

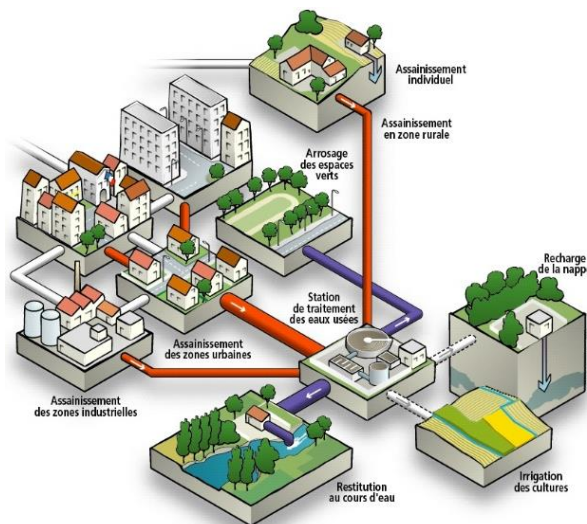


Secteur : BTP

Filière : TSGC



Techniques d'études et de réalisation des VRD



EL MORID MOHAMED
ISTA TIZNIT

Sommaire :

Chapitre 1 : Généralités sur les voiries et réseaux divers (VRD).....	4
I- Définition :	4
II- Les intervenants dans un projet de VRD :	4
III- Les documents de base :	4
IV- Disposition des réseaux :	5
Chapitre 2 : Eclairage public.....	6
I- Objectif d'éclairage public :	6
II- Les types d'éclairage :	6
III- Composants principaux d'un éclairage public :	6
IV- Les Différentes méthodes d'implantation des candélabres :	7
1- Implantation unilatérale :	7
2- Implantation bilatérale en quinconce :	7
3- Implantation bilatérale vis-à-vis :	7
4- Implantation axiale :	7
V- Calcul des inter-distances (e) et hauteur de feu (H) :	8
Chapitre 3 : Réseau de voirie.....	9
I- Nomenclature de la Voirie :	9
II- Quelques valeurs à retenir sur gabarit utilisateurs voiries.....	9
III- Les différents réseaux de l'emprise du trottoir :	10
IV- Les différents types de voies :	11
Chapitre 4 : Adduction en Eau Potable (AEP)	14
I- Cycle naturel de l'eau (Cycle Hydrique) :	14
II- Cycle Artificiel de l'eau :	14
1- Le captage de l'eau :	15
2- La purification de l'eau :	15
3- Transport et stockage de l'eau :	16
4- Transport, distribution et consommation de l'eau :	16
5- Les égouts :	17
6- L'épuration de l'eau :	17
7- Retour de l'eau dans l'environnement :	17
III- Les étapes d'une étude d'AEP :	17
IV- Calcul des besoins en eau potable :	18
1- Les niveaux de besoin.....	18
2- Relations entre Volume Consommé/Volume Distribué/Volume Produit :	18
3- Les types de besoins :	19
4- Calcul des dotations :	20
5- Calcul de la population :	21
6- Variations des besoins :	24
Chapitre 5 : Assainissement public : Eaux usées.....	27
I- Généralités :	27
1- Définition :	27
2- Natures des eaux d'assainissement :	27
3- Types des systèmes d'assainissement :	28
4- Avantages et Inconvénients de ces systèmes :	28
5- Composantes d'un réseau d'assainissement :	29
II- Dimensionnement du réseau des eaux usées.....	30

1-	Débit moyen journalier des EU : $Q_m(EU)$	30
2-	Débit de pointe des EU : $Q_p(EU)$	31
3-	Calcul des sections des conduites :	31
4-	Vérification des conditions d'autocurage :	32
5-	Les contraintes de calage des EU :	32
	Chapitre 6 : Assainissement public : Eaux pluviales.....	39
I-	Notions Générales :	39
1-	Bassin Versant (BV) :	39
2-	Notion de temps de retour (Période de retour)	39
II-	Méthodes d'évaluation du débit des Eaux Pluviales (EP) :.....	40
1-	Méthode superficielle de Caquot :	40
2-	Méthode Rationnelle :	42
III-	Assemblage des bassins versants élémentaires :	43
1-	Formules d'assemblages :	43
2-	Conditions sur le débit d'assemblage :	46
IV-	Dimensionnement des conduites des eaux pluviales.....	46
	Annexe :	50

Chapitre 1 : Généralités sur les voiries et réseaux divers (VRD)

I- Définition :

Les VRD (Voirie et Réseaux Divers) rassemblent les différents raccordements et branchements réalisés sur un terrain pour qu'il soit viabilisé : voies d'accès, alimentation en eau potable, en électricité, en gaz, réseau de télécommunication, et évacuation des eaux usées. Le terrain, à l'origine nu, est dit équipé, une fois ces réalisations faites. C'est une étape importante dans la construction du bâtiment.

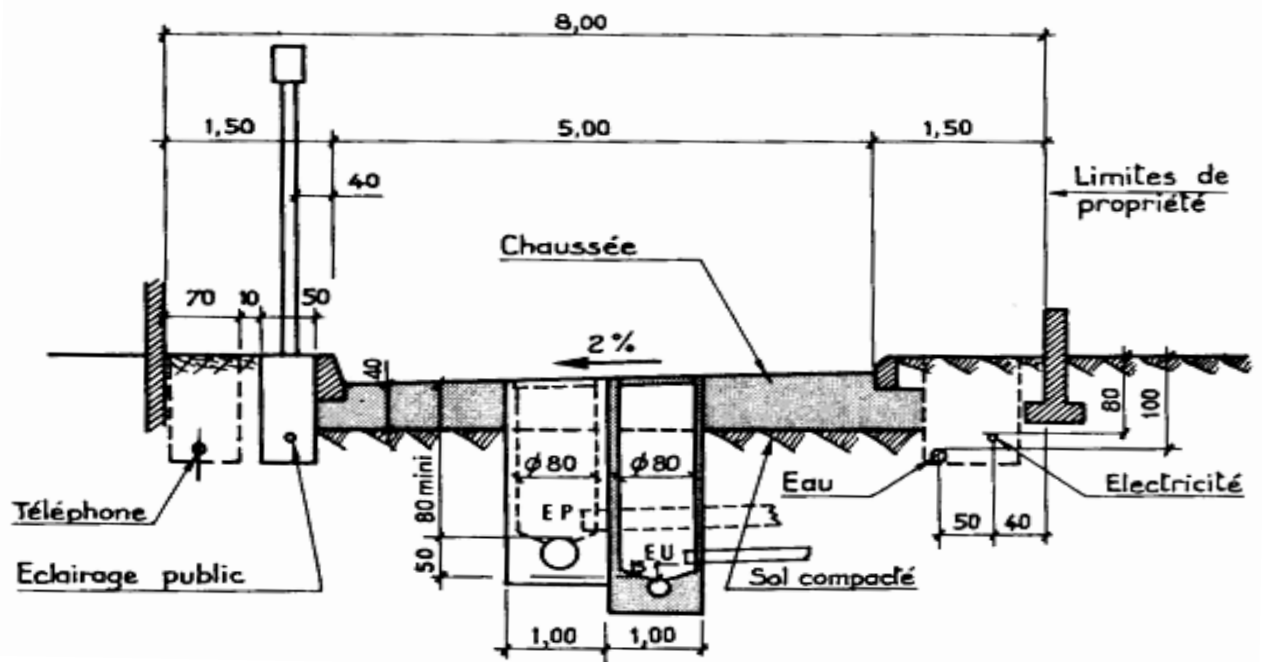
II- Les intervenants dans un projet de VRD :

- Maître d'Ouvrage et/ou Maître d'Ouvrage délégué ;
- Maître d'œuvre (Architecte ou BET) ;
- Bureaux d'études techniques : VRD, structures, ... ;
- Entreprises ;
- Géomètre Topographe ;
- Conducteur de Travaux ;
- Chef de Chantier ;
- Les services concernés : ONEE, Maroc Telecom... ;
- Administrations : Préfecture, Commune, Agence Urbaine, ...

III- Les documents de base :

- Le plan de masse, qui donne le contour extérieur des bâtiments et leurs emplacements sur le terrain par rapport aux voies, parkings, espaces verts ... ;
- Le plan de situation, qui permet de localiser géographiquement le terrain ;
- Le plan de géomètre, qui définit l'état actuel du terrain, son occupation, ses limites, ses bornes et sa cotation complète ;
- Le rapport des sondages effectués ;
- Les plans des ouvrages existants en surface, ou enterrés ;
- Le permis de construire s'il a été délivré, ou une copie du dossier déposé pour autorisation ;
- Une note indiquant les démarches administratives déjà effectuées soit par le Maître d'Œuvre soit par le Maître d'Ouvrage ;
- Le calendrier des travaux : date de démarrage, ce qui va conditionner la durée de l'étude ;
- L'estimation sommaire du projet.

IV- Disposition des réseaux :



Réseau	Profondeur (m)	Grillage	Chaussée
Eaux pluviales	1.00	-	Possible
Eaux Usées	1.50	-	Possible
Eaux potables	0.80 - 1.20	Bleu	Déconseillé
Electricité	0.75	Rouge	Déconseillé
Téléphonie	0.75	Vert	Déconseillé

Chapitre 2 : Eclairage public

L'éclairage public est l'ensemble des moyens d'éclairage mis en œuvre dans les espaces publics, à l'intérieur et à l'extérieur des villes, très généralement en bordures des voiries et places, nécessaires à la sécurité ou à l'agrément de l'homme.

I- Objectif d'éclairage public :

L'amélioration de la visibilité permet de :

- Favoriser la sécurité des déplacements.
- Diminuer l'éblouissement dû aux feux de véhicules.
- Améliorer l'estimation des distances.
- Favoriser la sécurité des personnes et des biens.
- Permettre une vie urbaine nocturne.
- Valoriser les espaces publics.

II- Les types d'éclairage :

- L'éclairage fonctionnel : L'enjeu premier est de sécuriser. L'esthétique du matériel d'éclairage et le rendu des couleurs ne sont pas prioritaires. Il s'agit souvent d'un éclairage uniquement routier.
- L'éclairage décoratif : Le mobilier et l'éclairage participent à l'esthétique urbaine. Ils doivent rendre le lieu agréable à vivre, tout en le sécurisant. Le matériel d'éclairage doit donc procurer un bon rendu visuel diurne, comme nocturne. L'éclairage d'agrément sera utilisé pour un éclairage routier, piétonnier ou mixte routier/piéton.
- L'éclairage d'accentuation : l'éclairage doit mettre en valeur un site, en créant une ambiance singulière. Il lui offre ainsi un visage nocturne par une illumination et/ou un balisage adapté. L'éclairage d'accentuation n'est à priori pas destiné à sécuriser un lieu.
- Les illuminations festives : ces illuminations non permanentes s'attachent à un évènement particulier, souvent synonyme de fête. Les illuminations festives ne sont pas destinées à sécuriser un lieu.

Un projet d'éclairage doit être spécifié dans un cahier des charges contenant, notamment, les enjeux urbains, les objectifs du projet et les contraintes techniques. Les fonctions du site et ses usages doivent, autant que possible, être connus avant la réalisation du projet, de jour comme de nuit.

III- Composants principaux d'un éclairage public :

Un réseau d'éclairage public est composé principalement de :

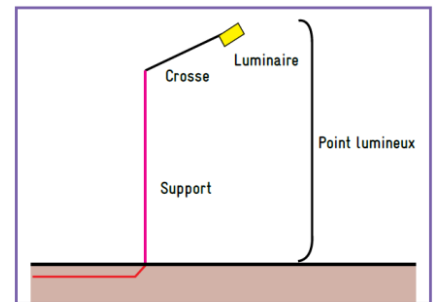
- **Armoire** : appelée également Coffret de commande et de protection (CCP) : il permet l'alimentation du réseau d'EP à partir du réseau de distribution d'énergie. Il renferme des équipements de comptage de la consommation électrique, de commande d'allumage (les horloges) et de protection (Disjoncteur).



- **Câbles du réseau électrique** : on distingue deux types principaux de réseau :
 - Le réseau indépendant en câbles souterrains : le plus recommandé et sécurisé et qui offre un éclairage approprié.

- Le réseau mixte sur poteaux et sur façades : il ne permet pas d'obtenir un éclairage conforme aux normes en vigueur vu que l'inter-distance entre supports est imposée par le réseau BT de distribution desservant les habitations et non en fonction des besoins d'éclairage.

- **Les Points Lumineux** : C'est la partie qui porte la source lumineuse et la plus exposée aux pannes et aux aléas. Un point lumineux est composé essentiellement d'un luminaire, d'une crosse et d'un mât.

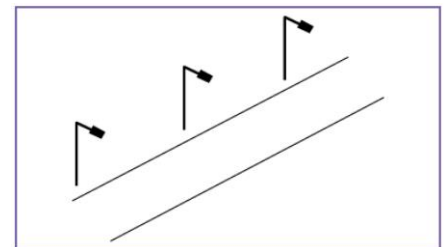


Principaux composants d'un point lumineux

IV- Les Différentes méthodes d'implantation des candélabres :

1- Implantation unilatérale :

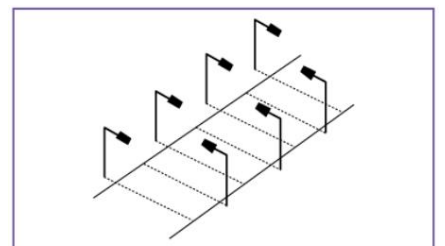
Quel que soit la voirie, l'implantation ne se fait que sur un seul côté. Ce type d'implantations proposées dans la condition où h (hauteur de candélabre) est supérieur ou égale à la largeur de la voie de circulation ($h \geq L$). Ceci est choisi pour que la route soit bien éclairée. La plupart du temps, les mâts sont implantés d'un seul côté de la rue à éclairer. Cette installation est le moins onéreuse.



Implantation unilatérale

2- Implantation bilatérale en quinconce :

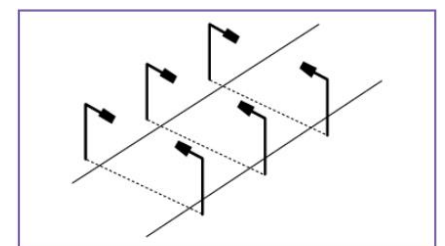
Les luminaires sont situés de chaque côté de la route, en implantation alterné (ou zigzag). On l'utilise principalement lorsque la largeur de la route est comprise entre 1 et 1.5 fois la hauteur des candélabres ($h \leq L \leq 1.5h$).



Implantation bilatérale en quinconce

3- Implantation bilatérale vis-à-vis :

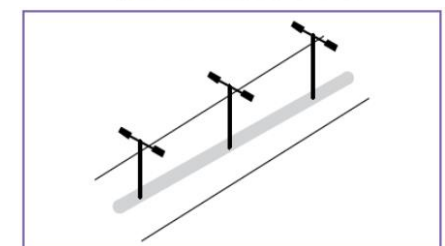
Les luminaires sont implantés des deux côtés de la route et en opposition. On l'utilise principalement lorsque la largeur de la route est supérieure à 1.5 fois la hauteur des candélabres ($L \geq 1.5h$).



Implantation bilatérale vis-à-vis

4- Implantation axiale :

Les Luminaires sont implantés au-dessus de la zone centrale. Cette solution est équivalente à une installation unilatérale pour chaque chaussée individuelle.



Implantation axiale

Tableau Récapitulatif des principaux types d'implantation des points lumineux

Type d'implantation recommandé	Rapport entre h et l	Type de chaussée	Observations
Implantation unilatérale	$l \leq h$	Chaussée simple à double sens de circulation	La luminance de la partie de la chaussée située loin des luminaires est plus faible que celle située du même côté
Implantation bilatérale en quinconce	$h < l \leq 1,5 h$		Un soin particulier doit être apporté à l'uniformité des luminances de la chaussée
Implantation bilatérale vis-à-vis	$1,5 < h$		-
Implantation axiale (rétro-bilatérale)	$l \leq h$	Chaussées doubles à deux sens de circulation	-

V- Calcul des inter-distances (e) et hauteur de feu (H) :

Les hauteurs de feux sont à préciser sur la base d'une étude photométrique lors des choix du matériel. Les distances inter-luminaires nommées inter-distances dépendent de la hauteur du feu. A titre d'ordre de grandeurs :

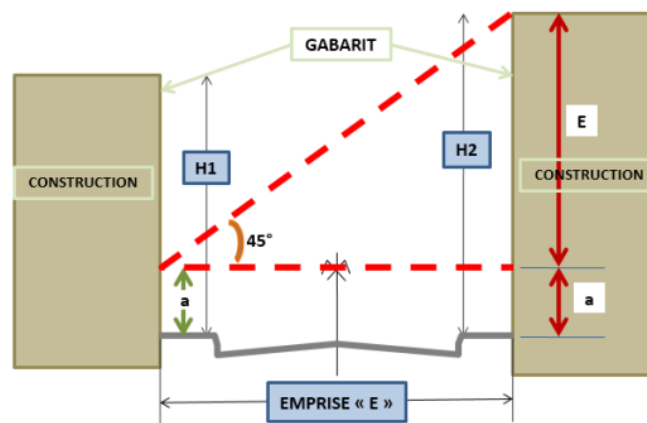
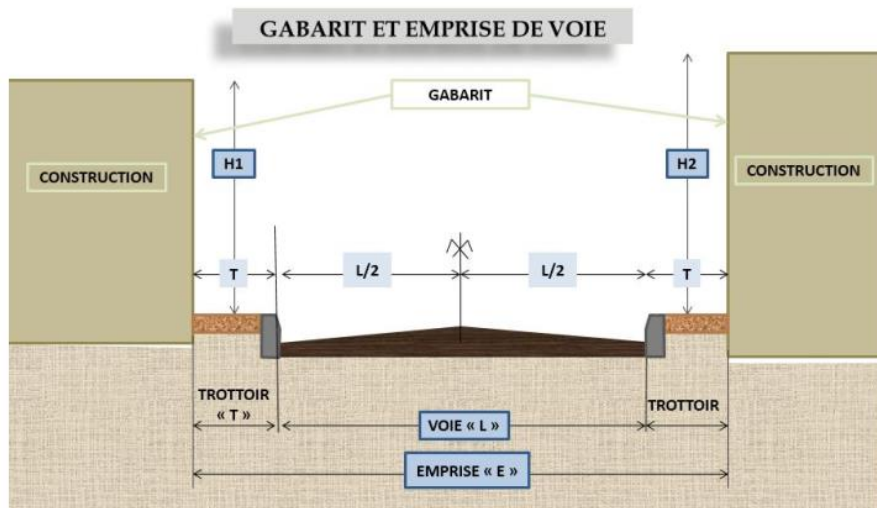
- La largeur de la chaussée (L) peut être égale à la hauteur du feu (H), donc $L=H$
- L'inter-distance est comprise entre $3H$ et $4H$.

