

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hassiba Ben Bouali -Chlef-

Faculté de Génie Civil et Architecture

Département d'Architecture



INTITULE DU POLYCOPIE

**" TECHNIQUES ET GESTION DURABLE DES EAUX
PLUVIALES"**

"UE. Fondamentales 3"

Thématique 4 : Techniques urbaines et Eco- gestion

Préparé Par

Dr. Abdellah CHERIF TAIBA

Ce module est destiné aux étudiants de la 1^{ère} année Master

" Spécialité : Génie Urbain"

" Gestion des Techniques Urbaines "

Année universitaire 2022-2023

SOMMAIRE

Présentation du cours

Contenu

Connaissance préalables recommandées

Visées d'apprentissage

Modalités d'évaluation des apprentissages

Modalités de fonctionnement

Chapitre 01 : Climatologie et cycle de l'eau

1.1 Introduction	1
1.2 Définition de climatologie	1
1.3 Importance de l'étude de climatologie	1
1.4 Les paramètres atmosphériques	2
1.4.1 La température	2
1.4.2 La pression atmosphérique	2
1.4.3 Le rayonnement solaire	3
1.4.4 L'humidité	3
1.4.5 Le vent	3
1.5 Types de climats à la surface de la terre	4
1.6 Relation entre le type de climat et la situation géographique	5
1.6.1 Le climat des calottes glaciaires	5
1.6.2 La toundra	5
1.6.3 Le climat océanique	5
1.6.4 Le climat méditerranéen	6
1.6.5 Le climat continental humide	6
1.6.6 Le climat subarctique	6
1.6.7 Le climat aride	6

1.6.8 Le climat semi-aride	6
1.6.9 Le climat équatorial	6
1.6.10 Le climat montagnard	6
1.7 Cycle hydrologique de l'eau	6
1.7.1 Définition de l'hydrologie	6
1.7.2 Définition de cycle de l'eau	6
1.7.3 Les composants du cycle hydrologique	7
1.7.3.1 Précipitations	7
1.7.3.2 Types des précipitations	8
1.7.3.3 La nature des précipitations	9
1.7.3.4 Mesure des précipitations	10
1.7.3.5 Analyse des précipitations	10
1.7.3.6 Relation entre l'intensité, la durée et la fréquence	11
1.7.4 Evaporation et la transpiration	12
1.7.5 Evapotranspiration	13
1.7.5.1 Définition	13
1.7.5.2 Les types des évapotranspirations	14
1.7.6 Infiltration	15
1.7.6.1 Définition	15
1.7.6.2 Facteurs influençant la capacité d'infiltration	15
1.7.7 Types de ruissellement	16
1.7.8 Bilan annuel des écoulements	17
1.8 Notions sur le bassin versant	18
1.8.1 Définition	18
1.8.2 Types de bassin versant	18
1.8.3 Classes de bassin versant	19

1.8.4.1 La surface	19
1.8.4.2 Le coefficient de ruissellement	20
1.8.4.3 Les longueurs du cheminement hydraulique	21
1.8.4.4 La pente longitudinale de cours d'eau	22
1.8.4.5 Le temps de concentration	22
1.8.4.6 Intensité pluviale	24
1.9 Les méthodes globales d'évaluation des eaux pluviales	24
1.9.1 Les modèles empiriques	24
1.9.2 La méthode rationnelle	25
1.9.3 La méthode de Caquot 1941	25
1.10 Relation entre l'urbanisation et le bilan hydrologique de l'eau	27
1.10.1 Définition de l'urbanisation	27
1.10.2 Effet de l'urbanisation sur le bilan hydrique de l'eau	27
1.11 Les séries des exercices : Partie 1	30

Chapitre 02 : Principes de dimensionnement des réseaux des eaux pluviales

2.1 Introduction	36
2.2 Différentes types des eaux pluviales	36
2.2.1 Eau météorite.....	36
2.2.2 Eau de ruissellement	36
2.3 Les réseaux récupérant les eaux de ruissellement	36
2.3.1 Le réseau unitaire	36
2.3.2 Les avantages et les inconvénients de réseau unitaire.....	37
2.3.3 Le réseau séparatif	37
2.3.4 Les avantages et les inconvénients de réseau séparatif	38
2.3.6 Le réseau mixte	39

2.4 Facteurs du choix du réseau.....	39
2.5 Critères influant sur le choix de réseau	39
2.6 Dimensionnement des réseaux des eaux usées et pluviales	40
2.6.1 Eaux usées	40
2.6.1.1 Variation des débits des eaux usées	40
2.6.1.2 Nombre d'équivalent habitants (EH)	40
2.6.1.3 Débit moyen journalier	40
2.6.1.4 Débit de pointe.....	41
2.6.1.5 Vitesse d'écoulement des eaux usées	41
2.6.1.6 Diamètre théorique d'une canalisation des eaux usées	43
2.7 Eaux pluviales	43
2.7.1 Vitesse d'écoulement des eaux pluviales	43
2.7.2 Débit d'écoulement des eaux pluviales	43
2.7.3 Diamètre théorique d'une canalisation des eaux pluviales	43
2.8 Types des matériaux constituant les conduites	44
2.9 Ouvrages d'annexes	44
2.9.1 Les ouvrages courants	44
2.9.2 Les branchements	45
2.9.3 Les regards de visite	45
2.9.4 Les bouches d'égout	46
2.9.5 Capacité d'absorption d'une bouche d'égout	47
2.9.6 Les caniveaux	47
2.9.7 Les ouvrages spéciaux	47
2.9.7.1 Les déversoirs d'orage	48
2.9.7.2 Les postes de relevage	50
2.9.7.3 Les postes de refoulement	50

2.10 Importance des déversoirs d'orage et des postes de relevage.....	52
2.11 Les séries des exercices : Partie 2.....	53

Chapitre 03 : Pollution urbaine des eaux pluviales

3.1. Introduction	56
3.2 Définition de la pollution de l'eau	56
3.3 Types de pollution des eaux pluviales	56
3.3.1 La pollution de l'eau de pluie	56
3.3.2 La pollution des eaux de ruissellement pluvial	56
3.3.3 La pollution des rejets pluviaux stricts	57
3.3.4 La pollution des rejets urbains de temps de pluie	57
3.4 Sources de pollution des eaux pluviales	57
3.4.1 Les sources exogènes	58
3.4.2 Les sources endogènes	58
3.5 Evaluation de pollution des eaux pluviales	59
3.5.1 La charge polluante	59
3.5.2 La concentration de polluants	59
3.5.3 La densité	60
3.5.4 Le poids spécifique	60
3.6 Catégories des polluants des eaux pluviales	60
3.6.1 Polluants physiques	60
3.6.2 Les polluants chimiques	61
3.6.3 Les polluants biologiques	62
3.7 Caractérisation de pollution urbaine des eaux pluviales selon l'occupation du sol	66
3.8 Classes de pollution des eaux pluviales	67
3.8.1 La pollution chronique	67

3.8.2 La pollution accidentelle	67
3.8.3 La Pollution dans les ouvrages de transfert séparatifs pluviaux et unitaires	67
3.9 Les inondations	68
3.9.1 Definition	68
3.9.2 Caractéristiques des inondations	68
3.9.3 Facteurs aggravant les inondations	68
3.9.4 Les origines des inondations	69
3.9.5 Types de dommages dus aux inondations (conséquences)	69
3.9.6 Types des inondations	70
3.9.6.1 Les inondations par débordement de cours d'eau	70
3.9.6.2 Les inondations par remontée de nappes	71
3.9.6.3 Les inondations par ruissellement (coulées de boue)	71
3.9.6.4 Les inondations par rupture de digue	72
3.9.6.5 Les inondations par submersions marines	72
3.10 Inondation en Algérie	73
3.11 Quelques exemples des inondations en Algérie	73
3.12 Relation entre l'inondation et la pollution des eaux pluviales	74
3.13 Les séries des exercices : Partie 3.....	75

Chapitre 04 : Techniques de la gestion des eaux pluviales et Intégration urbaine des aménagements pluviaux

4.1. Introduction	78
4.2 Objectifs de la gestion des eaux pluviales	78
4.3 Principes de la gestion des eaux pluviales	78
4.4 Axes de la gestion des eaux pluviales	80
4.5 Suivi de la conception d'un projet de gestion des eaux pluviales	81
4.6 Techniques de la gestion des eaux pluviales	85

4.6.1	Introduction	85
4.6.2	Quelques exemples des techniques	85
4.6.2.1	Les toits verts	85
4.6.2.2	Les jardins pluviaux	86
4.6.2.3	Les bassins de rétention	87
4.6.2.4	Les revêtements perméables	87
4.6.2.5	Les systèmes de récupération d'eau de pluie	88
4.6.2.6	Les bassins d'infiltration.....	89
4.6.2.7	Les noues paysagères	89
4.6.2.8	Les tranchées d'infiltration	90
4.6.2.9	Les murs végétalisés	90
4.6.3	Avantages et inconvénients des techniques de gestion des eaux pluviales.....	91
4.6.4	Etapes de réalisation et entretien des techniques de gestion des eaux pluviales.....	99
4.6.4.1	Évaluation du site	99
4.6.4.2	Conception de la technique	99
4.6.4.3	Mise en place de la technique	99
4.6.4.4	Formation du personnel	99
4.6.4.5	Entretien de la technique	99
4.6.5	Choix de la technique de gestion des eaux pluviales plus adaptée	100
4.7	Intégration urbaine des aménagements pluviaux	102
4.7.1	Introduction	102
4.7.2	Role d'intégration urbaine des aménagements pluviaux	102
4.7.3	Les approches d'intégration urbaine des aménagements pluviaux.....	103
4.7.3.1	Approche environnementale	103
4.7.3.2	Approche paysagère et urbaine	104
4.7.3.3	Approche climatique	104

4.7.4 Influence de l'intégration urbaines des aménagement pluviaux sur l'imperméabilisation des sols	105
4.7.5 Relation entre les approches d'intégration urbaine des aménagements pluviaux et la gestion écologique des villes.....	106
4.8 Les series des exercices : Partie 4	107
5. Conclusion générale.....	108
6. Bibliographie.....	109

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Conséquences de changement climatique.....	2
Figure 1.2 : Une barométrie.	2
Figure 1.3 : Un thermomètre mouillé.....	3
Figure 1.4 : Anémomètre.....	3
Figure 1.5 : Types des climats à la surface de la terre.....	5
Figure 1.6 : Cycle hydrologique de l'eau.	7
Figure 1.7 : Processus de condensation de la vapeur d'eau et naissance de gouttes de pluie.	7
Figure 1.8 : Les précipitations convectives.	8
Figure 1.9 : Les précipitations orographiques.	8
Figure 1.10 : Les précipitations frontales (cycloniques).	9
Figure 1.11 : La nature des précipitations selon l'altitude et la température.....	10
Figure 1.12 : Type des pluviomètres et pluviographes.....	10
Figure 1.13 : Histogramme de la pluviométrie moyenne mensuelle.....	11
Figure 1.14 : Hauteur cumulée en fonction du temps.....	11
Figure 1.15: Courbe intensité-durée-fréquence.	12
Figure 1.16: Signification des termes évaporation et transpiration.	13
Figure 1.17: Mécanisme de l'évapotranspiration.	13
Figure 1.18 : Evapotranspiration réelle (ETR) et évapotranspiration potentielle (ETP).	14
Figure 1.19 : Les processus de l'infiltration et le ruissellement des eaux pluviales.....	15
Figure 1.20: Types de ruissellement (écoulement).	16
Figure 1.21 : Exemple d'un bassin versant.	18
Figure 1.22 : Bassin versant topographique et bassin versant réel.....	19
Figure 1.23 : Le planimètre.	20
Figure 1.24: Les longueurs du cheminement hydraulique d'un bassin versant.....	22
Figure 1.25 : Impacts de l'urbanisation sur le bilan hydrique.	28
Figure 1.26 : Modifications aux paramètres hydrologiques dues à l'urbanisation	29
Figure 2.1 : Exemple d'un réseau unitaire.....	37

Figure 2.2 : Exemple d'un réseau séparatif.	38
Figure 2.3: Exemple d'un réseau pseudo-séparatif.	39
Figure 2.4: Calcul de rayon hydraulique pour une conduite des eaux usées.	42
Figure 2.5: Schéma de principe d'un réseau des eaux pluviales.	45
Figure 2.6: Exemple de regards de visite.	46
Figure 2.7: Types des bouches d'égout (a) à avaloir, (b) à grille (c) siphonides (d) engouffrement.	46
Figure 2.8: Les caniveaux.	47
Figure 2.9: Schéma de fonctionnement du déversoir d'orage.	48
Figure 2.10: Exemples de déversoir d'orage.	48
Figure 2.11: Poste de relevage des eaux usées.	50
Figure 2.12: Poste de refoulement des eaux usées.	52
Figure 3.1: Sources de pollution des eaux de ruissellement.	59
Figure 3.2: Les inondations par crue lente de plaine.	70
Figure 3.3: Crue torrentielle dans le village de Barèges (Hautes-Pyrénées, 2013).	71
Figure 3.4: la remontée de la nappe phréatique.	71
Figure 3.5: Processus de coulée de boue.	72
Figure 3.6: Rupture d'une digue à Novato (Californie) en 2005.	72
Figure 3.7: Les inondations par submersions marines.	73
Figure 3.8: Inondations en Algérie (a) à Ghardaïa en 1 ^{er} octobre 2008 (b) Quartiers de Bab El Oued (Alger) 2001.	74
Figure 4.1: Conception d'un toit vert.	86
Figure 4.2: Jardin de pluie infiltrant.	86
Figure 4.3: Vue en plan et une coupe d'un bassin de rétention.	87
Figure 4.4: Les revêtements perméables.	88
Figure 4.5: Les systèmes de récupération d'eau de pluie.	88
Figure 4.6: Exemple d'un bassin d'infiltration.	89
Figure 4.7: Exemple des noues paysagères.	90
Figure 4.8: Exemple d'une tranchée d'infiltration.	90
Figure 4.9: Exemple d'un mur végétalisé.	91

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Echelles de mesure du vent.	4
Tableau 1.2 : Exemples des coefficients de Montana (a, b) pour des pluies de durée de 30 minutes à 24 heures	12
Tableau 1.3 : Coefficients de ruissellement en fonction de l'utilisation des sols, du relief et de la nature des terrains (BOURRIER, 1997 modifié)	20
Tableau 1.4 : Coefficient de ruissellement en fonction de type de surface	21
Tableau 1.5: Seuils de ruissellement P_0 en mm (d'après Astier et al. 1993).....	23
Tableau 1.6 : Différentes formules utilisées pour le calcul du temps de concentration	24
Tableau 1.7: Valeurs du coefficient de conversion K	25
Tableau 1.8 : Coefficients d'ajustement numérique du modèle de Caquot.....	27
Tableau 2.1: Valeurs d'équivalent habitants en fonction de type de construction.	40
Tableau 2.2 : Valeurs de K en fonction de type de réseau.	42
Tableau 2.3 : Valeurs de μ en fonction de type de seuil.....	49
Tableau 3.1: Composition des solides grossiers dans le ruissellement (Allison et al.1998).	60
Tableau 3.2: Vitesses de chute approximatives en fonction des dimensions de particules (Wong et al. 2006).....	61
Tableau 3.3: Limites de classe de qualité des eaux pluviales.....	62
Tableau 3.4: Les polluants associés au ruissellement urbain.	63
Tableau 3.5: sources typiques des différents polluants pour le ruissellement urbain (Wong et al.2006).	65
Tableau 3.6: Concentration moyenne de rejet pendant une pluie selon la densité du tissu urbain.....	66
Tableau 3.7: Concentrations moyennes des polluants pour les parkings et les voiries.	66
Tableau 3.8: Concentrations moyenne par site pour les différents types de toitures.....	68
Tableau 3.9: Concentrations des eaux pluviales et les eaux usées selon le type de réseau.	68
Tableau 4.1: Les phases et les principes des intervenants des projets de gestion des eaux pluviales. ...	81
Tableau 4.2 : Les avantages des techniques de gestion des eaux pluviales.....	91
Tableau 4.3 : Les inconvénients des techniques de gestion des eaux pluviales.	95

1. Présentation du cours

La gestion des eaux pluviales est un enjeu important dans les villes pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les précipitations peuvent causer des inondations et des dégâts matériels importants si l'eau n'est pas gérée de manière appropriée. De plus, les eaux pluviales peuvent transporter des polluants provenant des surfaces imperméables telles que les routes et les parkings, et finissent souvent par contaminer les rivières et les lacs environnants. Une gestion adéquate des eaux pluviales dans les villes implique la mise en place de mesures telles que l'installation de systèmes de drainage appropriés, la construction de bassins de rétention et de filtration pour capturer et traiter les eaux pluviales, et l'utilisation de surfaces perméables pour réduire la quantité d'eau de ruissellement. Ces mesures peuvent non seulement aider à réduire les risques d'inondation et de pollution, mais aussi à augmenter la qualité de vie dans les villes en créant des espaces verts et des habitats pour la faune et la flore locales.

2. Contenu

Le module est scindé en un ensemble des chapitres et des unités d'apprentissage qui permettent d'acquérir des compétences et connaissances sur les techniques et la gestion des eaux pluviales dans les villes. Il comporte les chapitres suivants :

a. Chapitre 01 : Climatologie et cycle de l'eau

Ce chapitre donne un aperçu sur la climatologie et le cycle de l'eau et la relation entre eux, ainsi les changements dans l'un peuvent avoir des effets significatifs sur l'autre.

b. Chapitre 02 : Principes de dimensionnement des réseaux des eaux pluviales

Ce chapitre donne un aperçu sur le dimensionnement des réseaux d'eaux pluviales est un processus crucial dans la conception de tout système de drainage urbain.

c. Chapitre 03 : Pollution des eaux pluviales

Il s'agit de présenter une étude détaillée sur la pollution urbaine des eaux pluviales qui est un problème environnemental qui survient lorsque les eaux de pluie se mélangent aux substances polluantes dans les villes.

d. Chapitre 04 : Techniques de la gestion des eaux pluviales et Intégration urbaine des aménagements pluviaux

Dans ce chapitre, on présente la gestion des eaux pluviales ainsi que les différentes techniques de gestion adoptées et on focalise aussi sur l'étude de l'intégration urbaine des aménagements pluviaux.

3. Connaissances préalables recommandées

- ✓ Une connaissance de base de la topographie, de la géomorphologie et de l'hydrologie est importante pour comprendre comment les eaux pluviales s'écoulent et comment elles interagissent avec l'environnement.
- ✓ Une compréhension des principes de base de l'ingénierie civile, notamment en matière de conception de systèmes de drainage, de gestion de l'eau et de traitement des eaux usées.
- ✓ Une connaissance de base de la chimie de l'eau est importante pour comprendre les processus de traitement de l'eau, les risques potentiels pour la santé et les impacts environnementaux.
- ✓ Une compréhension des politiques environnementales et des réglementations liées à la gestion de l'eau est importante pour comprendre les exigences réglementaires et les options de financement.
- ✓ Une compréhension de la durabilité et de la gestion durable est importante pour comprendre comment la gestion des eaux pluviales peut être intégrée dans une approche plus large de développement durable.

