

# UNIVERSITE CADI AYYAD FACULTE DES SCIENCES SEMLALIA MARRAKECH



# HYDRAULIQUE URBAINE

Établit par : ITOUNI Imad Fars

## **LP-STADLS**

# Plan

- 1 INTRODUCTION
- 2 CARACTERISTIQUES DU MILIEU URBAIN ET DE SES SERVICES
- 3 LES RESSOURCES EN EAU DISPONIBLES
- 4 ETUDES PRELIMINIAIRES
- 5 ALIMENTATION EN EAU POTABLE
- 6 COLLECTE ET EVACUATION DES EAUX USEES ET PLUVIALES

# **INTRODUCTION**

- I. DEFINITION DE L'HYDRAULIQUE URBAINE
- II. BREF HYSTORIQUE SUR L'HYDRAULIQUE URBAINE
- III. NOTIONS D'HYDRAULIQUE A CONSIDERER EN HU
- IV. CYCLE DE L'EAU EN MILIEU URBAIN

# **INTRODUCTION**

I. <u>DEFINITION DE L'HYDRAULIQUE URBAINE</u> :

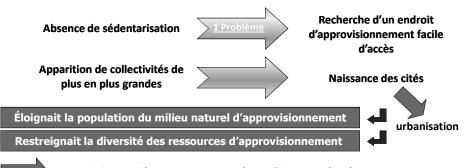
L'HU est la branche des sciences d'hydraulique qui concerne exclusivement la gestion des eaux en milieu urbain:

- Eaux utilisées par la population
- Eaux des précipitations

# **INTRODUCTION**

#### II. BREF HISTORIQUE SUR L'HU:

Depuis leurs origines, les être humaines ont été sensible à la qualité de l'eau, c'est l'un des besoins les plus fondamentaux de notre physiologie.



le besoin d'apporter cette eau à porté de main s'est fait sentir

Les plus anciens vestiges connus datent de 3750 av JC. Ils sont situés dans les ruines de la ville de Nippour, Capitale de la Sumer en basse Mésopotamie, aujourd'hui en Irak. Ces vestiges sont en fait une conduite d'adduction voûtée permettant d'acheminer les eaux des citernes et des puis vers la cité.

On trouve aussi à Tell Asmcer près de Bagdad des conduites d'égout datant de 2600 avant J.C. Les Crétois avaient déjà des demeures avec de l'eau courante chaude et froide (première apparition des conduites sous pression).

De cette époque on conserve des manuscrits sanskrits et égyptiens qui décrivent la façon de purifier l'eau en l'amenant à l'ébullition dans des récipients de cuivre exposés au soleil, en la filtrant à travers du charbon de bois, et en la gardant au frais dans des récipients en terre cuite.

Il convient de citer ici les travaux effectués par les Romains dans le domaine de l'hydraulique urbaine, l'aqueduc à surface libre (pont de gard) et le système d'égout de la ville de Rome (Cloaca Maxima). Le pont du Gard est un des ouvrages de l'aqueduc de Nimes construit pour franchir la vallée du Gard au-dessus du quel il passe à 49 m d'altitude. Long de 59 km, il a une pente moyenne de 34 cm par km et son débit était de l'ordre de 20000 m3 par jour (231 l/s).

Le premier rapport d'ingénierie sur l'approvisionnement en eau et sur son traitement, a été écrit en l'an 98 de notre ère par Sextus Julius Frontinus, commissaire des eaux à Rome. Son traité, en deux volumes, décrit des réservoirs de décantation et des aqueducs munis de trappe à sédiments.

Les grands travaux de l'alchimiste arabe Geber sur la distillation au VIIIe siècle.

L'exemple archéologique le plus complet, avant l'ère moderne, concernant la filtration des eaux pour la consommation urbaine, se trouve à Venise. Cette ville construite sur des îles affleurant d'une lagune saline, ne pouvait compter que sur l'emmagasinage des eaux de la pluie pour s'approvisionner en eau douce et ce pendant 1300 ans. L'eau de ruissellement des toits se déversait dans les rues, étant collectée dans des cuvettes et filtrée au sable avant d'être emmagasinée dans des réservoirs (177 publiques et 1900 privés) placés à 4 mètres sous le sol, ce qui maintient l'eau à une température de 11°C. Ce système fut en fonction jusqu'au XVIe siècle.

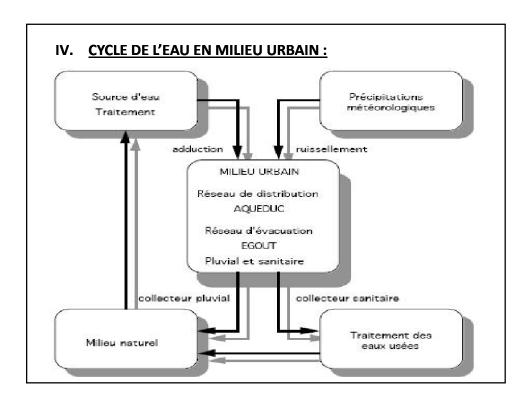


Le pont du Gard

# III. NOTION D'HYDRAULIQUE A CONSIDERE EN HU:

Tous les éléments de l'hydraulique du génie civil sont à prendre en considération dans l'un ou l'autre aspect de la gestion des eaux en milieu urbain. En voici quelques exemples :

- Hydrologie
- Les écoulement en milieu poreux
- Les écoulement à surface libre
- Les écoulement en charge
- Les Calcul économique en hydraulique



# CARACTERISTIQUES DU MU ET DE SES SERVICES

- I. CARACTERISTIQUE DU MILIEU URBAIN
- II. LES SERVICES DES EAUX URBAINES

#### I. CARACTERISTIQUES DU MILIEU URBAINE :

Une ville = système complexe dont le principal aspect est la concentration, la centralisation d'activités → l'infrastructure du milieu urbain se caractérise par une concentration des services → l'intensité des échanges sera grande à tout les niveaux, en particulier dans le domaine de l'eau où les exigences sur le plan qualité et quantité sont importantes et critiques.

Les principaux intervenants dans ce système sont:

- Facteur politique
- Facteur économique
- Facteur géographique
- Facteur social

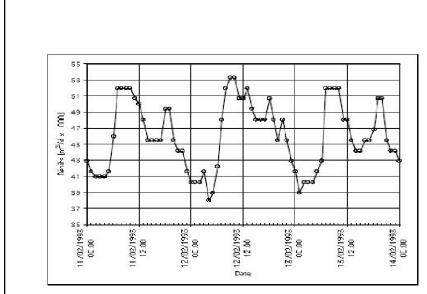
# II. LES SERVICES DES EAUX URBAINES :

Parmi les services qui sont offerts dans le milieu urbain, trois relèvent de l'hydraulique urbaine, ils sont :

- La distribution de l'eau potable
- La collecte des eaux usées
- Le drainage urbain

Ces services sont conçus en fonction de la variation des activités:

- Court terme: variations cycliques, saisonnières
- Long terme: Croissance et déclin



Variation de la consommation dans une journée

## II. <u>LES SERVICES DES EAUX URBAINES :</u>

Le service doit répondre à la demande de façon adéquate. Il y a donc des exigences quant à la performance des différentes infrastructures :

- Distribution
  - Pression suffisante, bien répartie et sans surpression
  - Réserves adéquates
- Égout sanitaire
  - Efficace sur le plan hydraulique
  - Doit fournir à la demande
  - Garantir la santé publique
  - Respecter l'environnement
- Égout pluvial
  - Garantir les conditions de circulation sur les voies carrossable
  - Réduire les dommage causés par les précipitations

#### II. LES SERVICES DES EAUX URBAINES :

Le service hydraulique municipal doit concilier l'efficacité hydraulique et économie (\*)

- Les ouvrages doivent être dimensionnés pour satisfaire, pour un temps prédéterminé, les besoins d'une population généralement croissante.
- ➤ la durée de vie de ces ouvrages est limitée, il faut donc procéder à une estimation :
  - De la population
  - De la consommation

Pour une période correspondant à la durée de vie envisagée de la structure.

# II. LES SERVICES DES EAUX URBAINES :

Cette période de dimensionnement est définie comme étant la période de vie économique de la structure.

Les facteurs à considérer dans le choix d'une période de calcul sont :

- Le type de structure, son degré de performance
- Le coût : initial, coût d'intérêt, entretien
- L'augmentation potentielle de la capacité
- La possibilité de désuétude, apparition de nouvelles techniques

## II. <u>LES SERVICES DES EAUX URBAINES :</u>

Tableau 1 : Durée d'utilisation de quelques ouvrages d'assainissement

Ouvrages	Caractéristiques	Durée d'utilisation 20	
Conduites secondaires de DN < 375	Construction et doublement facile		
Collecteurs, intercepteurs, émissaires	Difficile et coûteux à agrandir	30 à 50	
STEP	Si l'accroissement de la population et le taux d'intérêt sont : - faibles - élevés	20 à 30 15 à 20	
Station de pompage	Agrandissement facile	10 à 20	
Pompe à l'entrée d'une STEP	remplacement facile et peu onéreux: usure rapide	5 à 10	

# LES RESSOURCES EN EAU DISPONIBLE

- I. INTRODUCTION
- II. LES EAUX DE SOUTERRAINES
- III. LES EAUX DE SURFACE
- IV. AUTRES SOURCES

## I. INTRODUCTION:

On recherche toujours la meilleure qualité disponible et ce, en fonction du coût de revient.

Les qualités essentielles d'une eau de consommation sont celles d'une eau :

- Salubre : Saine et qui contribue à la santé
- Potable : Propre à être bue, fraîche, incolore, inodore, aérée, légèrement minéralisée, exempte de matières organiques

#### A. Fiabilité des sources d'approvisionnement par ordre décroissant:

- Gravité souterrain, permanent, sure
- Gravité, réservoir
- Pompage, permanent, sure (fleuve)
- Pompage, réservoir
- Pompage, nappe

## II. LES EAUX SOUTERRAINES :

#### A. <u>Types de nappes:</u>

Les surfaces libres de la table d'eau définissent des nappes libres.



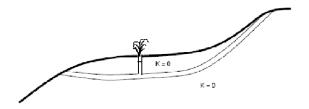
Nappe libre entre deux vallées

Les nappes libres ont les caractéristiques suivantes:

- Circulation en terrain perméable
- Sans contraint volumique
- Liberté de forme

## II. <u>LES EAUX SOUTERRAINES :</u>

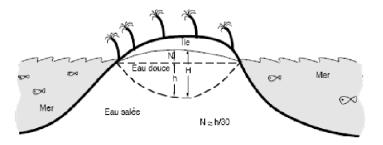
Les nappes captives sont, selon la configuration de la perméabilité du sol, caractérisé par la présence d'une couche de sol perméable entre deux couches imperméables. L'eau emprisonnée dans la couche perméable est en général sous pression et peut jaillir si l'on pratique un forage. C'est le cas des puits artésien.