Il est à noter que certaines luminaires LED permettent d'atteindre des inter-distances allant jusqu'à 6 fois la hauteur du feu, ce qui diminue le nombre de points lumineux et par conséquent réduit les frais d'exploitation, de maintenances et la facture énergétique.

Calcul du nombre de poteaux N :
$$N = (\text{Longueur de la voie} / e) + 1$$

Chapitre 3 : Réseau de voirie

I- Nomenclature de la Voirie :



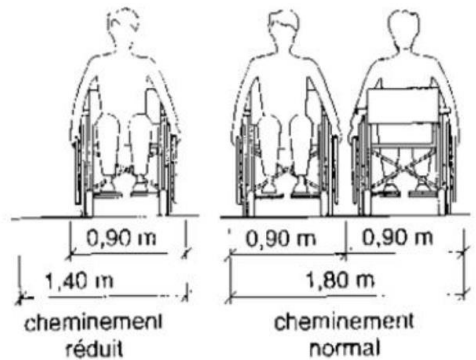
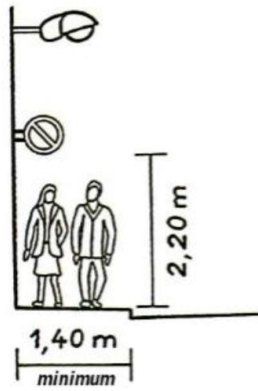
$$Emprise = \sup(H_1, H_2) - a$$

$$\sup(H_1, H_2) = Emprise + a$$

E : zone d'habitat *a* : zone d'activité (généralement prise égale à 3m).

II- Quelques valeurs à retenir sur gabarit utilisateurs voiries

Humain



a- Largeur minimale à prendre en compte

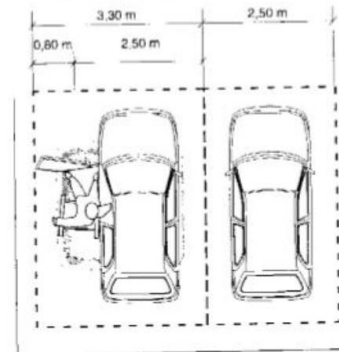
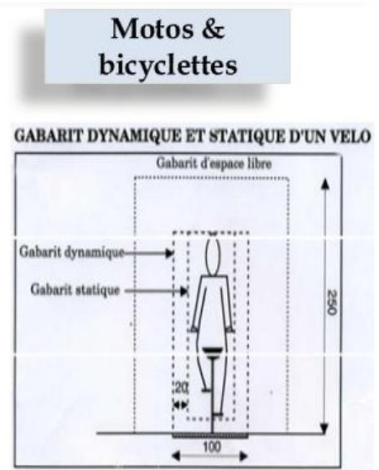
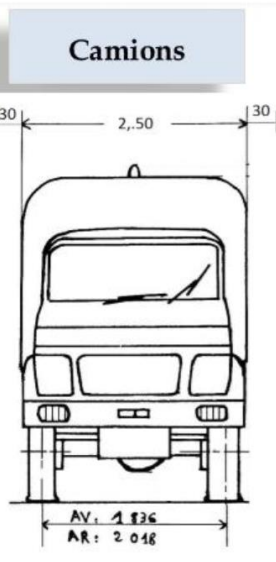
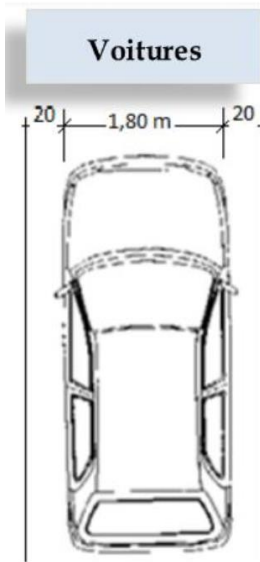
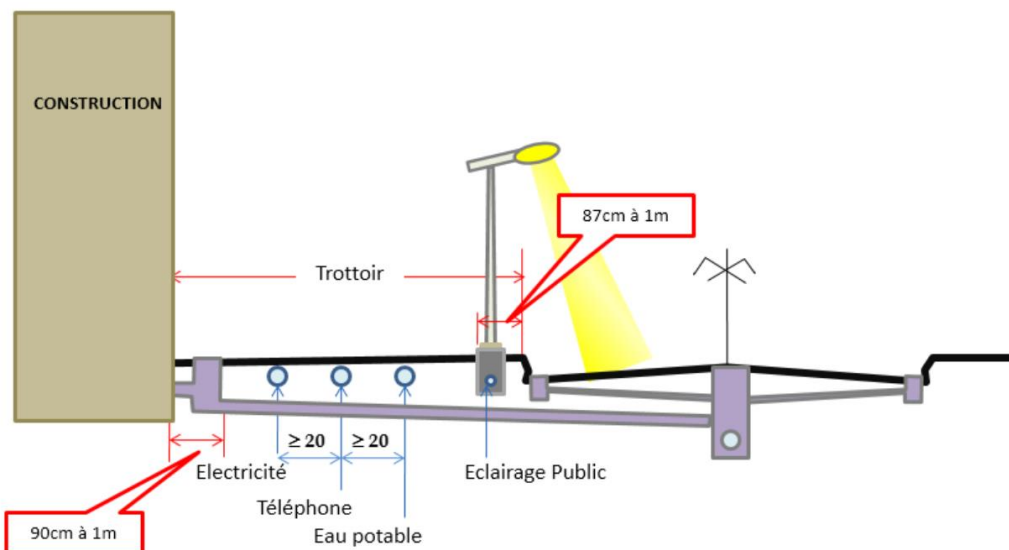


Fig. 4.39 • Place réservée aux handicapés moteurs.

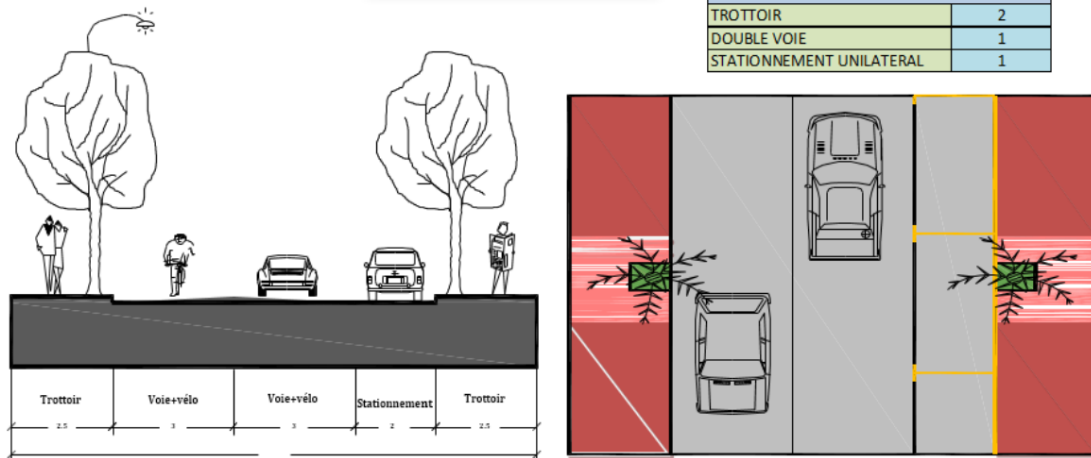


III- Les différents réseaux de l'emprise du trottoir :

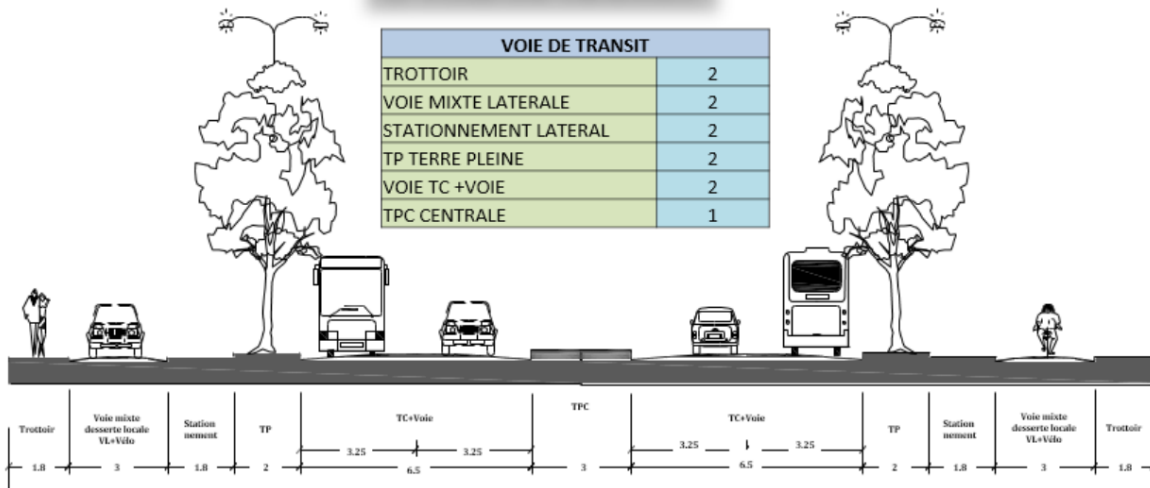


IV- Les différents types de voies :

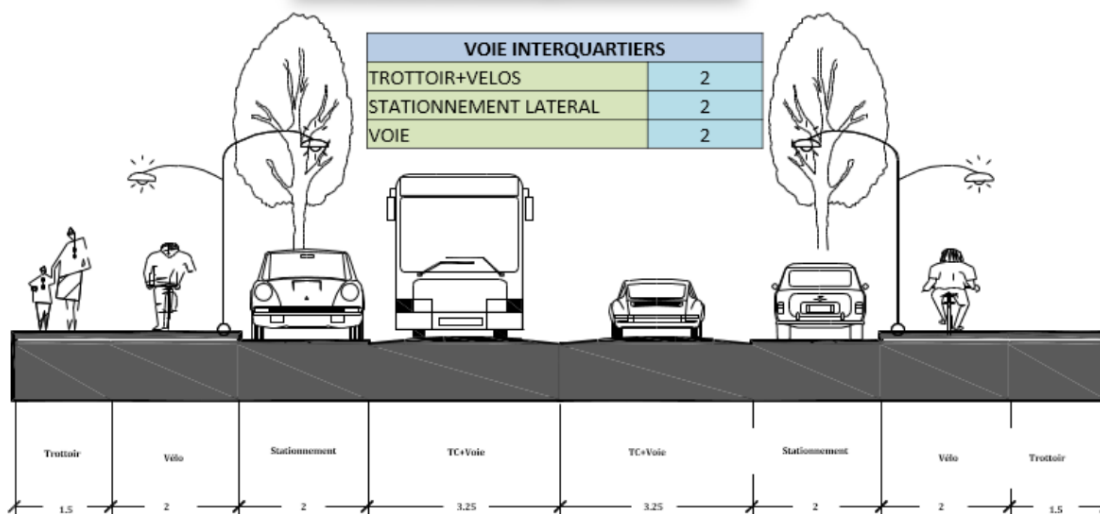
1- VOIE D'ILOTAGE



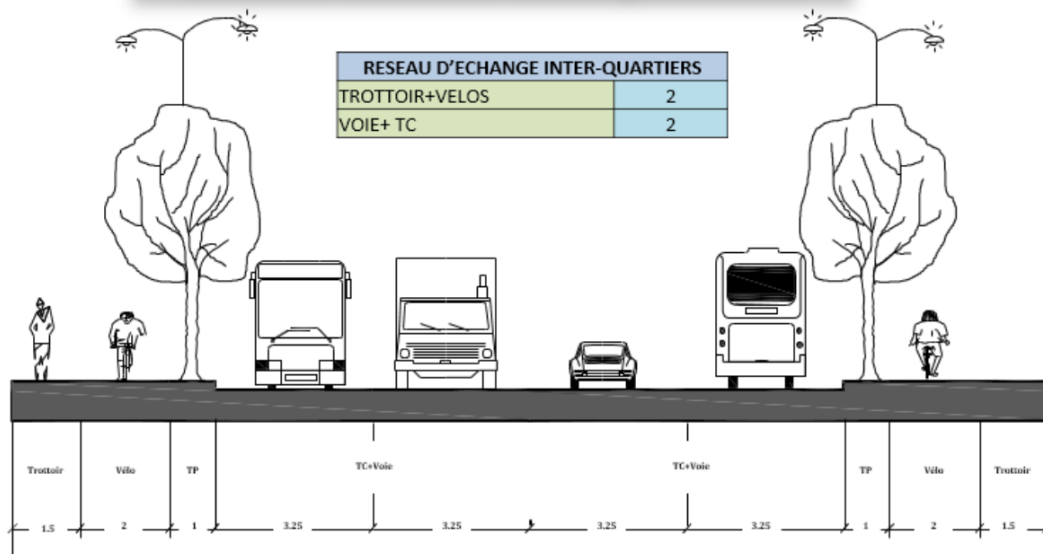
2- VOIE DE TRANSIT



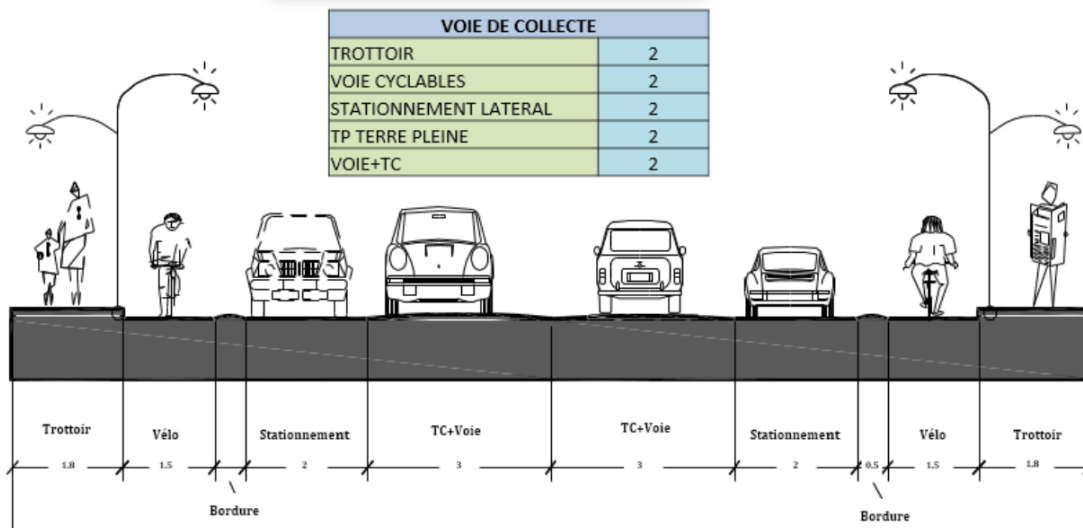
3- VOIE INTERQUARTIERS



4- VOIE D'ECHANGE INTERQUARTIERS



5- VOIE DE COLLECTE



D'une manière générale :

$$\text{EMPRISE} = 2T + 2S + 2RS + 4V + RC$$

$$\text{GABARIT} = \text{EMPRISE} + 1$$

- T : trottoir
- S : stationnement
- RS : refuge de séparation
- V : voie
- RC : refuge central

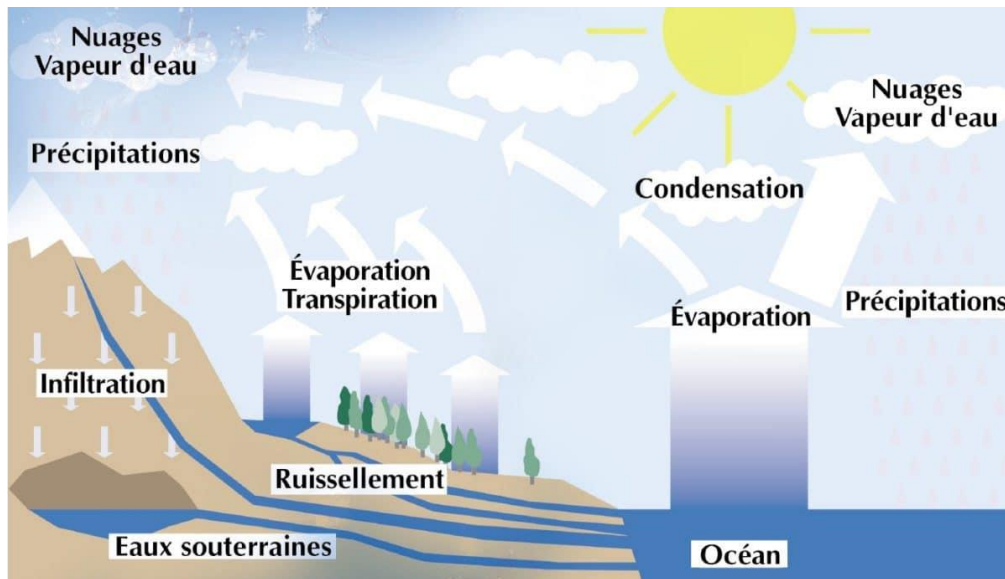
Exercice d'application :

Remplir le tableau suivant qui présente des emprises de voies urbaines avec les dimensions de trottoir, stationnement, voie, refuge central :

Emprise	Trottoir	Stationnement	Refuge de séparation	Voie	Voie	Refuge central	Voie	Voie	Refuge de séparation	Stationnement	Trottoir	Gabarit
30		2	0	3,5		2	3,5		0	2		
			0	3,5		0	0	0	0	0		13
	4,5		0		0	0	3,5	0	0	2		
25			0	3,5		0		3,5	0	0	4,5	
	6	2	0	3,5	3,5	0			0			
		5	0		3,5	0	3,5		0			41
		5	4						4		8	

Chapitre 4 : Adduction en Eau Potable (AEP)

I- Cycle naturel de l'eau (Cycle Hydrique) :



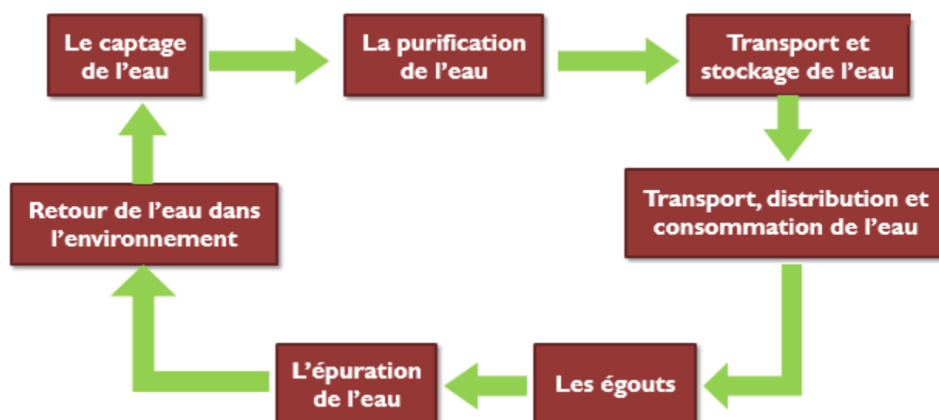
Le cycle naturel de l'eau comporte plusieurs phénomènes :

- La condensation ;
- La précipitation ;
- L'infiltration ;
- Le ruissellement ;
- L'évaporation ;
- La transpiration.