4. Visées d'apprentissage

- ✓ Initier l'étudiant aux différentes techniques et dispositifs dite « alternatifs ».
- ✓ Maîtriser les connaissances liées à la gestion durable des eaux pluviales en milieu urbain.
- ✓ Permettre aux étudiants d'avoir des réponses techniques à la problématique de la récupération et du traitement des eaux pluviales.

5. Modalités d'évaluation des apprentissages

L'évaluation finale de ce module est compte sur l'évaluation de 34% en contrôle continu et 66% en contrôle examen. Donc l'enseignant divise cette note sur 2 parties :

Plan de cours

- a. L'évaluation de 34% de contrôle continu est basée sur la participation et assiduité des étudiants ainsi de réaliser quelques tests au cours des séances de travaux dirigés (TD).
- b. L'évaluation de 66% de contrôle examen est basée sur la réalisation d'un examen à la fin de semestre.

6. Modalités de fonctionnement

Le cours est organisé en :

1. Séances théoriques qui basent sur la transmission définitions de bases et les méthodes de travail à suivre pour élaboration de ce cours ;
2. En séances de travaux dirigés qui permettent de résoudre les exemples et les exercices proposés dans des séries ;
3. Le déroulement du cours est assuré en présentiel (dans les amphis) dans le but d'apprentissage transmissive des connaissances sur le module des techniques et gestion durables des eaux pluviales.



Chapitre 01 : Climatologie et cycle de l'eau

1.1 Introduction

La climatologie et le cycle de l'eau sont étroitement liés, car les changements dans le climat peuvent avoir des effets importants sur le cycle de l'eau, affectant ainsi la disponibilité de l'eau pour les êtres vivants et les activités humaines. La climatologie et le cycle de l'eau sont des domaines d'étude étroitement liés et les changements dans l'un peuvent avoir des effets significatifs sur l'autre. C'est pourquoi il est important de comprendre les interactions complexes entre le climat et le cycle de l'eau pour mieux prévoir les tendances climatiques futures et pour mieux gérer les ressources en eau pour les populations et les écosystèmes qui en dépendent.

1.2 Définition de climatologie : c'est la science qui étudie de **la variation de l'état des paramètres atmosphériques** (température, humidité, pression atmosphérique, vitesse du vent...etc) pendant une **longue période** (une année, 10 ans, 30 ans, 50 ans...etc) et son impact sur les écosystèmes terrestres. Par contre, **la météorologie** est basée sur l'étude des variations des conditions atmosphériques pour une **courte durée**.

1.3 Importance de l'étude de climatologie

De point de vue général, la climatologie conditionne la vie sur la terre et influence sur la vie des êtres humains. D'autre part, l'être vivant influence son tour sur l'état des paramètres atmosphériques et il provoque le changement climatique. Ce dernier a un effet très significatif sur la vie de planète terre. On cite quelques conséquences de changement climatique :



Figure 1.1 : Conséquences de changement climatique.

1.4 Les paramètres atmosphériques : le climat se compose de plusieurs éléments :

1.4.1 La température : dans les stations d'observations, on distingue la température minimale, maximale et moyenne. L'unité de température est degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$) et elle est mesurée à l'aide d'un **thermomètre**. Ou encore degrés Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), les règles de conversion sont les suivantes : $^{\circ}\text{K} = 273,15 + ^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F} = (1,8 * ^{\circ}\text{C}) + 32$, $^{\circ}\text{C} = 0,56 * (^{\circ}\text{F} - 32)$.

1.4.2 La pression atmosphérique : c'est la force que l'atmosphère exerce sur la surface de la terre. Elle est mesurée à l'aide d'une **barométrie** en (bar ou bien Pascal), $1\text{bar} = 100\ 000\ \text{Pa}$.



Figure 1.2 : Une barométrie.

1.4.3 Le rayonnement solaire : c'est l'énergie émise par le soleil sur la surface terrestre. Cette énergie diffusée est soit absorbée ou réfléchiée par les corps à la surface de la terre.

1.4.4 L'humidité : l'état de fraîcheur moyen du sol. On parle **d'humidité absolue** (la quantité d'eau que contient l'air) et **d'humidité relative** (est le rapport entre l'humidité absolue et la quantité maximale qu'il peut contenir pour une température donnée). Cette dernière est la plus utilisée en climatologie. Elle est mesurée en % à l'aide du thermomètre mouillé.














Figure 1.3 : Un thermomètre mouillé.

1.4.5 Le vent : c'est le mouvement de l'air se déplaçant d'une zone à une autre. La mesure du vent comprend trois paramètres : sa direction, sa vitesse ou force et sa température. La vitesse est exprimée communément en km/h ou m/s ou noeuds (1 noeud = 1,85 km/h). L'anémomètre permet de mesurer la vitesse et la direction du vent. Pour une paroi perpendiculaire à la direction du vent, les pressions exercées sont présentées ci-dessous (Tab.1).



Figure 1.4 : Anémomètre.

Tableau 1.1 : Echelles de mesure du vent.

Force Beaufort	Echelle de couleurs	Termes descriptifs français (<i>english</i>)	Vitesse du vent	
			Nœuds	km/h
0		calme (<i>calm</i>)	< 1	< 1
1		très légère brise (<i>light air</i>)	1 - 3 Nds	1 - 5 km/h
2		légère brise (<i>light breeze</i>)	4 - 6 Nds	6 - 11 km/h
3		petite brise (<i>gentle breeze</i>)	7 - 10 Nds	12 - 19 km/h
4		jolie brise (<i>moderate breeze</i>)	11 - 15 Nds	20 - 28 km/h
5		bonne brise (<i>fresh breeze</i>)	16 - 20 Nds	29 - 38 km/h
6		vent frais (<i>strong breeze</i>)	21 - 26 Nds	39 - 49 km/h
7		grand vent frais (<i>moderate gale</i>)	27 - 33 Nds	50 - 61 km/h
8		coup de vent (<i>fresh gale</i>)	34 - 40 Nds	62 - 74 km/h
9		fort coup de vent (<i>strong gale</i>)	41 - 47 Nds	75 - 88 km/h
10		tempête (<i>storm</i>)	48 - 55 Nds	89 - 102 km/h
11		violente tempête (<i>violent storm</i>)	56 - 63 Nds	103 - 117 km/h
12		Ouragan (<i>hurricane</i>)	> 64 Nds	> 118 km/h

1.5 Types de climats à la surface de la terre : Sur la terre les climats sont classifiés suivant différents paramètres (l'humidité, la température, l'ensoleillement, la vitesse du vent...) comme présente dans le schéma suivant :

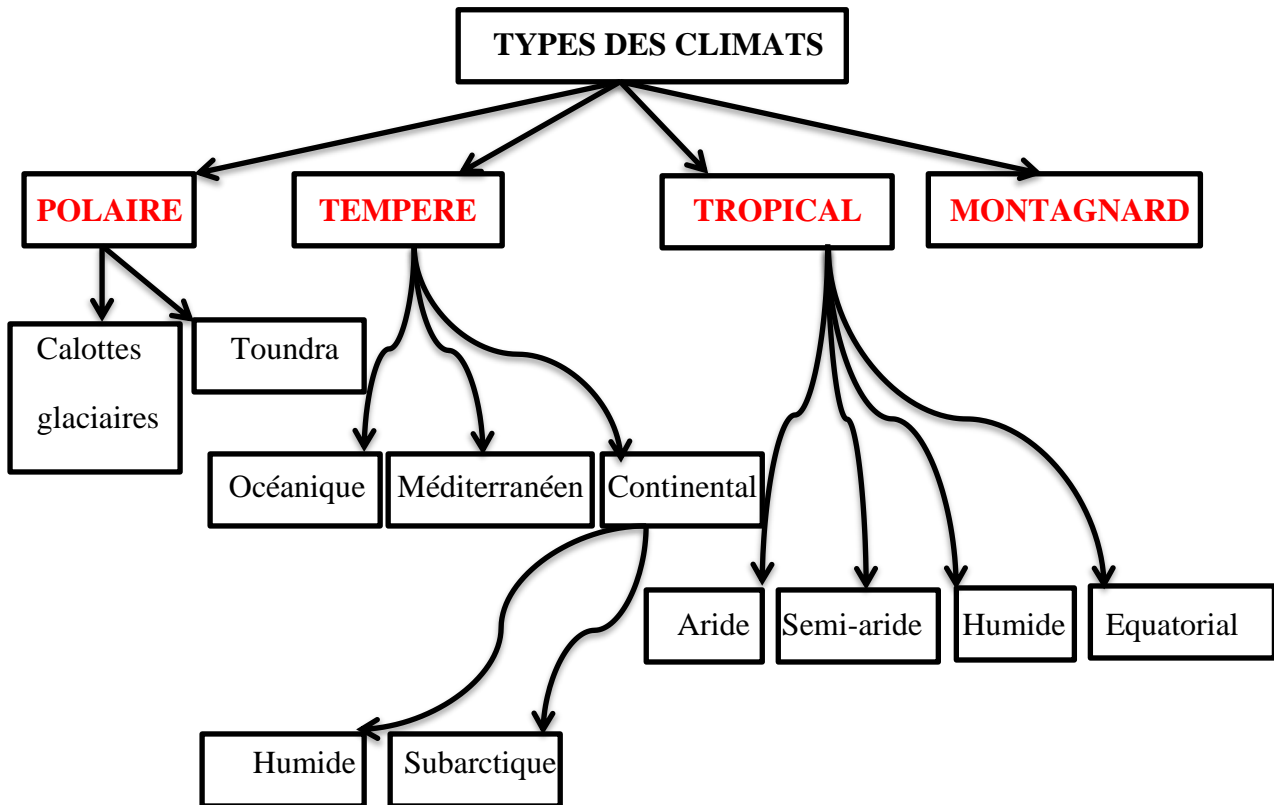


Figure 1.5 : Types des climats à la surface de la terre.

1.6 Relation entre le type de climat et la situation géographique : le climat est varié aussi suivant la géographie du site :

1.6.1 Le climat des calottes glaciaires : se trouve dans les pôles terrestres, il est caractérisé par des températures froides toute l'année qui descendent très basses en hivers et sont toujours au-dessous de -40 °C lors de cette saison.

1.6.2 La toundra : se trouve à la frontière de la calotte glaciaire dans l'hémisphère Nord. Les hivers sont longs et froids, avec une moyenne de la température d'environ -28 °C .

1.6.3 Le climat océanique : est caractéristique des côtes occidentales des continents (Nord-Ouest des États-Unis, les îles britanniques, sur la façade atlantique de la France, autour de la mer du Nord et de la Manche, sur le littoral atlantique Nord- Ouest du Maroc).

1.6.4 Le climat méditerranéen : trouve ce climat autour de la mer Méditerranée, mais d'autres régions sur Terre possèdent les mêmes conditions climatiques comme les zones côtières de la Californie, de l'Afrique du Sud et des régions du Sud de l'Australie.

1.6.5 Le climat continental humide : est situé aux latitudes moyennes dans les zones situées loin des côtes. Les écarts saisonniers des températures sont importants, ces écarts sont compris entre 15 et 22 °C mais peuvent monter jusqu'à 33 °C.

1.6.6 Le climat subarctique : se retrouve entre 50° à 70° Nord une grande partie de l'Asie et dans le Nord de l'Amérique du Nord. Il est caractérisé par des étés doux où les températures peuvent tout de même excéder 30°C mais cette saison est courte et les hivers bien rigoureux où les températures peuvent chuter jusqu'à -40°C.

1.6.7 Le climat aride : est caractéristique des régions désertiques comme le Sahara, le désert d'Australie, la péninsule d'Arabie.

1.6.8 Le climat semi-aride : ou climat de steppe est caractérisé par une saison sèche la majeure partie de l'année et par une courte saison humide.

1.6.9 Le climat équatorial : qui est caractérisé par une quatre saisons avec des précipitations fréquentes et importantes dont les maximums d'intensité ont lieu aux équinoxes (mars et septembre). Les températures sont chaudes dont une moyenne d'environ 27°C.

1.6.10 Le climat montagnard : dépend des régions montagneuses. Les températures, la pression atmosphérique et la densité de l'air diminuent avec l'altitude (environ 0,5°C à 1°C tous les 100m).

1.7 Cycle hydrologique de l'eau

1.7.1 Définition de l'hydrologie : c'est une science qui permet d'étudier les propriétés physiques, chimiques et mécaniques des eaux. Elle intègre par conséquent l'hydrographie qui, elle, apparaît comme l'étude des eaux douces et des eaux marines (étude des ruissellements, cours d'eau, étangs, lacs, mers et océans), selon le dictionnaire de la géographie, ellipses, 2005.

1.7.2 Définition de cycle de l'eau : c'est un mouvement continu de l'eau dans le globe. Lors de ses déplacements l'eau peut changer son état (gaz, liquide et solide), cela passe par des phénomènes qu'on appelle ici les composants (étapes) du cycle hydrologique comme présente dans la figure suivante :

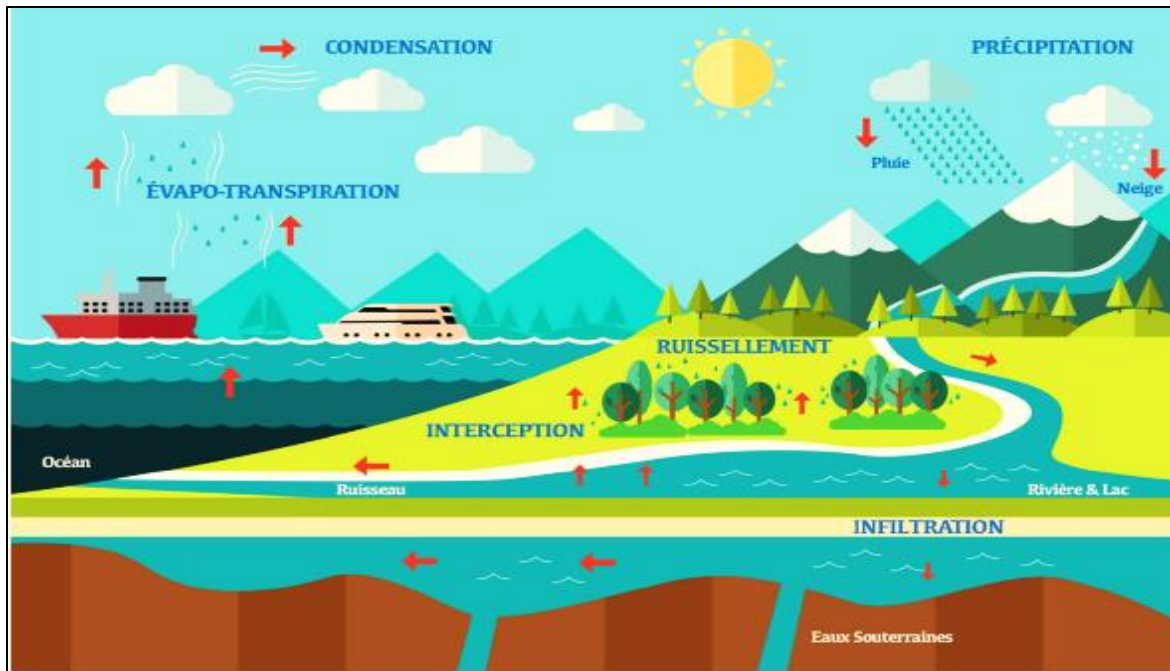


Figure 1.6 : Cycle hydrologique de l'eau.

1.7.3 Les composants du cycle hydrologique : le cycle de l'eau passe par différentes étapes :

1.7.3.1 Précipitations : sont toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle). Cette opération nécessite la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. D'autre part, la saturation et la présence de noyaux de condensation (impuretés en suspension dans l'atmosphère d'origines variées, cristaux de sable, cristaux de sel marin, combustions industrielles, pollution) autour desquels les gouttes ou les cristaux se forment (Figure7).

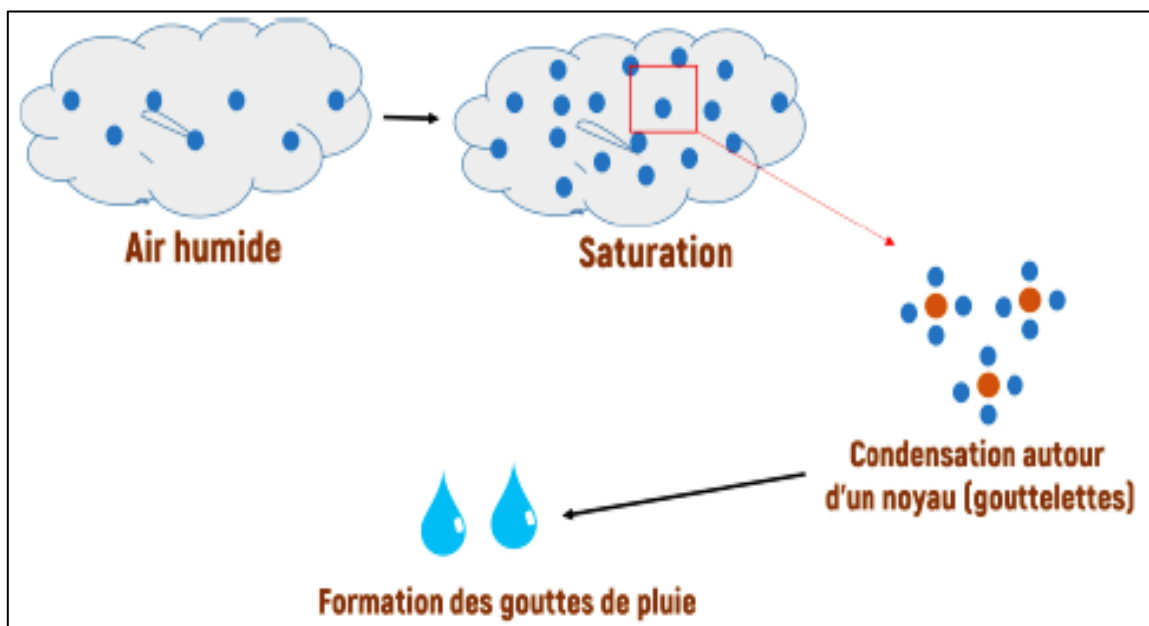


Figure 1.7 : Processus de condensation de la vapeur d'eau et naissance de gouttes de pluie.

1.7.3.2 Types des précipitations

Il existe trois types principaux des précipitations :

- a- Les précipitations convectives :** elles résultent d'une ascendance rapide dans l'atmosphère de masses d'air réchauffées au contact du sol. Elles surviennent principalement pendant la période estivale et sont responsables des principaux dégâts locaux comme coulées de boue, crues des torrents, inondations sectorielles, grêle.