Puits artésien

# II. LES EAUX SOUTERRAINES :

Il existe aussi des cas particuliers. A proximité de la mer, il faut tenir compte de l'interface eau douce – eau salée dans le milieu perméable.



Nappe sur une île en milieu marin

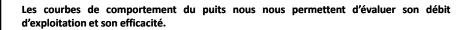
#### B. Ouvrages de captage:

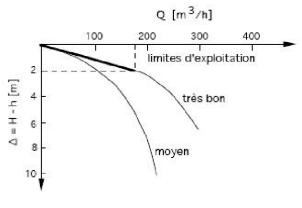
Source (pas de pompage):

Aménagement d'un pavillon sur une source émergente

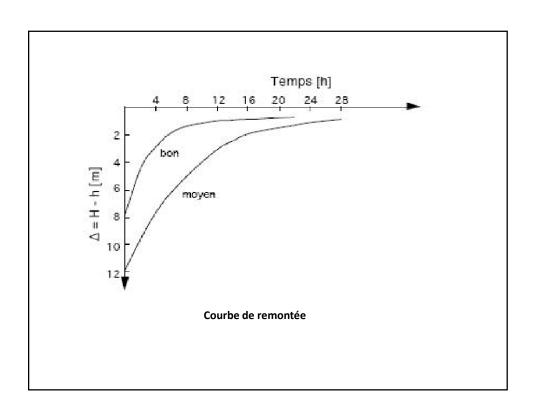
Nappe (pompage):

- Verticalement par des puits
- Horizontalement par des drains
- La combinaison des deux





Courbe Q- $\Delta$ 



- Le vieillissement est un phénomène de colmatage qui survient tôt ou tard dans tout ouvrage en raison de la migration de grains fins. On peut cependant raisonnablement espérer une vie utile de plusieurs dizaines d'années.
- On veillera absolument à ne pas dépasser les possibilités de recharge de la nappe.
- Enfin un pompage régulier sera, en général, préférable à des variations brutales de la demande en débit.

#### III. LES EAUX DE SURFACE :

#### A. Qualité:

En règle générale, la qualité de l'eau de surface est moindre que celle des eaux souterraines. En effet, elles sont soumises à la possibilité d'une dégradation naturelle causée par :

- Le transport solide
- Les minéraux dissous, bien que l'eau soit moins dure que les eaux souterraines
- La matière organique naturelle

#### En rivière:

- Qualité d'eau amont > Qualité d'eau avale
- A l'amont : l'eau peut être + turbide => facile à contrôler (origine minérale) en région montagneuse => l'eau est pure + froide
- A l'aval : Contact avec les zones habitées + exploitation => risque de pollution 🦯

#### En lac ou réservoir:

- Décantation => turbidité
- Possibilité de stratification (thermique, chimique, biologique) => Qualité variable

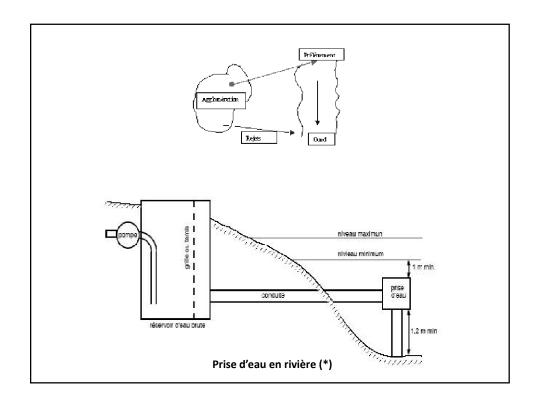
sur un cycle

annuel

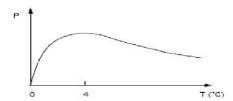
#### B. <u>Captage des eaux de surface:</u>

Le captage des eaux de surface comporte les inconvénients et les avantages suivants :

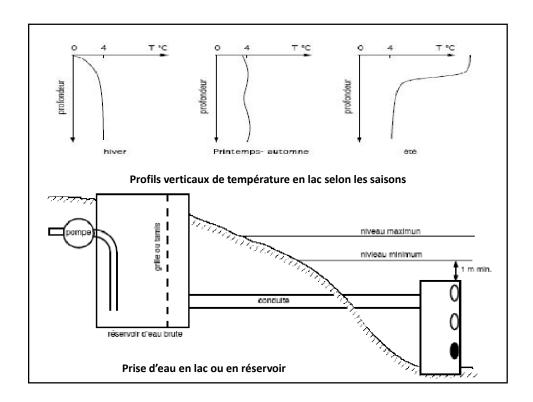
- Inconvénients:
- Température variable
- Composition chimique variable
- Contamination et pollution
- Vulnérabilité aux sécheresses
- Avantages:
- Possibilité de rétention, sûreté de débit
- Facilité de captage

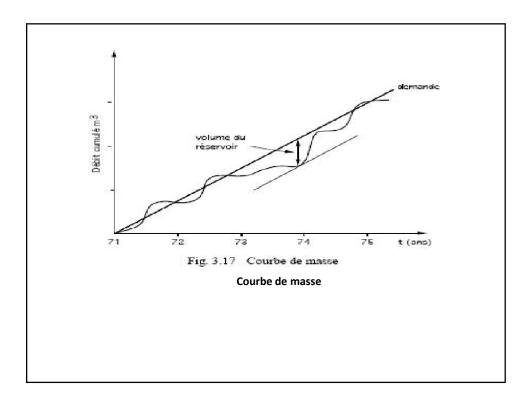


En lac et en rivière, la prise d'eau doit tenir compte des possibilités de stratification causée par la variation de la densité de l'eau en fonction de la température.



Variation de la densité de l'eau en fonction de la T°





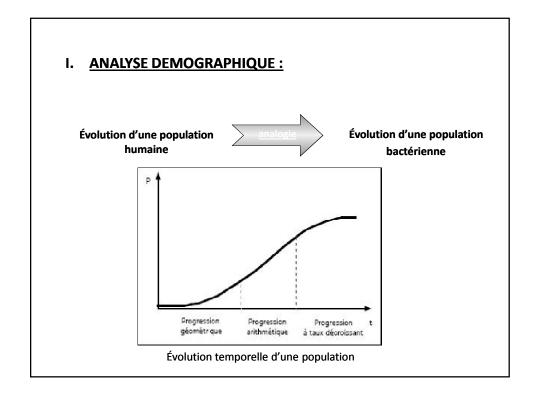
# IV. <u>AUTRES SOURCES :</u>

Mentionnons les processus de dessalement de l'eau de mer. Les différentes techniques, consommant de fortes quantités d'énergie, sont :

- La distillation
- L'électrolyse
- Les résines échangeuses d'ions
- Les membrane osmotiques

# **ETUDES PRELIMINAIRES**

- I. ANALYSE DEMOGRAPHIQUE
- II. ANALYSE URBAINE
- III. ETUDE DES USAGES DES L'EAU
- IV. ETUDE DES REJETS



#### I. ANALYSE DEMOGRAPHIQUE:

L'analyse démographique constitue la base de tous les ratios relatifs à la consommation d'eau potable et ainsi des débits des eaux usées qui seront générées

L'étude de l'évolution de la population des agglomérations est basée sur les statistiques des recensements nationaux. Ainsi, le taux d'accroissement inter-annuel moyen de la population est déterminé en utilisant la méthode **géométrique** qui constitue la méthode la plus utilisées pour la projection future de la population. Elle s'écrit :

$$P_n = P_0 \cdot (1+t)^n$$

Pn :est la population à l'année n . P0 :est la population au temps 0.

t :est le taux d'accroissement inter-annuel moyen.

#### I. ANALYSE DEMOGRAPHIQUE:

Les périodes d'estimation démographique considérées:

- Court terme 3 à 10 ans - longue terme 10 à 30 ans

Plusieurs informations sont nécessaires à l'évaluation démographique d'une population. Les principales sources d'informations sont:

- Les recensements
- Les données d'immigration et d'émigration
- les répertoires des naissances et décès, les taux de natalité et de mortalité

D'autres informations indirectes telles que :

le nombre d'enfant dans les écoles
nombre de numéro de téléphones
5 hab pour 1 enfant
4 hab pour 1

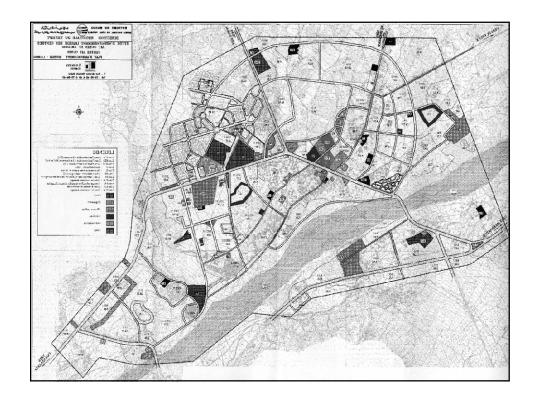
- nombre de services, eau, gaz, électricité 3 hab pour 1...etc

# II. ANALYSE URBAINE:

Le pan d'urbanisme et de zonage définit les zones d'affectation du territoire municipal. C'est un outil essentiel à la gestion et la planification des plans directeur d'aqueduc et d'assainissement. Son principal but étant d'harmoniser les affectations du sol, il permet d'éviter les transformations brutales de l'affectation et par conséquent des modifications coûteuses de l'infrastructure hydraulique.

#### Les classes d'affectation sont en général:

- Résidentielle
- Industrielle
- Commerciale
- Institutionnelle
- Espaces verts



#### III. <u>ETUDE DES USAGES DE L'EAU :</u>

#### A. <u>Types de consommation:</u>

On distingue 4 catégories de consommation de l'eau :

- La consommation domestique
- La consommation industrielle
- La consommation touristique
- La consommation administrative et communale

#### B. <u>Evaluation et évolution des besoins d'une agglomération:</u>

En général, les besoins en eau potable à satisfaire sont évalués en deux phases :

#### Phase 1:

- Appréciation des besoins unitaires actuels relatifs à chaque catégorie de consommation.
- Evaluation des besoins globaux actuels du périmètre d'aménagement.

#### Phase 2:

 Prévision des besoins en eau pour le futur et ce pour différents horizons.

Notons que l'étude des prévisions doit tenir compte d'une double augmentation :

- Celle des besoins unitaires.
- Celle du nombre d'habitant.

#### 1) Phase I – Evaluation des besoins actuels:

Il existe trois niveaux de besoins en eau :

Production: (quantité prélevée = Vprod) – (pertes au niveau de la production)

Distribution : quantité en eau distribuée (Vdist )

Consommation: quantité d'eau consommée par les utilisateurs (Vcons).