II- Cycle Artificiel de l'eau :

Le cycle artificiel de l'eau est constitué de différentes étapes qui commencent par le captage de l'eau dans le milieu naturel et se termine par le retour de l'eau épurée non-utilisée dans le milieu naturel.

Les différentes étapes du cycle artificiel de l'eau



1- Le captage de l'eau :

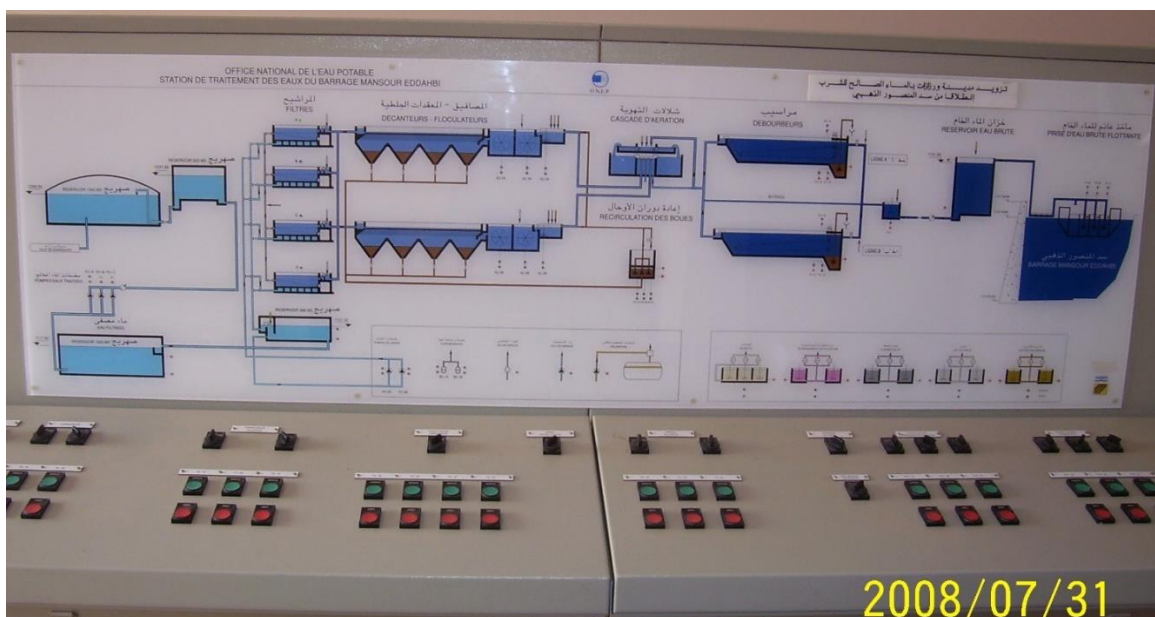
L'eau qu'on consomme provient généralement des rivières (barrages), des sources ou des nappes phréatiques à proximité des villes.



Barge flottante au niveau du barrage MANSOUR EDDAHBI à Ouarzazate

2- La purification de l'eau :

L'eau qu'on capte dans la nature, n'est pas potable. On lui applique des traitements physiques et chimiques pour obtenir la qualité nécessaire pour être potable.





3- Transport et stockage de l'eau :

L'eau est transportée vers de grands dépôts (châteaux d'eau) où elle est stockée. Les dépôts sont généralement situés sur les zones les plus élevées des villes pour réduire les besoins de pompage de l'eau.



4- Transport, distribution et consommation de l'eau :

L'eau est distribuée dans toute la ville vers les maisons, hôpitaux, écoles, usines, ... à travers un réseau de tuyaux. Un centre de contrôle surveille 24/24h la qualité et quantité de l'eau distribuée. Lors de tempêtes intenses qui provoquent une réduction de la qualité de l'eau des rivières, le centre de contrôle peut prioriser le transport et stockage d'eau en provenance des nappes phréatiques souterraines.

5- Les égouts :

Une fois l'eau utilisée, elle est rejetée dans les égouts. Ceux-ci constituent un réseau de tuyaux qui transportent l'eau « résiduelle » ou eau sale vers la station d'épuration...



6- L'épuration de l'eau :

L'épuration de l'eau consiste en un traitement chimique et physique qui permet d'éliminer les impuretés accumulées dans l'eau résiduelle. Une fois traitée, l'eau peut être rejetée dans l'environnement sans risques de pollution et peut être réutilisée pour des besoins secondaires (agriculture, arrosage des jardins, lavage des rues, ...). Elle n'est toutefois pas potable !

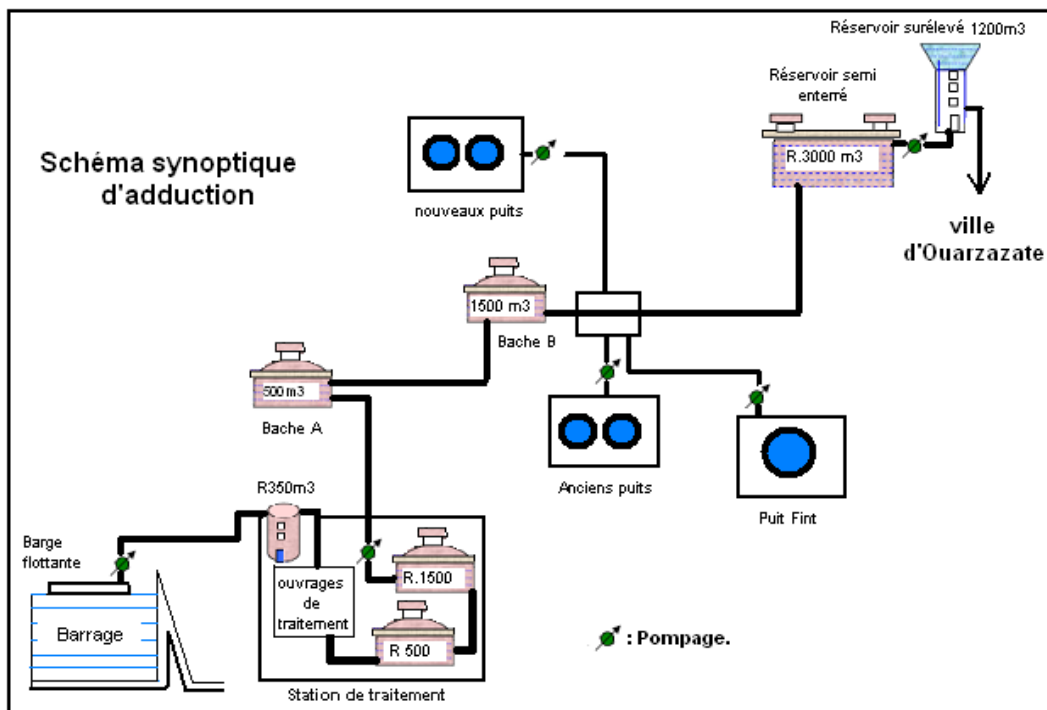


7- Retour de l'eau dans l'environnement :

L'eau épurée non-utilisée est rejetée dans l'environnement (rivières, mer, ...) par l'intermédiaire de conduits spéciaux. Le cycle artificiel de l'eau est ainsi bouclé !



Exemple du schéma d'adduction de la ville d'Ouarzazate :



III- Les étapes d'une étude d'AEP :

- Avoir un plan d'aménagement (plan de masse) ;
- Avoir un plan topographique ;
- Tracer le réseau ;
- Délimiter les zones nodales ;

- Calculer les Débits nodaux ;
- Proposer le Diamètre de chaque conduite ;
- Vérifier la condition Vitesse et Pression, si l'une de ces conditions n'est pas satisfaite, on change le Diamètre.

Les contraintes à prendre en considération sont :

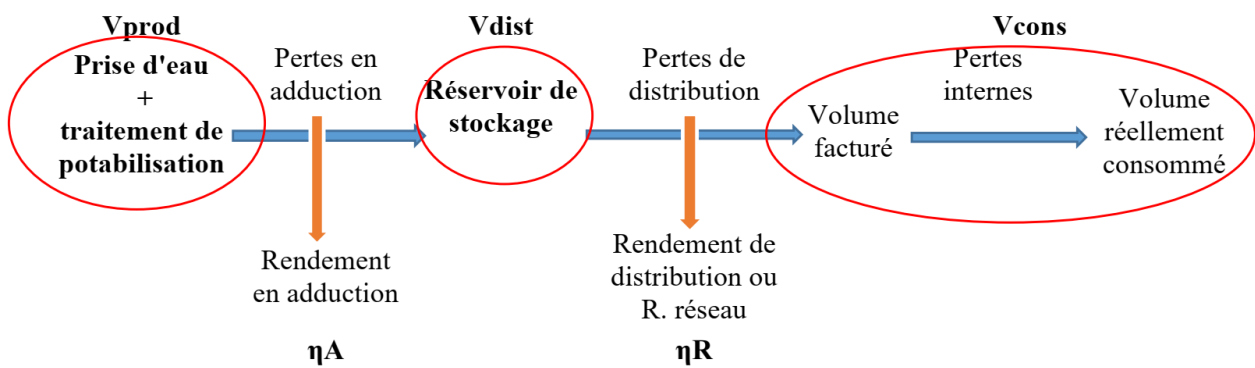
- Pression au sol recommandée de 30 à 40 m de CE (colonne d'eau) possible jusqu'à 70 mètres. (10 mCE = 1bar).
- Nécessité de prévoir une pression de 8 à 10 mètres de CE au niveau de l'appartement le plus élevé (mais pas d'obligation).
- Prévoir si possible une pression dynamique de 2 à 3 bars au compteur des abonnés.
- Vérifier la condition d'incendie au niveau des Poteaux d'Incendie (PI), en supposant qu'un seul PI est en service, en majorant le débit de pointe horaire de 17 l/s au milieu urbain et 8 l/s au milieu rural) avec une pression au point du PI entre 6m et 10m de CE;
- Les pertes de charges dans le réseau ne doivent pas dépasser 10 m/km.

IV- Calcul des besoins en eau potable :

1- Les niveaux de besoin

Il existe trois niveaux de besoins :

Besoin à la Production	Besoin à la Distribution	Besoin à la Consommation
Quantité d'eau produite à partir des captages – les pertes	Quantité d'eau distribuée à partir des réservoirs	Quantité d'eau consommée par l'ensemble des utilisateurs
Vprod	Vdistr	Vcons



2- Relations entre Volume Consommé/Volume Distribué/Volume Produit :

$$V_{\text{dist}} = \frac{V_{\text{cons}}}{\text{Rendement reseau}}$$

$$V_{\text{prod}} = V_{\text{capté}} - \text{perte au niveau de la production} (V_{\text{prod}})$$

$$V_{\text{prod}} = \frac{V_{\text{distr}}}{\text{Rendement adduction}} = \frac{V_{\text{cons}}}{\text{Rendement global}}$$

Rendement global = Rendement adduction x Rendement distribution

η_r : Rendement réseau ou Rendement distribution

η_a : Rendement adduction

η_G : Rendement global

$$\eta_r = \frac{V_{\text{cons}}}{V_{\text{distr}}} \quad \eta_a = \frac{V_{\text{distr}}}{V_{\text{prod}}} \quad \eta_G = \frac{V_{\text{cons}}}{V_{\text{prod}}} \quad V_{\text{prod}} = \frac{V_{\text{distr}}}{\eta_a} = \frac{V_{\text{cons}}}{\eta_G} \quad \eta_G = \eta_a * \eta_r$$

3- Les types de besoins :

a) Besoins domestiques (BD) :

Ce sont les Besoins de la population branchée PB (au réseau d'adduction en eau potable « AEP ») + Besoins de la population non branchée PNB.

$$\mathbf{BD = Dot_PB * PB + Dot_PNB * PNB}$$

Dot_PB : dotation population branchée (l/hab/j)

PB : population branchée (hab)

Dot_PNB : dotation population non branchée (l/hab/j)

PNB : population non branchée (hab)

P : Population Globale (hab) P= PB+PNB

b) Besoins des Administration (BA) :

Deux formules :

$\mathbf{BA = DA * P}$ <p>DA : Dotation des administrations en (l/hab/j) P : Population Globale (hab)</p>	$\mathbf{BA = DA * S}$ <p>DA : Dotation des administrations en (l/ha/j) ou (l/m²/j) S : Surface des administrations en ha ou m²</p>
---	---

c) Besoins Industriels (BI) :

Deux formules :

$\mathbf{BI = DI * P}$ <p>DA : Dotation des industries en (l/hab/j) P : Population Globale (hab)</p>	$\mathbf{BI = DI * S}$ <p>DA : Dotation des industries en (l/ha/j) ou (l/m²/j) S : Surface des zones industrielles en ha ou m²</p>
--	--

Le volume global consommé :
$$\mathbf{V_{\text{cons}} = BD + BA + BI}$$

4- Calcul des dotations :

a) Dotation moyenne de la population branchée :

$$\text{Dot}_{\text{PB}} = \frac{\text{Cons}_{\text{PB}}}{\text{PB}}$$

La population branchée est calculée : $\text{PB} = \text{TB} * \text{P}$

Avec :

- Dot_{PB}** : dotation population branchée (l/hab/j)
- Cons_{PB}** : consommation population branchée (m³ ou l/j)
- PB** : population branchée (hab)
- P** : population totale (hab)
- TB** : Taux de branchement (%)

a) Dotation moyenne de la population non branchée :

$$\text{Dot}_{\text{PNB}} = \frac{\text{Cons}_{\text{PNB}}}{\text{PNB}}$$

- Dot_{PNB}** : dotation population non branchée (l/hab/j)
- Cons_{PNB}** : consommation population non branchée (m³ ou l/j)
- PNB** : population non branchée (hab)

b) Dotation des Equipements Administratifs :

$$\text{DA} = \frac{\text{CEA}}{\text{P}}$$

- DA** : dotation des équipements administratifs (l/hab/j)
- CEA** : consommation des équipements administratifs (m³ ou l/j)
- P** : population totale (hab)

c) Dotation Industrielle :

$$\text{DI} = \frac{\text{CI}}{\text{P}}$$

- DI** : dotation industrielle (l/hab/j)
- CI** : consommation des zones industrielles (m³ ou l/j)
- P** : population totale (hab)

Exercices d'applications :

Exercice 1 :

Soit une agglomération de 18652 hab, dont 6820 hab sont non branchés au réseau d'Alimentation en Eau Potable (AEP). Les dotations relatives à la zone d'étude sont :

$$\text{DPB} = 65 \text{ l/hab/j} \quad ; \quad \text{DPNB} = 25 \text{ l/hab/j} \quad ; \quad \text{DI} = 35 \text{ l/hab/j} \quad ; \quad \text{DA} = 10 \text{ l/hab/j}$$

Calculer le besoin global de cette agglomération.

Exercice 2 :

Soit une population de 25375hab, le taux de branchement au réseau d'AEP est 78%.
Les administrations occupent une superficie SA=7.5 ha, les zones industrielles SI=27 ha.

Les dotations à adopter pour cette population sont :

$$DPB= 60 \text{ l/hab/j} \quad ; \quad DPNB= 20 \text{ l/hab/j} \quad ; \quad DI= 200 \text{ l/ha/j} \quad ; \quad DA= 600 \text{ l/ha/j}$$

Calculer le besoin global de la population ?

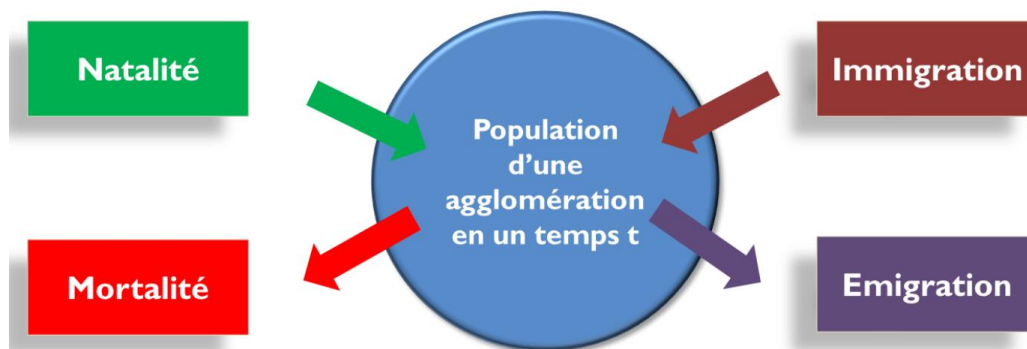
5- Calcul de la population :

La connaissance de la population à desservir à un horizon « N » pour un projet d'AEP permet l'estimation du volume d'eau à fournir de manière directe. Cette estimation se fait sur la base de données statistiques de la population (recensement), particulièrement, son taux de croissance.

Cependant, plusieurs facteurs socio-économiques influencent le taux de croissance (sur 5 à 10 dernières années) :

- Emigration ou immigration ;
- Développement urbain accéléré ou décéléré ;
- Installation ou ouverture d'unités économiques...

NB : On dimensionne à un Horizon de N temps (c.-à-d. projection sur un nombre d'année)



$$\boxed{P(t_1) - P(t_0) = \text{Flux}_{\text{entrant}} - \text{Flux}_{\text{sortant}}}$$

Pour calculer l'évolution d'une population, deux étapes sont à suivre :

Etape1 : Calculer le taux d'accroissement de la population en se basant sur les deux derniers recensements de cette population (Au Maroc le recensement de la population se fait tous les 10 ans : 1994-2004-2014).

Etape 2 : Adopter ce taux d'accroissement pour estimer la population future. Selon l'évolution prévue au future, ce taux peut être revu en hausse (cas d'évolution des activités économiques, industrielles...) ou en baisse (tendance d'émigration...)