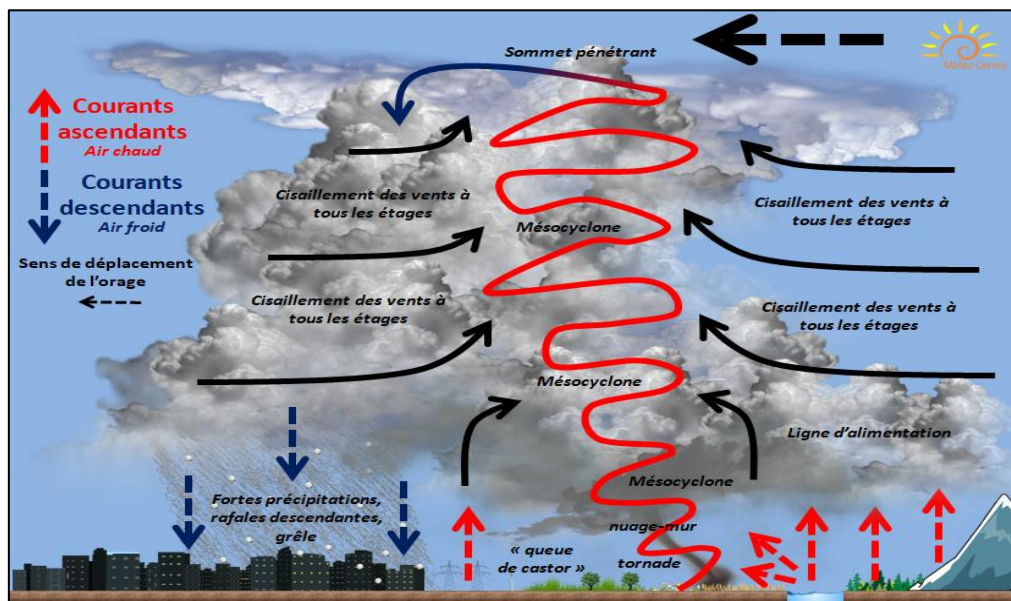


Figure 1.8 : Les précipitations convectives.

- b- Les précipitations orographiques :** Elles s'expliquent par la présence d'une barrière topographique, d'où leur caractère très localisé. Lorsqu'une masse d'air en mouvement bute sur un relief, il se produit une compression et une ascendance dans la zone au vent et une détente dans la zone sous le vent.

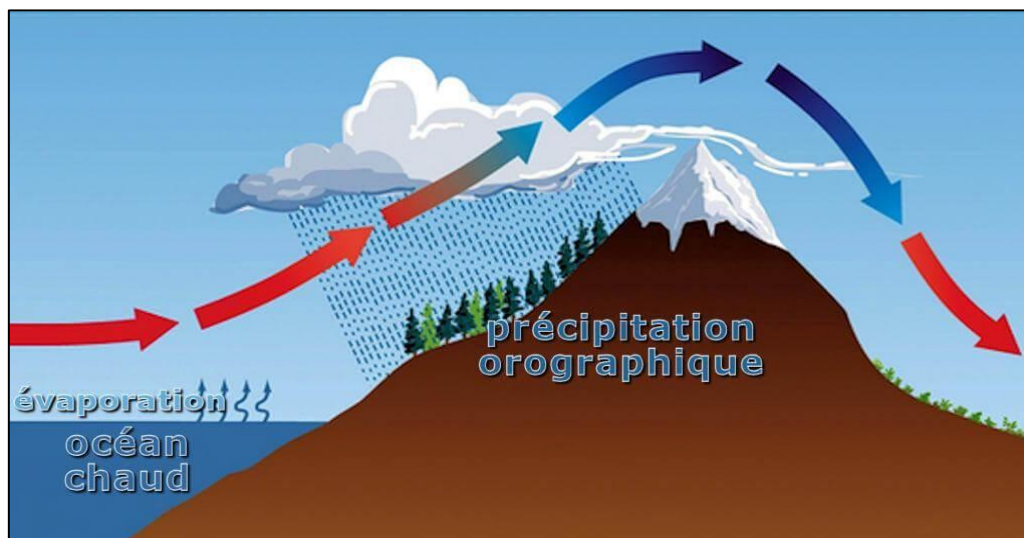


Figure 1.9 : Les précipitations orographiques.

- c- **Les précipitations frontales (cycloniques)** : elles sont associées aux surfaces de contact entre les masses d'air de température, d'humidité et de vitesse de déplacement différents : les fronts qui sont des discontinuités météorologiques associées aux dépressions qu'on observe des précipitations (froids et chauds).

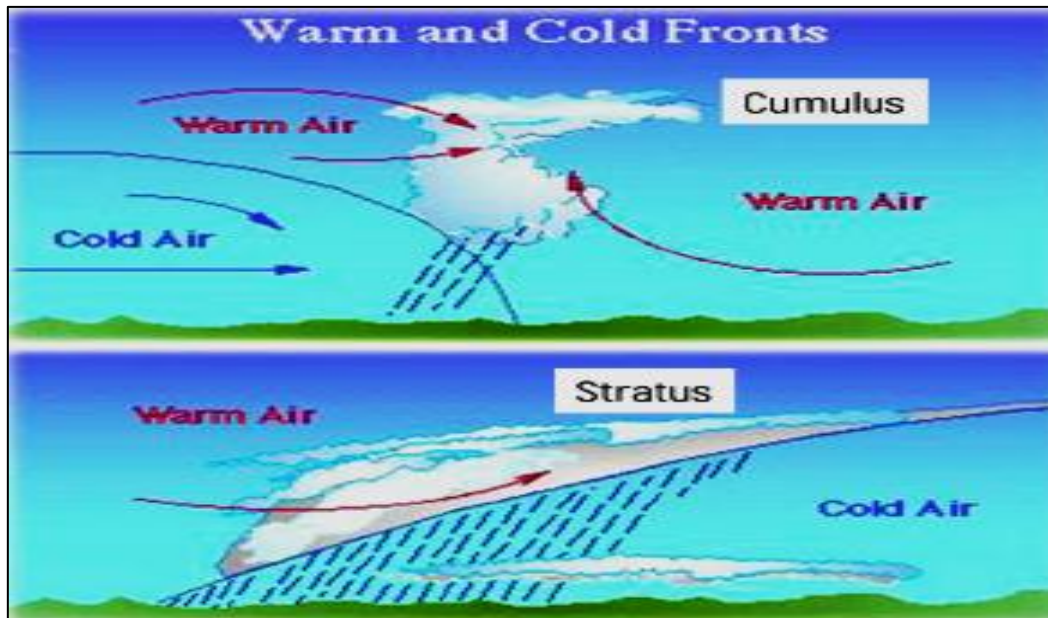


Figure 1.10 : Les précipitations frontales (cycloniques).

1.7.3.3 La nature des précipitations

On distingue cinq différentes natures des précipitations selon les conditions atmosphériques (altitude et température) :

- **La pluie** : elle se forme depuis des gouttelettes ou des cristaux de glace ; la taille des gouttes est variable : lorsqu'elles sont toutes petites (de 0.5 à 6mm).
- **La grêle** : correspond à des billes de glaces pouvant tomber jusqu'à la vitesse de 160 km/h, avec des tailles parfois impressionnantes (de 5 à 50mm).
- **Le grésil** : il passe à l'état liquide avant de rencontrer une couche plus froide et inférieure à 0 °C au cours de sa chute (inférieure de 5mm).
- **La neige** : elle se forme dans des conditions particulières, lorsque la vapeur d'eau se transforme directement en cristaux de glace (plus de 1 cm).
- **La pluie verglaçante** : apparaît lorsque les conditions de pression et de température au sol sont inférieures au point de congélation.

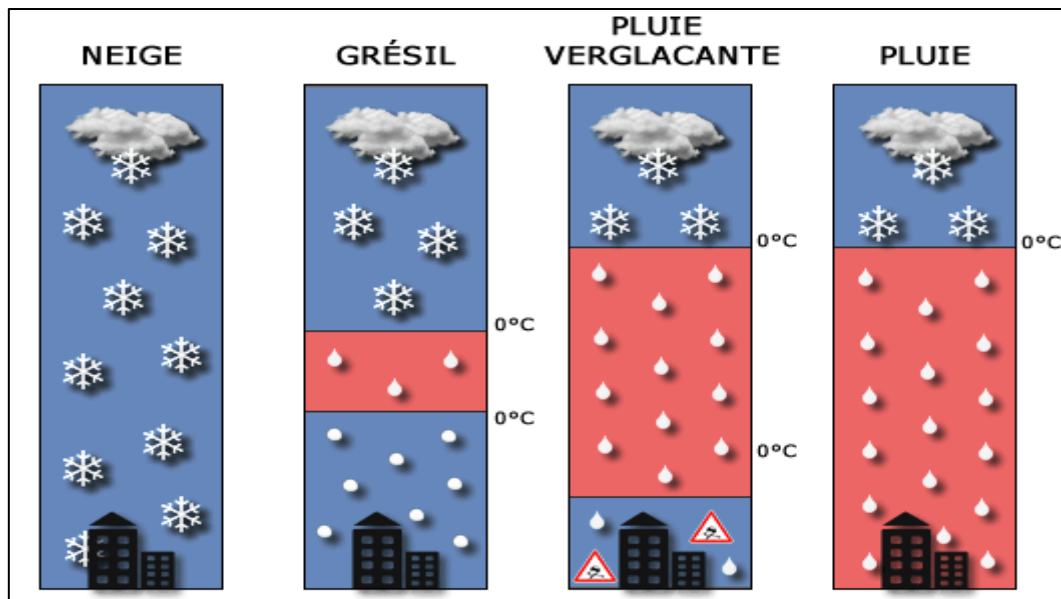


Figure 1.11 : La nature des précipitations selon l’altitude et la température

1.7.3.4 Mesure des précipitations : Les mesures des précipitations et les autres paramètres atmosphériques se font généralement dans **une station pluviométrique** appelée **aussi station météorologique**. Il existe plusieurs appareils de mesure des précipitations, ces appareils on les appelle les pluviomètres (mesure direct et mesure électronique) et les pluviographes. De plus, la hauteur d’eau précipitée est mesurée par le volume d’eau recueilli sur une surface de 1m² (1mm d’eau= 1litre/ m²= 10 m³/ha).



Figure 1.12 : Type des pluviomètres et pluviographes.

1.7.3.5 Analyse des précipitations : Une fois les données recueillies on passe à la représentation et l’analyse de ces données. Cette étape nécessite des notions de statistiques. Une fois les données représentées (généralement sous forme **d’histogrammes (hyétoigrammes)** ou bien de courbes pour les précipitations moyennes mensuelles), on passe

à l'analyse en prenant en compte les conditions atmosphériques de chaque mois et la situation géographique de la station de mesure.

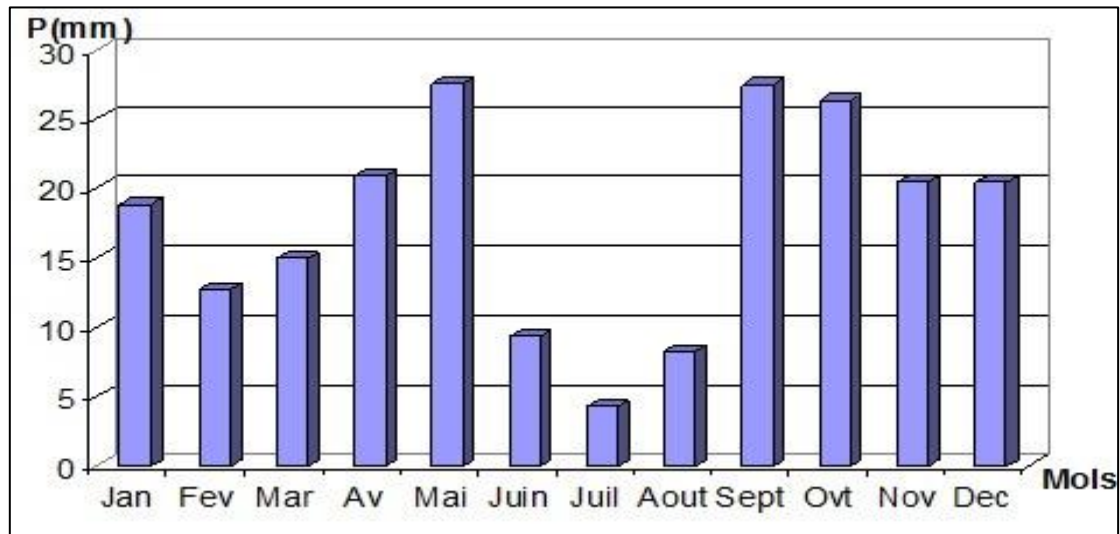


Figure 1.13 : Histogramme de la pluviométrie moyenne mensuelle.

D'autre part, supposons que l'on ait enregistré au pluviographe la courbe des hauteurs cumulées pour une averse. Pour un intervalle de temps Δt on lit sur la courbe la variation Δh correspondante. L'intensité moyenne associée à l'intervalle de temps Δt est définie par le rapport : $i_{max} = \Delta h / \Delta t$. Unité de l'intensité est (mm/min ou mm/h).

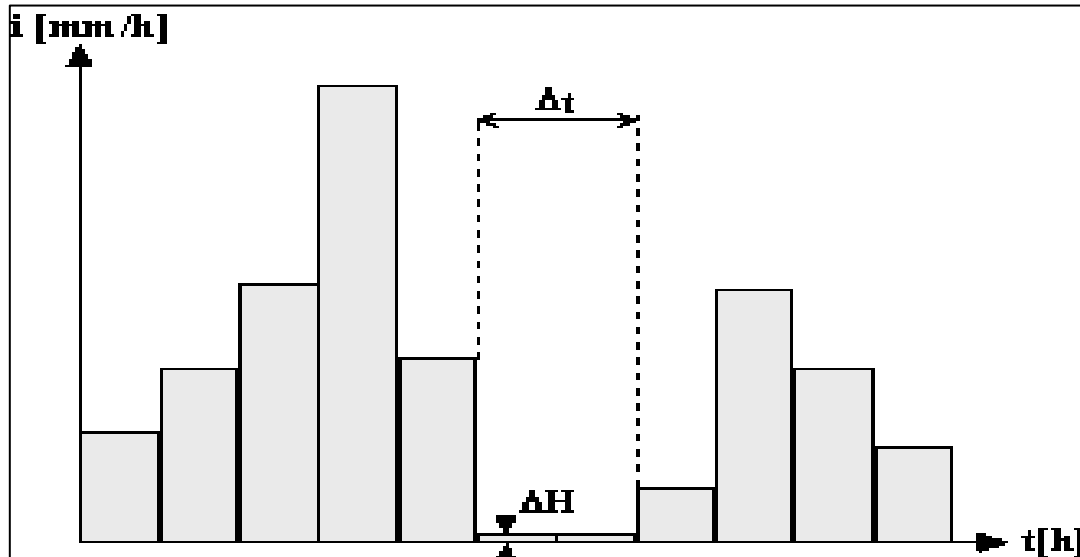


Figure 1.14 : Hauteur cumulée en fonction du temps.

1.7.3.6 Relation entre l'intensité, la durée et la fréquence : les intensités de précipitations sont considérées comme des variables aléatoires. C'est donc en termes de risque de défaillance, que seront dimensionnées les ouvrages d'assainissement. De ce contexte, il est préférable d'avoir recours aux courbes (intensité-durée -fréquence) traduisant l'évolution de l'intensité moyenne maximale (i_{max}) en fonction de la durée de l'intervalle de temps Δt et de

la fréquence d'occurrence F , dont la formulation analytique correspond à **la formule de MONTANA** :

$$i_{\max}(t, F) = a \times \Delta t^{-b}$$

a et b sont des paramètres fonctions de la fréquence F ou de son inverse de la période de retour : $T = 1/F$

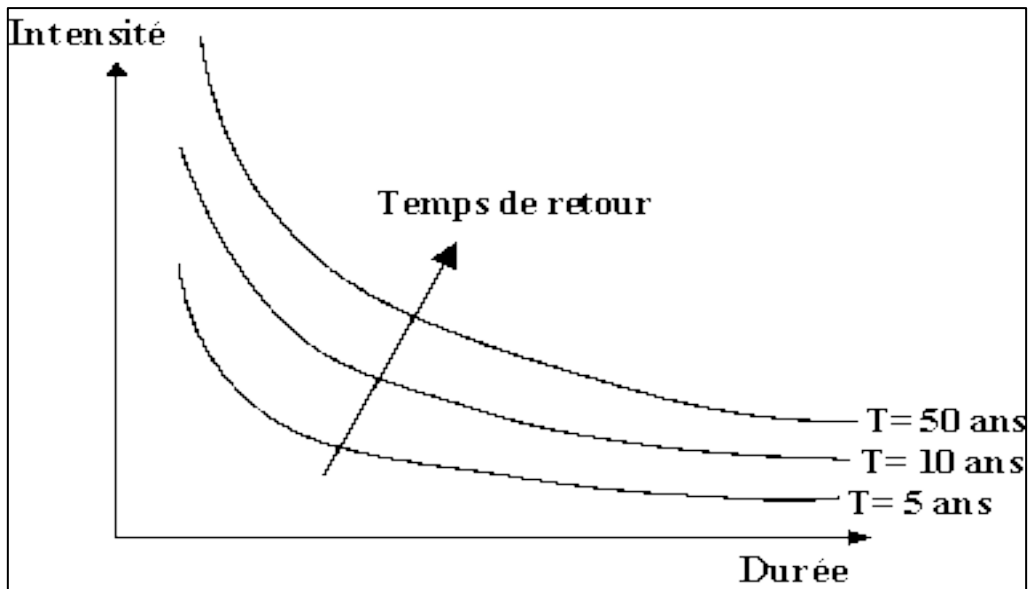


Figure 1.15: Courbe intensité-durée-fréquence.