Nous avons les relations suivantes :

Vdis = Vcons / Rd = Vcons + (pertes au niveau du réseau de distribution)
Vprod = Vdist / Ra = Vcons / (Rd. Ra)

Avec:

Rd: rendement du réseau de distribution

Ra: rendement de l'adduction

#### a) Appréciation des besoins unitaires actuels par catégorie de consommation :

#### **Dotation domestique:**

Dotation de la population branchée (l/hab/j)	Dotation de la population non branchée (l/hab/j)
(Consommation population branchée) / ( population branchée (hab) )	(Consommation des bornes fontaines) / ( Population non branchée (hab) )
On peut admettre une dotation de 30 à 60 l/j/hab pour les petites agglomérations et 100 à 120 l/j/hab pour les agglomérations importantes .	Au Maroc elle est comprise entre 20 et 40 l/j/hab.

Dotation industrielle (I/j/hab):

( Consommation industrielle ( 1/j ) ) / (Population totale (hab) )

Dotation administrative et communale (I/j/hab) :

(Consommation administrative et communale ( 1/j ) ) / ( Population totale (hab))

#### La consommation touristique :

Il existe une différence de consommation entre les différentes catégories d'équipements touristiques :

- Grands hôtels 500 I/j/touriste.
- Hôtels moyens 300 l/j/touriste.
- Campings 60 I/j/touriste.

Dotation nette globale ( I/j/hab) :

Consommation totale ( I/j ) / ( Population totale (hab))

Dotation brute globale(//j/hab):

(Demande moyenne à la production ( 1/j )) / ( Population totale (hab))

#### b) Evaluation des besoins globaux :

La consommation totale d'une agglomération peut être évaluée de la façon suivante :

$$CT^{n} = a^{(n)} \cdot P^{(n)} \cdot Q_{\delta} + (1 - a^{(n)}) \cdot P^{(n)} \cdot Q_{n\delta} + C_{\alpha c}^{(n)} + C_{i}^{(n)} + C_{i}^{(n)}$$

Avec:

n : l'année de calcul.

 $\operatorname{CT}^{(n)}$  : consommation totale relative à l'année n.

 $a^{(n)}$ : taux de branchement (%).

P<sup>(n)</sup> : population totale.

 $\begin{array}{ll} \mathbf{Q_b} & : \text{dotation de la population branchée.} \\ \mathbf{Q_{nb}} & : \text{dotation de la population non branchée.} \\ \mathbf{C^{(n)}}_{ac} & : \text{consommation administrative et communale} \, . \end{array}$ 

Ci<sup>(n)</sup> : consommation industrielle. Ct<sup>(n)</sup> : consommation touristique. 2)Phase II - Prévision de la consommation en eau:

#### a) Evaluation des besoins en eau potable :

#### Hypothèse de calcul :

L'analyse des statistiques de consommation d'une agglomération nous permet de tirer des informations sur l'évolution des différentes dotations, ce qui facilite par la suite la projection des besoins en eau futurs.

En général, on enregistre une augmentation de la dotation de la population branchée et une régression de la population non branchée. La tarification permet de réduire la dotation, ceci est effectivement sentit en milieu urbain.

#### Etude de l'évolution des dotations :

En cas de disponibilité de données statistiques de la consommation : la projection future des dotations des différentes catégories de consommation sera obtenue par la méthode tendationnelle qui consiste à ajuster les consommations enregistrées dans le passé par une courbe donnant les besoins en fonction du temps (année).

En cas d'indisponibilité de données statistiques fiables: la projection des besoins futurs en eau sera faite sur la base d'hypothèses pour les différents paramètres compte tenu des résultats des statistiques d'une autre agglomération similaire.

#### b)Défense contre l'incendie :

Lors de la réalisation d'un réseau d'eau, il est obligatoire de prévoir des ressources en eau pour la défense contre l'incendie.

En principe on doit assurer un débit de 60 m3/h, pendant 2 heures, car le prélèvement se fait avec une motopompe débitant 17 l/s (60 m3/h), pour un incendie qui dur en moyenne 2 heures

La réserve d'incendie doit être de 120 m3 au minimum.

Le prélèvement se fait sous une pression minimale de 10~m à partir de bouche ou poteau de diamètre 100~mm, distant de 200~à 300~m.

Ce système entraîne un sur - dimensionnement des réseaux des petites agglomérations et un temps de séjour important de l'eau dans les réservoirs.

## VI. ETUDE DES REJETS:

Cette étape vise à évaluer quantitativement les eaux usées du centre grâce à des paramètres tels que le Taux de restitution et le taux des eaux parasites, et qualitativement à travers des ratios de pollution (DBO5, DCO, MES et EH).

#### • Calcul des débits des eaux usées:

1)Eaux usées domestiques:

Débit moyen journalier :

Dans les zones d'habitat, le débit moyen journalier est calculé à partir de la dotation unitaire en supposant que le rejet est sur 24 heures :

$$Qm = (Du x ha) x Cr/86400$$

avec Qm= Débit moyen journalier d'EU (I/s)

Du= Dotation unitaire en eau potable (l/j/hab) Ha= Nombre d'habitant de la zone considérée

Cr = Coefficient de rejet

Coefficient de rejet :

Le coefficient de rejet (ou Taux de restitution) sert à estimer la quantité des eaux usées à partir de la consommation en eau potable. Généralement la valeur usuelle admise pour ce coefficient est 0,8.

❖ Coefficient de pointe – débit de pointe :

Ce coefficient est calculé grâce à la formule suivante:

$$Cph = 1,5 + 2,5 / V(Qms)$$

Avec Cph = Coefficient de pointe horaire

Qms= Débit moyen d'eaux usées (I/s)

Ainsi le débit de pointe est déduit grâce à la formule:

$$Qp = Qms \times Cph$$

Avec Qp= débit moyen d'eaux usées (I/s).

#### ❖ Taux de raccordement :

Ce taux est un paramètre très important dans le calcul du débit d'eaux usées produites puisqu'il va permettre d'estimer la population raccordée en se basant sur les résultats de l'étude démographique (le nombre total d'habitant). Ce qui est très important pour estimer la quantité et la qualité des eaux générées.

#### 2) Eaux Parasites:

Il s'agit des effluents qui ont été introduits (volontairement ou non) dans un réseau, et qui gênent l'écoulement ou le traitement, on doit en tenir compte lors du dimensionnement des ouvrages d'assainissement (principalement ceux de l'épuration).

#### B. <u>Calcul des débits des eaux Pluviales:</u>

Nombreuses études ont été faites dans le but d'évaluer les débits d'eaux pluviales et qui ont abouti à plusieurs méthodes et modèles dont la plupart sont fondées sur la transformation de la pluie en débit, et en analysant le phénomène plus ou moins complètement à l'aide des paramètres suivants :

- Analyse des précipitations et les variables qui définissent les averses
- Les caractéristiques des bassins et des systèmes hydrauliques ;
- Le coefficient volumétrique de ruissellement.

#### Parmi les modèles les plus connus on peut citer

- Le modèle rationnel
- Le modèle superficiel de Caquot
- Le modèle hybride
- Le modèle de transfert
- Le modèle d'Harton
- Le modèle Globalistes
- Le modèle Mac-Math
- Le modèle Malet-Gauthier

Le choix de l'un de ces modèles dépend de plusieurs facteurs tels que la superficie du bassin versant, l'aspect du terrain (urbain ou périurbain), disponibilité des données... etc.

La détermination des débits de ruissellement s'effectue à travers les étapes suivantes :

❖ Choix de la fréquence de dépassement – la période de retour :

Les ouvrages d'assainissement pluviaux sont conçus généralement pour prévenir les inondations provoquées par la pluie. Toutefois, le phénomène d'averses à un caractère plus ou moins exceptionnel exprimé par sa fréquence de dépassement « F » ou sa période de retour « Tr »= 1/F.

Ainsi, pour réaliser l'objectif requis de ces ouvrages, les périodes retenues sont :

- Décennale (10 ans) pour les collecteurs qui forment l'ossature principale du réseau
- •Quinquennale (5 ans) pour les grand collecteurs
- Biennale (2 ans) pour les réseaux secondaires

#### \* Choix de la méthode et de la formule :

Le modèle de ruissellement adopté dans ce cours est celui proposé par A.CAQUOT en 1949. Il s'agit en fait d'une variante de l'approche rationnelle. Dans sa forme originale, ce modèle repose sur une expression mathématique globale qui le rend relativement plus facile pour une application manuelle. Ainsi la formule directement applicable est :

Avec K = ((a . 0,5 b)/6,6) u;

U = 1/(1+0,287.b);

V = -0,41.b/(1+0,287.b);

w = (0,507.b+0,95)/(1+0,287.b);

Q(Tr) = Débit de pointe(m3/s) pour une période de retour Tr;

C = Coefficient de ruissellement;

I = Pente équivalente du bassin versant (m/m);

A = Superficie du bassin versant (ha).

#### \* Coefficient de ruissellement :

C'est le taux d'imperméabilisation du fait qu'il exprime le rapport de la surface revêtue d'un bassin versant sur sa surface totale. Ainsi, à chaque nature de surface correspond un coefficient de ruissellement unitaire défini suivant des normes universelles reconnues :

- Habitations très denses

C = 0,9

- Habitations denses C = 0,6-0,7

- Habitations moins denses

C = 0,4-0,5

- Quartiers résidentiels C = 0,2-0,3

#### Autre classification en fonction de l'occupation du sol:

Occupation du sol	Valeur de C
Bassin d'apport extérieur rural	0,10 à 0,15
Bassins d'apport non boisés, zones d'habitat dispersé	0,20
Habitat mixte économique	0,60
Habitat économique + Immeubles	0,70
Habitat économique dense	0,80
Villas	0,40
Voirie et toiture	0,90

#### ❖ Coefficient de correction du débit de pointe :

Le débit calculé devra être corrigé par un coefficient m :

$$Qc = m \cdot Qp$$

Avec

 $m = (M/2)^{(0,84*b/(1+0,287*b))}$ ;

M = L/vA allongement du bassin ;

L = Longueur hydraulique du bassin (hectomètre);

Qp = Débit de pointe.

#### ❖ Coefficient de Montana :

Les paramètres a et b appelés coefficients de Montana qui interviennent dans la formule de Caquot sont en corrélation directe avec l'intensité maximale de la pluie dans une région.

$$I(t,F) = a(F) \cdot t^{b(F)}$$

Ainsi, il est préférable d'utiliser des paramètres locaux afin de mieux exprimer la réalité sur le terrain.

Marrakech	a	b
Période de retour de 10 ans	5,81	-0,61
Période de retour de 5 ans	4,85	-0,62
Période de retour de 2 ans	3,61	-0,64

Formulation pour un assemblage de bassins versants:

Le modèle de Caquot est valable pour un bassin versant de caractéristiques physiques homogènes. Son application à un assemblage de bassins versants hétérogènes de paramètres individuels Aj, Cj, Ij et Lj nécessite l'emploi de formules équivalentes pour les paramètres A, C, I et L présentées dans le tableau suivant :

Type d'assemblage	En série	En parallèle
Ceq	ΣCj.Αj/ΣΑj	ΣCj.Αj/ΣΑj
Aeq	ΣΑj	ΣΑj
Ieq	$[\Sigma \text{Lj}/\Sigma(\text{Lj}/\sqrt{\text{Ij}})]^2$	ΣΙj.Qpj/ΣQpj
Leq	ΣLj	L (Qmax)

#### **\$** Limite d'application de la formule de Caquot :

#### Ils se résument comme suite:

La surface du bassin versant : A ≤ 200ha
 La pente équivalente : 0,002 < I < 0,05</li>
 Le coefficient de ruissellement : C ≥ 0,2.