Il existe trois méthodes pour calculer l'évolution d'une population :

a) **Méthode Arithmétique** : (En cas d'une population vieille et stable)

$$K = \frac{P_n - P_0}{t_n - t_0} \quad P_n = P_0 + K(t_n - t_0)$$

Avec :

P_n : population à l'année t_n

P_0 : Population à l'année T_0

K : Taux d'accroissement annuel

n : nombre d'année où il y a croissance

b) **Méthode Géométrique** : (En cas d'une population jeune en pleine expansion.)

$$K = \frac{\ln(P_n) - \ln(P_0)}{t_n - t_0} \quad \text{et} \quad P_n = P_0 e^{K(t_n - t_0)}$$

c) **Méthode à taux décroissant** :

Cette méthode s'applique principalement à des populations qui n'ont plus d'espace pour se développer. Le taux d'accroissement est proportionnel à l'écart entre la population et la population de saturation.

$$K = \frac{-\ln\left(\frac{S - P_n}{S - P_0}\right)}{t_n - t_0} \quad \text{et} \quad P_n = S - (S - P_0)e^{-K(t_n - t_0)}$$

S : la population à saturation

d) **Méthode urbanistique** :

Il existe une quatrième méthode dite « urbanistique » permettant d'estimer la population en se basant sur la densité de la population et le taux de remplissage :

$$P = D \times T_R \times S \quad \text{avec} \quad T_R = S_H / S$$

P : Population (hab)

T_R : Taux de remplissage

S : Surface totale (ha)

S_H : Surface habitée (ha)

Exercices d'application :

Exercice 1 :

Les statistiques d'une population selon les recensements de 2004 et 2014 sont comme suit :

En 2004 : 13233 hab ; En 2014 : 15875 hab

On désire estimer les populations dans les horizons 2035, 2045 et 2055 selon les deux cas :

- Cas 1 : on suppose que la population est vieille et stable
- Cas 2 : On suppose que la population est jeune en pleine croissance

Exercice 2 :

Soit une population saturée en cours de décroissement. A saturation, la population est de 5000hab. En 2004 la pop était 4800 hab, en 2014 la population devient 4700 hab.

- 1) Calculer le taux de décroissement ?
- 2) Calculer la population à l'horizon 2030 ?

Exercice 3 :

Compléter le tableau suivant sachant que :

- La population est jeune en pleine expansion ;
- Les dotations :

DPB= 60 l/hab/j ; DPNB= 15 l/hab/j ; DA= 10 l/hab/j ; DI= 70 l/hab/j

	Statistique		Prévisions		
	2004	2014	2025	2035	2045
Populations	11433	13820			
Taux d'accroissement					
Taux branchement		84%	95%	98%	100%
Pop. Branchée					
Pop. non branchée					
Consommation (m ³ /j)					
Pop. Branche					
Pop. non branche					
Administration					
Industries					
Consommation Globale					
Rendement (%)					
Rendement Réseau		80%	85%	85%	85%
Rendement en Adduction		90%	92%	92%	92%
Rendement Global					
Besoin (l/s)					
à la distribution					
à la production					

6- Variations des besoins :

a) Variations journalières :

La demande en eau potable est variable le long des 365 jours de l'année. Ainsi, pour répondre à la forte demande durant certains jours d'été, Aïd AlAdha..., la consommation moyenne (= débit moyen journalier Q_m) calculée à partir des dotations doit être majorée par le Coefficient de pointe journalière K_j .

Le coefficient de pointe journalière K_j , est égale au rapport du volume moyen des trois journées successives les plus chargées de l'année sur le volume moyen de l'année.

$$k_j = \frac{V_{m3jc^+}}{V_{ma}}$$

En général, on prend $K_j = 1,3$ à $1,4$.

Ainsi le débit de pointe journalier (Q_{pj}) : **$Q_{pj} = K_j \times Q_m$**

b) Variation horaires :

Pour prendre en considération les variations de la demande en eau durant les 24 heures de la journée et répondre au pic de la demande durant les heures de pointe, le débit de pointe journalier doit être majoré par le Coefficient de pointe horaire K_h .

Le coefficient de pointe horaire K_h , est égale au rapport du volume moyen de l'heure la plus chargée de la journée sur le volume moyen de cette journée :

$$K_h = \frac{V_{mhc^+}}{V_{mjc^+}}$$

Il existe une méthode empirique pour calculer K_h , dite, méthode du « génie rural » :

$$K_h = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Q_m(1/s)}}$$

Avec : $1.5 \leq K_h \leq 3$

Ainsi le débit de pointe horaire (= Débit de dimensionnement du réseau d'AEP) **Q_{ph}** :

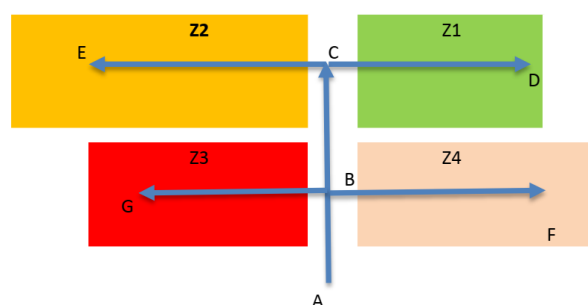
$$Q_{ph} = K_h \times Q_{pj} \quad \text{Soit :} \quad Q_{ph} = K_h \times K_j \times Q_m$$

Exercices d'application :

Exercice 1 :

On désire évaluer la demande en eau potable du lotissement suivant :

Les données relatives à ce lotissement sont récapitulées dans le tableau suivant :

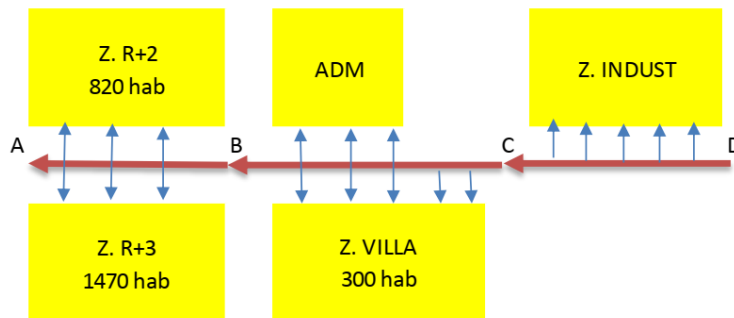


Zone	Surface (ha)	Type d'habitat	Dotation (l/hab/j)	Taux de remplissage	Densité (hab/ha)
Z1	100	Z. Villa	100	30%	100
Z2	80	Z. Villa	100	45%	100
Z3	85	R+2	65	80%	300
Z4	60	R+1	70	75%	250

- Calculer le débit moyen d'AEP de chaque collecteur ?
- Calculer le coefficient de pointe horaire ?
- Sachant que le coefficient de pointe journalier est $K_j=1.4$, déduire le débit de pointe dans chaque collecteur ?
- Sachant que le rendement de réseau et d'adduction sont respectivement 80% et 85%, déduire le débit à distribuer et le débit à produire ?

Exercice 2 :

On désire évaluer les besoins en eau potable de l'agglomération suivante :



Les dotations à adopter sont :

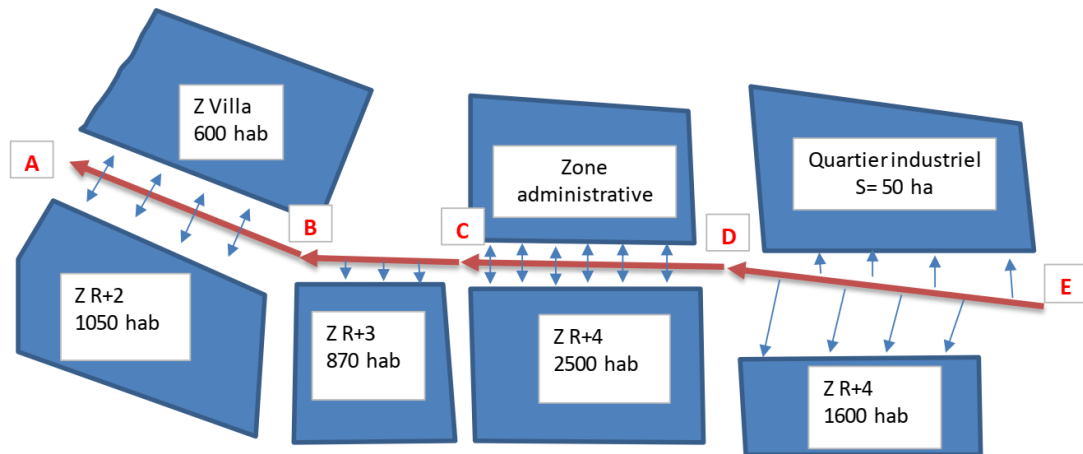
R+3 : 70 l/hab/j ; **R+2** : 75 l/hab/j ; **Villa** : 100 l/hab/j ; **Adm** : 10 l/hab/j ; **Indust** : 25 l/hab/j

Questions :

- Calculer le débit moyen d'AEP de chaque collecteur ?
- Calculer le coefficient de pointe horaire ?
- Sachant que le coefficient de pointe journalier est $K_j=1.35$, en déduire le débit de pointe dans chaque collecteur ?
- Sachant que le rendement de réseau et d'adduction sont de l'ordre de 80% chacun, en déduire le débit à distribuer et le débit à produire ?

Exercice 3 :

On désire évaluer la demande en eau potable de la population schématisée ci-dessus d'ici 15 ans. La population actuelle est répartie par zone d'habitat.



Les dotations à adopter sont :

R+4 : 60 l/hab/j ; R+2 et R+3 : 70 l/hab/j ; Villa : 120 l/hab/j ; Adm : 15 l/hab/j ; Indust : 700 l/ha/j

Questions :

- Calculer la population, par zone, à l'horizon 15 ans sachant qu'il s'agit d'une population jeune en pleine expansion avec un taux d'accroissement moyen de 3% ?
- Calculer le débit moyen d'AEP de chaque collecteur à l'horizon H15?
- Calculer le coefficient de pointe horaire ?
- Sachant que le coefficient de pointe journalier est $K_j=1.3$, en déduire le débit de pointe dans chaque collecteur ?
- Sachant que le rendement de réseau et d'adduction sont respectivement 75% et 80%, en déduire le débit à distribuer et le débit à produire ?

Chapitre 5 : Assainissement public : Eaux usées

I- Généralités :

1- Définition :

L'assainissement des agglomérations a pour objectif d'assurer l'évacuation de l'ensemble des eaux pluviales et usées ainsi que leur rejet dans les exutoires naturels sous des modes compatibles avec les exigences de la santé publique et de l'environnement.

2- Natures des eaux d'assainissement :

a) Eaux de ruissellement :

Les eaux de ruissellement comprennent les eaux de la pluie, les eaux de lavage et les eaux de drainage. La pollution des eaux de ruissellement est variable dans le temps, plus forte au début d'une précipitation qu'à la fin par suite de nettoyage des aires balayées par l'eau.

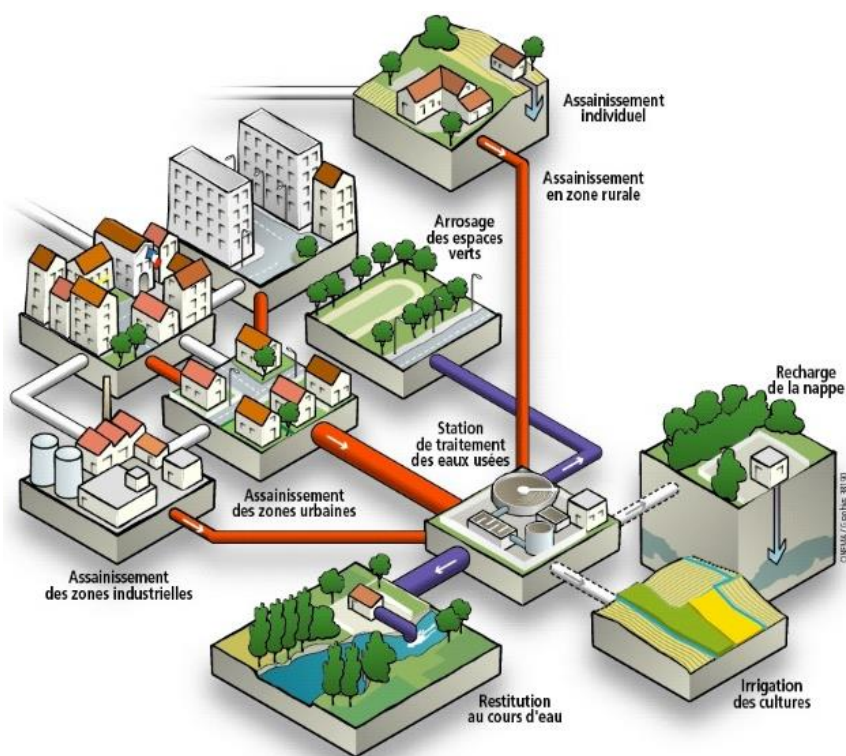
b) Eaux usées, d'origine domestique :

Les eaux usées d'origine domestiques comprennent :

- Les eaux ménagères (eaux de cuisine, de lessive, ...)
- Les eaux vannes (en provenance des WC, matières fécales et urines).

c) Eaux industrielles :

Les eaux industrielles sont celles en provenance des diverses usines de fabrication ou de transformation.



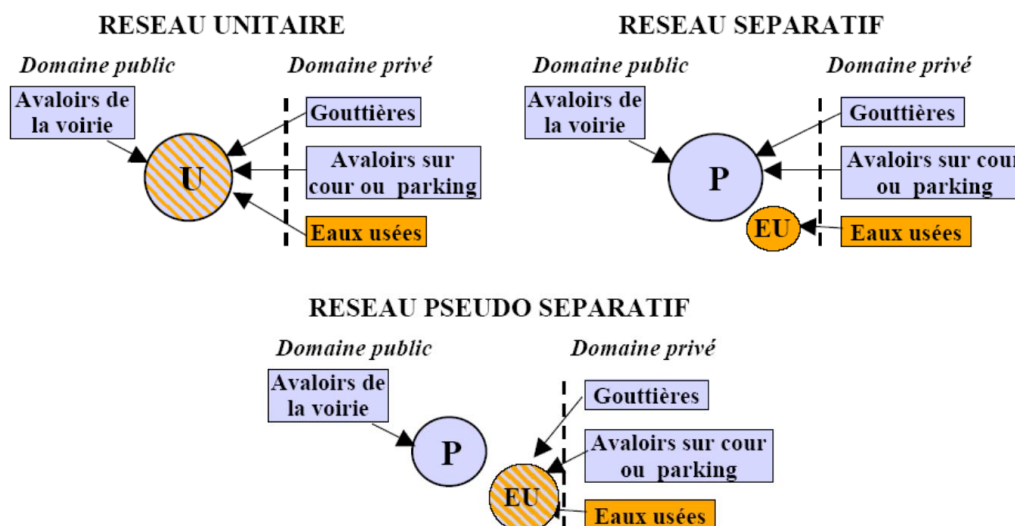
3- Types des systèmes d'assainissement :

Un système d'assainissement est l'ensemble des dispositifs utilisés dans la collecte, le transport et l'épuration des effluents.

On distingue deux catégories de système d'assainissement :

a) Systèmes collectifs :

- Système unitaire
- Système séparatif
- Système pseudo-séparatif



b) Système individuel ou autonome :

L'assainissement individuel est le système le plus utilisé en cas de populations dispersées ou à faible densité, aussi en cas de populations situées sur terrain accidenté. Dans ces cas, les eaux usées d'une habitation sont éliminées au niveau même de cette habitation ou à l'extérieur dans un terrain limitrophe.

4- Avantages et Inconvénients de ces systèmes :

<i>Système d'assainissement</i>	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<i>Séparatif</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Permet d'évacuer rapidement les eaux - Assure à la STEP un fonctionnement régulier 	<ul style="list-style-type: none"> - multiplication des branchements - Investissement important pour mise en place de 2 réseaux
<i>Unitaire</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Simple - Un seul réseau - Pas de risques d'erreur de branchement 	<ul style="list-style-type: none"> - Dilution des eaux de la STEP en période pluvieuse (débit très variable) - Ouvrages importants
<i>Pseudo-séparatif</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Eaux usées et eaux de ruissellement des habitations combinées - Pas de risques d'erreurs de branchement 	<ul style="list-style-type: none"> - Investissement important pour mise en place de 2 réseaux
<i>Individuel</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilité d'assainissement de zones de faible densité - Investissement réduit 	<ul style="list-style-type: none"> - Risques de pollution des eaux souterraines

5- Composantes d'un réseau d'assainissement :

Un réseau d'assainissement est composé d'un ensemble de canalisation et des ouvrages spéciaux :

a) Les canalisations :

- Canalisations amont (égouts) ;
- Collecteurs ;
- Emissaires.

b) Ouvrages spéciaux :

- ❖ Ouvrages de liaison surface-réseau (ouvrages de collecte et de visite) :
 - Les ouvrages de collecte
 - ✓ Branchements particuliers
 - ✓ Bouches d'égout
 - Les ouvrages de visite (Regards)
- ❖ Ouvrages de liaison réseau-milieu naturel
 - Emissaires de rejet
 - Déversoirs d'orage
- ❖ Ouvrages d'amélioration du fonctionnement :
 - Réservoirs de chasse
 - Ouvrages de dessablement
 - Siphons
 - Stations de relèvement
 - Ouvrages de prétraitement
- ❖ Dispositifs de stockage des eaux pluviales :
 - Bassins de rétention
 - Stockages à l'amont