Tableau 1.2 : Exemples des coefficients de Montana (a , b) pour des pluies de durée de 30 minutes à 24 heures

Durée de retour	a	b
5 ans	7.107	0.733
10 ans	9.334	0.745
20 ans	11.823	0.752
30 ans	13.483	0.756
50 ans	15.795	0.760
100 ans	19.338	0.764

1.7.4 Evaporation et la transpiration : Les termes évaporation et transpiration signifient le départ des pertes en eau par retour direct à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. Ces pertes comportent l'évaporation des nappes d'eau libre, lacs, cours d'eau, du stockage de surface (**nommée évaporation physique**), **par contre la transpiration (évaporation physiologique) désigne** l'évaporation de l'eau par les plantes à travers des stomates comme indique dans la figure (16). Elle dépend par des nombreux facteurs : **la température, l'humidité, le vent, la pression atmosphérique et la qualité d'eau.**

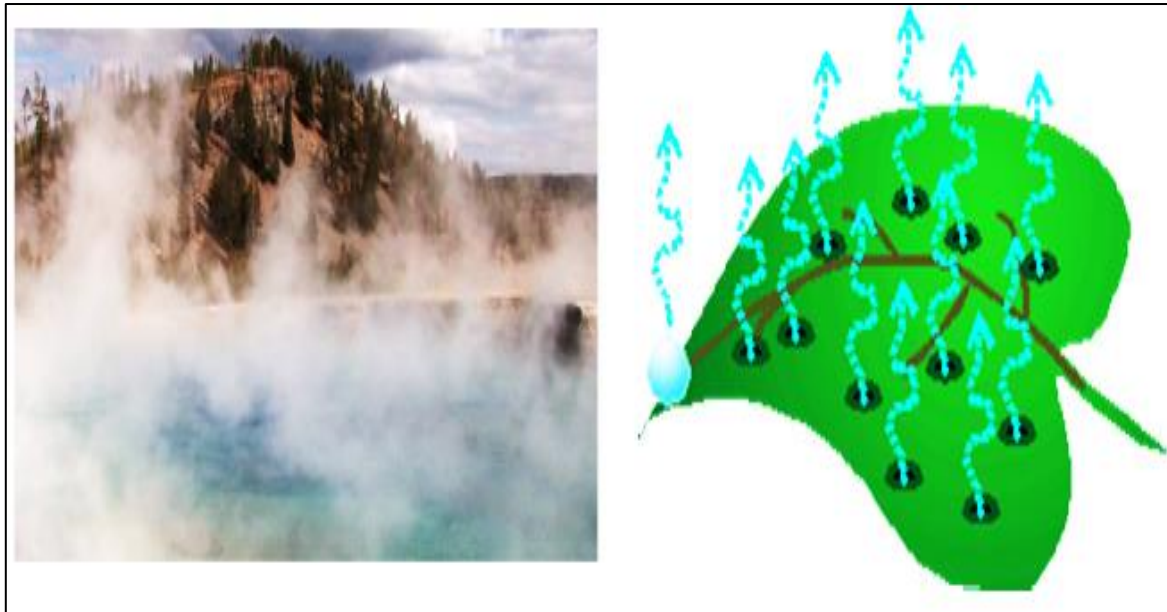


Figure 1.16: Signification des termes évaporation et transpiration.

1.7.5 Evapotranspiration

1.7.5.1 Définition : l'évapotranspiration (ET) est la combinaison de l'évaporation et de la transpiration. L'évaporation est le mouvement de la surface mouillée du sol et des feuilles. La transpiration est le mouvement de l'eau par la plante à travers les stomates. Elle dépend aussi par les mêmes facteurs qui influencent l'évaporation, on peut rajouter la radiation solaire car les végétaux consomment de l'énergie solaire.

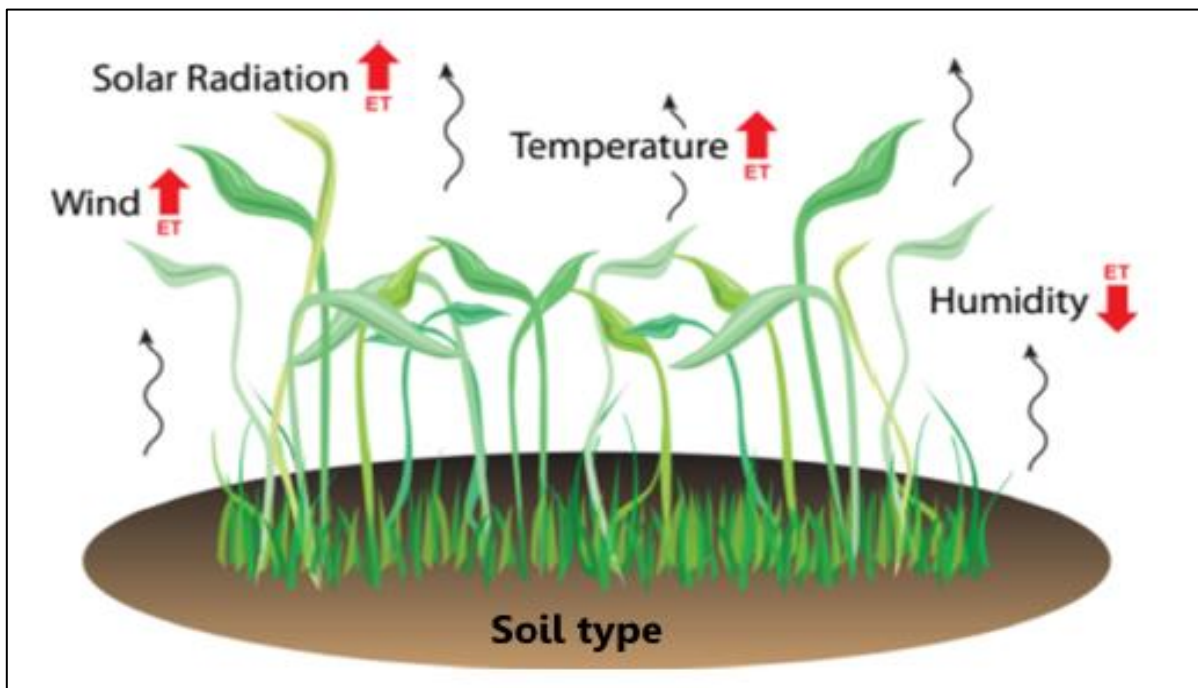


Figure 1.17: Mécanisme de l'évapotranspiration.

1.7.5.2 Types des évapotranspirations : il existe deux types principaux de l'évapotranspiration ; Evapotranspiration **réelle (ETR)** et évapotranspiration **potentielle (ETP)**.

a- L'évapotranspiration potentielle : c'est la quantité **maximale** d'eau susceptible d'être évaporée sous un climat donné par un couvert végétal continu **bien alimenté en eau** (lorsqu'il y a suffisamment d'eau).

b- L'évapotranspiration réelle : c'est la quantité totale d'eau qui s'évapore du sol et des plantes lorsque le sol est à son taux **d'humidité naturel**.

c- La réserve utile (RU) ou la réserve facilement utilisable (RFU): quantité d'eau que la plante peut théoriquement utiliser dans ses conditions optimales. Pour calculer l'évapotranspiration réelle (ETR), on distingue deux conditions suivant le calcul de précipitation (P).

Si $P > ETP$ alors $ETR = ETP$ avec $(RU=P-ETP)$

Si $P < ETP$ alors $ETR = P + RU$ avec $(RU=0)$

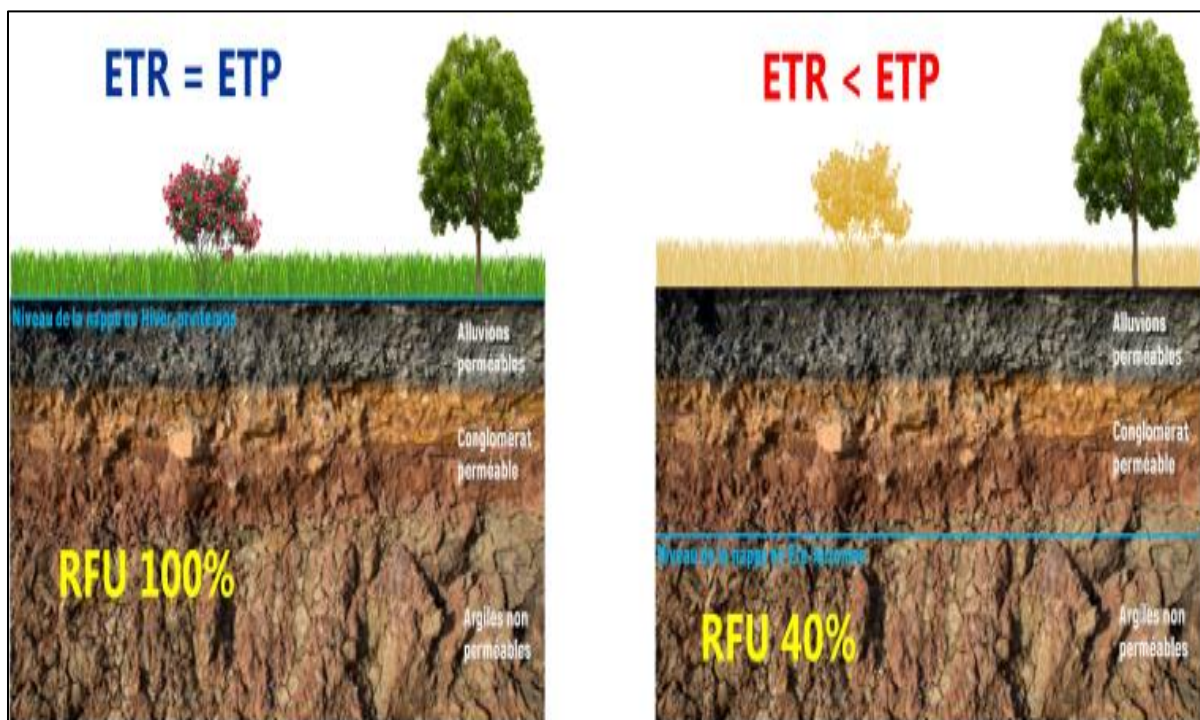


Figure 1.18 : Evapotranspiration réelle (ETR) et évapotranspiration potentielle (ETP).

La relation entre la capacité d'évaporation de l'atmosphère à un endroit donné et les conditions climatiques (en précisant la température « T ») est exprimée par 3 formules principales : **Formule de Martonne** : $E_{max} = 30 \cdot (10 + T)$, **Formule de Langbein** : $E_{max} = 35 \cdot (7 + T)$ et **Formule de Turc** : $E_{max} = 320 + 25 \cdot T + 0.5 \cdot T^3$

1.7.6 Infiltration

1.7.6.1 Définition : c'est le processus par lequel l'eau de pluie **pénètre** les couches superficielles du sol. Ou bien, elle est la partie de l'eau des précipitations qui est **absorbée** par le sol et dirigée vers les couches inférieures. D'autre part, dans la phase de l'infiltration, on distingue un paramètre très important nommé la capacité d'infiltration qui définit par **le taux maximal d'eau qu'un sol peut absorber**. De plus, l'infiltration profonde dans le sol en direction de la nappe phréatique est appelée : **la percolation**. Par contre, l'eau qui **s'écoule** strictement sur les surfaces de terrain produit un phénomène nommé **le ruissellement** qui forme les retenues d'eaux naturelles et artificielles, (si le **taux de précipitation dépasse le taux d'infiltration**).

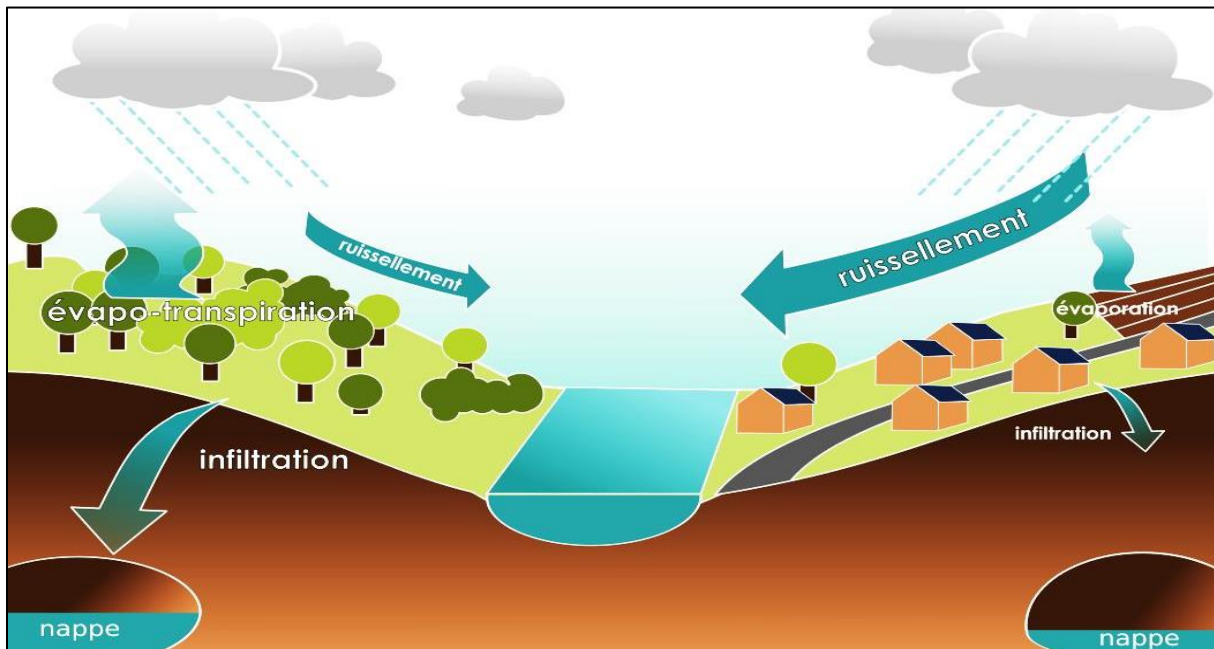


Figure 1.19 : Les processus de l'infiltration et le ruissellement des eaux pluviales.

1.7.6.2 Facteurs influençant la capacité d'infiltration : on distingue nombreux des facteurs qui influent sur le taux d'eau.

- L'épaisseur de la couche saturée du sol ;
- L'humidité du sol, teneur en eau initiale ;
- Le type de sol : texture, structure, porosité ;
- La compaction causée par l'impact des gouttes d'eau sur le sol ;
- Le mouvement des particules fines dans le processus d'infiltration ; celles-ci jouent le rôle de filtre ;

- La compaction causée par l'homme et les animaux ;
- La couverture végétale ;
- La topographie et la morphologie ;
- La pente par exemple agit à l'opposé de la végétation. En effet, une forte pente favorise les écoulements au dépend de l'infiltration ;
- Le débit d'alimentation (intensité de la précipitation, débit d'irrigation) ;
- La température ; le gel ;
- La quantité d'air dans le sol.

1.7.7 Types de ruissellement : on distingue trois types de ruissellement :

- **Écoulement de surface ou ruissellement (superficiel) :** qui signifie le mouvement de l'eau sur la surface du sol) ;
- **Écoulement de subsurface ou écoulement hypodermique :** qui signifie le mouvement de l'eau dans les premiers horizons du sol.
- **Écoulement souterrain (de basse) :** désigne le mouvement de l'eau dans le sol.

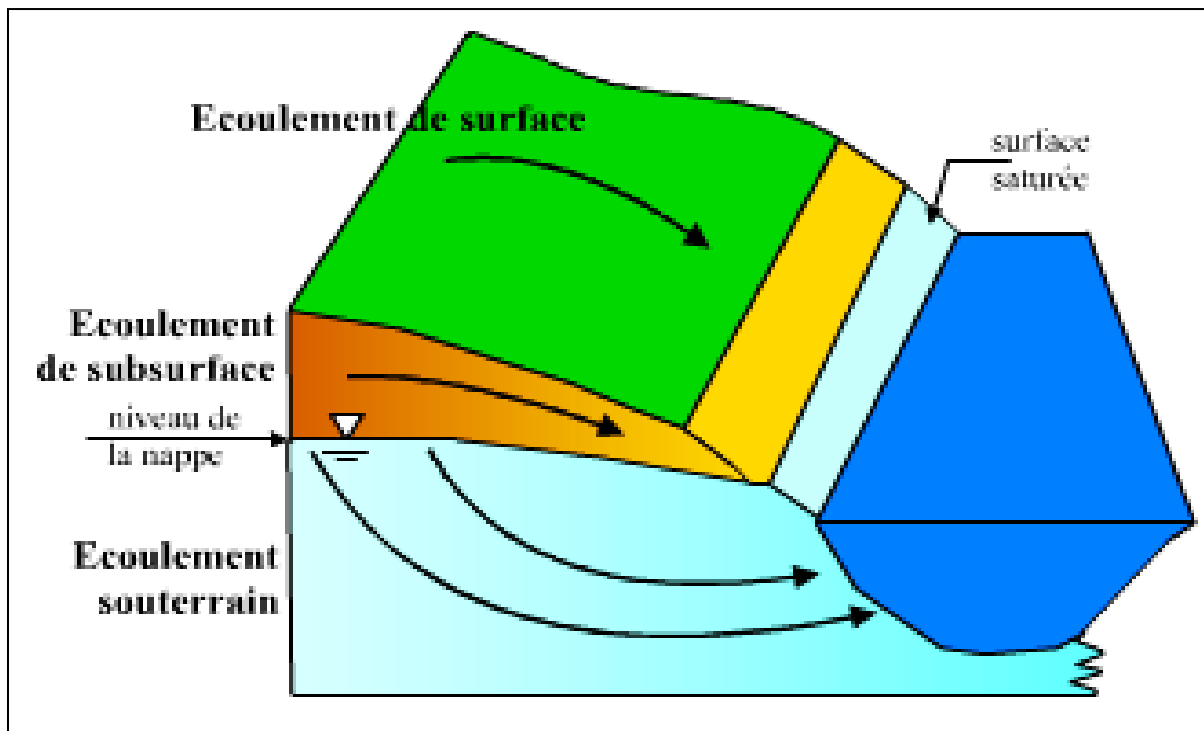


Figure 1.20: Types de ruissellement (écoulement).

1.7.8 Bilan annuel des écoulements

1.7.8.1 L'écoulement total E_t : représente la quantité d'eau qui s'écoule chaque année à l'exutoire d'un bassin versant considéré. L'écoulement est la somme des différents termes : **écoulement superficiel E_s** , **écoulement hypodermique E_h** et **écoulement de base** (ou écoulement souterrain) **E_b** qui résulte de la vidange des nappes.

$$E_t = E_s + E_h + E_b$$

1.7.8.2 Le coefficient d'écoulement total C_{et} : défini par le rapport entre les quantités d'eau écoulées et les quantités d'eau précipitées **P** : $C_{et} = E_t / P$

1.7.8.3 Le coefficient d'écoulement de surface C_{es} : obtenu en calculant le rapport entre les quantités d'eau écoulées rapidement et les quantités d'eau précipitées : $C_{es} = E_s + E_h / P$

1.7.8.4 Bilan hydrique ou hydrologique

Le cycle de l'eau peut être analysé schématiquement selon les trois éléments suivants :

- Les précipitations ;
- Le ruissellement ou écoulement de surface ;
- L'évaporation.

L'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrique est estimée à l'aide d'une équation appelée bilan hydrologique qui représente le bilan des quantités d'eau entrant et sortant d'un système défini dans l'espace et dans le temps (l'année hydrologique).

L'équation du bilan hydrique peut s'exprimer comme suit : $P + S = R + E + (S \pm \Delta S)$

Avec :

P : précipitations (liquide et solide) [mm] ou [m³] ;

S : ressources disponibles à la fin de la période précédente (eaux souterraines, humidité du sol, neige, glace) [mm] ;

R : ruissellement de surface et écoulements souterrains [mm] ;

E : évaporation (y compris évapotranspiration) ;

$S \pm \Delta S$: ressources accumulées à la fin de la période étudiée [mm].