A noter que le débit doit satisfaire la condition suivante :

Avec Q1 et Q2 = débits des deux bassins assemblés ;

Q = débit corrigé de l'assemblage

Si Q < Max (Q1et Q2)  $\rightarrow$  Q calcul = MAX (Q1 et Q2) Si Q > Q1 + Q2  $\rightarrow$  Q calcul = Q1 + Q2.

#### B. Evaluation de la charge polluante des eaux usées:

l'évaluation qualitative des EU se fait le plus souvent en se basant sur:

- Les ratios de pollution prévus par le SDNAL
- L'exploitation de résultats d'agglomérations semblables (méthode tendancielle)
- Caractérisation des EU

#### Ratios des EU selon le SDNAL

Paramètre g/hab./j	Localités < 20000 hab.		Localités > 20000 hab.	
	2005	2015	2005	2015
DBO5	31	34	36	39
DCO	56	61	67	73
MES	42	46	47	51

Ces ratios, concerne uniquement la charge polluante qui provient des localités. Donc il faut tenir compte des charges polluantes produites par les Industries et les autres activités socio-économiques de l'agglomération lors de l'estimation de la charge polluante future.

# COLLECTE ET EVACUATION DES EAUX USEES ET PLUVIALES

- I. DEFINITION ET ROLE
- II. MODES D'ASSAINISSEMENT
- III. SYSTEMES D'ASSAINISSEMENT
- IV. LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT COLLECTIF
- V. LES OUVRAGES ANNEXES
- VI. DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU D'ASSAINISSEMENT
- VII. TRAITEMENT DES EAUX USEES

## I. <u>DÉFINITION ET RÔLE :</u>

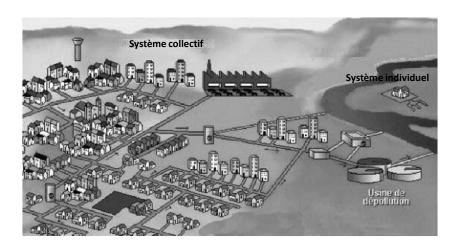
L'assainissement est l'ensemble des opérations qui assurent la collecte, le transport, au besoin la rétention, le traitement avant le rejet dans le milieu naturel de l'ensemble des eaux polluées (pluviales et usées). Cette évacuation vers un milieu de rejets se situant en dehors du périmètre urbain doit se faire en évitant tout risque d'inondation et de pollution.

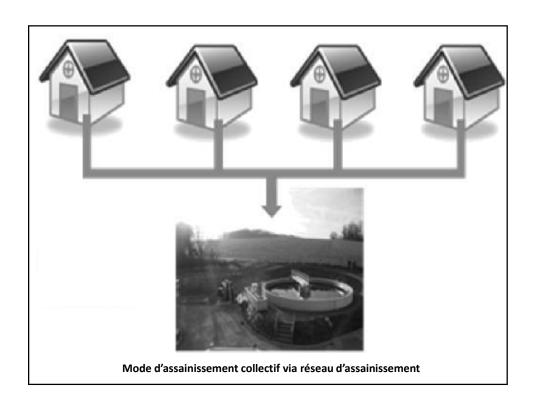
#### Ses nouveaux objectifs sont:

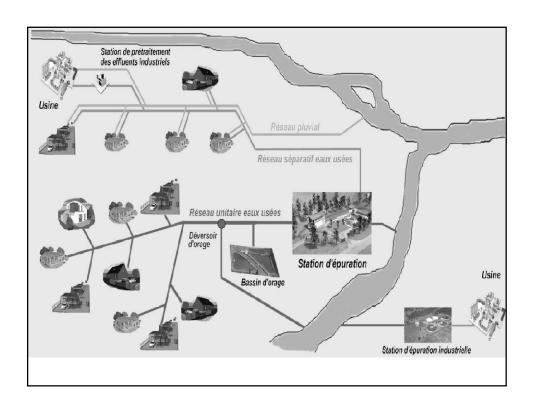
- > La collecte & l'évacuation <u>correcte</u> des eaux pluviales permettant d'éviter l'inondation des zones urbanisées et pour des raisons sanitaires d'empêcher la stagnation de ces eaux, particulièrement dans les points bas des agglomérations.
- > La collecte et l'évacuation des eaux usées de toutes natures (eaux de vannes, eaux domestiques, eaux industrielles) en assurant leur transport, le plus rapidement possible, jusqu'au lieu de leur traitement (STEP).
- > Le traitement des EU avant leurs rejets dans le milieu récepteur, sous des modes compatibles avec les exigences de l'environnement et de la santé.

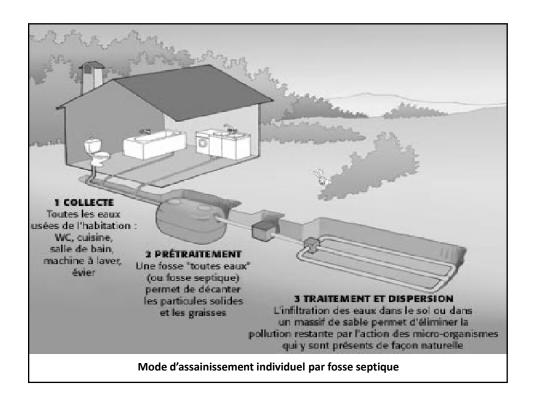
#### II. MODES D'ASSAINISSEMENT :

Deux modes d'assainissement existent, collectif et individuel







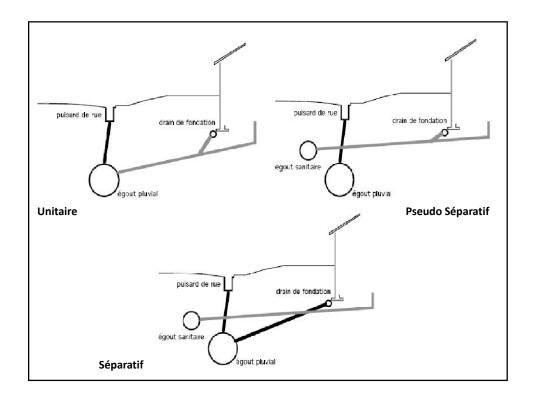


	Un assainissement collectif	Un assainissement autonome	
	Les eaux usées domestiques, industrielles et	Les dispositions prises pour épurer les eaux se situent	
	les eaux de ruissellement sont conduites	sur place dans la parcelle où elles sont produites.	
	ensemble pour être éventuellement épurées		
	puis rejetées dans le milieu naturel.	On distingue deux variantes de dispositifs dans	
	Ce mode comporte trois composantes :	l'assainissement autonome :	
Description		<ul> <li>Ceux à faible coût et beaucoup plus rustiques</li> </ul>	
-	<ul> <li>Une composante collecte,</li> </ul>	(latrines) destinés à recevoir les excrétas.	
	Une composante traitement des eaux	<ul> <li>Ceux à coûts modérés (fosses sceptiques et mini</li> </ul>	
	usées,	réseau d'égout) qui reçoivent les eaux de vannes et les	
	<ul> <li>Une composante gestion des boues</li> </ul>	eaux ménagères.	
	d'épuration		
		Liées aux caractéristiques physiques du site :	
	de fonctionnement correct, le débit d'eaux	Profondeur de la nappe : il est important de connaître	
	usées doit être suffisant pour assurer	la profondeur de la nappe sous jacente pour éviter les	
	l'autocurage, (consommation minimum	risques de contamination des eaux souterraines.	
	d'environ 40 l/ jour /habitant). La	Profondeur du substratum : la présence d'un horizon	
	consommation en eau et le type de desserte	imperméable à faible profondeur est un facteur	
	doit permettre d'assurer l'autocurage.	défavorable à l'épuration des eaux usées par	
	Condition d'entretien du réseau de	infiltration.	
	collecte : la voirie doit être définitive et	Pente du terrain : les pentes fortes ne permettent pas	
Contraintes	permettre le passage des équipes	une épuration des eaux par le sol.	
	d'intervention. Il faut donc un plan	Perméabilité du terrain: L'infiltration doit être	
	d'urbanisme fixé.	suffisamment lente pour que les processus d'épuration	
	Quand les conditions naturelles du site	se déroulent complètement.	
	(géologie, profondeur de la nappe)	Au type d'agglomération :	
	rendent impossible un assainissement	Habitat peu dense (dispersé).	
	individuel.	Aux comportements socio- culturels des populations	
		concernées.	
		Quand un assainissement collectif s'avère impossible	
		pour des raisons financières et techniques.	

	Un assainissement collectif	<u>Un assainissement autonome</u>
Avantages	<ul> <li>Facilité de contrôle des rejets d'eaux usées et de ruissellement.</li> <li>Si l'entretien est bon, l'assainissement collectif a de bonnes performances sanitaires, de réduction des risques d'inondation et de pollution de l'environnement.</li> <li>Suppression des nuisances dans le site urbain.</li> </ul>	<ul> <li>Suppression du coût du réseau et d'un système centralisé de traitement.</li> <li>Souplesse d'adaptation à l'évolution des besoins.</li> </ul>
Inconvénients	<ul> <li>Coût élevé en investissement et en entretien.</li> <li>Concentration de la pollution en un point donc nécessité d'un traitement (station d'épuration).</li> </ul>	<ul> <li>Charges financières (investissements et frais d'entretien) sont assumés par les usagers.</li> <li>Nécessité d'un contrôle de fonctionnement, d'une vidange régulière des dispositifs.</li> <li>Nécessite d'être accompagné d'un système de gestion des eaux pluviales et d'un système de gestion des boues de vidanges</li> </ul>

# III. SYSTEMES D'ASSAINISSEMENT :

On distingue trois systèmes d'assainissement : unitaire, séparatif et pseudo séparatif. Le schéma de chaque système sont présentés dans les figures suivant :



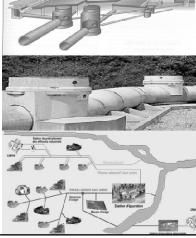
système	Domaine d'utilisation privilégié	<u>avantages</u>	inconvénients	Contraintes d'exploitation
Unitaire	- milieu récepteur éloigné des points de collecte - topographie à faible relief - imperméabilisation importante et topographie accentuée de la commune (permettre un écoulement gravitaire)	- conception simple: un seul collecteur, un seul collecteur, un seul branchement par localité - encombrement réduit du sous-sol - économique (dimensionnement moyen imposé par les seules eaux pluviales) - aspect traditionnel, dans l'évolution historique des cités - pas de risque d'inversion de branchement - facilité d'entretien	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	- entretien régulier des déversoirs d'orage et des bassins de stockage; - difficulté d'évaluation des rejets directs vers le milieu récepteur.