Bouche d'égout



Canalisations



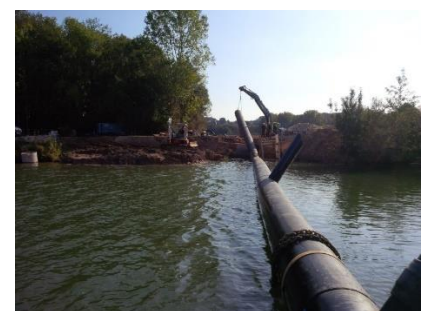
Collecteur



Bouche d'égout



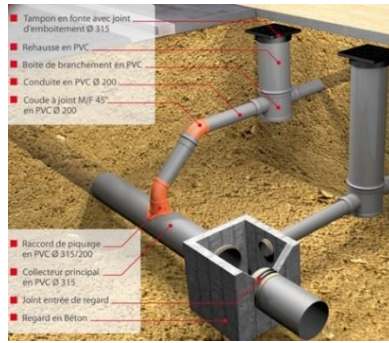
Emissaire



Emissaire de rejet



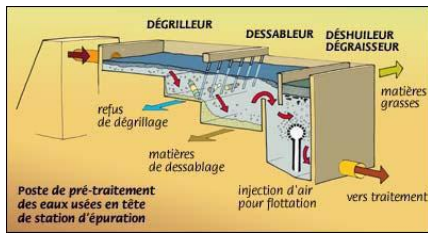
Siphon



Branchements particuliers



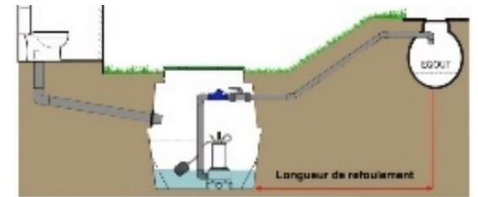
Regard de visite



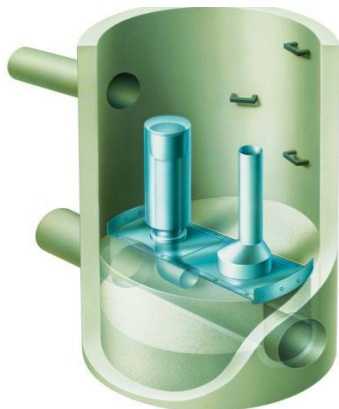
Ouvrage de prétraitement



Ouvrage de dessablement



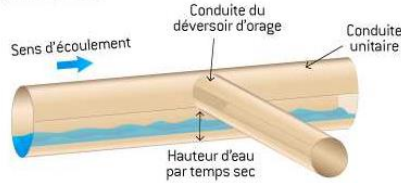
Station de relèvement



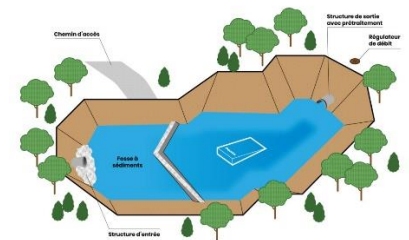
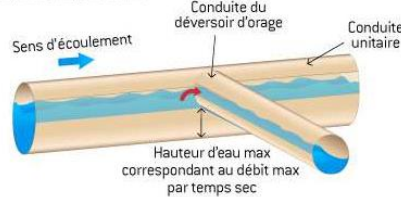
Réservoir de chasse

Déversoir d'orage

• Cas par temps sec



• Cas par temps de pluie



Bassins de rétention

II- Dimensionnement du réseau des eaux usées

1- Débit moyen journalier des EU : $Q_{m(EU)}$

La production des eaux usées dépend de la consommation d'eau potable, du taux de retour à l'égout « T_{re} » ainsi que du taux de raccordement au réseau d'égout « T_{ra} ».

$$Q_{m EU} = \tau_{re} \cdot \tau_{ra} \cdot Q_{m AEP}$$

τ_{re} : taux de retour à l'égout (environ 80%)

τ_{ra} : taux de raccordement au réseau d'égout (pour les nouveau projet on prend $\tau_{ra} = 100\%$)

$Q_{m EU}$: le débit moyen d'eaux usées

$Q_{m AEP}$: consommation moyenne d'eau potable.

2- Débit de pointe des EU : $Q_{p(EU)}$

$$Q_{p\ EU} = C_p \cdot Q_{m\ EU} \quad \text{avec : } C_p = \text{Coefficient de pointe des EU}$$

$$C_p = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Q_{m\ EU} (l/s)}} \quad \text{Avec : } 1.5 \leq C_p \leq 4$$

3- Calcul des sections des conduites :

Le diamètre de la conduite d'écoulement dépend du débit à évacuer et la pente à attribuer à la conduite. La dimension finale de la canalisation varie selon les diamètres courants de fabrication, ce qui apporte de ce fait, une capacité supplémentaire d'écoulement.

Dans l'instruction technique, les canalisations sont calculées suivant une formule d'écoulement résultant de celle de **CHEZY** :

$$V = C \sqrt{R_H \cdot I}$$

V : Vitesse d'écoulement en m/s

I : Pente de l'ouvrage en m/m

R_H : Rayon hydraulique avec :

$$R_H = \frac{S}{P}$$

S : section mouillée en m², **P** : périmètre mouillé en m

C : Coefficient donné par la formule de **BAZIN** :

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R_H}}}$$

γ : est un coefficient d'écoulement qui varie suivant les matériaux utilisés et la nature des eaux transportées , est pris égal à 0,25.

On obtient donc :

$$V = 70 \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

Et le débit (en m³/s) donné avec la relation :

$$Q = V \cdot S \quad \text{avec : } V \text{ en m/s} \quad \text{et} \quad S \text{ en m}^2$$

Pour des conduites circulaires :

- Le rayon hydraulique (voir tableau 1) :

$$R_H = \frac{S}{P} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2}{\pi \cdot D} = \frac{D}{4}$$

- **Le débit :**

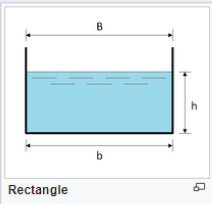
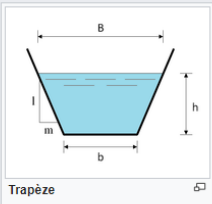
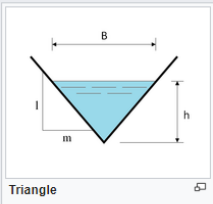
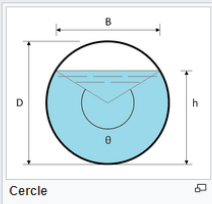
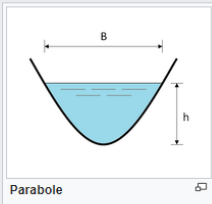
$$Q = V.S = V.\pi.\left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{\pi}{4}.V.D^2$$

La combinaison des formules du rayon hydraulique, débit et la formule de Chézy donne la formule simplifiée du diamètre :

$$D = \frac{4^{\frac{5}{8}}}{(70.\pi)^{\frac{3}{8}}} Q^{\frac{3}{8}} . I^{-\frac{3}{16}} \quad \text{soit : } D = \left(\frac{Q}{21,81.I^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

Approximativement :

$$D \approx 0.315.Q^{\frac{3}{8}} . I^{-\frac{3}{16}}$$

					
Largeur, B	b	$b + 2 \times mh$	$2 \times mh$	$(\sin \frac{\theta}{2}) \cdot D$ ou $2\sqrt{h \cdot (D - h)}$	$\frac{3}{2} \frac{S}{h}$
Surface, S	$b \times h$	$(b + mh) \cdot h$	$m \times h^2$	$\frac{1}{8} (\theta - \sin \theta) \cdot D^2$	$\frac{2}{3} Bh$
Périmètre mouillé, P	$b + 2h$	$b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}$	$2h \cdot \sqrt{1 + m^2}$	$\frac{1}{2} \theta \cdot D$	$B + \frac{8}{3} \frac{h^2}{B}$
Rayon hydraulique, R_h	$\frac{bh}{b + 2h}$	$\frac{(b + mh) \cdot h}{b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2}}$	$\frac{mh}{2 \cdot \sqrt{1 + m^2}}$	$\frac{1}{4} \left[1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right] D$	$\frac{2B^2 h}{3B^2 + 8h^2}$
Profondeur hydraulique, D_h	h	$\frac{(b + mh)h}{b + 2 \times mh}$	$\frac{1}{2} h$	$\left[\frac{\theta - \sin \theta}{\theta} \right] D$	$\frac{2}{3} h$

4- Vérification des conditions d'autocurage :

Il faut vérifier les trois conditions suivantes : (**Voir l'algorithme de vérification des conditions d'autocurage**)

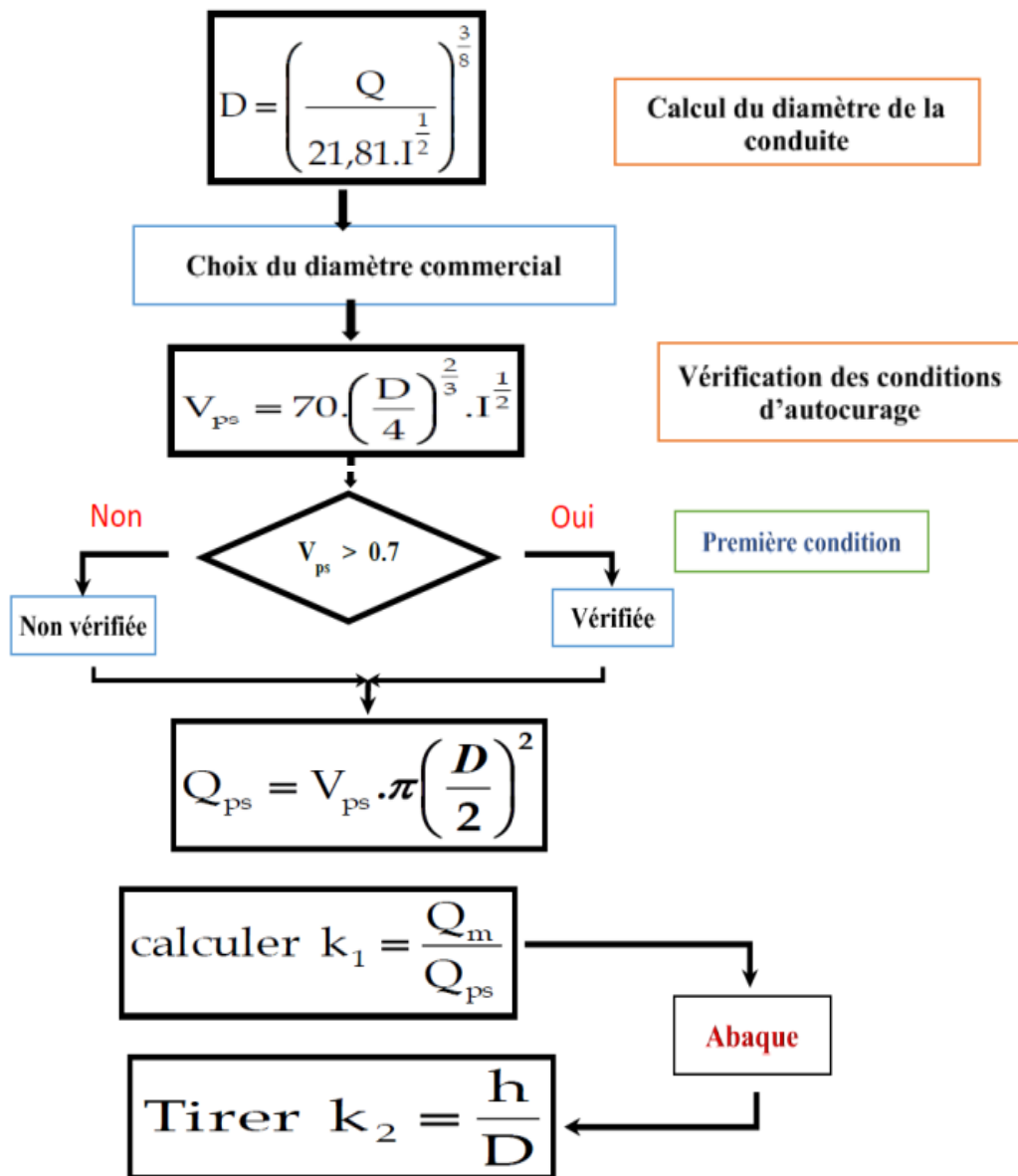
- **Condition 1** : à pleine ou à demi-section, une conduite circulaire doit assurer une vitesse d'écoulement de 0.70 m/s ;
- **Condition 2** : Il faut que le débit moyen assure un remplissage de la conduite en moyen égal aux 2/10ème du diamètre.
- **Condition 3** : Pour un remplissage égal aux 2/10ème du diamètre, la vitesse d'écoulement doit être au moins égale à 0.30 m/s ;

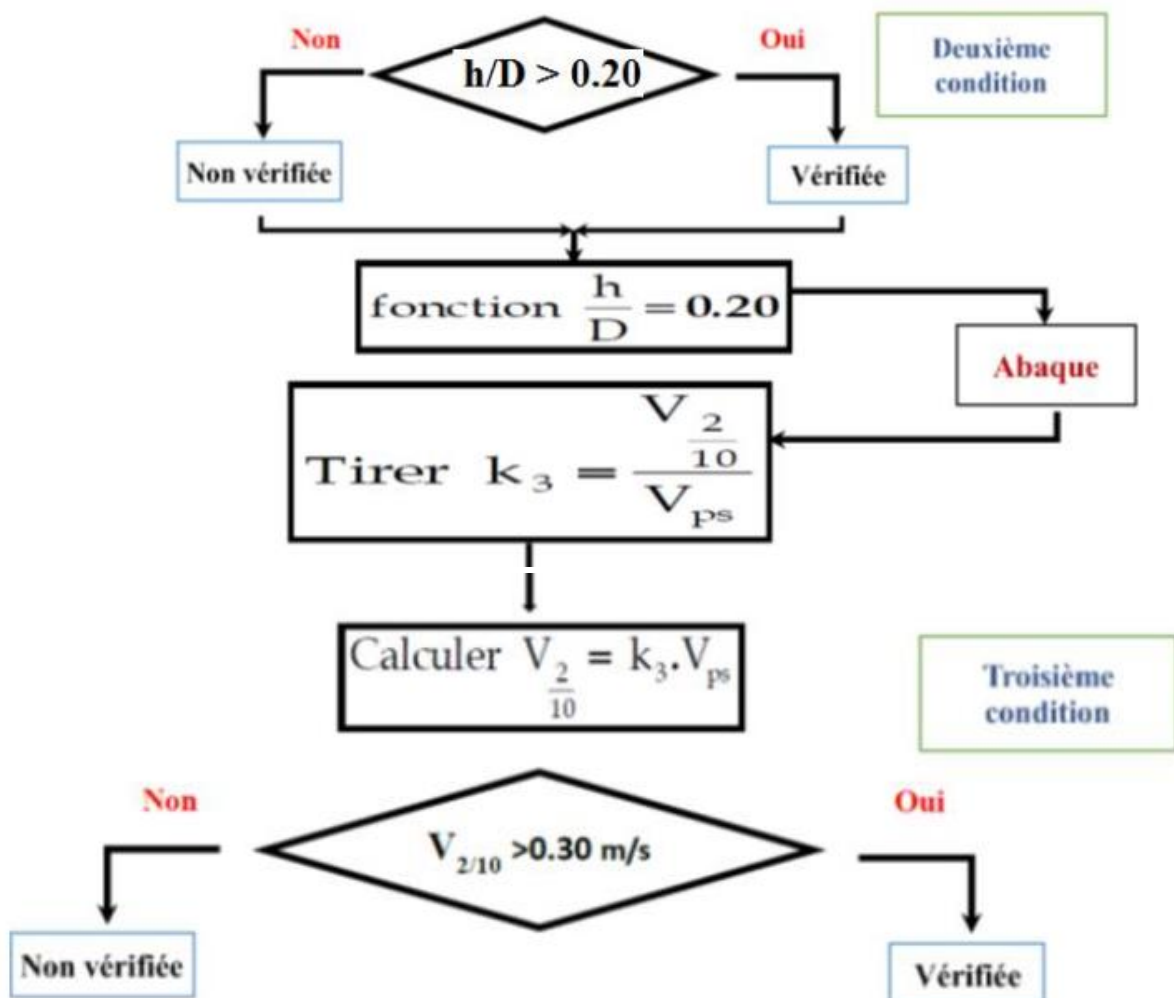
5- Les contraintes de calage des EU :

- Les canalisations des EU sont généralement circulaires.
- Pour éviter les risques d'obstructions, le diamètre minimal à adopter $D_{\min} = 200$ mm.

- La pente minimale $I_{\min} = 0.002 = 0.2\%$.
- La couverture minimale de la canalisation = 80cm.
- Il faut prévoir des regards de visite au niveau de chaque changement de direction, changement de diamètre (ou pente), intersection de conduites ou tous les 30 à 50m.
- Eviter les chevauchements et l'encombrement des conduites.
- Assainir le plus rapidement possible en empruntant les plus courts cheminements.
- Eviter les ouvrages spéciaux (regard de chute, poste de relèvement, poste de refoulement).