Elle peut s'écrire encore sous la forme simplifiée suivante : $E = I - O \pm \Delta S$

Avec :

E : évaporation [mm] ou [m^3/s]

I : flux d'eau entrant [mm] ou [m^3/s]

O : flux d'eau sortant [mm] ou [m^3/s]

$S \pm \Delta S$: variation de stockage [mm] ou [m^3/s]

1.8 Notions sur le bassin versant

1.8.1 Définition : un bassin versant ou bassin hydrographique est une portion de territoire délimitée par des lignes de partage des eaux (une rivière, avec ses affluents et tous les cours d'eau qui alimentent ce territoire. De plus, toutes les eaux reçues suivent une pente naturelle et se concentrent vers un même point de sortie appelé **exutoire**.

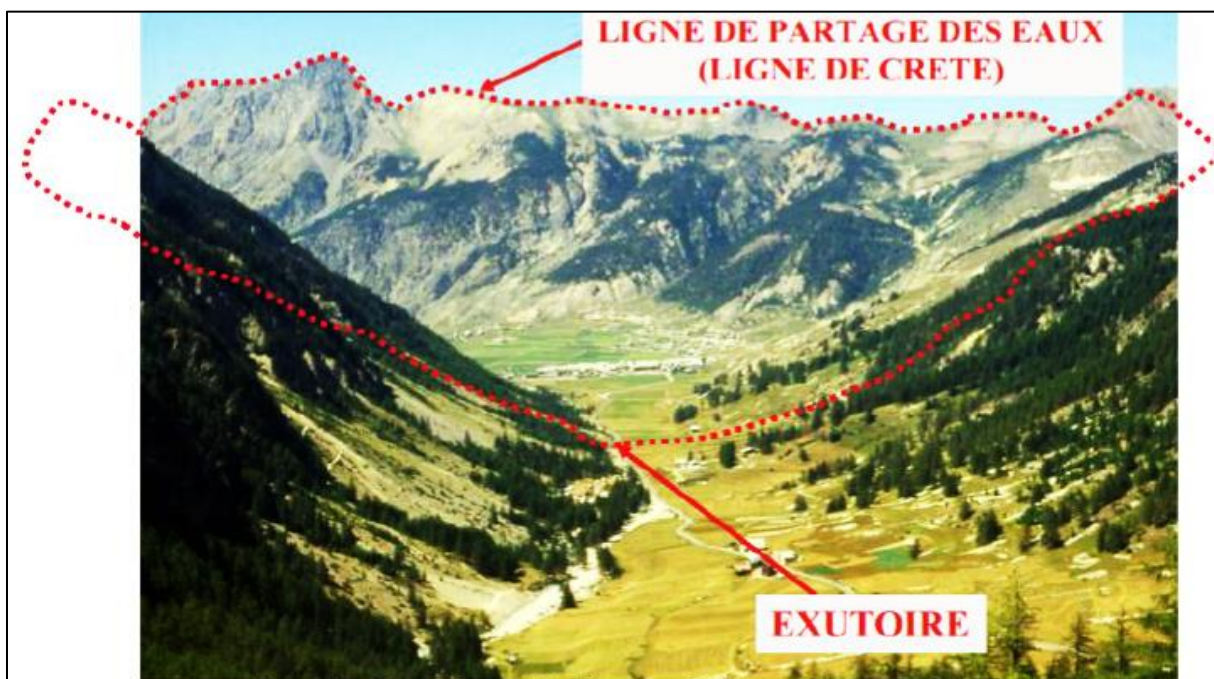


Figure 1.21 : Exemple d'un bassin versant.

1.8.2 Types de bassin versant : le type de bassin versant dépend de la nature de sol (perméable ou imperméable). Si le sous-sol est imperméable, le cheminement de l'eau ne sera déterminé que par la topographie : **Bassin versant topographique**. Par contre, le **bassin versant réel** se définit à partir des hauteurs du plan d'eau dans le sol (Figure 7).

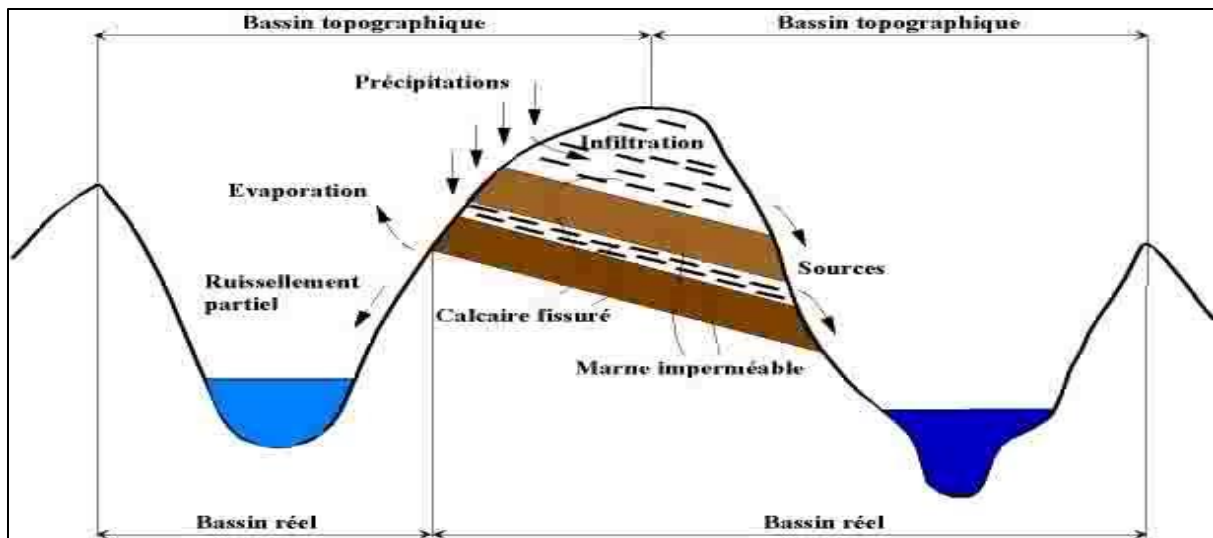


Figure 1.22 : Bassin versant topographique et bassin versant réel.

1.8.3 Classes de bassin versant : on distingue deux classes de bassin versant en tenant compte la nature de zone étudiée.

a- Un bassin versant urbain : c'est un bassin versant qui est équipé par de systèmes de collecte des eaux pluviales (fossés et collecteurs) et si le pourcentage de surfaces imperméabilisées (toitures, voiries, aires de stationnement, etc...) est au minimum de l'ordre de 20% de la surface totale du bassin versant.

b- Un bassin versant naturel : c'est un bassin versant qui est limité par les frontières naturelles.

1.8.4 Les paramètres descriptifs du bassin versant : les paramètres les plus importants qui caractérisent le bassin versant sont :

- ✓ La surface ;
- ✓ Le coefficient de ruissellement ;
- ✓ Les longueurs du cheminement hydraulique ;
- ✓ La pente longitudinale du cours d'eau ;
- ✓ Le temps de concentration.

1.8.4.1 La surface (A) : le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau. Sa surface peut être mesurée par **planimétrie** des cartes topographiques (en utilisant le planimètre « Figure8 ») ou par des techniques de **digitalisation** (utilisation des logiciels comme le **SIG**). L'unité de mesure de surface d'un bassin versant (m^2 , Km^2 et ha).

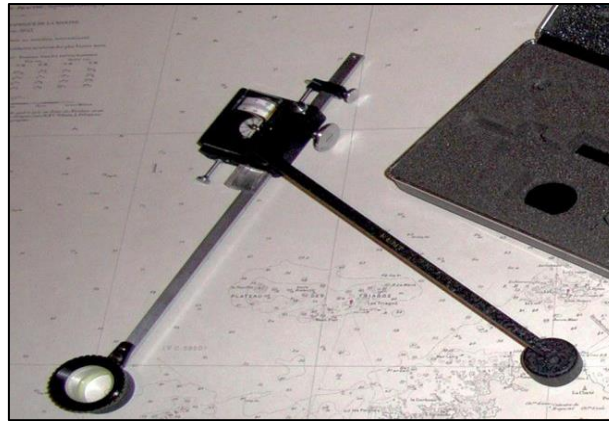


Figure 1.23 : Le planimètre.

1.8.4.2 Le coefficient de ruissellement (C_r) : est défini par le rapport entre le **volume d'eau ruisselé** (i.e. écoulée) un instant (t) au **volume d'eau précipité** à un instant (t). En outre, le coefficient de ruissellement d'un sol naturel dépend de plusieurs paramètres comme : la nature (la morphologie) et l'occupation du sol et sa pente comme indique dans le tableau suivant :

Tableau 1.3 : Coefficients de ruissellement en fonction de l'utilisation des sols, du relief et de la nature des terrains (BOURRIER, 1997 modifié)

Occupation des sols	Morphologie	Pente	Terrain sableux à crayeux	Terrain limoneux à argileux	Terrain argileux compact
Bois	Plat	Inférieur à 1	0,01	0,01	0,06
	Moyen	de 1 à 5	0,03	0,10	0,15
	Ondulé	Supérieur à 5	0,05	0,15	0,20
Pâturage	Plat	Inférieur à 1	0,02	0,05	0,10
	Moyen	de 1 à 5	0,08	0,15	0,20
	Ondulé	Supérieur à 5	0,10	0,28	0,30
Culture	Plat	Inférieur à 1	0,05	0,10	0,00
	Moyen	de 1 à 5	0,12	0,25	0,35
	Ondulé	Supérieur à 5	0,15	0,35	0,45

De plus, le coefficient de ruissellement dépend aussi au type de surface comme présente dans le tableau suivant :

Tableau 1.4 : Coefficient de ruissellement en fonction de type de surface

Type de surface	Coefficient de ruissellement (C_r)
Zone de centre de ville	0,70 - 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

Les facteurs influant sur le coefficient de ruissellement : le coefficient de ruissellement dépend de plusieurs facteurs : La nature du sol ;

- L'inclinaison du terrain ;
- Le mode d'occupation du sol ;
- Densité de population ;
- La durée de pluie ;
- L'humidité du sol ;
- L'humidité de l'air.

1.8.4.3 Les longueurs du cheminement hydraulique : on distingue deux types de longueur de cheminement hydraulique.

a- La longueur d'un bassin versant (L_{CA}) : est la distance mesurée le long du cours d'eau principal depuis l'exutoire jusqu'à un point représentant la projection du **centre de gravité** du bassin sur un plan (Snyder, 1938).

b- La longueur du cours d'eau principal (L) : est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux comme présente dans la figure suivante :

Cette longueur est calculée comme suite : $L = 100 \times \sqrt{2 \times A}$

Avec A : superficie du bassin versant (ha).

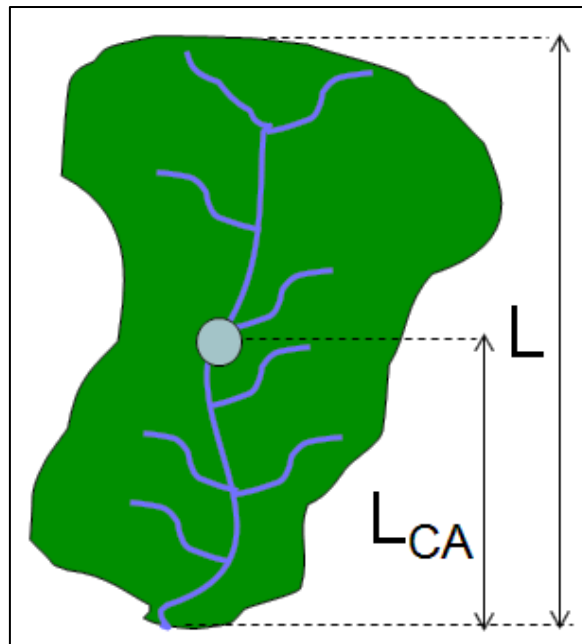


Figure 1.24: Les longueurs du cheminement hydraulique d'un bassin versant.

1.8.4.4 La pente longitudinale de cours d'eau

Le calcul de pente longitudinale du cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents. La méthode la plus employée pour calculer de la pente longitudinale est :

$$P_{\text{moy}} = \Delta H_{\text{max}} / L$$

P_{moy} : pente moyenne du cours d'eau principal [m/km]

ΔH_{max} : différence d'élévation entre les deux points extrêmes de la rivière [m], avec $\Delta H_{\text{max}} = H_{\text{max}} - H_{\text{min}}$;

L : longueur du cours d'eau principal [km]

1.8.4.5 Le temps de concentration (t_c) : c'est le temps que met une goutte d'eau à parcourir la longueur du bassin versant. Il est calculé à l'aide de deux formules :

Formule de Bressan-Golossov : $t_c = L/V$

Où :

L : étant la longueur en m du chemin principal d'écoulement,

V : la vitesse dans ce drain en (m/s) avec : $V = 1 + [(P_{\text{moy}} - 1)/9]$

P_{moy} : étant la pente moyenne en % du cheminement principal.

Par ailleurs, V est bornée et doit répondre à : $1 \text{ m/s} < V < 2 \text{ m/s}$ ce qui signifie :

$$\text{Si } P_{\text{moy}} < 10\% \rightarrow V = 1 \text{ m/s}$$

$$\text{Si } P_{\text{moy}} > 10\% \rightarrow V = 2 \text{ m/s}$$

Formule de Philippe Lefort :

$$t_c = 1.8 \times L^{0.6} \times P_{\text{moy}}^{-0.33} \times R_m^{-0.23}$$

Avec :

t_c : en heures (h),

L : la longueur du chemin principal d'écoulement en (km),

P_{moy} : la pente moyenne **des versants** le long de ce chemin en (m/m)

R_m : le ruissellement en mm, avec : $R_m = 0.8 \times (P_j - P_0)$

P_j : étant la pluie journalière en mm.

P_0 correspond à un seuil de rétention initial et est fourni dans le tableau suivant :

Tableau 1.5: Seuils de ruissellement P_0 en mm (d'après Astier et al. 1993)

Couvert	Morphologie	Pente	Nature de sol		
			Sableux	Argileux	Argileux compact
Boisé	Plat	0-5	90	65	50
	Ondulé	5-10	75	55	35
	Pentu	10-30	60	45	25
Prairie	Plat	0-5	85	60	50
	Ondulé	5-10	80	50	30
	Pentu	10-30	70	40	25
Culture	Plat	0-5	65	35	25
	Ondulé	5-10	50	25	10
	Pentu	10-30	35	10	0

Il existe un grand nombre de formules permettant de calculer ce temps :

Tableau 1.6 : Différentes formules utilisées pour le calcul du temps de concentration

TEMPS de CONCENTRATION		Surface A	Longueur Lh	Pente Ph	Coef ruissellement Imp
PASSINI					
$TC = 60 \times 0.108 \frac{\sqrt[3]{AxL}}{\sqrt{p}}$	mn	km ²	km	m/m	
VENTURA					
$TC = 60 \times 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{p}}$	mn	km ²		m/m	
KIRPICH					
$TC = 0.0195 \times L^{0.77} \times p^{-0.385}$	mn		m	m/m	
TURAZZA					
$TC = 15.62 \times \sqrt{A}$	mn	ha			
SOGREAH					
$TC = 0.90 \times A^{0.35} \times Imp^{-0.35} \times P_h^{-0.5}$	mn	ha		m/m	entre 0 et 1
VITESSE					
$T_c = \sum \frac{L}{60 \times \alpha \times P_h^{0.5}}$	mn		m	m/m	
Alpha= 1.4 pour écoulement en nappe Alpha= K*Rh ^{2/3} pour écoulement concentré					

1.8.4.6 Intensité pluviale : Le calcul du débit d'eau pluvial à évacuer se calcule en fonction de l'intensité pluviale (mm/h) d'un événement pluvieux :

$$i = 60 \times a \times t^{-b} \quad (\text{en mm/h})$$

Où : a et b sont les coefficients de Montana et t : le temps de concentration.

1.9 Les méthodes globales d'évaluation des eaux pluviales : l'évaluation des eaux pluviales est basée sur le calcul de débit de pointe (Q_p) d'un bassin versant en utilisant plusieurs méthodes comme :

1.9.1 Les modèles empiriques : BURKLI-ZEIGLER (Allemagne, 1880) a proposé une formule pour calculer les débits des eaux pluviales comme suite :

$$Q = C_1 \times A^{0,75} \times i \times P_{\text{moy}}^{0,25}$$

Avec :

Q : Débit de pointe, [1 pied cube/s = 0,0283 m³/s] ;

C_1 : Coefficient : $C_1=0,20$ pour **une zone rurale**, $C_1=0,75$ pour une **zone urbaine** très dense ;

A : Surface drainée, (1acre =0,405 ha) ;

i : Intensité moyenne de pluie, (1pouces/heures =25,4 mm/h) ;

P_{moy} : Pente moyenne du Bassin versant.

1.9.2 La méthode rationnelle : cette méthode est plus utilisée dans le cas d'un bassin versant naturel. C'est la plus ancienne méthode de calcul de débit pluviale. Le débit de pointe Q_p relatif à un bassin versant de superficie A et de coefficient de ruissellement C_r est donné par :

$$Q=C \times i \times A \times K$$

Avec :

Q : Débit de pointe (l/s)

C_1 : Coefficient de ruissellement (sans unité)

A : Superficie (surface) de bassin versant (ha)

i : Intensité moyenne de pluie sur la durée t_c pour une période de retour donnée (mm/h)

K : coefficient de conversion présente dans le tableau suivant :

Tableau 1.7: Valeurs du coefficient de conversion K .

Intensité (i)	Surface (A)	Débit (Q)	K
l/(s×ha)	ha	l/s	1
mm/min	ha	l/s	166.7
mm/h	ha	l/s	2.75
mm/h	Ha	m ³ /s	1/360=0.00277
mm/h	Km ²	m ³ /s	1/3.6=0.277

Inconvénients de la méthode rationnelle

- Elle ne tient pas compte de la capacité du stockage du réseau ;
- Temps de concentration à estimer (existence de plusieurs formules) ;
- Estimation du débit pluvial et dimensionnement de la canalisation sont fusionnées.

1.9.3 La méthode de Caquot 1941 : c'est une méthode plus évoluée par rapport à la méthode rationnelle en évitant d'être limitée par **l'estimation des temps de concentration**

d'une part et en prenant en compte les possibilités **de stockage des eaux** sur le bassin versant et dans les canalisations.

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

Avec :

Q_p : Débit de pointe (m^3/s) ;

C : Coefficient de ruissellement ; I : Pente du collecteur (m/m) ;

A : Surface du bassin versant (ha) ; L : Longueur du chemin le plus éloigné hydrauliquement ($hm=100m$).