système	Domaine d'utilisation	<u>avantages</u>	inconvénients	Contraintes
systeme	<u>privilégié</u>			<u>d'exploitation</u>
	- petites et moyennes	- diminution du	<ul> <li>encombrement</li> </ul>	- Surveillance accrue
	agglomérations;	diamètre moyen du	important du sous-sol;	des branchements;
	- habitations	réseau de collecte des	<ul> <li>coût d'investissement</li> </ul>	- entretien d'un
	dispersées	eaux usées ;	élevé ;	linéaire important de
	- extension des villes ;	- dimension	<ul> <li>risque important</li> </ul>	collecteurs (eaux
	- faible débit d'étiage	raisonnable de ;	d'erreur de	usées et pluviales);
	du cours d'eau	<ul> <li>exploitation plus</li> </ul>	branchement.	- entretien des
	récepteur.	facile de la station		ouvrages particuliers
	<ul> <li>topographie faible</li> </ul>	d'épuration;		(syphons, chasses
Séparatif	- des relèvements sont	- meilleure		d'eau, avaloirs);
Separatii	inévitables	préservation de		- entretien des postes
		l'environnement des		de relèvement et des
		flux polluants		chambres à sables ;
		domestiques;		<ul> <li>détection et</li> </ul>
		<ul> <li>certains coûts</li> </ul>		localisation des
		d'exploitation sont		anomalies (inversion
		limités (relevage des		de branchement,
		effluents notamment).		arrivée d'eaux
				parasites, passage
				caméra).
Pseudo-	Il est à proscrire car po	our de petits avantages,	il comporte les inconvén	ients des deux autres
séparatif		syste	èmes	

## IV. <u>LE RESEAU D'ASSAINISSEMEENT COLLECTIF</u>:

Un réseau d'assainissement est constitué d'un ensemble de collecteurs, qui peuvent être des émissaires à ciel ouvert ou des canalisation enterrées, reliés entre eux en une structure ramifiée suivant les voies publiques et les rues qu'ils desservent. Sa structure topologique est définie par :

- Des nœuds qui sont des points d'entrée ou de sortie du système, matérialisés par des ouvrage ponctuels : regards de visite, chambre de raccordement....
- Des tronçons limités par un nœud d'extrémité.
   Chaque tronçon détermine une partie du collecteur de pente et section constante, ou une partie d'ouvrage ayant des caractéristiques spécifiques.
- Des branches, ensemble de tronçons consécutifs, qui assurent la continuité de l'écoulement.1



# Les collecteurs du réseau d'assainissement doivent être implantés de la sorte :

- Pour les voies d'emprise inférieure ou égale à 12 m, les collecteurs des eaux usées et des eaux pluviales doivent être implantés dans les axes des voies.
- Pour les voies d'emprise de 12 m ou de 15 m , les collecteurs des eaux usées et des eaux pluviales doivent être implantés sous trottoir pour les collecteurs des eaux pluviales et sous chaussée pour les collecteurs des eaux usées.
- Pour les voies d'emprise supérieure ou égale à 20 m, les collecteurs des eaux usées et des eaux pluviales doivent être implantés sous trottoir dans les deux côtés des voies.
- Les collecteurs de diamètre supérieur ou égale à  $\varnothing$ 1000 mm doivent être implantés dans les axes des voies.

# Chaussée Chaussée Déblais Lit de pose Remblais primaire Remblais secondaire

Le calage des collecteurs du réseau d'assainissement tenir compte des réseaux des autres services (eau potable, téléphone, électricité...) et doit permettre aussi de supporter la charge roulante grâce à une couverture minimale:

Emplacement des réseaux	Profondeurs mini		Couleur	lu	Sous chaussée	Sous
	(m) *		grillage	:		trottoir
Eaux pluviales	1.00		bleu		possible	possible
Eaux usées	1.50		bleu		possible	possible
Eau potable	** de 0.8 à	2	bleu		déconseillé	oui
Electricité	0.75		rouge		déconseillé	possible
Gaz	0.80		jaune		interdit	oui
téléphone	0.75		vert		déconseillé	oui
Espacement entre	Assainissement	AEP	électricité	gaz	téléphone	
<u>réseaux</u>						
Assainissement		20 cm	20 cm	20 cm	40 cm	
AEP			60 cm HT	50 cm	20 cm	
			20 cm BT			
Electricité				50 cm	50 cm	
gaz					50 cm	
téléphone						
<u> </u>			·			

Afin d'éviter les points de perturbation hydraulique qui ralentissent l'écoulement, l'angle de raccordement de deux collecteurs doit être inférieur à 60 °. Pour les conduites de diamètre inférieur ou égal à 600 mm, le raccordement à 90 ° est toléré.

Les diamètres minimaux adoptés pour les collecteurs sont :

- Ø300 mm pour les eaux usées ;
- $\varnothing$ 400 mm pour les eaux pluviales ;

# V. Les ouvrages annexes :

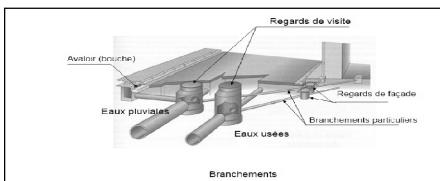
En plus des collecteurs qui constituent les ouvrages principaux d'un réseau d'assainissement, ce dernier comporte aussi des ouvrages annexes. Ces ouvrages constituent l'équipement des réseaux de canalisations. Il s'agit des ouvrages de raccordement des branchement, des ouvrages de contrôle et de visite, des ouvrages d'entonnement des eaux pluviales, des bouches d'égouts, des dispositifs d'entretien...etc.

Ces ouvrages obéissent à une certaine hiérarchie de fonction très diversifiée dont la finalité est d'assurer une exploitation rationnelle et correcte des réseaux d'égouts.

Ces ouvrages annexes sont de deux types :

# A. Les ouvrages normaux:

Ce sont des ouvrages qui assurent la collecte de effluents du réseau. Ils doivent assurer les meilleures conditions d'hygiène pour l'habitation.



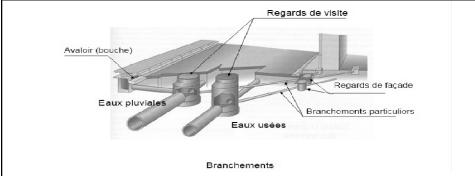
# **Branchements particuliers:**

Ce sont des ouvrages reliant une les propriétés au réseau collectif d'assainissement. Ils se compose de 3 parties essentielles:

Un regard de façade: Appelé aussi fosse réceptrice ou boîte de branchement, il permet le raccordement des canalisations intérieures d'une propriété au réseau publique d'assainissement.

Une canalisation de branchement: de diamètre minimale 200 mm pour les EU et 300 mm pour les EP. Sa pente doit être supérieur à 1% et 45°≤ angle de raccordement ≤ 60°

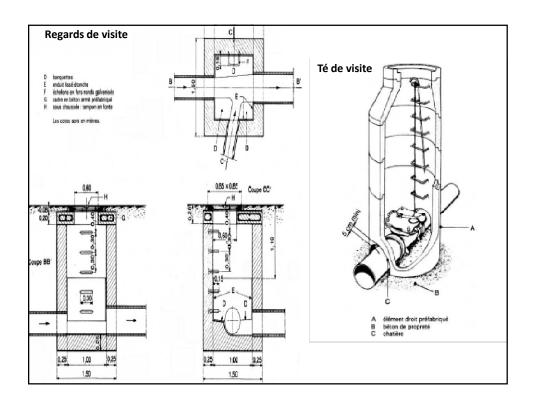
Dispositifs de raccordement : soit via un regard borgne ou directement à un regard de visite

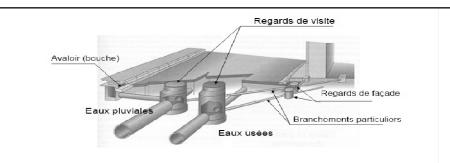


# Les regards de visite :

Ce sont des éléments permettant l'accès du personnel d'entretien au réseau ainsi que l'aération de tous les ouvrages enterrés. Ils sont implantés dans les cas suivant:

- >Chaque changement de diamètre, de direction , de pente, de cote radier (chutes)...
- ➤En alignement droit En alignement droit, la distance maximale entre les regards de visite est d'environ 80 m pour Ø≥1000 et 50m pour les diamètres Ø <1000.
- > Des té de visite (regard double) sont prévu dans les zones sensibles ou lorsque la chutte dépasse 1 m.





#### Branchements

# Les bouches d'égouts:

Destinées à recueillir les eaux de chaussées. Elle doivent être sélectives pour retenir le maximum de déchets (capacité nominale d'évacuation doit atteindre 80 l/s). Le respect de ce de critère va permettre « d'avaler » les détritus, feuilles mortes, sables, plastiques, papiers, chiffons, végétaux...etc. il est préconisé de ne pas descendre en dessous de ces valeurs sous peine de risque d'obstruction.

On distingue 2 types de bouches d'égout:

>Bouches d'égout à grille: sous chaussée avec ou sans décantation

>Bouches d'égout à avaloir: sous trottoir avec ou sans décantation



# B. Les ouvrages spéciaux:

Ces ouvrages n'apparaissent pas systématiquement au niveau du concept général du projet, mais il convient d'y recourir dans certains cas, notamment pour :

- Résoudre certains problèmes qui apparaissent au stade de l'étude,
- Optimiser le projet sous le double aspect technique et financier,
- Contourner certaines difficultés physiques ou topographiques
- Protéger l'environnement et le milieu récepteur.

# Dispositifs de ventilation :

Permettent d'assurer une aération suffisante de l'égout moyennant des dispositifs en contact avec l'atmosphère. Ces ouvrages doivent être annexés au réseau pour deux raisons essentielles :

- Éviter les fermentations anaérobies (gaz asphyxiant et explosifs)
- Assurer la sécurité du personnel

#### Réservoir de chasse :

Sont prévus pour pallier à la difficulté d'autocurage de certains tronçons inaccessibles du réseau (Médina).

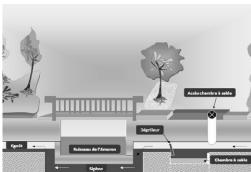
# **Chutes:**

Sont installées au croisement des égouts avec d'autres conduites souterraines pour vaincre de grandes différences de niveau sur des petites longueurs en plan ou pour respecter la couverture minimale dans les tranchées.



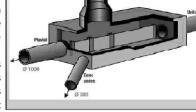
# siphons:

Ce sont des ouvrages destinés à réaliser le franchissement d'obstacles contraignants : route à grand trafic, autoroute, voie ferrée, cours d'eau...etc. ils sont souvent exposé à un risque d'obstruction par simple décantation au niveau de la partie basse du siphon, il y a lieu de prévoir un dégrilleur et un dessableur à l'amont.



