit par les algues.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La lagune est composée d'un bassin d'une profondeur variant de 3 à 5m.</li> <li>➤ les matières décantées sont soumises à une fermentation anaérobie avec un dégagement de gaz (H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>).</li> <li>➤ Les temps de séjour sont supérieurs à 20 jours et dépassent fréquemment 50.</li> <li>➤ Les rendements d'élimination peuvent varier entre 50 et 80%.</li> <li>➤ L'inconvénient de ce procédé réside dans le dégagement d'odeurs nauséabondes.</li> </ul>

- **Le traitement complémentaire ou tertiaire :**

- ✓ C'est un traitement qui peut être envisagé en cas d'insuffisance des traitements biologiques où pour une protection accrue du milieu récepteur.
- ✓ Les paramètres sur lesquels il faut agir sont :
  - La DBO.
  - La DCO.
  - Les matières en suspension qui sont le support de DBO et DCO.
  - Les nitrates et les phosphates, cause de l'eutrophisation.
  - L'ammoniaque.
  - Les germes pathogènes.
  - Pour les MES, 1g/m<sup>3</sup> de MES = 0,5 à 1g/m<sup>3</sup> de DBO5 = 1 à 2g/m<sup>3</sup> de DCO
- ✓ Les boues sont également traitées en vue d'une valorisation agricole et pour produire du gaz méthane CH<sub>4</sub>.

- **Démarche et méthodologie pour l'étude d'une station d'épuration :**

- ✓ Description générale du milieu physique.
- ✓ Diagnostic et caractéristiques du réseau d'assainissement.
- ✓ Données de bases pour le dimensionnement de la STEP :
  - Population (pour les différents horizons).
  - Débits d'eaux usées pour différents horizons.
  - Concentrations en DBO5, NTK et PT.
  - Températures
  - Evaporation.
  - Direction des vents.
  - Ph

## Etude d'impact sur l'environnement

- **Les principaux axes d'une étude d'impact sur l'environnement sont :**
  - ✓ Effets sur les ressources en eau (superficielles et souterraines).
  - ✓ Effets sur l'air (développement et propagation d'odeurs nauséabondes).
  - ✓ Effets sur le sol.
  - ✓ Effets sur la faune et la flore.
  - ✓ Effets sur le paysage.
  - ✓ Effets sur l'homme et son mode de vie : (aspect socio-économique).
  - ✓ Effets sur les infrastructures et équipements sociaux.
  - ✓ Effet sur le plan culturel.
- **Afin de bien mener une étude d'impact sur l'environnement, il faut procéder comme suit :**
  - ✓ Description et justification du projet.
  - ✓ Description de l'état de référence ou état initial sur le plan environnemental.
  - ✓ Identification et évaluation des impacts.
  - ✓ Proposition des mesures d'atténuation.
  - ✓ Recommandations pour le suivi environnemental.
- Quelques exemples :

projet	Impact négatif	Mesures d'atténuation
Décharge d'ordures	- odeurs nauséabondes. - Pollution des ressources en eau par le lixiviat.	- imperméabilisation du fond (géomembranne). - Etudier la direction des vents (éviter les odeurs pour les populations).
Complexe touristique	- Rejets d'eaux usées. - Production de déchets ménagers.	- réalisation d'une station d'épuration des eaux usées.
Carrière	- nuisances en matière de bruits et poussières. - Pollutions accidentelles de rivières.	- implantation loin des populations (éviter les bruits et les poussières).

## Législation Marocaine de l'eau

- Aucune exploitation ou empiètement n'est réglementaire qu'après l'obtention d'une autorisation préalable auprès des autorités compétentes.
- **Les agences de bassins hydrauliques** et selon la loi 10/95 sur l'eau sont les gestionnaires de ce domaine public hydraulique (DPH) et sont habilités à donner les différentes autorisations.
- **Le domaine public hydraulique est constitué par :**
  - ✓ Les lits de cours d'eau, lacs dayats. Les limites sont matérialisées par la ligne atteinte par les plus hautes eaux. Théoriquement, ces limites doivent faire l'objet d'une étude hydrologique et avec des simulations pour différentes périodes de retours.
  - ✓ Les aquifères.
- Le dossier de demande d'une autorisation de prélèvement d'eau est constitué par les pièces suivantes :
  - ✓ Demande d'autorisation de prélèvement d'eau.
  - ✓ Photocopie de la carte d'identité nationale du promoteur.
  - ✓ Plan de situation de la parcelle objet du projet.
  - ✓ Plan de situation du puits ou forage ainsi que les équipements annexes.
  - ✓ Certificat donnant droit de jouissance ou attestation de propriété.
  - ✓ Engagement du promoteur pour l'installation de compteur.
- En principe et pour veiller sur la bonne gestion du DPH, il y a une police des eaux qui a la responsabilité de contrôler sur le terrain le respect des différentes clauses.