Algorithme de vérification des conditions d'autocurage

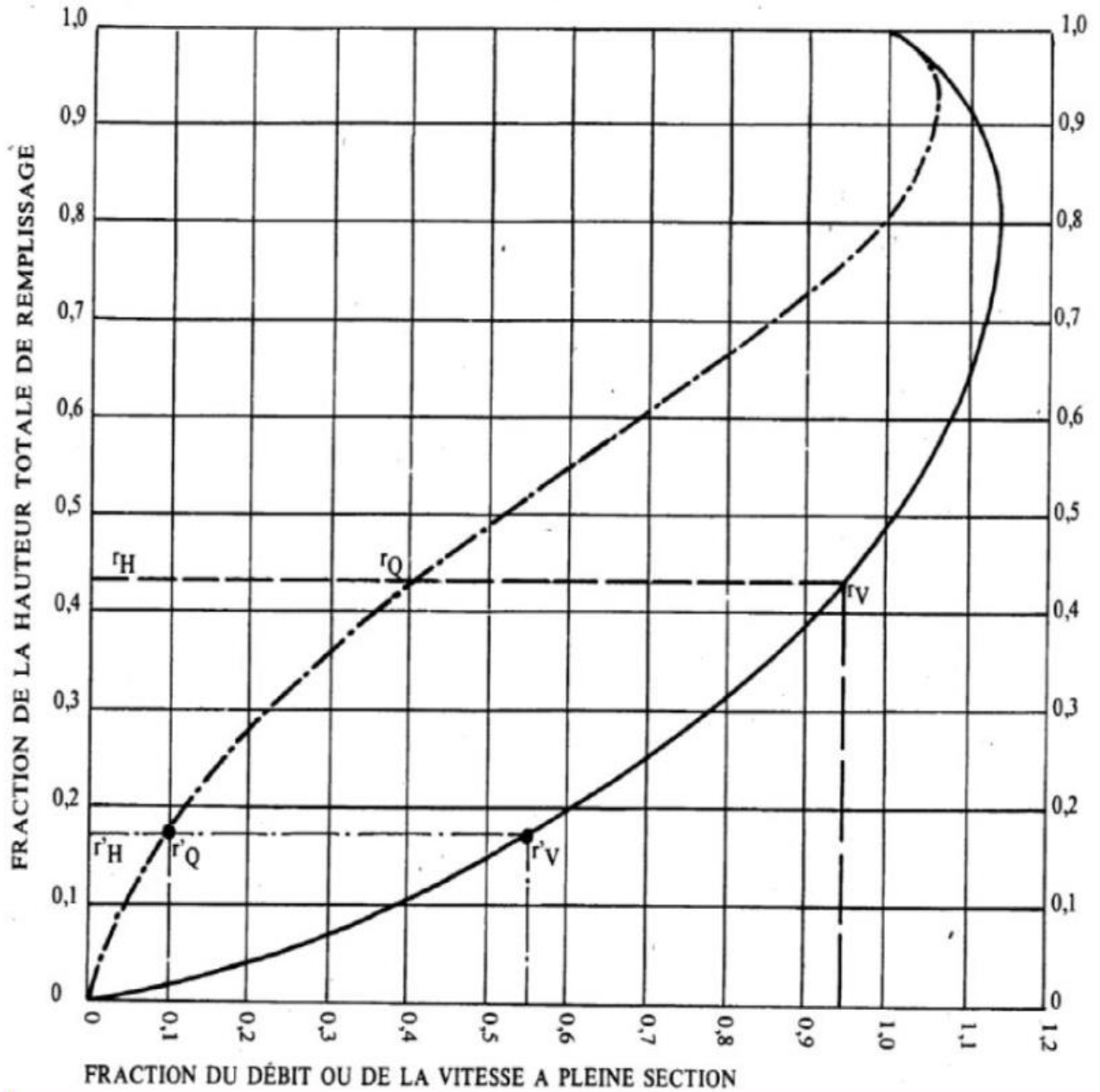


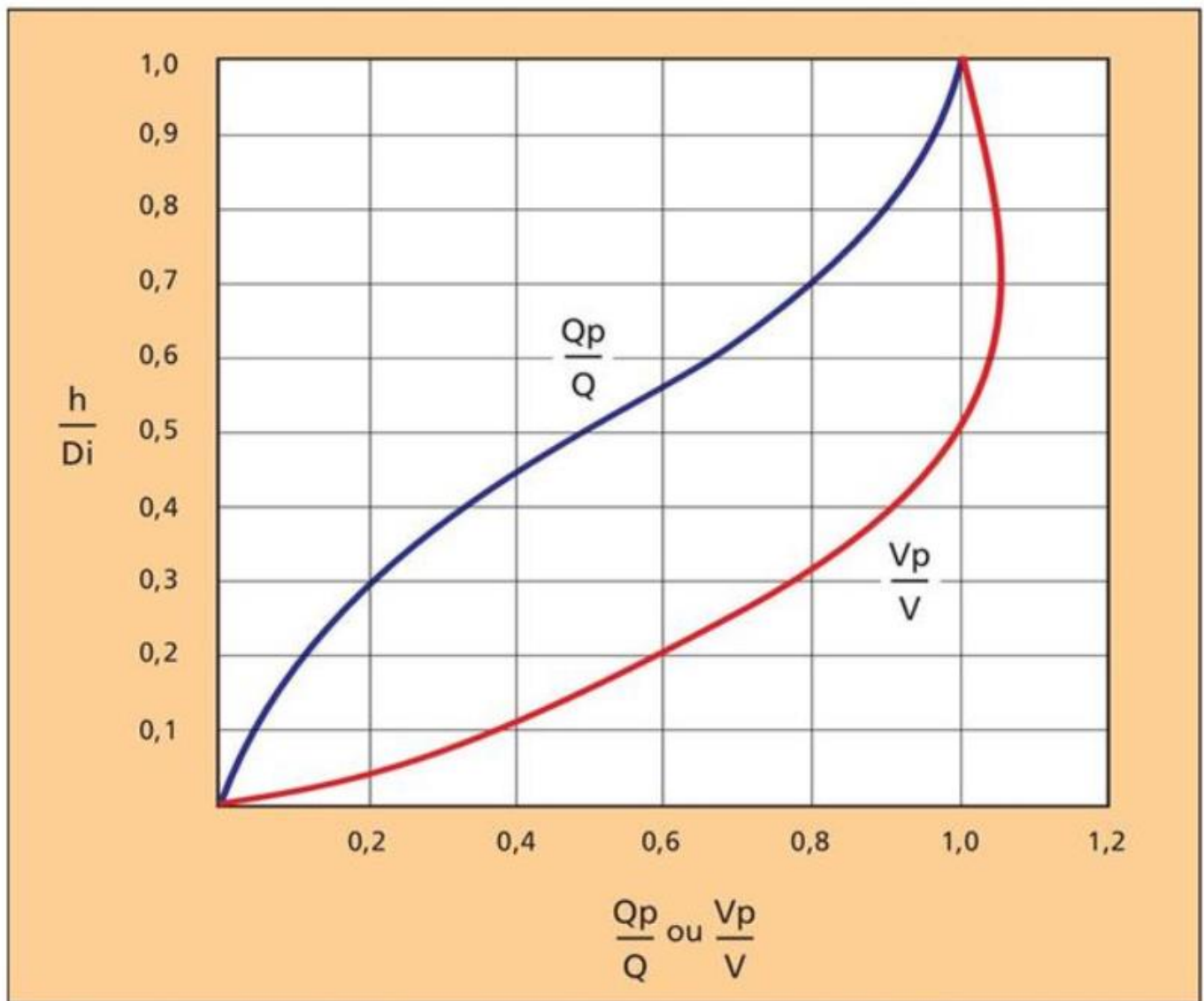


ABAQUE

VARIATIONS DES DÉBITS ET DES VITESSES EN FONCTION DU REMPLISSAGE

a) Ouvrages circulaires





Q_p débit relatif à remplissage partiel
 Q débit relatif à remplissage total
 h hauteur de remplissage

D_i diamètre intérieur du tuyau
 V_p vitesse d'écoulement relative à remplissage partiel
 V vitesse relative à remplissage total

Coefficient d'adaptation en cas de remplissage partiel

Qp/Q	h/Di	Vp/V
0,0001	0,023	0,17
0,0004	0,044	0,26
0,0007	0,057	0,30
0,0010	0,068	0,34
0,0013	0,077	0,37
0,0016	0,086	0,39
0,0019	0,093	0,41
0,0022	0,100	0,42
0,0025	0,106	0,44
0,0028	0,112	0,45
0,0031	0,118	0,47
0,0034	0,123	0,48
0,0037	0,129	0,49
0,0040	0,134	0,50
0,0043	0,138	0,51
0,0046	0,143	0,52
0,0049	0,148	0,53
0,0052	0,152	0,54
0,0055	0,156	0,55
0,0058	0,160	0,56
0,0061	0,164	0,57
0,0064	0,168	0,58
0,0067	0,172	0,58
0,0070	0,176	0,59
0,0073	0,180	0,60

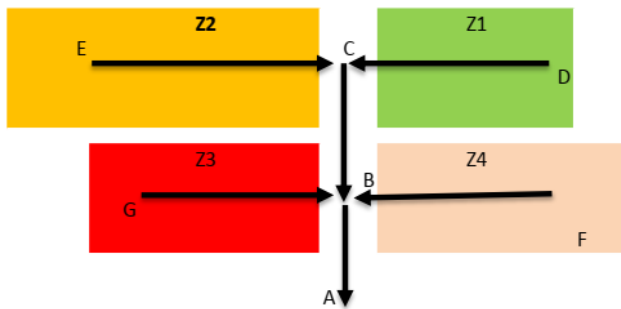
Qp/Q	h/Di	Vp/V
0,076	0,183	0,60
0,079	0,187	0,61
0,082	0,191	0,62
0,085	0,194	0,62
0,088	0,197	0,63
0,091	0,201	0,64
0,094	0,204	0,64
0,097	0,207	0,65
0,100	0,211	0,65
0,115	0,226	0,68
0,130	0,241	0,70
0,145	0,254	0,72
0,160	0,268	0,74
0,175	0,281	0,76
0,190	0,293	0,78
0,210	0,309	0,80
0,240	0,331	0,83
0,270	0,353	0,86
0,300	0,374	0,88
0,330	0,394	0,90
0,360	0,414	0,92
0,390	0,433	0,94
0,420	0,451	0,96
0,450	0,470	0,97
0,480	0,488	0,99

Qp/Q	h/Di	Vp/V
0,510	0,506	1,00
0,540	0,525	1,02
0,570	0,543	1,03
0,600	0,562	1,04
0,630	0,581	1,05
0,660	0,600	1,05
0,690	0,620	1,06
0,720	0,640	1,07
0,750	0,660	1,07
0,780	0,682	1,07
0,805	0,701	1,08
0,820	0,713	1,08
0,835	0,725	1,08
0,850	0,738	1,07
0,865	0,751	1,07
0,880	0,766	1,07
0,895	0,781	1,07
0,910	0,797	1,07
0,925	0,814	1,06
0,940	0,834	1,05
0,955	0,856	1,05
0,970	0,883	1,04
0,985	0,919	1,02
1,000	1,000	1,00
-	-	-

Exercices d'applications :

Exercice 1 : (continuité Ex 1 AEP)

On désire dimensionner le réseau des eaux usées du lotissement suivant :



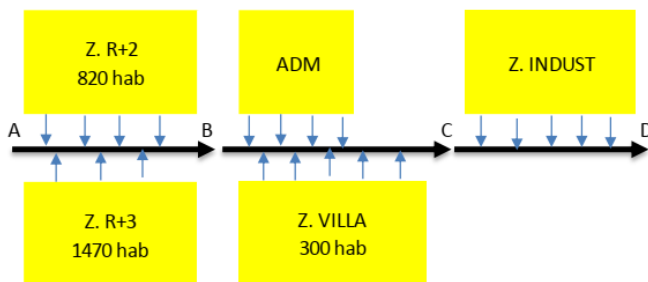
- Taux de raccordement = 100%
- Taux de retour à l'égout = 80%
- Les pentes des collecteurs :

Collecteur	Pente (%)
DC	1,4%
EC	1,2%
CB	1,2%
GB	2,0%
FB	1,4%
BA	1,3%

Calculer le diamètre de chaque collecteur et vérifier les conditions d'autocurage ?

Exercice 2 : (continuité Ex 2 AEP)

On désire dimensionner le réseau des eaux usées de l'agglomération suivante :



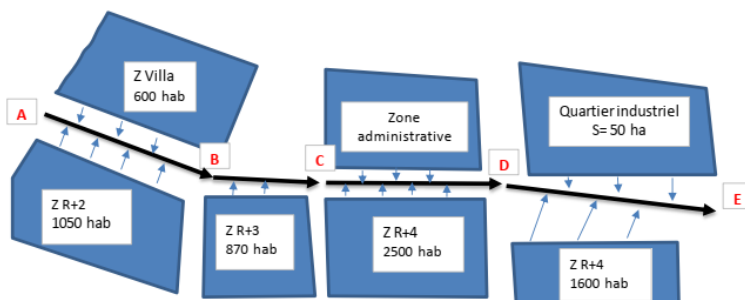
- Taux de raccordement = 100%
- Taux de retour à l'égout = 80%
- Les pentes des collecteurs :

Collecteur	Pente (%)
AB	0,90%
BC	1,00%
CD	0,85%

Calculer le diamètre de chaque collecteur et vérifier les conditions d'autocurage ?

Exercice 3 : (continuité Ex 3 AEP)

Dimensionner le réseau des EU qui desservira la population future à l'horizon H15 de l'agglomération suivante :



- Taux de raccordement = 100%
- Taux de retour à l'égout = 80%
- Les pentes des collecteurs :

Collecteur	Pente (%)
AB	1.20%
BC	1.35%
CD	1.25%
DE	1.00%

Calculer le diamètre de chaque collecteur et vérifier les conditions d'autocurage ?

Chapitre 6 : Assainissement public : Eaux pluviales

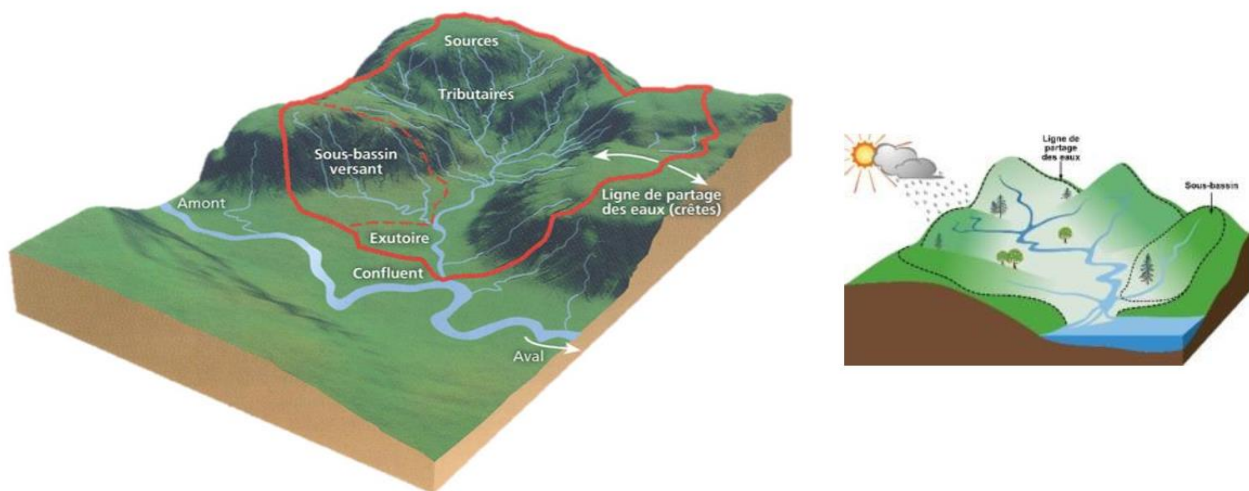
I- Notions Générales :

1- Bassin Versant (BV) :

On appelle bassin versant l'ensemble du territoire sur lequel chaque goutte de pluie s'écoulera vers un unique cours d'eau, que l'on appelle **exutoire**. Le bassin versant correspond ainsi à l'aire d'alimentation d'un cours d'eau.

Un bassin versant est délimité par des frontières naturelles, que l'on appelle **lignes de partage des eaux**. Ces lignes sont généralement matérialisées par le relief (**lignes de crêtes**).

Schéma d'un bassin versant



Chaque bassin versant se subdivise en un certain nombre de bassins élémentaires (ou sous-bassins) correspondant à la surface d'alimentation des affluents se jetant dans le cours d'eau principal.

Chaque bassin versant est caractérisé par différents paramètres :

- Géographiques : surface, pente ;
- Géologiques : nature de la roche ;
- Pédologiques : nature et capacité d'infiltration des sols ;
- Urbanistiques : présence de bâti ;
- Biologiques : type et répartition de la couverture végétale.

La connaissance des bassins versants est fondamentale pour prévenir des inondations, connaître et améliorer la qualité des eaux, prospecter ou protéger des captages, connaître les zones inondables et les zones humides, etc.

2- Notion de temps de retour (Période de retour)

Les projets d'aménagements hydrauliques ou hydrologiques sont souvent définis par rapport à une averse type associée aux fréquences probables d'apparition.

Lorsque l'on étudie des grandeurs comme les précipitations (caractérisées à la fois par leur hauteur et leur durée) ou les débits de crue d'un point de vue statistique, on cherche donc et, en règle générale, à déterminer par exemple la probabilité pour qu'une intensité i ne soit pas atteinte ou dépassée (i.e. soit inférieure ou égale à une valeur x_i).

Cette probabilité est donnée, si i représente une variable aléatoire, par la relation suivante :

$$F(x_i) = P(i \leq x_i)$$

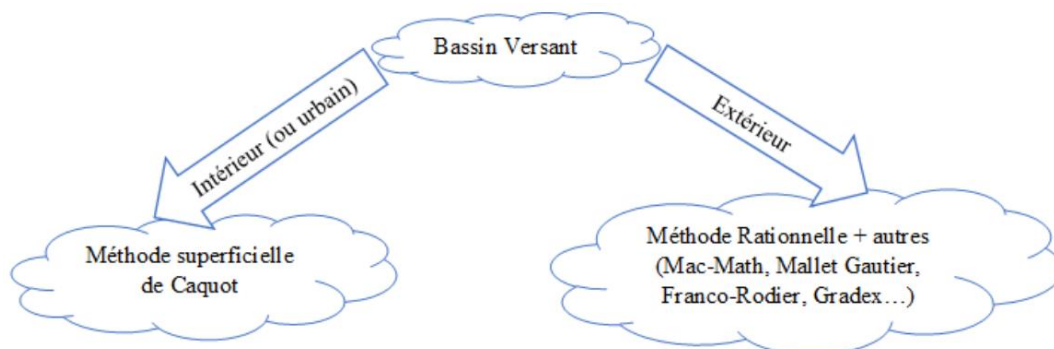
On nomme cette probabilité **fréquence de non-dépassement** ou **probabilité de non dépassement**. Son complément à l'unité « $1-F(x_i)$ » est appelé probabilité de dépassement, fréquence de dépassement ou encore fréquence d'apparition.

On définit alors le **temps de retour T** d'un événement comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement. Soit :

$$T = \frac{1}{1 - F(x_i)}$$

Ainsi, l'intensité d'une pluie de temps de retour T est l'intensité qui sera dépassé en moyenne toutes les T années. Au Maroc, les projets d'assainissement des EP sont dimensionnés pour une période de retour de 10 ans.

II- Méthodes d'évaluation du débit des Eaux Pluviales (EP) :



1- Méthode superficielle de Caquot :

$$Q_p = K \cdot C^u \cdot I^v \cdot A^w$$

Q_p : Débit de pointe considéré à un point donné du réseau en (m³/s)

I : Pente moyenne du BV

A : Superficie du BV en ha (1ha= 10⁴ m²)

C : Coefficient de ruissellement.

$$C = \frac{\text{Volume d'eau qui ruisselle}}{\text{Volume d'eau tombée}}$$

C : fonction (Durée de l'averse ; Saturation des sols ; Capacité d'infiltration des terrains non urbanisés ; Evaporation...)

Type de surface	Valeur du coefficient C
Zone de centre-ville	0.7 - 0.95
Zone résidentielle pavillons isolés	0.30 - 0.50
Zone résidentielle pavillons groupés	0.60 - 0.75
Zone industrielle	0.50 - 0.90
Cimetières - parcs	0.10 - 0.25
Rue	0.80 - 0.85
Trottoirs	0.75 - 0.90
Pelouse (sols sableux, faible pente)	0.05 - 0.10
Pelouse (sols terreux, faible pente)	0.15 - 0.20

K, u, v et w sont des paramètres de la formule de Caquot, qui se calculent comme suit :

$$u = \frac{-0.41 b}{1 + 0.287 b} \qquad v = \frac{1}{1 + 0.287 b}$$

$$w = \frac{0.95 + 0.507 b}{1 + 0.287 b} \qquad K = \left[\frac{0.5^b \cdot a}{6.6} \right]^{\left(\frac{1}{1+0.287 b} \right)}$$

a et **b** sont des coefficients de Montana (qui varient selon la pluviométrie de chaque zone et selon la **période de retour**).