# Déversoir d'orage :

Ces ouvrages sont destinés à délester le surplus du débit en temps de pluie en permettant le soulagement du réseau aval, le surplus est évacué directement dans le milieu naturel. Aussi, la station d'épuration sera protégée vu qu'elle ne peu recevoir en débit de point que le double ou le triple du débit en temps sec. Ainsi, ils sont souvent implantés à l'entrée d'une STEP, sur les tronçons d'interception et sur certaines conduites jugées surchargées permettant ainsi de réduire les dimensions importantes des conduites et le coût du projet.



**DEVERSOIR D'ORAGE** 

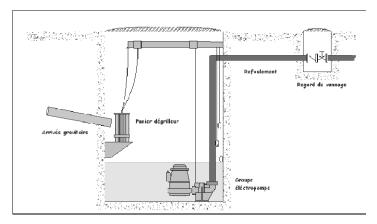
# Bassins de rétention:

Les bassins de rétention sont disposés en amont de la STEP et des zones inondables. Ils permettent d'écrêter les débits de pointe en limitant les apports d'orage dans les réseaux publics et protègent le milieu naturel. Ces ouvrage sont imposés par les conditions topographiques du site et les donnés pluviométriques de la région.



# Stations de refoulement:

Ce sont des unités équipées de pompes pour relever les eaux d'un niveau bas vers un niveau haut. Appelées aussi postes de refoulement, ces ouvrages deviennent nécessaires dès qu'il s'agit de contourner des difficultés dues au franchissement d'un obstacle et surtout lorsqu'il s'agit de pentes inférieures à la limite nécessaire pour assurer les conditions d'autocurage dans les canalisations.



# VI. <u>DIMENSIONNEMENT DU RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT:</u>

Le dimensionnement du réseau d'assainissement se déroule suivant les étapes ci-dessous:

- 1. Le calcul des eaux pluviales
- 2. Le calcul des eaux usées
- 3. Dimensionnement des canalisations

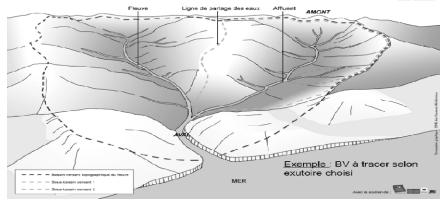
# 1. Calcul des débits des eaux Pluviales:

Il se fait en adoptant la démarche suivante:

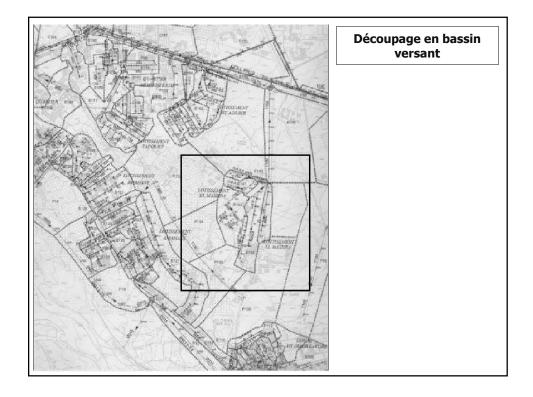
# ❖ Découpage en bassins versant :

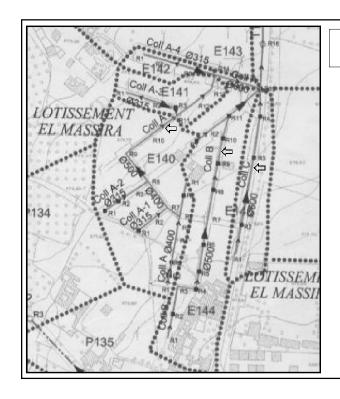
Avant de passer au dimensionnement proprement dit, on procède au découpage de la zone d'étude en bassins versant.

Un BV est une aire délimitée par des lignes de partage des eaux, à l'intérieur de laquelle toutes les eaux tombées alimentent un même exutoire.



Le découpage en BV dépendra de l'exutoire choisie ainsi que du système d'assainissement adopté



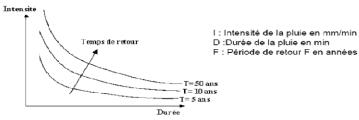


# Découpage en bassin versant

A1: 140 -- 141 A2: 142 // A1 A3: 143 -- A2 A4: 144 // 145 AF: A3 // A4

# ❖ Choix de la fréquence de dépassement – la période de retour :

# Courbes Intensité, Durée, Fréquence



Ainsi, pour réaliser l'objectif requis des ouvrages d'assainissement, les périodes de retour retenues sont :

- Décennale (10 ans) pour les collecteurs qui forment l'ossature principale du réseau
- ■Quinquennale (5 ans) pour les grand collecteurs
- Biennale (2 ans) pour les réseaux secondaires

# Choix de la méthode et de la formule :

Le modèle de ruissellement adopté dans ce cours est celui proposé par A.CAQUOT . Le débit de pointe est calculé grâce à la formule suivante:

$$Qc = m \cdot Qp$$

Avec  $m = (M/2)^{(0.84*b/(1+0.287*b))};$ 

M = L/vA allongement du bassin;

L = Longueur hydraulique du bassin (hectomètre);

 $Qp = K^{1/u} \cdot C^{1/u} \cdot I^{v/u} \cdot A^{w/u}$ 

► Caquot : Exemple		I (m/m)	A (ha)	С	L(m)
T = 10 and	BV1	3.10-3	2,85	0,3	150
T = 10 ans, marrakech	BV2	3.10-3	2,16	0,3	120
	BV3	1.10-2	3,89	0,3	210
BV1 BV3		<b>Q</b> ?			

N°									Qp					Qc(m
BV	Retour	u	v	w	K	A (ha)	I (m/m)	С	(m3/s)	L (m)	L(hm)	M	m	3/s)
1														
2	10													
3														

	N° du BV	Nom de Assemblage	Aeq ha	Ceq	Ieq m/m	Leq ml	Qb m³/s	M	m	Qc m³/s
	1									
	2									
Parallèle	1//2	A1								
				•		•	•	•		
	3									
	A1									
Série	A1-3	A3								

# 2. <u>Calcul des débits des eaux usées</u>

La détermination des débit des EU est basée sur les prévisions des consommation d'eau potable par les différents types d'usagers ainsi qu'à des paramètres tel que taux de branchement, taux de restitution, eaux parasites...etc.

❖ Débit moyen des EU:

Qm (I/s) = [(DPBx Trac+ DI+Dac+DT)xPxTre]/86400

❖ Débit des eaux parasites:

Qep= Qmx Tep

**❖**Débit de pointe des EU:

Qp(I/s) = Qmx Cp

**❖**Débit total des EU:

Qeu= Qp + Qep

# 3. <u>Calcul du diamètre des collecteurs</u>

Toute conception d'un réseau d'assainissement s'appuie sur la loi de conservation de la masse :

$$Q = V.S$$

Les sections des conduites seront calculées à partir des formules de Manning :

Pour les écoulements sous pression (conduites de refoulement):

$$V = 1,3 . Ch . Rh^{0,63} . I^{0,54}$$

Pour les écoulements gravitaires:

Avec

V = Vitesse d'écoulement en m/s;

Rh = Rayon hydraulique moyen en m (Rh ≈ Diamètre/4);

I = Pente de l'ouvrage en m/m;

K = Coefficient de rugosité de Manning;

Ch = Coéfficient de Hazen-Williams.

α = a adopté 2/3 pour les EU et ¾ pour les EP

Le coefficient K varie en fonction du type des matériaux des conduites, Ainsi :

- K= 80 pour les collecteurs en PCV
- K= 70 pour les collecteurs en béton

Le coefficient d'écoulement d'Hazen-Williams Ch est directement proportionnel au débit et dépend de la rugosité de la conduite, qui peut varier avec l'âge de cette dernière. Souvent les conduites de refoulement sont en béton (Ch de 130 à 150) ou en PVC (Ch de 140 à 150).

# ❖ Vitesse d'écoulement :

Pour assurer des conditions d'autocurage dans les réseaux d'évacuation des eaux pluviales, la vitesse d'écoulement pour le un dixième du débit à pleine section doit être supérieure ou égal à 0,6 m/s, tandis que pour les réseaux des eaux usées, les conditions d'autocurage sont vérifiées lorsque la vitesse d'écoulement à pleine section est supérieure ou égale à 0,70 m/s. Toutefois la vitesse doit rester inférieure à 4 m/s pour éviter les dégradations des joints et l'abrasion des conduites.

Comment calculer la vitesse effective dans les écoulements à surface libre ou dans les conduites partiellement remplies??

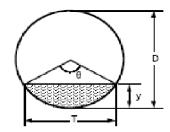
# **❖** Méthode graphique :

Les relations suivantes sont fort intéressantes:

$$\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = \left(1 - \frac{2y}{D}\right)$$

$$P = \frac{\theta D}{2}$$

Périmètre mouillé



$$A = \frac{1}{8} (\theta - \sin(\theta)) D^2$$

Air de la section de l'écoulement

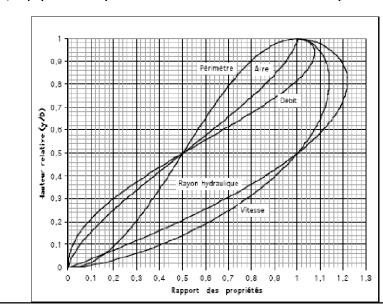
$$T = D \sin(\frac{\theta}{2})$$

Largeur au miroir

$$R_h = \left(1 - \frac{\sin(\theta)}{\theta}\right) \frac{D}{4}$$

Rayon hydraulique

Ces relations permettent d'obtenir le graphique de la figure suivante. Ce dernier permet d'obtenir les caractéristiques hydrauliques en fonction du rapport des hauteurs d'écoulement y/D, ce qui permet de simplifier les calculs en se référant à la conduite coulant pleine.



# ❖ Méthode itérrative :

Il suffit de trouver la valeur de téta qui va permettre d'annuler la fonction suivante :

$$F(\theta) = Q - K.S(\theta).R(\theta)^{\alpha} J^{\frac{1}{2}}$$

Téta une fois trouver va permettre de le calcul du rapport y/D grâce aux formule auparavant citées.

# VII. <u>Traitement des EU :</u>

Les EU une fois collectées sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement.

Le but de ces différents traitements est de diminuer suffisamment la quantité de substances polluantes contenues dans les eaux usées pour que l'eau finalement rejetée dans le milieu naturel ne dégrade pas ce dernier. Le "nettoyage" des eaux usées obéit donc à une logique de préservation des ressources en eau et de protection de l'environnement. La réglementation récente en a sensiblement renforcé l'importance dans notre pays.