K , u , v , w et η sont les paramètres de l'équation de Caquot définis par :

$$K = \left[\frac{a \times \mu^b}{6 \times (\delta + \beta)} \right]^\mu$$

$$\mu = \frac{1}{1 - (b \times f)}$$

$$v = \frac{c \times b}{1 - (b \times f)} = c \times b \times \mu$$

$$w = \frac{b \times d \times 1 + \varepsilon}{1 - (b \times f)} = (b \times d + 1 + \varepsilon) \times \mu$$

$$\eta = \left[\frac{E}{2} \right]^{0.84 \times b \times \mu}$$

Avec : E : coefficient d'allongement $E = \frac{L}{\sqrt{A}}$

Si le coefficient d'allongement (E) est différent de 2, le débit maximum est multiplié par un coefficient correcteur (m) : $Q = m * Q_p$ Avec $m = (E/2)^{0.7b}$

a et b sont les coefficients de Montana

μ , c , d , f , δ , β et ε sont des coefficients d'ajustement numérique du modèle de **Caquot** présentés dans le tableau suivant :

Tableau 1.8 : Coefficients d'ajustement numérique du modèle de Caquot.

	μ	c	d	f	$\delta+\beta$	ε
CG1333.1949	0.92	-0.363	0.367	-0.200	1.5	-0.10
LORIFERNE 1977	0.50	-0.410	0.507	-0.287	1.1	-0.05
DESBORDES	0.05	-0.410	0.507	-0.287	1.1	-0.05

1.10 Relation entre l'urbanisation et le bilan hydrologique de l'eau

1.10.1 Définition de l'urbanisation : le terme de l'urbanisation définie comme une concentration croissante de la population autour des agglomérations urbaines existantes.

1.10.2 Effet de l'urbanisation sur le bilan hydrique de l'eau : L'analyse du bilan hydrique permet d'évaluer quelle portion de la précipitation ruissellera ou s'infiltrera. Les impacts de l'urbanisation sur le cycle de l'eau, qui sont schématisés à la figure 21, sont essentiellement liés à **l'imperméabilisation des surfaces** (se traduit par une **suppression complète de l'infiltration** de l'eau dans le sol) qui entraîne une réduction marquée des capacités d'infiltration du sol. Cette réduction participe :

- A la diminution des quantités d'eau infiltrées qui ne peuvent plus ainsi contribuer à la recharge des nappes souterraines ;
- L'aggravation des inondations par l'augmentation des vitesses et des quantités d'eau ruisselée ;
- La création de microclimats aux températures plus élevées dans les zones urbaines où la végétation est rare induisant une la diminution de l'évapotranspiration ;
- La pollution des milieux superficiels par lessivage des sols.

Ainsi que le **coefficient d'imperméabilisation (C_{imp})** qui égal le rapport entre **la surface imperméabilisée et la surface totale** de milieu urbain, qui doit tenir en compte dans l'étude de l'effet de l'urbanisation sur le bilan hydrique.

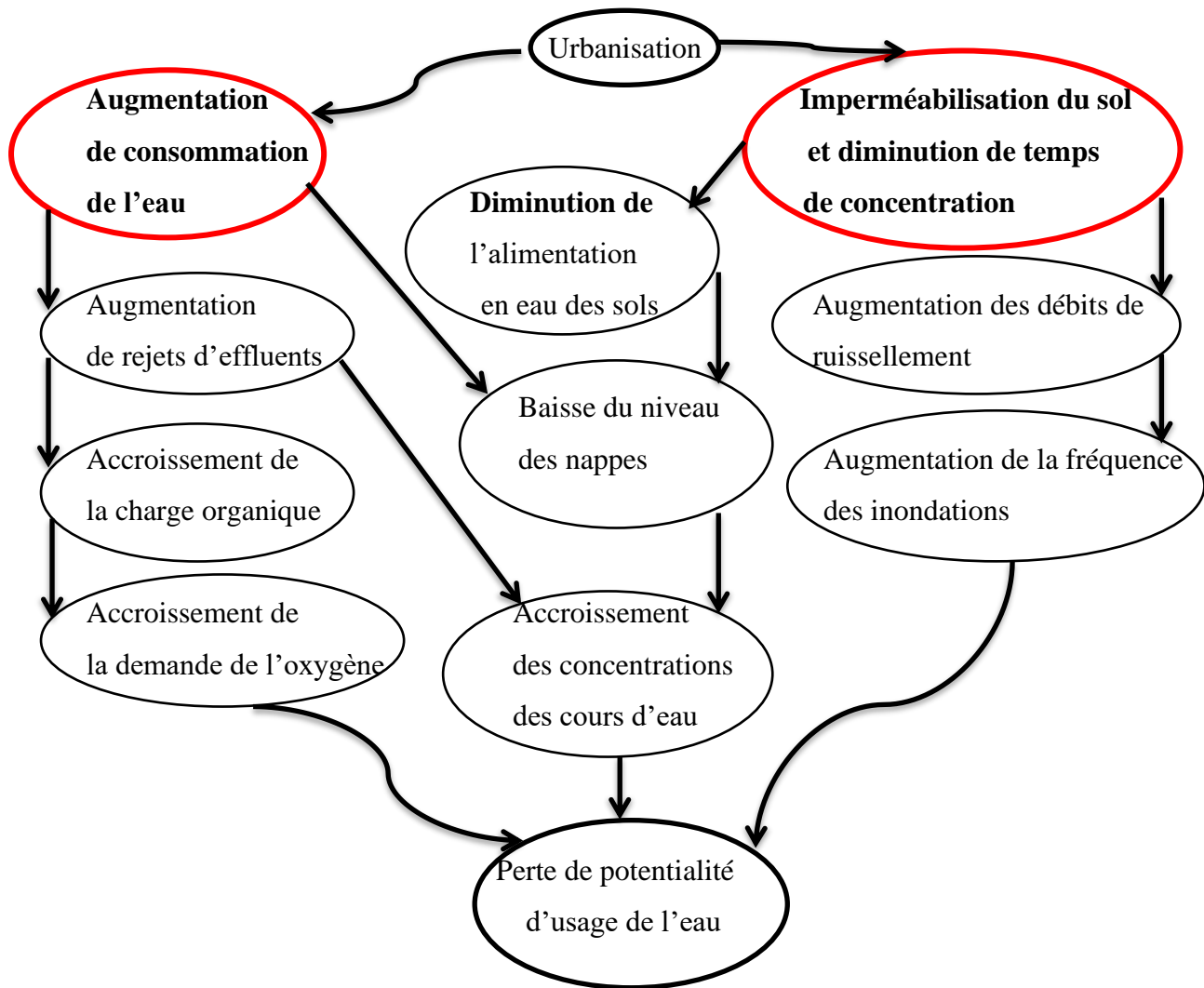


Figure 1.25 : Impacts de l'urbanisation sur le bilan hydrique.

La figure 1.26 fournit la modification pouvant être apportée aux différentes composantes du cycle hydrologique par l'urbanisation d'un territoire. Globalement, on indique donc qu'il se produit avec l'urbanisation une altération importante de la quantité d'eau infiltrée et aussi de la partie de la précipitation qui peut s'évaporer, ce qui influe d'une façon significative sur les volumes de ruissellement.

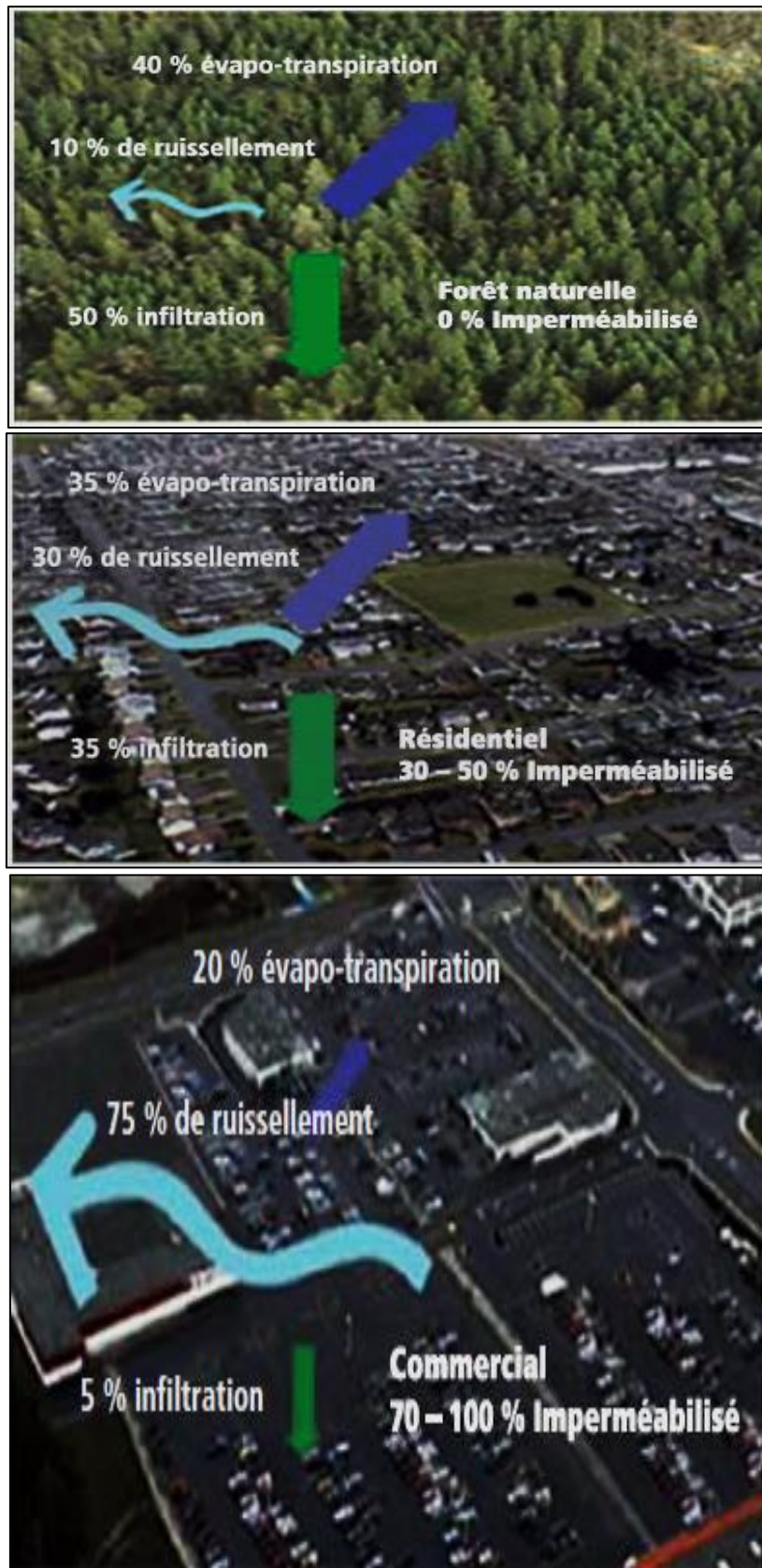


Figure 1.26 : Modifications aux paramètres hydrologiques dues à l'urbanisation.

1.11 Les séries des exercices : Partie 1**TD1 : Les précipitations****Exercice 01**

Soit les données d'une station pluviométrique située au niveau d'un bassin versant et dont la durée totale d'enregistrement est de 13 heures (Tableau 1).

Intervalle de temps (heures)	Intensité de pluie (mm)
6-7	8.70
7-8	17.20
8-9	13.00
9-10	10.50
10-11	20.00
11-12	6.00
12-13	11.00
13-14	14.00
14-15	29.00
15-16	38.60
16-17	25.00
17-18	10.0
18-19	2.50

Question : Construire le hyétogramme de l'intensité de pluie en fonction de temps ?

Exercice 02

Soit les données d'une station pluviométrique située au niveau d'un bassin versant.

Intervalle de temps (heures)	Intensité de pluie (mm)	Intensité moyenne maximale (mm/h)
1	38.6	?
2	67.6	?
3	92.6	?
4	106.6	?
5	117.6	?
6	127.6	?
7	141.6	?
8	152.0	?
9	165.0	?
10	182.2	?
11	192.2	?
12	200.9	?
13	203.4	?

Questions

- 1- Déterminer les intensités moyennes maximales pour différents intervalles de temps à partir de données illustrées dans le tableau 2.
- 2- Construire la courbe Intensité moyenne maximale-Durée et déduire analytiquement les coefficients de Montana ?

Exercice 03

Soit les données d'une station pluviométrique située au niveau d'un bassin versant.

Intervalle de temps (heures)	Intensité de pluie (mm)	Intensité moyenne maximale (mm/h)
1	?	19.3
2	?	16.9
3	?	15.44
4	?	13.33
5	?	11.75
6	?	10.65
7	?	10.10
8	?	9.50
9	?	9.15
10	?	9.10
11	?	8.75
12	?	8.35
13	?	7.80

Question :

- 1- Complétez le tableau suivant en déduisant l'intensité de pluie ?
- 2- Construire la courbe Intensité moyenne maximale-Durée et déduire analytiquement les coefficients de Montana ?

TD2 : L'évaporation**Exercice 01**

Complétez les valeurs de la réserve utile et de l'évapotranspiration réelle pour chacun des mois.

Mois	P (en mm)	ETP (en mm)	RU (en mm)	ETR (en mm)
Janvier	43	15		
Février	48	36		
Mars	49	63		
Avril	52	96		
Mai	55	120		
Juin	43	150		
Juillet	29	162		
Aout	49	141		
Septembre	58	93		
Octobre	86	45		
Novembre	49	21		
Décembre	47	15		

Exercice 02

Complétez les valeurs qui manquent dans le tableau suivant.

Mois	P (en mm)	ETP (en mm)	RU (en mm)	ETR (en mm)
Janvier		20	28	20
Février		42	14	42
Mars		67	0	53
Avril		98	0	60
Mai	61	125		

Juin		157	0	41
Juillet		172	0	32
Aout	54	143		
Septembre	63	96		
Octobre	98	48		
Novembre		24	23	
Décembre		19	16	

Exercice 03

1-On demande de calculer l'évaporation maximale pour un bassin versant qui enregistre les valeurs de températures suivantes : 20°C, 35°C, 55°C, 290.15°K, 332.15, °K, 300.15°K, 87.8°F, 107.6°F et 127.40°F en utilisant les formules de : Martonne, Langbein et Turc.

2-Des évaporations maximales égales ($E_{\max}=1380$ mm, 1140 mm et 1770 mm) calculées par la formule de Martonne ont été enregistrées dans un bassin versant. On demande de déterminer les températures correspondantes en degré Celsius ?

3-Des évaporations maximales égales ($E_{\max}=2065$ mm, 1750 mm et 1505 mm) calculées par la formule de Langbein ont été enregistrées dans un bassin versant. On demande de déterminer les températures correspondantes en degré Fahrenheit ?

TD 3 : Le bilan Hydrique**Exercice 01**

Pour une année hydrologique, un bassin versant d'une superficie de 2500 km^2 , reçoit des précipitations correspondant à une hauteur d'eau de 1300 mm . Le débit moyen mesuré à l'exutoire du bassin est de $30 \text{ m}^3/\text{s}$.

Questions : 1- Calculer le volume précipité de ce bassin versant pour l'année hydrologique donnée, sachant qu'il égale la précipitation multipliée par la surface de bassin versant ?

2- Calculer le volume ruisselé de ce bassin versant sachant qu'il égale le débit moyen mesuré multiplié par le nombre des secondes par une année ?

3- Calculer le coefficient de ruissellement ?

4- Si on constate que l'écoulement superficiel égal ($E_s = 4.2 \times 10^8 \text{ m}^3$) et l'écoulement hypodermique égal ($E_h = 3.7 \times 10^8 \text{ m}^3$), déterminer le coefficient d'écoulement de surface ?

5- Calculer l'évaporation de ce bassin versant (en m^3 et en mm d'eau) en utilisant la formule de bilan hydrique, en tenant compte que la variation de stockage égale 0 ?

Exercice 02

Pour deux années hydrologiques, un bassin versant ayant une surface de 3000 km^2 , reçoit des précipitations correspondant à une hauteur d'eau de 2200 mm . Le débit moyen mesuré à l'exutoire du bassin est de $40 \text{ m}^3/\text{s}$.

Questions : 1- Calculer le volume précipité de ce bassin versant ?

2- Calculer le volume ruisselé de ce bassin versant ?

3- Calculer le coefficient de ruissellement ?

4- Calculer l'évaporation de ce bassin versant (en m^3 et en mm d'eau) en utilisant la formule de bilan hydrique, en tenant compte que la variation de stockage égale 0 ?

Chapitre 02 : Principes de dimensionnement des réseaux des eaux pluviales

2.1 Introduction

Le dimensionnement des réseaux d'eaux pluviales est un processus crucial dans la conception de tout système de drainage urbain. L'objectif principal est de s'assurer que le réseau est suffisamment dimensionné pour transporter les eaux de pluie de manière efficace et sûre tout en minimisant les risques d'inondation. En général, le dimensionnement des réseaux d'eaux pluviales implique l'utilisation de modèles hydrauliques pour calculer le débit de pointe qui sera transporté dans le réseau. Cela permet d'identifier les diamètres des tuyaux, les hauteurs de chute et les capacités de stockage nécessaires pour gérer efficacement les eaux de pluie. En somme, le dimensionnement des réseaux d'eaux pluviales est un processus complexe qui nécessite une compréhension approfondie des principes hydrauliques, ainsi que des considérations environnementales, réglementaires et pratiques.

2.2 Différentes types des eaux pluviales

On distingue deux types essentiels des eaux pluviales :

2.2.1 Eau météorite : d'une manière générale, l'eau météorite c'est la pluie qui tombe en gouttes d'eau sur la terre.

2.2.2 Eau de ruissellement : c'est l'eau qui s'écoule dans les tuyaux, les toitures, les gouttières, les cours, les bâtiments, les chaussées et les trottoirs.

2.3 Les réseaux récupérant les eaux de ruissellement : Plus l'urbanisation est croissante, plus les volumes d'eau ruisselés sont importants et les débits élevés. Cette dernière nécessite une intégration de réseau urbain dans la ville dans le but de protéger la ville des inondations sans augmenter le coût d'investissements. Les principes de dimensionnement des réseaux d'eaux pluviales sont basés sur plusieurs facteurs, tels que la zone de drainage, la pluviométrie locale, la topographie, le type de sol et le débit maximum attendu. Le dimensionnement doit également tenir compte des exigences environnementales et réglementaires, telles que la gestion des eaux pluviales et la prévention de la pollution. En outre, on indique quatre types de réseaux :

2.3.1 Le réseau unitaire : Il collecte à la fois les eaux usées, de pluie et de ruissellement. Le dimensionnement est établi de façon à pouvoir évacuer, outre les débits habituels d'eaux usées (débits de temps sec), les forts débits générés par les pluies.