Le débit de pointe calculé doit être multiplié par un coefficient correcteur « **m** » :

$$m = \left(\frac{M}{2} \right)^{\left(\frac{0.84 b}{1+0.287 b} \right)} \approx \left(\frac{M}{2} \right)^{0.7 b}$$

Avec **M** : l'allongement du bassin versant

$$M = \frac{L}{\sqrt{A}}$$

L : Longueur du plus long cours d'eau en **m**.

A : Surface du BV en **m²**.

M doit être ≥ 0.8

Le débit corrigé (= débit du dimensionnement du réseau des EP) :

$$Q_c = m \cdot Q_p$$

Exercices d'applications :

Exercice 1 :

Calculer les paramètres de la formule de Caquot pour les trois villes suivantes :

Ville	Coefficient de Montana	
	a	b
Ville 1	4.86	-0.60
Ville 2	4.32	-0.62
Ville 3	4.22	-0.65

Exercice 2 :

On désire calculer le débit des eaux pluviales de trois bassins élémentaires situés dans la ville 2. Les caractéristiques de ces BV sont récapitulées dans le tableau suivant :

BV	Surface (Ha)	Long cours d'eau (m)	Pente (%)	Coef. De ruissellement
BV1	6.09	245	3.8	0.6
BV2	9.49	215	6	0.42
BV3	7.48	300	3.3	0.47

2- Méthode Rationnelle :

$$Q_p = \frac{1}{360} \cdot C \cdot I \cdot A$$

- Q_p : Débit de pointe en m^3/s ;
- C : Coefficient de ruissellement ;
- A : Surface du BV en hectares ;
- I : Intensité de pluie en mm/heure.

a- Intensité de pluie :

Se définit par le rapport de la hauteur de pluie (eau tombée) ΔH pendant une durée t :

$$I = \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

L'intensité de pluie s'exprime en fonction des paramètres a et b de Montana :

$$I(\text{mm/mn}) = a \cdot t_c^b$$

t_c : Temps de concentration en **minutes**.

b- Temps de concentration :

C'est le plus long parcours d'eau que doit mettre une goutte d'eau pour arriver à l'exutoire.

Le temps de concentration se compose du :

- Temps t_1 mis par l'eau pour s'écouler dans les canalisations :

$$t_1(\text{mn}) = \frac{\text{Longueur}}{\text{Vitesse d'eau}} = \frac{L(\text{m})}{V(\text{m/mn})}$$

- Temps t_2 mis par l'eau pour atteindre le 1^{er} ouvrage d'engouffrement (*ouvrage de captage des eaux de ruissellement*) :

$$t_2(\text{mn}) = I_p^{-4/11}$$

I_p : Pente moyenne du cheminement hydraulique sur la surface du sol.

- Temps t_3 du ruissellement dans un bassin qui ne comporte pas de canalisations :

$$t_3(\text{mn}) = \frac{L(\text{m})}{11\sqrt{I_p}}$$

Le temps de concentration peut avoir trois aspects :

- ❖ Le bassin ne comporte pas de canalisations : $t_c = t_3$;
- ❖ Le bassin comporte un parcours superficiel puis une canalisation : $t_c = t_3 + t_1$;
- ❖ Le bassin est urbanisé et comporte une canalisation principale et des branchements secondaires : $t_c = t_2 + t_1$.

Pour les zones urbanisées, on admet un temps de circulation superficielle égal à 5mn et une vitesse en égout égale à 1 m/s, soit :

$$t_c = t_2 + t_1 = 5mn + L/V$$

$$tc (mn) : 5mn + \frac{L(m)}{60(m/mn)}$$

NB : Il existe plusieurs méthodes de calcul du temps de concentration pour les bassins extérieurs (non urbanisés), on site :

Formule de Ventura / Formule d'Epsey / Formule Espagnole / Formule de Van Te Chow / Formule Californienne / Formule de Kirpich / Formule de Turrazza - Passini / Formule de Giandotti...

Exercices d'application

Exercice 1 :

En utilisant la formule rationnelle, calculer le débit des eaux pluviales des bassins versants suivants :

BV	S(ha)	L(m)	C
BV1	12	140	0.70
BV2	18	200	0.80
BV3	15	130	0.75
BV4	16	185	0.78
BV5	17.5	190	0.76

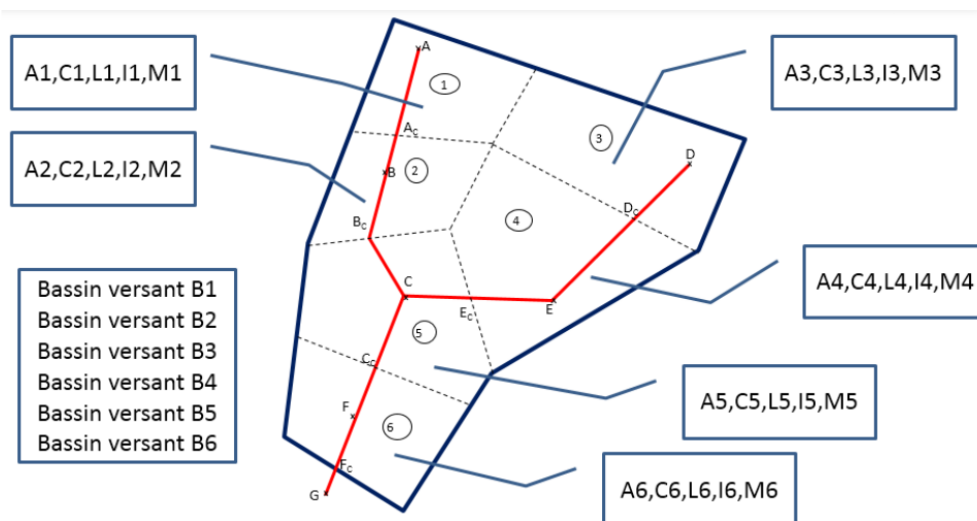
Les bassins sont entièrement urbanisés situés dans une zone où les coefficients de Montana sont : $a = 3.84$ et $b = -0.85$

- 1- Calculer le temps de concentration T_c .
- 2- Déduire l'intensité de pluie correspondante I .
- 3- Calculer le débit de pointe des EP.

III-Assemblage des bassins versants élémentaires :

- 1- Formules d'assemblages :

Désignation	Bassins parallèles	Bassins en série
Superficie équivalente	$\sum A_j$	$\sum A_j$
Coefficient de ruissellement équivalent	$\frac{\sum C_j \cdot A_j}{\sum A_j}$	$\frac{\sum C_j \cdot A_j}{\sum A_j}$
Pente équivalente	$\frac{\sum I_j \cdot Q_{pj}}{\sum Q_{pj}}$	$\left(\frac{\sum \frac{L_j}{\sqrt{I_j}}}{\sum \frac{L_j}{\sqrt{I_j}}} \right)^2$
Allongement équivalent	$\frac{L(Qp)_{\max}}{\sqrt{\sum A_j}}$	$\frac{\sum L_j}{\sqrt{\sum A_j}}$



B1 et B2 en série
 $B_{12} = B1 + B2 - (B_c)$

$$A_{1-2} = A_1 + A_2$$

$$C_{1-2} = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2}{A_{1-2}}$$

$$L_{1-2} = L_1 + L_2$$

$$I_{1-2} = \left(\frac{L_{1-2}}{\frac{L_1}{\sqrt{I_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{I_2}}} \right)^2$$

$$M_{1-2} = \frac{L_{1-2}}{\sqrt{A_{1-2}}}$$

B3 et B4 en série
 $B_{34} = B3 + B4 - (E_c)$

$$A_{3-4} = A_3 + A_4$$

$$C_{3-4} = \frac{C_3 \cdot A_3 + C_4 \cdot A_4}{A_{3-4}}$$

$$L_{3-4} = L_3 + L_4$$

$$I_{3-4} = \left(\frac{L_{3-4}}{\frac{L_3}{\sqrt{I_3}} + \frac{L_4}{\sqrt{I_4}}} \right)^2$$

$$M_{3-4} = \frac{L_{3-4}}{\sqrt{A_{3-4}}}$$

B12 et B34 en parallèle
 $B_{14} = B_{34} // B_{12} - C$

$$A_{1-4} = A_{1-2} + A_{3-4}$$

$$C_{1-4} = \frac{C_{1-2} \cdot A_{1-2} + C_{3-4} \cdot A_{3-4}}{A_{1-4}}$$

$$L_{1-4} = L_{1-2} \text{ Si } Q_{1-2} > Q_{3-4}$$

$$L_{1-4} = L_{3-4} \text{ Si } Q_{3-4} > Q_{1-2}$$

$$I_{1-4} = \frac{I_{1-2} \cdot Q_{1-2} + I_{3-4} \cdot Q_{3-4}}{Q_{1-2} + Q_{3-4}}$$

$$M_{1-4} = \frac{L_{1-4}}{\sqrt{A_{1-4}}}$$

B14 et B5 en série
B15=B14+B5



$$A_{1-5} = A_{1-4} + A_5$$

$$C_{1-5} = \frac{C_{1-4} \cdot A_{1-4} + C_5 \cdot A_5}{A_{1-5}}$$

$$L_{1-5} = L_{1-4} + L_5$$

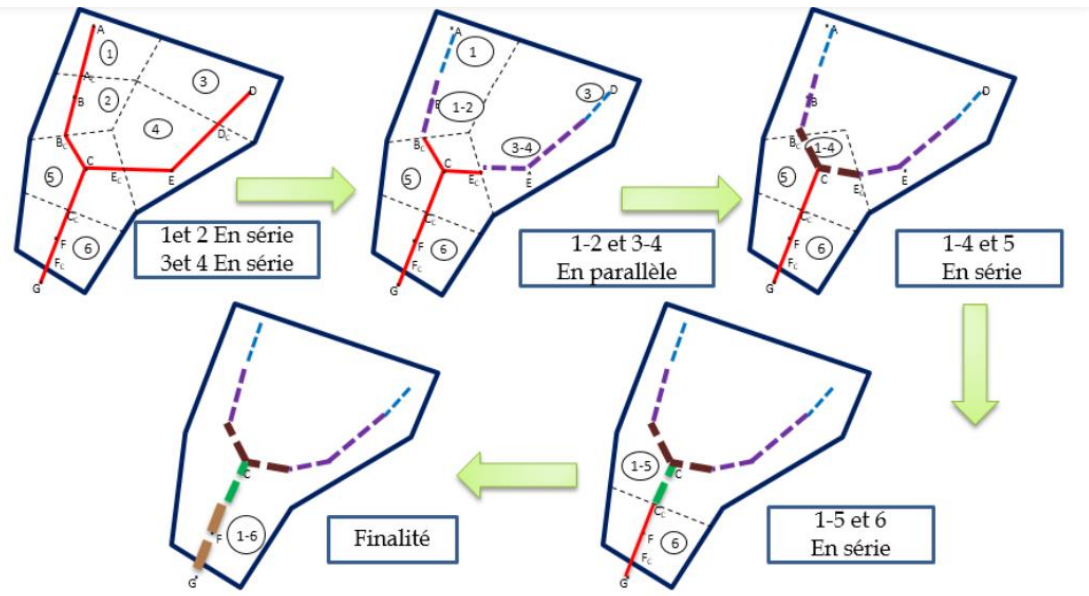
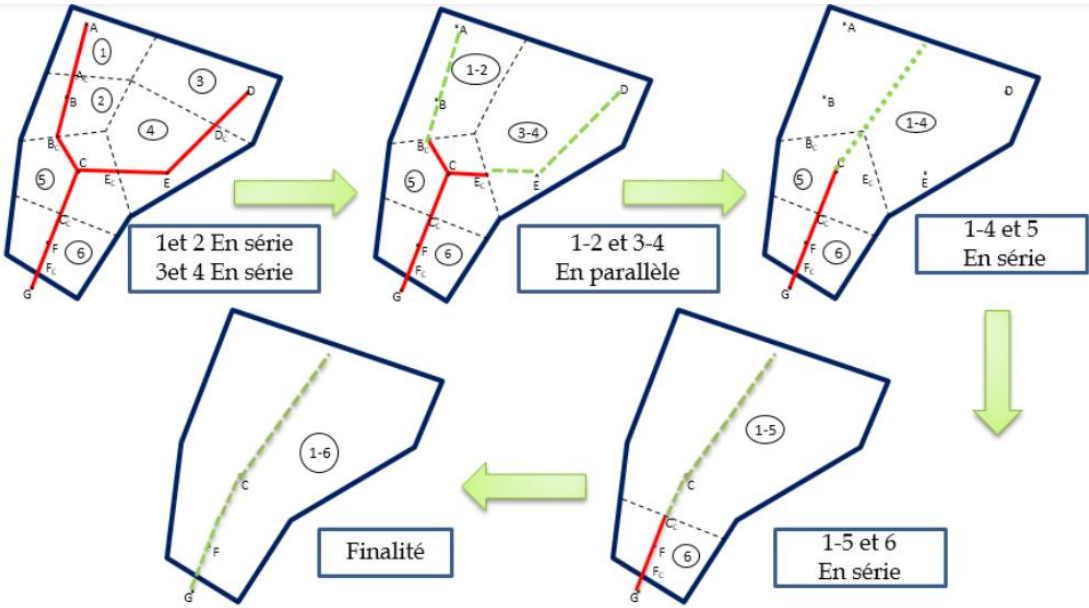
$$I_{1-5} = \left(\frac{L_{1-5}}{\frac{L_{1-4}}{\sqrt{I_{1-4}}} + \frac{L_5}{\sqrt{I_5}}} \right)^2$$

$$M_{1-5} = \frac{L_{1-5}}{\sqrt{A_{1-5}}}$$

B15 et B6 en série
B16=B15+B6

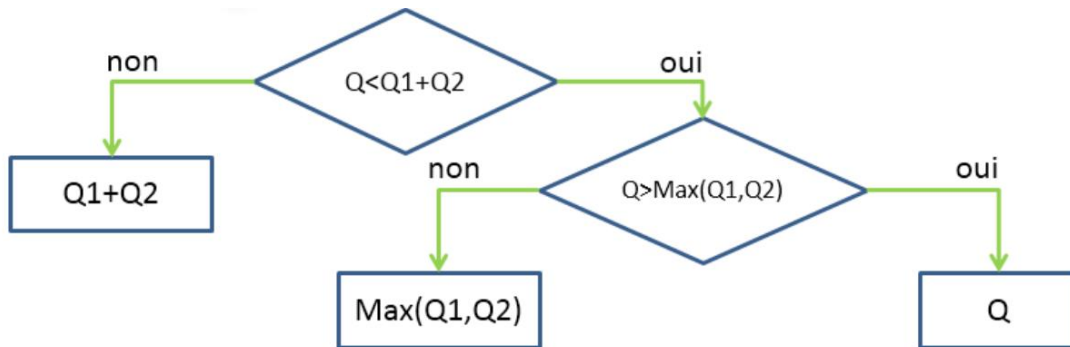


AINSI DE SUITE



2- Conditions sur le débit d'assemblage :

Le débit d'assemblage doit satisfaire la condition suivante :



IV- Dimensionnement des conduites des eaux pluviales

La détermination de la section hydraulique des conduites d'eaux pluviales sera effectuée par l'équation de Manning Strickler

$$V = K_c \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad Q = K_c \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \cdot S$$

v = vitesse d'écoulement (m/s)

K_c = coefficient de Chezy ($K_c = 60$)

($K_c = 1/n$ avec n = coefficient de Manning Strickler)

R = rayon hydraulique (m)

I = pente du radier de la canalisation (m/m)

$$Q = K_c \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{\pi \cdot K_c \cdot I^{\frac{1}{2}}}{4^{\frac{5}{3}}} \cdot D^{\frac{8}{3}}$$