# A. Mesure des matières polluantes contenues dans les EU:

Les Trois principaux paramètres qui mesurent les matières polluantes des eaux usées domestiques sont:

- Les matières en suspension (MES) exprimées en mg par litre. Ce sont les matières non dissoutes contenues dans l'eau. Elles comportent à la fois des éléments minéraux et organiques;
- la demande biochimique en oxygène (DBO), exprimée en mg d'oxygène par litre. Elle exprime la quantité de matières organiques biodégradables présente dans l'eau. Plus précisément, ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour mesurer ce paramètre, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommé au bout de cinq jours. C'est la DBO5, demande biochimique en oxygène sur cinq jours;
- la demande chimique en oxygène (DCO), exprimée en mg d'oxygène par litre. Elle représente la teneur totale de l'eau en matières oxydables. Ce paramètre correspond à la quantité d'oxygène qu'il faut fournir pour oxyder par voie chimique ces matières.

Les teneurs en azote et en phosphore sont également des paramètres très importants. Les rejets excessifs de phosphore et d'azote contribuent à l'eutrophisation des lacs et des cours d'eau. Ce phénomène se caractérise par la prolifération d'algues et la diminution de l'oxygène dissous, ce qui appauvrit la faune et la flore des eaux superficielles (cours d'eau, lacs, etc.). Cette fragilité du milieu naturel est maintenant souvent prise en compte par la réglementation avec la notion de "zones sensibles".

Les eaux usées contenant aussi des contaminants microbiologiques, bactéries, virus pathogènes et parasites, le rejet des eaux usées à proximité de lieux de baignade ou de zone d'élevage de coquillages fait courir un risque pour la santé. Il doit faire l'objet de précautions particulières.

Pour quantifier globalement les matières polluantes contenues dans les eaux usées domestiques (et assimilées), on utilise comme unité de mesure l' "équivalent-habitant". La notion d'équivalent-habitant est utilisée pour quantifier la pollution émise par une agglomération à partir de la population qui y réside et des autres activités non domestiques. Selon la définition de la directive européenne du 21 mai 1991"relative au traitement des eaux urbaines résiduaires", un équivalent-habitant représente une DBO5 de 60 g d'oxygène par jour.

# B. Les étapes de traitement:

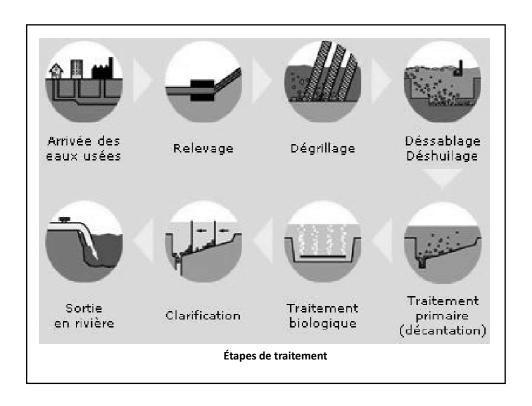
#### 3 niveaux de traitement:

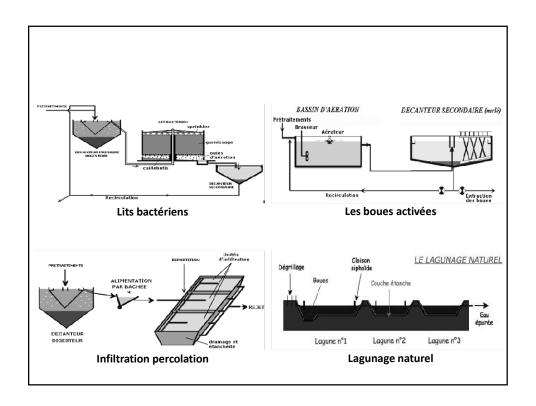
Les prétraitements consistent à débarrasser les eaux usées des polluants solides les plus grossiers (dégrillage, dégraissage). Ce sont de simples étapes de séparation physique.

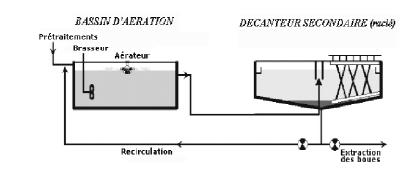
Les traitements primaires regroupent les procédés physiques ou physico-chimiques visant à éliminer par décantation une forte proportion de matières minérales ou organiques en suspension. A l'issue du traitement primaire, seules 50 à 60 % des matières en suspension sont éliminées. Ces traitements primaires ne permettent d'obtenir qu'une épuration partielle des eaux usées. Ils ont d'ailleurs tendance à disparaître en tant que seul traitement, notamment lorsque l'élimination de la pollution azotée est requise. Pour répondre aux exigences réglementaires, une phase de traitement secondaire doit être conduite.

Les traitements secondaires recouvrent les techniques d'élimination des matières polluantes solubles (carbone, azote, et phosphore). Ils constituent un premier niveau de traitement biologique. Pour satisfaire à la réglementation actuelle, les agglomérations de plus de 2 000 équivalents-habitants devront être raccordées à des stations d'épuration permettant un traitement secondaire des eaux usées d'ici fin 2005. Le traitement secondaire est donc désormais le niveau minimal de traitement qui doit être mis en oeuvre dans les usines de dépollution.

Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible. A titre d'illustration, les rejets dans les eaux de baignade, dans des lacs souffrant d'un phénomène d'eutrophisation ou dans des zones d'élevage de coquillages sont concernés par ce troisième niveau de traitement. Les traitements tertiaires peuvent également comprendre des traitements de désinfection. La réduction des odeurs peut encore être l'objet d'attentions particulières.

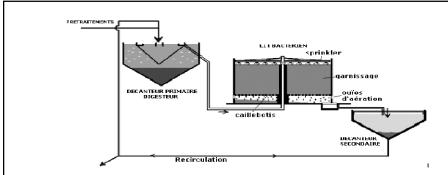




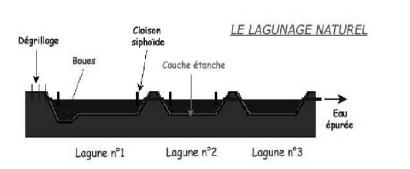


# Principe:

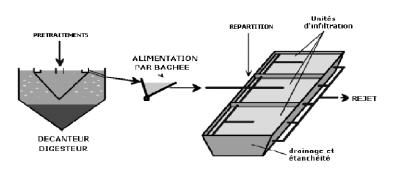
Les EU sont dirigées vers un bassin d'aération où elles sont mises en contact avec une biomasse responsable de l'épuration. Dans ce réacteur, la pollution dissoute est transformée en flocon de boues par assimilation bactérienne. Les flocs peuvent alors être séparés de l'eau traitée par décantation. La boue décantée est recirculée afin de permettre le réensemencement du bassin d'aération. Périodiquement, les boues en excès sont extraites pour rejoindre le traitement des boues.



Principe: Ce procédé consiste à alimenter en eau, préalablement décantée, un ouvrage contenant une masse de matériaux (pouzzolane ou plastique) servant de support aux micro-organismes épurateurs qui y forment un film biologique responsable de l'assimilation de la pollution.



Principe: Le lagunage utilise la capacité épuratrice de plans d'eau peu profonds. Concrètement, les eaux usées sont envoyées dans une série de bassins, au minimum trois. L'oxygène est apporté par les échanges avec l'atmosphère au niveau du plan d'eau et par l'activité de photosynthèse des microalgues de surface. La pollution organique se dégrade sous l'action des bactéries présentes dans le plan d'eau. Le rayonnement solaire détruit en outre certains germes (lagunage de finition, dans les derniers bassins).

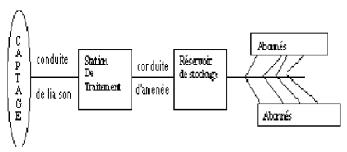


Principe: L'infiltration sur sable est un traitement biologique par cultures bactériennes fixées sur supports fins. Les eaux usées prétraitées ayant préalablement subi une décantation primaire sont déversées et réparties sur un massif de sable, à l'air libre. En percolant au travers de ce massif, elles sont d'abord débarrassées des matières en suspension par filtration superficielle, puis leur matière organique est dégradée et leurs composés azotés sont oxydés sous forme de nitrates par les bactéries fixées qui se développent au sein du massif.

# ADDUCTION ET DISTRIBUTION DE L'EAU

# I. INTRODUCTION:

En général l'Alimentation en eau potable d'une agglomération quelconque comporte les éléments suivants :



Les abonnés sont alimentés par un réseau de distribution qui est desservi par un réservoir de stockage dont la côte radier est choisie de façon à ce que les pressions nécessaires à l'alimentation des abonnées soit assurées.

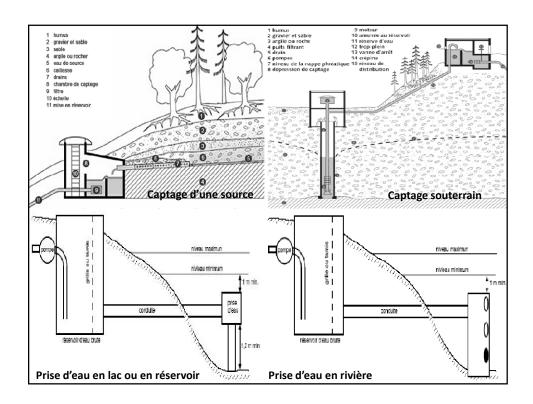
# II. <u>INSTALLATION:</u>

# A. Captage (ou prise):

Il permet de recueillir l'eau naturelle, cette eau peut être d'origine superficielle ou bien Souterraine.

# 1) Captage des eaux :

- Captage en rivière
- Captage à partir d'un barrage (ou lac)
- Captage des eaux souterraines
- Captage des sources



# B. Traitement des eaux :

L'eau captée nécessite généralement un traitement pour la rendre potable à la consommation.

Le traitement s'effectue généralement dans le cas des eaux de surface. Ce traitement est fait de façon à éliminer les bactéries de l'eau et à lui donner dans certains cas un goût meilleur...

# C. Conduite d'amenée :

C'est la conduite qui transporte l'eau entre la station de traitement et le réservoir de stockage. ce transport peut s'effectuer par :

Gravité: si le niveau de la station de traitement (ou de captage) est supérieur à celui du réservoir (conduite d'adduction).

Refoulement : si le niveau de la station de traitement (ou de captage) est inférieur au niveau du réservoir (conduite de refoulement).

# D. Réservoir de stockage :

Les réservoirs de stockage ont pour rôle essentiel de :

- Se substituer aux adductions et aux ouvrages de captage en cas de pannes ou d'interruption au niveau de la production (fonction de réserve).
- Faire face aux modulations de la demande par rapport aux débits provenant de l'ouvrage de captage (fonction de démodulation).
- Assurer la mise en pression de réseau de desserte, bornes fontaines, et/ou du réseau de distribution (cas de branchements particuliers ).
- Assurer la régulation du fonctionnement du groupe de pompage équipant l'ouvrage de captage, cas d'une adduction de refoulement (fonction de régulation).
- Permettre une sécurité en matière de protection contre l'incendie (cas des centres et agglomérations urbaines, équipés de bouches d'incendie ).

# D. Réseau de distribution :

Il est constitué par une série de conduites desservant les différents consommateurs. L'écoulement de l'eau dans ces conduites se faits le plus souvent par gravité .