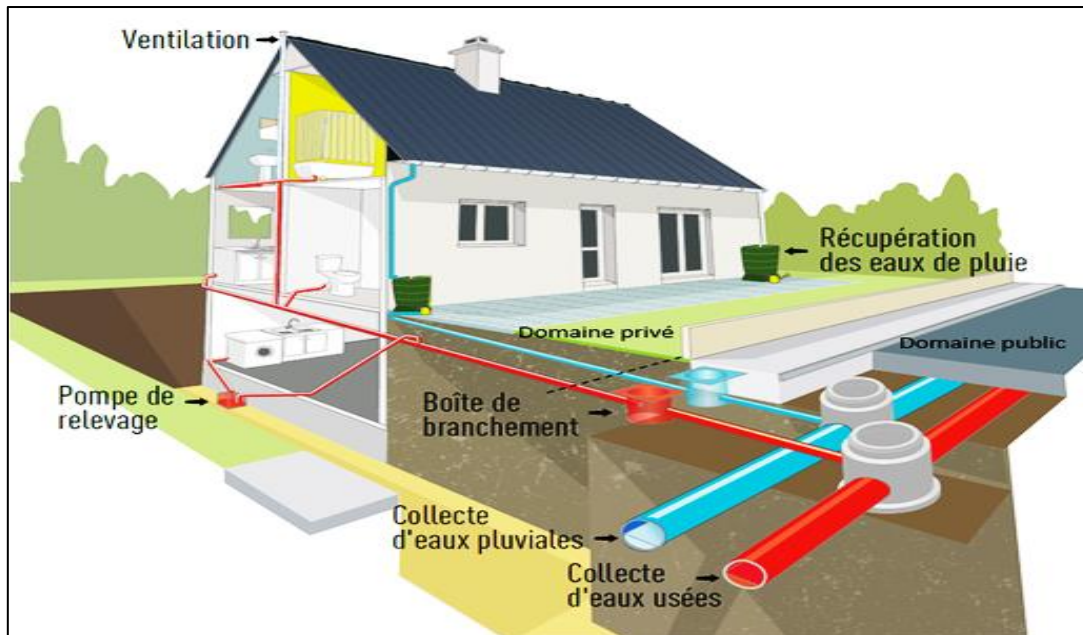


Figure 2.2 : Exemple d'un réseau séparatif.

2.3.4 Les avantages et les inconvénients de réseau séparatif

a- Les avantages

- Le rendement d'épuration est meilleur et le débit d'effluent moins élevé ;
- Les pluies violentes ne conduisent plus à un rejet usé dans le milieu naturel ;
- La capacité d'auto-curage est meilleure. Donc une économie de maintenance.

b- Les inconvénients

- Le coût global de réalisation est plus élevé, de l'ordre de 1,5 fois le coût du réseau unitaire ;
- Le coût de gestion de branchement est plus important ;
- Les eaux pluviales ne sont pas exemptes de substances polluantes et nécessitent parfois un traitement spécifique avant leur rejet final.

2.3.5 Le réseau pseudo-séparatif : Ce réseau assure la collecte des écoulements des toitures, des cours, des terrasses et d'espaces privés, qui sont alors raccordés au réseau des eaux usées pour aboutir à la station d'épuration. **L'avantage de ce réseau** est de ne nécessiter qu'un seul branchement pour les particuliers, tout en déconnectant une partie des surfaces imperméables du réseau d'eaux usées. **Le seul inconvénient de ce réseau** est le rejet direct au milieu naturel des eaux produites par les voiries, y compris par temps sec (nettoyage à l'eau des rues ou des places de marché).

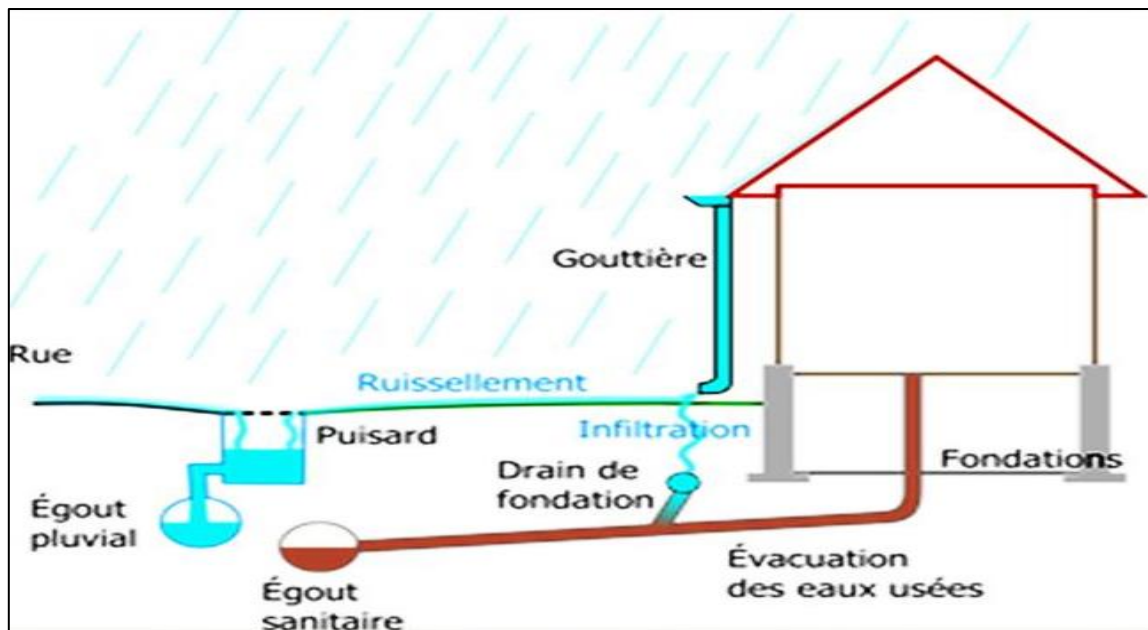


Figure 2.3: Exemple d'un réseau pseudo-séparatif.

2.3.6 Le réseau mixte : Il est constitué en partie de réseau unitaire, en partie de réseau séparatif et/ou en partie de réseau pseudo-séparatif. C'est le système le plus souvent rencontré dans les villes avec leurs extensions.

2.4 Facteurs du choix du réseau : le choix du réseau est conditionné par plusieurs facteurs (situation, profil, débit, cout ...) et notamment par :

- La densité de population ;
- La nature des sols ;
- La présence des nappes phréatiques ;
- L'existence d'un système d'assainissement collectif public ;
- L'espace disponible ;
- Les orientations choisies en matière d'aménagement des villes ;
- La topographie locale ;
- Les régimes des précipitations ;
- Le tracé du réseau de la voirie urbaine ;
- L'importance de l'imperméabilité des sols ;
- La réparation des quartiers résidentiels, commerciaux et industriels.

2.5 Critères influant sur le choix de réseau : on peut définir les critères influant sur le choix d'un réseau de la façon suivante :

- ✓ Evacuer au plus bas cout possible les eaux de ruissellement ;

- ✓ Respecter les objectifs de qualité des eaux rejetées dans le milieu naturel ;
- ✓ Tenir compte des choix d'urbanisme et d'occupation des sols.

2.6 Dimensionnement des réseaux des eaux usées et pluviales

2.6.1 Eaux usées

2.6.1.1 Variation des débits des eaux usées : le calcul des débits maximaux est basé sur l'évaluation de la quantité d'eau consommée par habitant et par 24 heures correspondant aux plus fortes consommations journalières de l'année, estimées ou calculées à partir des volumes d'eau produits.

2.6.1.2 Nombre d'équivalent habitants (EH) : est une unité conventionnelle de mesure de la pollution moyenne rejetée par habitant et par jour. Il s'exprime en EH, autrement dit une industrie de 100 EH pollue autant que 100 personnes. Il peut se varier suivant le type d'élément étudié.

Tableau 2.1: Valeurs d'équivalent habitants en fonction de type de construction.

Types de construction	Valeur de (EH)
Usine / Atelier	1 ouvrier 1/2 EH
Bureau	1 employé 1/3 EH
Ecole	1 élève 1/3 EH
Hôtel	1 lit simple 1EH, lit double 2EH
Camping- emplacement de passage	1.5 EH
Camping- emplacement résidentiels	2 EH
Caserne	1 personne 1 EH
Restaurant	1 couvert 1/4 EH
Salle de réception des fêtes	1 place 1/20 EH
Théâtre	1 place 1/30 EH
Plaine de sport	1 place 1/20 EH
Centre spécifique de soins	1 lit 1.5 EH

2.6.1.3 Débit moyen journalier (q_m): la consommation moyenne journalière prévisible se situe dans une marge de 200 à 250 litres par habitant et par jour. Soit un débit moyen à évacuer : $140 \text{ l/h.j} \leq q_m \leq 170 \text{ l/h.j}$. On en déduit le débit moyen en prenant en compte le nombre d'équivalent habitants : $Q_m = E.H * q_m$ ou bien :

$$Q_m : (C_{\text{eau}} \times N^{\text{bre}} \text{ habitants} \times \alpha) / 86400$$

Avec :

C_{eau} : consommation d'eau potable

$N^{\text{bre}} \text{ habitants}$: nombre des habitants

α : estimation que 70% de l'eau consommée est rejetée. $\alpha=0.7$

2.6.1.4 Débit de pointe (Q_p): à cause des activités et des modes de vie, on indique que les débits d'eaux usées se caractérisent par des pointes à certaines périodes de la journée. Dans ce contexte, le débit de pointe :

$$Q_p = p * Q_m$$

Avec :

$$p = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Q_m}}$$

2.6.1.5 Vitesse d'écoulement des eaux usées : Manning- Strickler ont proposé en 1890 une formule empirique pour calculer la vitesse d'écoulement des eaux usées dans les conduites comme suite :

$$V = K_m \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

Avec :

K_m : coefficient global d'écoulement qui dépend de plusieurs paramètres :

- Les caractéristiques des tuyaux : la rugosité absolue des tuyaux en service, le nombre de joints et la façon dont ils assurent la continuité géométrique de la canalisation ;
- La nature de l'effluent (ex. : eaux usées ou eaux pluviales), sa température, la quantité de matières solides véhiculées et les éventuels dépôts, l'air contenu ;
- La qualité de la pose et notamment, les changements de pente, voire les contre-pentes ou les désalignements, qui peuvent apparaître pendant la durée de vie de l'ouvrage ;
- Les points singuliers du réseau tels que changements de direction éventuels (ex. : coudes) et la qualité des raccordements au niveau des regards et des branchements ;

- Les taux de remplissage. Les valeurs de K sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 2.2 : Valeurs de K en fonction de type de réseau.

Type de réseau	Valeurs de K
Fossé a paroi en herbe	30
Fossé a paroi en terre	40
Canalisation en maçonnerie	60
Canalisation en béton	75
Canalisation en fibre de ciment	80
Canalisation en fonte	90
Canalisation en PVC	100

R : Rayon hydraulique égal le rapport entre la surface d'écoulement et le périmètre mouillé comme illustre dans la figure suivante :

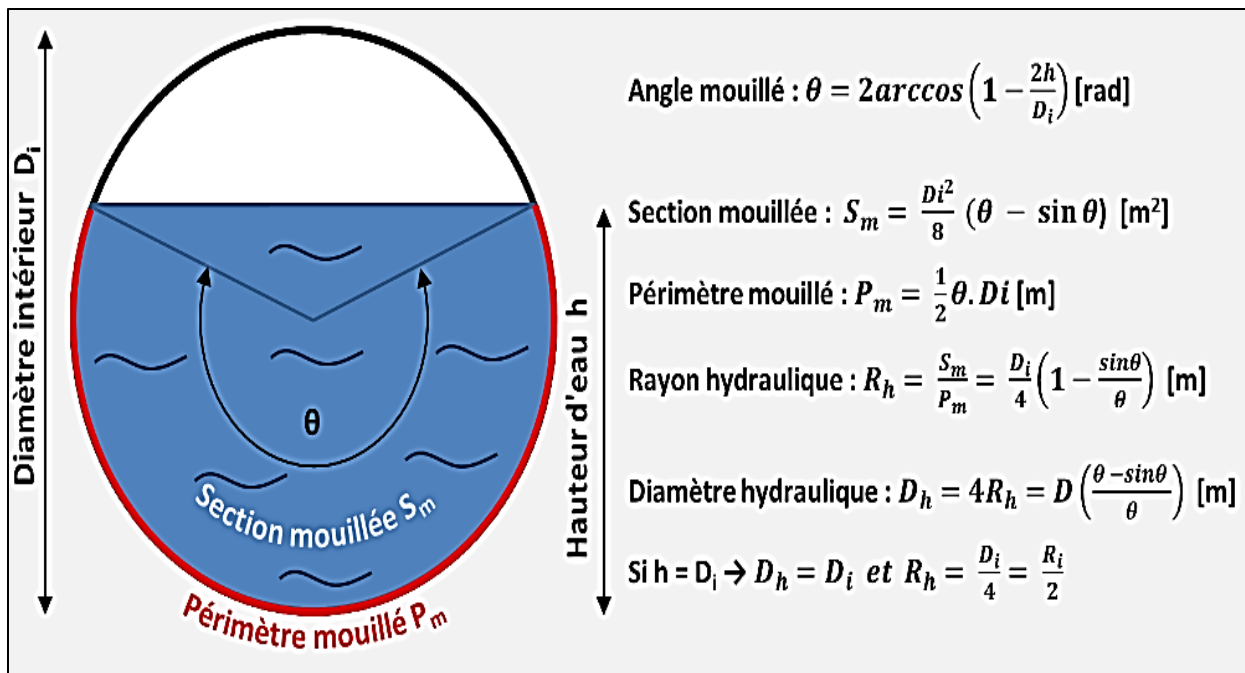


Figure 2.4: Calcul de rayon hydraulique pour une conduite des eaux usées.

I : Pente de la canalisation, elle dépend de réseau étudié.

2.6.1.6 Diamètre théorique d'une canalisation des eaux usées : le diamètre théorique est déduit en utilisant la formule suivante :

$$\varnothing^{8/3} = \frac{4^{5/3} \times Q}{\pi \times 70 \times \sqrt{I}}$$

Si le réseau de canalisations est construit avec soin et avec des matériaux judicieusement choisis et très bien entretenu :

$$\varnothing^{8/3} = \frac{4^{5/3} \times Q}{\pi \times 84 \times \sqrt{I}}$$

Avec :

Q : le débit moyen journalier ;

I : la pente de canalisation.

Remarque : Le diamètre des canalisations ne peut être inférieur à 200 mm.

2.7 Eaux pluviales

2.7.1 Vitesse d'écoulement des eaux pluviales : la vitesse d'écoulement des eaux pluviales est déterminée par la formule de Chézy comme suite :

$$V = K_c \times R^{3/4} \times I^{1/2}$$

Avec :

K_c : Coefficient de Chézy (**K_c**=60) ;

R : Rayon hydraulique ;

I : Pente de canalisation.

2.7.2 Débit d'écoulement des eaux pluviales : le débit d'écoulement des eaux pluviales est calculé par l'équation suivante :

$$Q_p = V \times S = K_c \times R^{3/4} \times I^{1/2} \times S$$

2.7.3 Diamètre théorique d'une canalisation des eaux pluviales : il est déterminé en utilisant la formule suivante :

$$\varnothing^{11/4} = \frac{4^{7/4} \times Q}{\pi \times 60 \times \sqrt{I}}$$

Si le réseau de canalisations est bien entretenu et pourvu de bouches de décantation, en utilisant la formule suivante :

$$\varnothing^{11/4} = \frac{4^{7/4} \times Q}{\pi \times 72 \times \sqrt{I}}$$

Remarque : Le diamètre de canalisation ne peut être inférieur à 300 mm.

2.8 Types des matériaux constituant les conduites : Les conduites peuvent être construites par différents matériaux :

- Ciment ;
- Amiante-ciment ;
- Grés ;
- Bois ;
- Plomb ;
- Cuivre ;
- Tôle d'acier ;
- Fonte ;
- Béton ;
- Plastique.

D'autre part, Les matériaux les plus couramment employés dans le domaine d'assainissement sur lesquelles le projeteur peut effectuer un choix sont :

- ✓ Le béton ;
- ✓ L'amiante-ciment (AC) ;
- ✓ Les tubes plastiques (PVC).

2.9 Ouvrages d'annexes : les ouvrages d'annexes sont divisés en deux parties essentielles :

2.9.1 Les ouvrages courants : ce type d'ouvrage est constitué par tous les dispositifs de raccordement, d'accès, de réception des eaux usées et d'engouffrement des eaux pluviales comme suite :

2.9.2 Les branchements : ils sont utilisés dans le but d'amener les eaux usées et pluviales des particuliers dans le réseau urbain. Ils sont constitués par :

Boite de branchement ou fosse réceptrice ;

Une canalisation jusqu'à la conduite principale ;

Un ouvrage de branchement dans la canalisation publique.

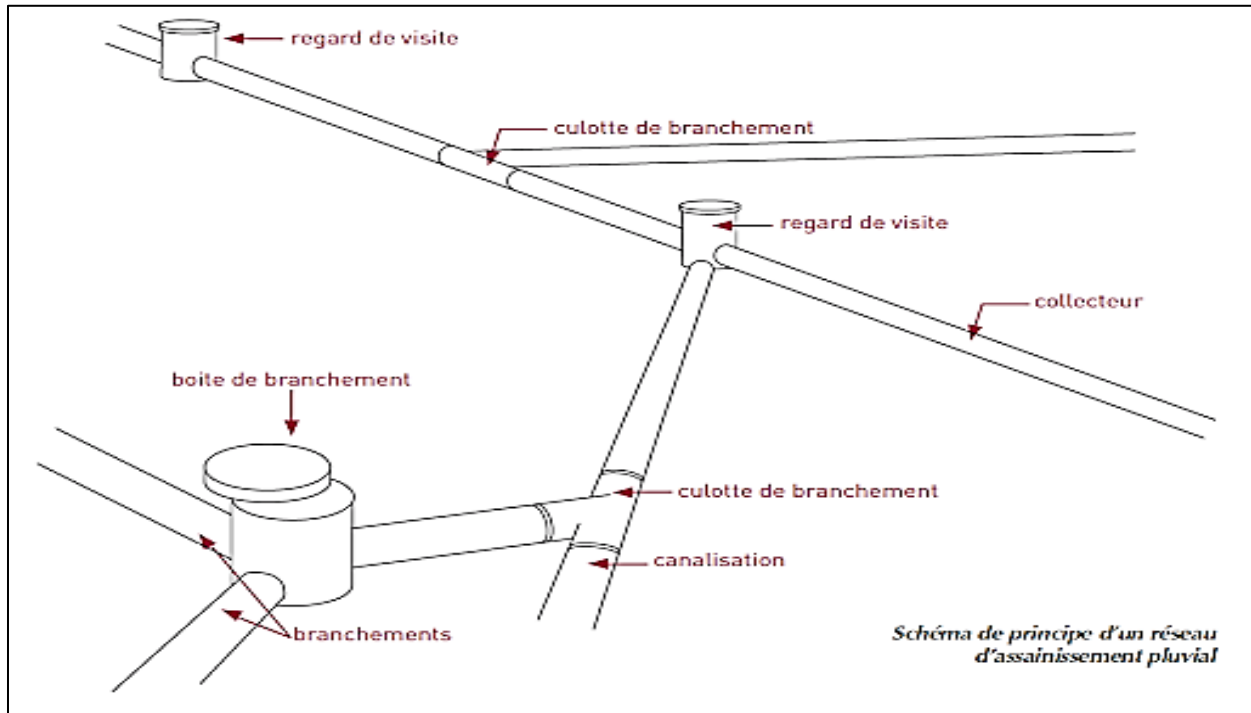


Figure 2.5: Schéma de principe d'un réseau des eaux pluviales.