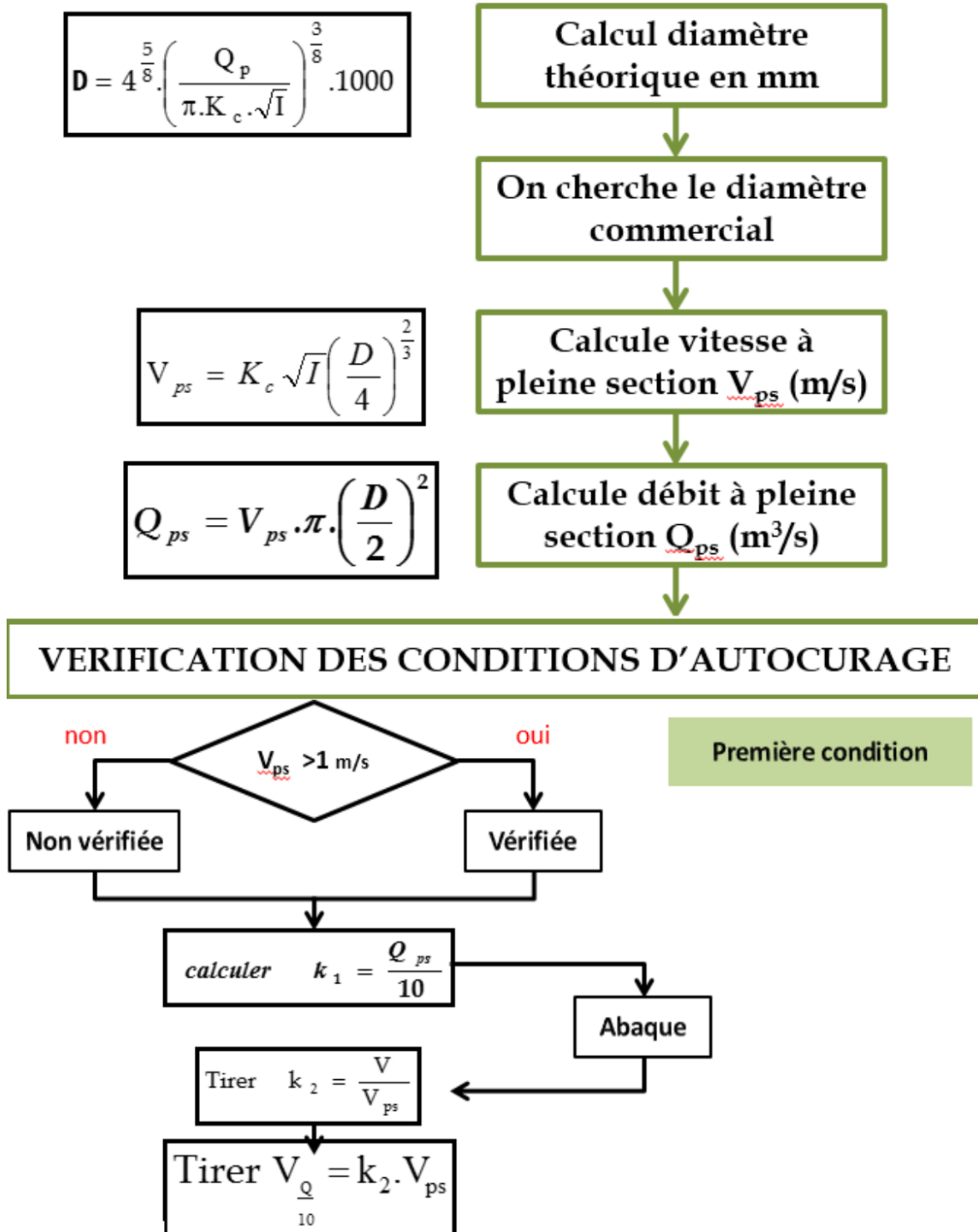
On calcule le diamètre théorique

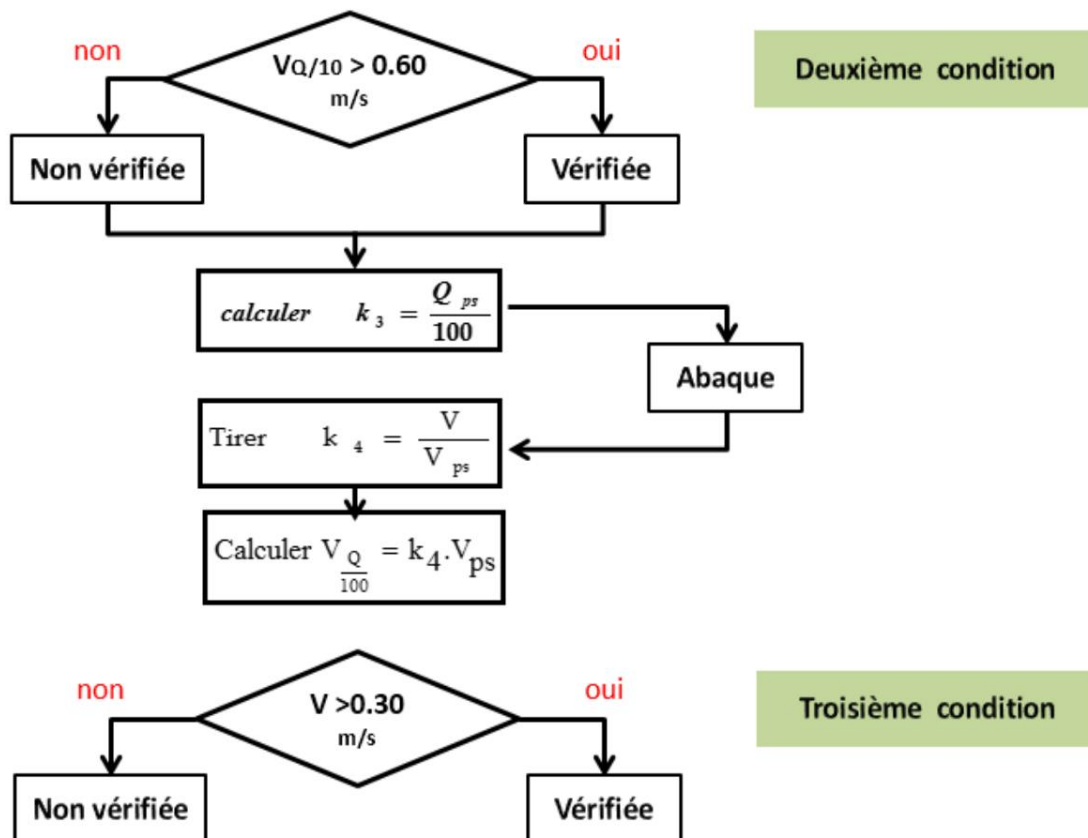
$$D = 4^{\frac{5}{8}} \cdot \left(\frac{Q}{\pi \cdot K_c \cdot \sqrt{I}}\right)^{\frac{3}{8}} \cdot 1000$$

On cherche le diamètre commercial

Q en m^3/s , D est en mm

Algorithme calcul section de conduite eaux pluviales





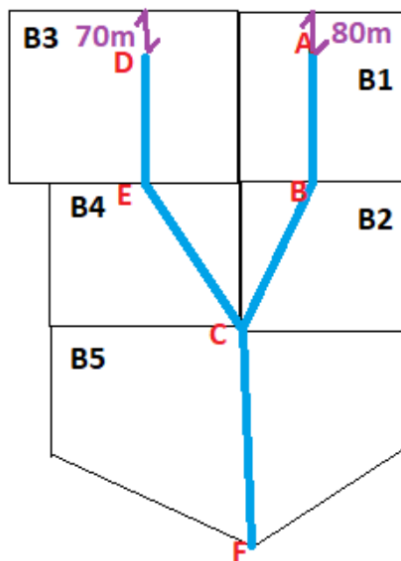
Contraintes de calage des canalisations des eaux pluviales

- Diamètre minimum de 300 mm pour éviter les risques d'obstruction.
- Pente minimum : 0,003 m/m
- Le relèvement des eaux par pompage sera si possible évité car les débits d'eaux pluviales peuvent être importants.
- Couverture minimale de la canalisation : 80 cm. En dessous de cette valeur, la canalisation sera protégée par une dalle de répartition pour éviter son écrasement sous les charges roulantes.
- Regard de visite tous les 50 m au maximum pour permettre un hydro curage des réseaux ou une visite par caméra.
- Regard à chaque changement de pente ou de direction.
- Vitesse maximum : 4 m/s afin d'éviter l'abrasion des tuyaux. Sinon, il est nécessaire d'adopter un tuyau en matériau résistant tel que la fonte ou le polyéthylène à haute densité.
- Il est donc important de vérifier la vitesse de l'eau dans les canalisations pour le débit de pointe à évacuer.

Exercices d'applications :

Exercice 1 :

On désire dimensionner le réseau des eaux pluviales des bassins versant suivants :



Caractéristiques des Collecteurs :		
Collecteur	Longueur(m)	Pente
AB	120	2.3%
BC	250	2%
EC	250	3%
DE	150	2%
CF	300	2.5%

Caractéristiques de BV :			
BV	S(ha)	C	Pente
B1	15	0.72	4%
B2	10	0.63	3%
B3	19	0.80	4.1%
B4	12	0.75	3.5%
B5	23	0.60	2.5%

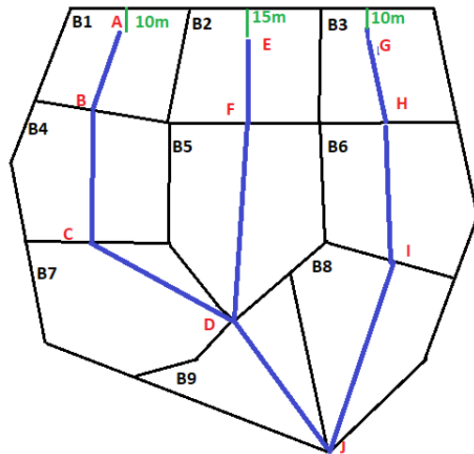
Les coefficients de Montana sont : $a=3.5$ et $b=-0.70$

Questions :

- 1) Calculer les coefficients de la formule de Caquot
- 2) Calculer les débits des bassins élémentaires B1 → B5
- 3) Calculer les caractéristiques des assemblages suivants :
 - A1 = B1 en série B2
 - A2 = B3 en série B4
 - A3 = A1 // A2
 - A4 = A3 en série B5
- 4) Déterminer le débit retenu dimensionnant chaque collecteur.
- 5) Calculer le diamètre de chaque collecteur et vérifier les conditions d'auto-curage, on prend $K_c = 70$.

Exercice 2 :

Dimensionner le réseau des EP du lotissement suivant :



Caractéristiques des Collecteurs :		
Collecteur	Longueur(m)	Pente
AB	90	5%
BC	75	4%
CD	95	3%
EF	80	3.5%
FD	110	4%
GH	70	3%
HI	85	4.5
IJ	95	4%
DJ	60	3%

On donne :

$K=1.028$ $u=0.328$ $v=1.229$ $w=0.763$

Avec $b=-0.65$

Coefficient de Chézy : 65

Caractéristiques de BV :			
BV	S(ha)	C	Pente
B1	18	0.65	5%
B2	16	0.6	4.5%
B3	13	0.7	3%
B4	15	0.6	4%
B5	16	0.65	5%
B6	12	0.70	4.5%
B7	13	0.55	3%
B8	15	0.65	4%
B9	7	0.60	4%

Annexe :



Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration des eaux usées

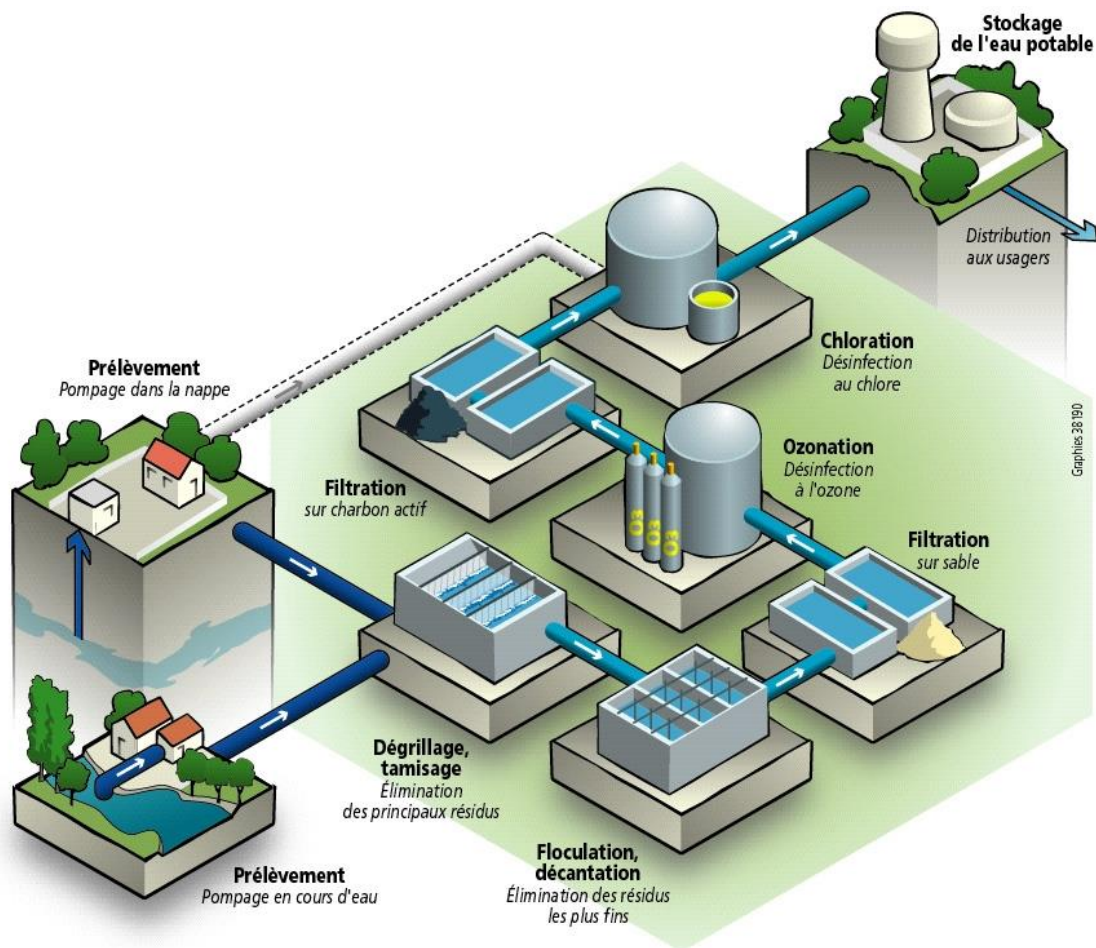


Schéma de fonctionnement d'une station de traitement d'eau potable

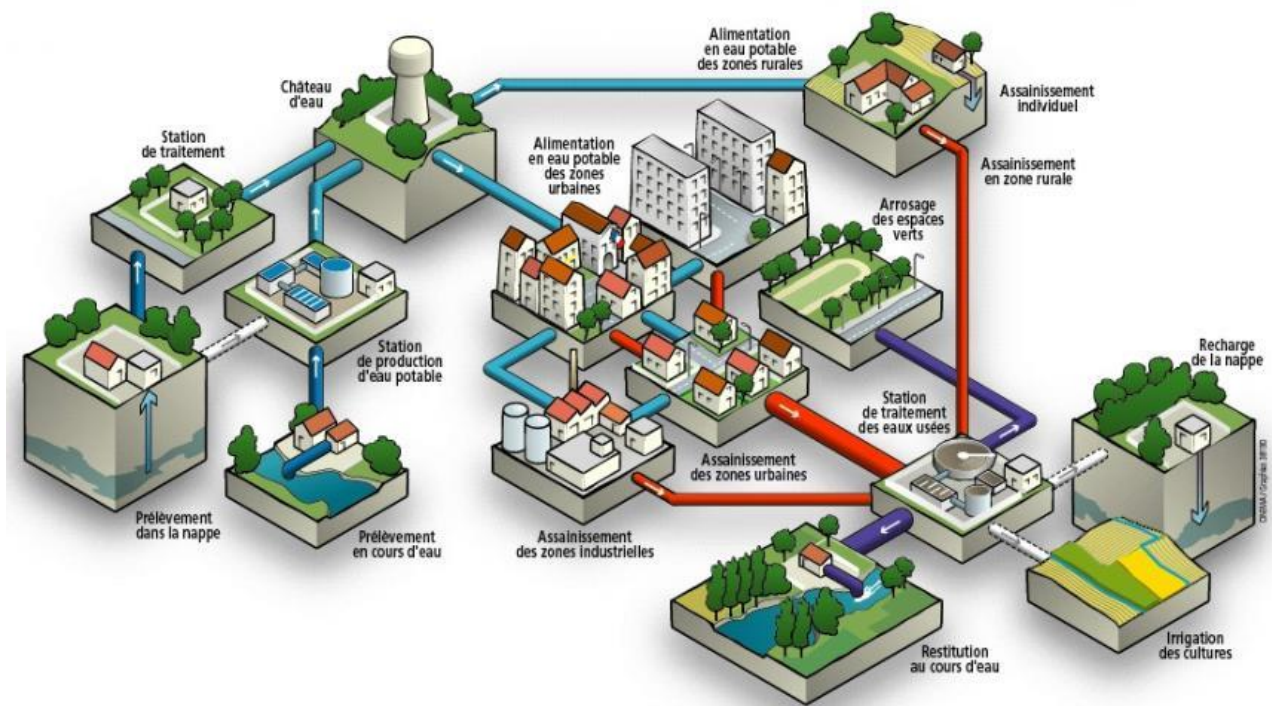
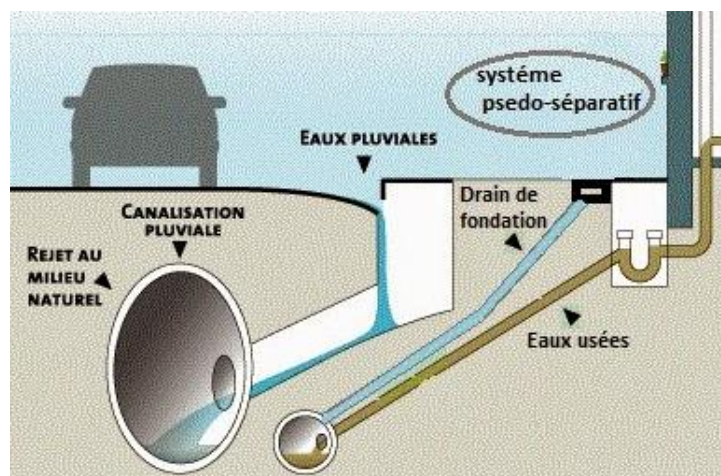
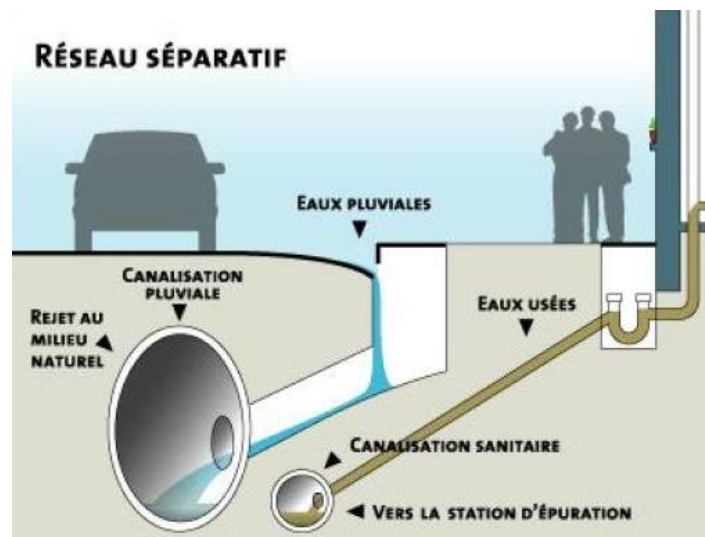
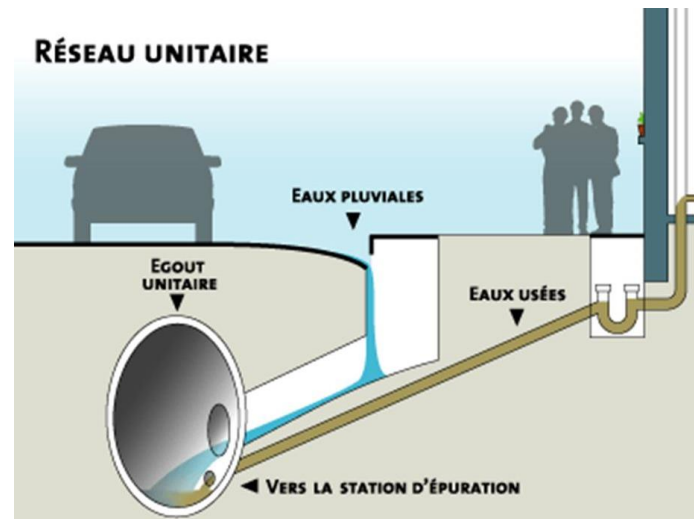


Schéma du cycle artificiel d'eau du captage au rejet.

Les systèmes d'égouts :



Références :

- Cours de Mme. Machach Laila, formateur à l'Ofppt.
- Sites Web (www.GenieCivilPDF.com, et autres)