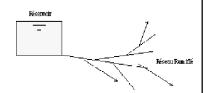
Le système doit assurer la fonction "Transport" du point d'eau mobilisée jusqu'aux points de distribution, ainsi que la fonction "mise en pression" et "stockage", et ce avec une fiabilité suffisante.

# Classement des réseaux:

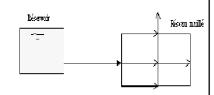
Les réseaux de distribution peuvent être classés comme suit :

- Les réseaux ramifiés.
- Les réseaux maillés.
- Les réseaux à plusieurs alimentations (eau potable, eau industrielle,...)

Le réseau ramifié dans lequel les conditions de desserte ne comportent aucune alimentation de retour, présente l'avantage d'être économique, mais il manque de sécurité et de souplesse en cas de rupture. Un accident sur la conduite principale prive les abonnés en aval.



Le réseau maillé permet, au contraire, une alimentation en retour et donc il évite l'inconvénient du réseau ramifié. Une simple manœuvre de vanne permet d'isoler le tronçon endommagé. Il est bien entendu plus coûteux d'établissement, mais en raison de la sécurité qu'il procure, il doit être préféré au réseau ramifié.



Dans le cas d'une agglomération présentant des différences de niveau topographiques importantes, une distribution érigée devient parfois nécessaire pour éviter des pressions trop fortes sur le réseau. On peut donc constituer des réseaux indépendants pouvant assurer des pressions limitées aux environs de 60 m environ.

Les réseaux à alimentation distincte distribuent l'un l'eau potable destinée à tous les besoins domestiques et l'autre l'eau non potable réservée aux usages industriels et au lavage et arrosage des rues et des plantations. Ces réseaux ne se justifient que dans les installations extrêmement importantes. (\*).

# II. CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU RESEAU AEP:

# A. Conception d'un projet AEP:

# 1) Introduction:

En général, l'alimentation en eau potable d'un centre quelconque comporte les éléments suivants :

- Une Station de pompage.
- Une Conduite de refoulement.
- Un Réservoir de stockage.
- Un Réseau de distribution.

# Le fonctionnement des éléments ci-dessus consiste à :

- Relever de l'eau en quantité disponible jusqu'à la côte de réservoir qui dominera le centre et assurera suffisamment de pression.
- Stocker de l'eau en quantité nécessaire correspondant au volume équivalent d'une demi-journée de la consommation moyenne du centre, majorée par une réserve d'incendie égale à 120 m3.
- Amener de l'eau jusqu'au point de départ de la conduite de distribution, et par la suite alimenter le tronçon du réseau projeté.

# 2) Réservoir de stockage:

L'emplacement du réservoir doit résulter d'un compromis des considérations suivantes : Côte suffisante pouvant assurer des pressions suffisantes au niveau des bornes fontaines ou chez les consommateurs dans le cas de branchements particuliers, Proximité pour éviter des coûts trop élevés.

# 3) Tracé des canalisations:

# On peut distinguer:

- Les parcours ou tracés obligés, qui sont en général les rues à desservir au sein d'une agglomération.
- Les parcours intermédiaires, par exemple de station de pompage vers le réservoir ou du réservoir vers l'agglomération.

# Tracés obligés:

Les tracés obligatoires sont imposés par la nécessité de suivre le tracé du réseau de la voirie pour pouvoir desservir les bornes fontaines, et l'ensemble des abonnés.

En cas de branchements particuliers, les canalisations peuvent être posées des deux côtés de la rue si la chaussée est importante. Dans le cas contraire on peut se contenter d'une seule canalisation on traverse la chaussée pour chaque branchement.

Les canalisations doivent être posées sous – trottoirs en évitant au maximum les traversées des rues importantes.

# Tracés intermédiaires:

L'emplacement du ou des réservoirs étant fixé, il reste donc à définir le tracé du réseau reliant ce ou ces ouvrages aux points de distribution.

Le tracé à adopter doit :

- Etre le plus court possible pour réduire les frais du premier établissement.
- Eviter la multiplication des ouvrages coûteux ou fragiles (traversées de rivières, de canaux ou de routes importantes ).
- Eviter la traversée de massifs boisés, de propriétés privées qui nécessitent des expropriations.
- Suivre les voies publiques qui présentent certains avantages (approvisionnement moins onéreux, accès facile aux regards...)

La recherche du tracé le plus court, doit tenir compte des difficultés citées auparavant.

Et le tracé de la conduite de refoulement doit être en profile en long régulier avec une rampe qui monte vers le réservoir.

# 4) Profil en long:

Les impératifs du profil en long sont :

- 1) La profondeur : Les canalisations sont posées en tranchée avec une hauteur de couverture minimale de 0.80 m au dessus de la génératrice supérieure. Cette disposition permet de lutter contre le gel -dégel.
- 2) La pente : En principe si le courant d'eau est dans le même sens, il vaut mieux que les remontées soient faibles (pente de 2 à 3 pour mille) et les descentes fortes (pente de 4 à 6 pour mille) afin de pouvoir éliminer facilement les bulles d'air en les accumulant dans les points hauts.
- 3) Les équipements des points hauts : Les points hauts doivent être équipés de venteuses pour libérer les canalisations des bulles d'air emprisonnées. Ces appareils assurent en plus du dégazage, l'évacuation et l'admission de l'air à grand débit.
- 4) Les équipements des points bas : Les points bas sont équipés de robinets vannes de vidange ....

#### 5) Station de pompage:

Dans une station de pompage on trouve :

- Un groupe électropompe immergé.
- Un groupe électrogène ou ligne électrique.
- Un tableau de commande pour assurer la protection et le démarrage des groupes
- Un manostat qui a pour rôle la régulation des groupes, avec horloge programmable et robinet flotteur au niveau de réservoir.
- Une colonne montante.
- Une venteuse assurant au moins les deux fonctions suivantes :
  - Dégazage de l'air lors du fonctionnement normal de l'adduction.
  - Evacuation de l'air à grand débit lors du remplissage de la conduite
- Des clapets anti retour seront prévus également dont l'objectif est d'éviter le retour des eaux refoulées vers la pompe au moment de l'arrêt.
- Une vanne de sectionnement est également importante, elle a pour rôle d'isoler les traçons pour les interventions de réparation.
- Un élément en S doit être prévu pour se raccorder avec la conduite d'adduction.
- Un bout Uni pour le raccordement de l'élément en S avec la conduite de refoulement...

# B. Dimensionnement d'un réseau AEP:

# 1) Horizon de calcul:

L'horizon du calcul est généralement fixé pour une période de 15 à 20 ans, au-delà de cette période, les installations projetées deviennent grandes et, par la suite très coûteuses.

# 2) Perte de charge linéaire:

Les pertes de charge linéaires sont dues au frottement de l'eau avec les parois des conduites, pour les estimer il existe une grande variété de formules. Notons que la plus importante d'entre elles est la formule de Clebrook, elle a l'avantage d'être rationnelle et applicable sur tous les fluides, mais elle est complexe, et c'est cela qui justifie l'utilisation encore de quelques autres formules empiriques.

.

# Formule de Williams & Hazen:

C'est la plus utilisée des formules empiriques, toujours en usage dans certains pays, notamment aux USA et au Japan. La perte de charge est exprimée en fonction de son coefficient Cwh, variable selon les diamètres des conduites et, surtout, selon l'état de leur surface intérieure.

L'expression fondamentale est :

 $V = 0.849 \times C_{wh} \times R_{0.63} \times J^{0.54}$ 

Ou encore :

 $J = 10.69 \times Q^{1.852} \times C_{wh}^{-1.852} \times D^{-4.87}$ 

J : pertes de charge en mètres de hauteur du fluide.

D : diamètre intérieur de la conduite en m.

V : vitesse moyenne du fluide dans la section considérée, en m/s.

R: Rayon hydraulique = S/P en m.

 $C_{wh}$  : Coefficient de perte de charge dans la formule de Williams & Hazen.

Le Coefficient Cwh varie avec le matériau utilisé :

Béton, Amiante Ciment, Acier Revêtu: 130 à 150.

PVC: 140 à 150.

Fonte revêtue: 135 à 150.

# Formule Colebrook-White:

Celle-ci s'écrit :

 $\lambda^{-0.5} = -2 \ln(k/(3.71 \times D) + 2.51/R_e \times \lambda^{0.5}$ .

Elle donne la valeur de  $\lambda$  à porter dans la formule de Darcy ;

Formule de Darcy :  $J = \lambda V^2 / (2gD)$ 

J : pertes de charge en mètres de hauteur du fluide.

 $\boldsymbol{\lambda}$  : coefficient de pertes de charge sans unité.

D : diamètre intérieur de la conduite en m.

G: accélération de la pesanteur en m/s2 (g = 9.81  $m/s^2$ ).

k : coefficient de rugosité équivalent en m.

 $R_e$ : nombre de Reynolds Re = V.D.  $v^{-1}$ .

v: viscosité cinématique en  $m^2/s$  ( n = 1.31 e - 6  $m^2/s$ ).

En général les pertes de charge singulières représentent 10 % des pertes de charge linéaires. Ainsi les pertes de charge totales sont égales aux pertes de charges linéaires majorées de 10 %

.

# 3) Calcul des diamètres:

En fonction du débit Qp(//s ) à transiter, on peut calculer Les pertes de charge correspondant à un diamètre D avec une rugosité k , et ceci selon la formule de Colebrook .

Les vitesses dans les conduites devront être comprise entre une valeur minimale de  $0.3\ m/s$  et  $2\ m/s$ . car :

Pour  $V < 0.3 \, m/s$ : il y'a risque de dépôt et acheminement de l'air difficilement vers les points hauts.

Et pour  $V > 2 \, m/s$ : il y'a un accroissement du risque de dégradation de la conduite en plus d'un puissant coup de bélier.

La conduite sera dimensionnée pour transiter le débit de pointe journalière (débit moyen de la journée la plus chargée ) Qp avec une vitesse moyenne comprise entre 0.3 et 2 *m/s*.

Le diamètre de cette conduite doit faire l'objet d'un calcul économique, puisque à un diamètre donné correspond une perte de charge à vaincre et donc une puissance du groupe de pompage dont le coût est proportionnel à sa puissance.

# 4) Dimensionnement du réseau de distrubition :

Le diamètre à retenir doit satisfaire les 2 contraintes suivantes :

- Vitesse entre 0.3 et 2 m/s.
- La perte de charge occasionnée par le débit transité le long d'une conduite reste inférieur ou égale à la charge disponible.

# Charge disponible :

- Dh = côte de l'eau à l'ouvrage de captage côte d'arrivée (cas de l'adduction )
- = ( côte réservoir côte de la borne fontaine ) pression résiduelle requise (cas de distribution ).

Ces méthodes sont relativement simples à appliquer dans le cas d'une seule conduite. Quand il s'agit d'un réseau comportant plusieurs ramifications (exemple : desserte de plusieurs BF à partir d'un même réservoir ), le calcul devient très compliqué et le recours aux moyens informatiques est indispensable.