2.9.3 Les regards de visite : ils permettent l'accès aux canalisations pour l'entretien et les curages et ils assurent la ventilation de réseau.

a- Recommandations d'implantation des regards de visite :

- Ils doivent être installés à chaque changement de direction ;
- Ils doivent être installés à chaque changement de pente ;
- Ils doivent être installés à chaque changement de section ;
- Ils doivent être installés aux jonctions de plusieurs collecteurs ;
- Ils doivent être installés à un espacement d'environ 80m depuis l'avènement des hydrocureuses.

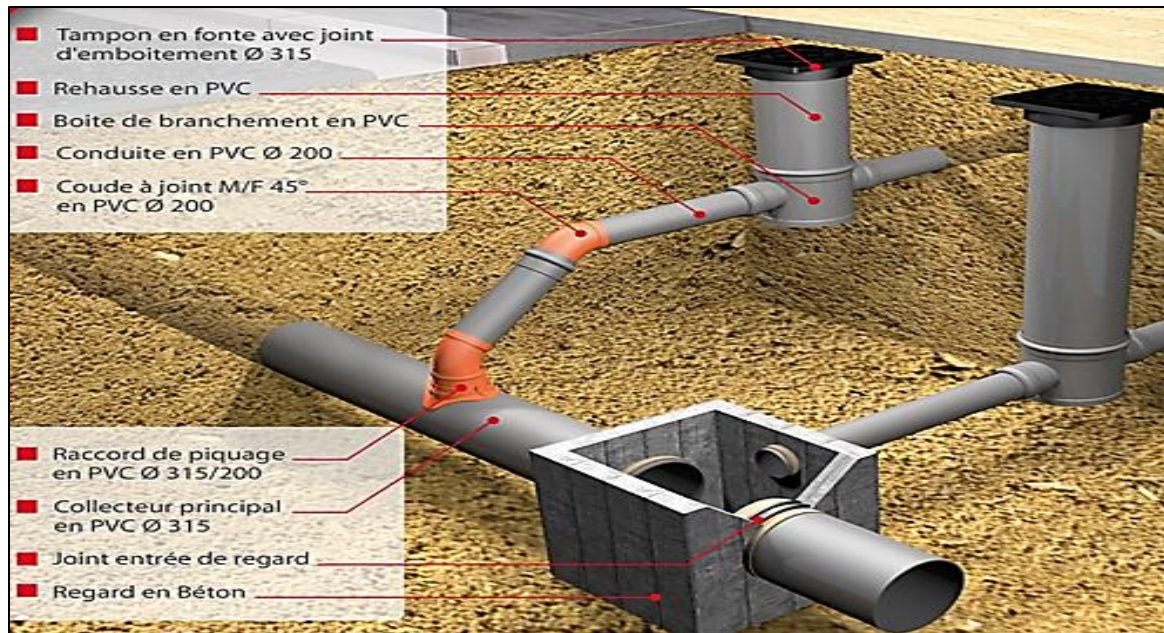


Figure 2.6: Exemple de regards de visite.

2.9.4 Les bouches d’égout : Elles servent à l’introduction des eaux pluviales et de lavage des chaussées et elles assurent aussi la ventilation du réseau. Il existe différentes types des bouches d’égout : à avaloir, a grille (plate et concave), siphonides et d’engouffrement.



(a)

(b)



(b) (d)

Figure 2.7: Types des bouches d'égout (a) à avaloir, (b) à grille (c) siphoides (d) engouffrement.

2.9.5 Capacité d'absorption d'une bouche d'égout : elle dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont :

- Les caractéristiques intrinsèques de bouche d'égout (type, géométrie, forme et disposition de chaque barreau, surface d'absorption, ...);
- Le contexte d'installation (géométrie du caniveau, présence de bavette, pente transversale et pente longitudinale, positionnement par rapport à l'écoulement, ...).

D'autre part, le débit absorbé par les bouches d'égout est influencé par différents paramètres :

- Q_{amont} , le débit amont ;
- W , la largeur de la grille ;
- L , la longueur de la grille ;
- h , la hauteur d'eau ;
- β , un paramètre adimensionnel supposé décrire la géométrie de la grille ;
- S_l , la pente longitudinale ;
- S_t , la pente transversale.

2.9.6 Les caniveaux : ils ont destiné à la collection des eaux pluviales qui ruissellent sur le profil transversal de la chaussée et les trottoirs.



Figure 2.8: Les caniveaux.

2.9.7 Les ouvrages spéciaux : ce sont des installations qui permettent l'exploitation rationnelle du réseau :

- Les déversoirs d'orage ;
- Les postes de relevage ;

- Les stations de refoulement.

2.9.7.1 Les déversoirs d'orage

a- Définition : (Chocat 1997) a défini le déversoir d'orage : « il est un ouvrage permettant le rejet direct d'une partie des effluents au milieu naturel lorsque le débit à l'amont dépasse une certaine valeur. Les déversoirs d'orage sont généralement installés sur les réseaux unitaires dans le but de limiter les apports au réseau aval et en particulier dans la station de traitement des eaux usées en cas de pluie ».

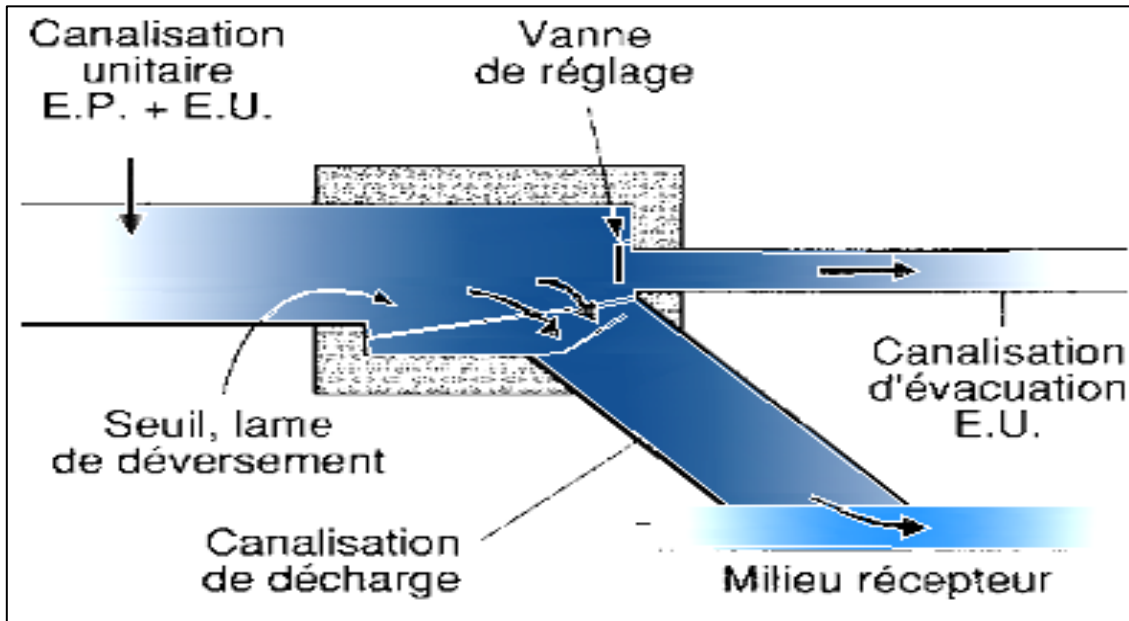


Figure 2.9: Schéma de fonctionnement du déversoir d'orage.

b-Types des déversoirs d'orage : il existe plusieurs types du déversoir d'orage notamment : les déversoirs à seuil latéral, à double seuil latéral et le déversoir avec ouverture de radier.



Figure 2.10: Exemples de déversoir d'orage.

c- Calcul de débit déversé : le calcul de débit déversé d'un déversoir d'orage est basé sur l'utilisation de formule de Bazin comme suite :

$$Q = \mu \times H \times L \times \sqrt{2 \times g \times H}$$

Avec :

Q : Débit au niveau du seuil du déversoir m^3/s

μ : Coefficient expérimental dont la valeur est fonction du type de seuil (Tableau 2.3) :

Tableau 2.3 : Valeurs de μ en fonction de type de seuil.

Types de seuil	Valeurs de μ
Poutrelle à crête épaisse	0.38
Poutrelle à contraction latérale	0.40
Mince avec faible contraction latérale	0.45
Mince sans contraction latérale	0.50

L : Longueur de la lame-déversoir m

g : accélération de la pesanteur m/s^2

H : Hauteur de la charge au-dessus du seuil-déversoir.

Remarque : la conception de déversoir d'orage dépend de choix de type de déversoir et la détermination de la longueur L :

$$L = \frac{Q}{\mu \times H^{1.5} \times \sqrt{2 \times g}}$$

d- Emplacement de déversoir d'orage : ils peuvent placer :

- Avant la station d'épuration pour la régularisation du débit ;
- Au milieu du réseau pour réduire les diamètres des collecteurs.

Il faut tenir en compte, la capacité et les surfaces des ouvrages de la station d'épuration pour éviter les surcharges et le mauvais fonctionnement. Ainsi que, la topographie du site et les variations des pentes.

2.9.7.2 Les postes de relevage

a- Définition : ce sont des installations équipées par des dispositifs qui permettent de relever simplement l'eau d'un réseau gravitaire profond. Dans l'installation de ce modèle de station, il faut tenir en compte les critères suivants :

- Le type de l'eau à relever (eaux très chargées, eaux pluviales...), afin de choisir la pompe de relevage ;
- Le débit à évacuer ou bien à relever ;
- La hauteur à laquelle les fluides devront être relevés.

D'autre part, le poste de relevage est caractérisé par :

- ❖ Une canalisation d'évacuation des eaux usées ;
- ❖ Une pompe de relevage des eaux ;
- ❖ Un volume de marnage des eaux défini entre les hauteurs de démarrage et d'arrêt de la pompe.

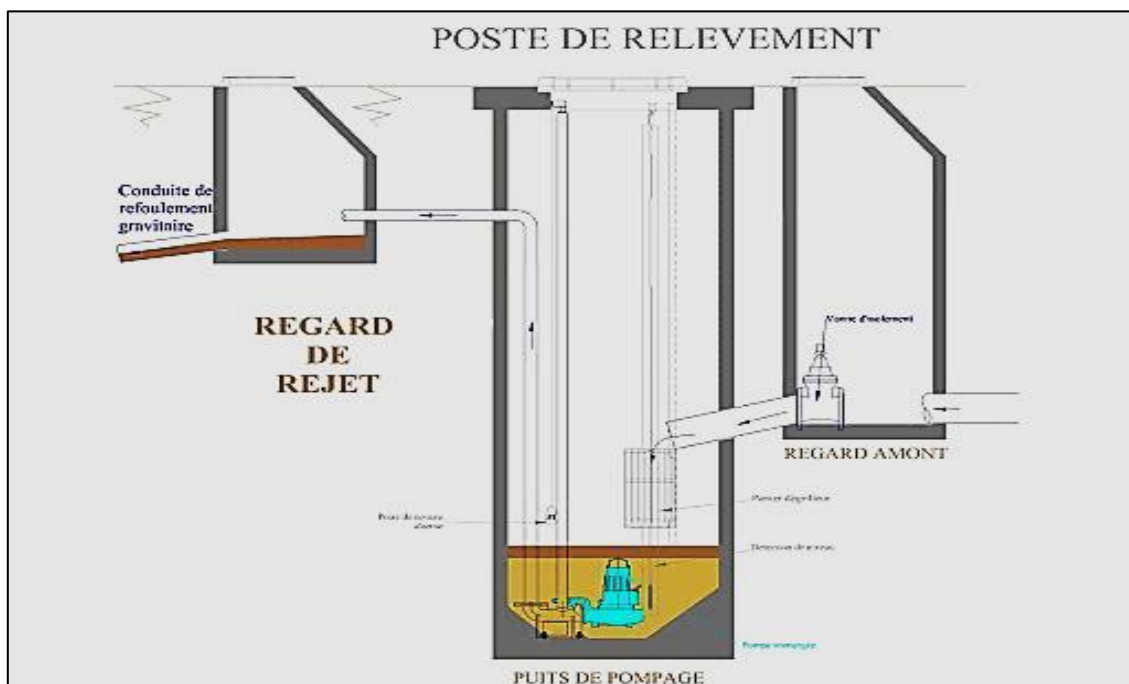


Figure 2.11: Poste de relevage des eaux usées.

b- Paramètres de dimensionnement de poste de relevage : dans le dimensionnement du poste de relevage, il existe beaucoup des paramètres qui doivent donc tenir en compte :

- ❖ **Le diamètre de la canalisation** : pour calculer du diamètre de la canalisation, on applique la formule de Daniel Krier : $D = 0.89 \times Q^{0.486}$
- ❖ **Le débit maximum à relever** : est la somme des débits d'eaux usées domestiques et des eaux pluviales.
- ❖ **Le volume utile** : est estimé selon cette formule : $V_u = Q/4 \times n$, où : Q étant le débit et n : étant le nombre de redémarrage à l'heure de la pompe.
- ❖ **La hauteur manométrique totale** : correspond à la hauteur géométrique plus les pertes de charges totales (linéaires et singulières). avec $H_{\text{géométrique}} = \Delta H = \text{cote maximale} - \text{cote moyenne départ}$.

- ❖ **La puissance de la pompe de relevage** : est calculée selon cette formule comme

suite :

$$P = \frac{H_{\text{manométrique}} \times g \times \rho \times Q}{\eta}$$

Avec :

g : pesanteur (9.81 m/s^2) ;

ρ : masse volumique de fluide (kg/m^3) ;

Q : débit à évacuer (m^3/s) ;

H : coefficient du rendement de la pompe.

2.9.7.3 Les postes de refoulement : ce sont des installations équipées par des dispositifs de pompage qui permettent de relever d'eau d'un réseau gravitaire profond puis l'envoyer via une conduite en charge d'une longueur non négligeable vers un exutoire comme l'indique dans la figure suivante :

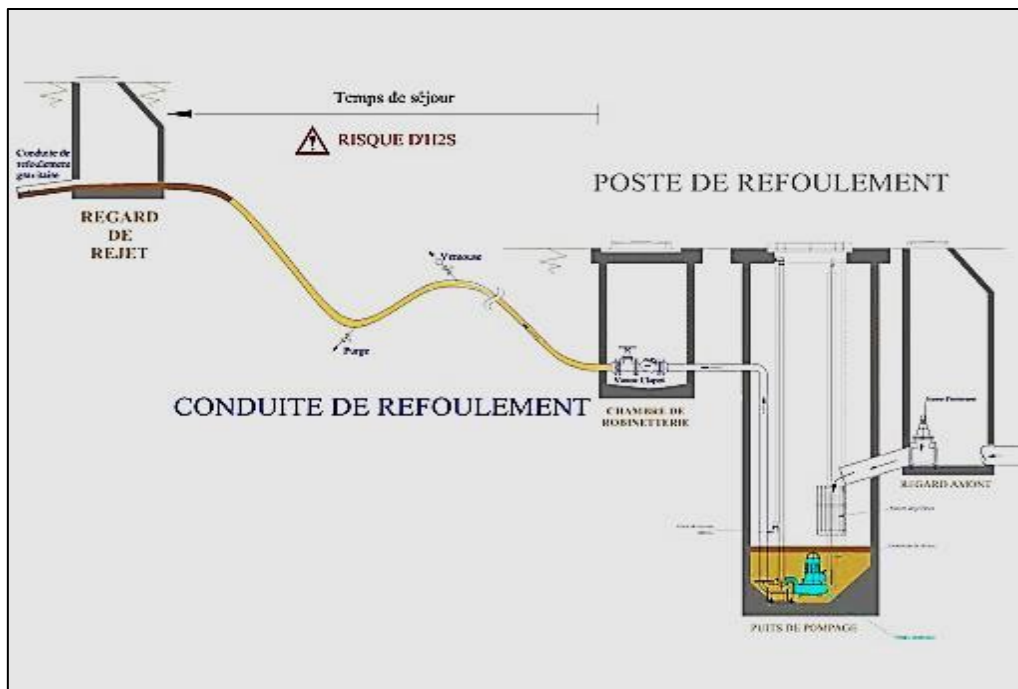


Figure 2.12: Poste de refolement des eaux usées.

2.10 Importance des déversoirs d'orage et des postes de relevage

En général, Les déversoirs d'orage sont également importants dans les systèmes de drainage des eaux pluviales. Ils sont conçus pour limiter les inondations en déchargeant l'excès d'eau lors de périodes de forte pluie. Les déversoirs d'orage sont souvent équipés de dispositifs de régulation pour contrôler la quantité d'eau qui est déversée, afin de minimiser les risques de débordement et de pollution. Les postes de relevage sont des équipements essentiels dans les systèmes de drainage et de traitement des eaux usées. Ils permettent de pomper les eaux usées vers des niveaux supérieurs, où elles peuvent être acheminées vers des installations de traitement ou de rejet en toute sécurité. En résumé, les postes de relevage et les déversoirs d'orage sont des éléments clés des systèmes de gestion des eaux, car ils permettent de garantir la sécurité et la santé publiques en évitant les inondations et en assurant la bonne gestion des eaux usées et pluviales.

2.11 Les séries des exercices : Partie 2

TD04 : Le bassin versant

La construction d'un aménagement d'une nouvelle voie de circulation nécessite la mise en place d'ouvrages hydrauliques permettant de transférer les eaux pluviales sous la voie de circulation :

1^{er} cas : - La surface du bassin versant repris par l'ouvrage est de 24,41 ha ;

-Le coefficient de ruissellement moyen avant aménagement vaut 0,20 ;

-La pente moyenne de terrain est de 6,57% ;

-Les coefficients de Montana sont : $a = 246$ et $b = 0,492$.

1-Déterminer la longueur de cheminement (en mètres) de l'eau pour le bassin étudié ?

2-Calculer le temps de concentration ?

3-Calculer l'intensité pluviale en (mm/min, mm/h et pouces/heure) ?

4-Calculer le débit de pointe (l/s) en utilisant les modèles empiriques et la méthode rationnelle ?

5- Si on considère que la superficie de bassin versant égale 3000Km², quelle est la longueur de cheminement dans ce cas ?

2^{ème} cas : -La surface du bassin versant repris par l'ouvrage est de 30 ha ;

-Le coefficient de ruissellement moyen est 0,75 ;

-La pente moyenne de terrain est de 11% ;

-Les coefficients de Montana sont : $a = 275$ et $b = 0,500$.

1-Déterminer la longueur de cheminement (en mètres) de l'eau pour le bassin étudié ?

2-Calculer le temps de concentration ?

3-Calculer l'intensité pluviale ?

4-Calculer le débit de pointe (m³/s) en utilisant la méthode rationnelle.

TD 05 : La méthode rationnelle

On veut équiper un bassin versant nouvellement construit d'un réseau d'assainissement séparatif. On vous demande de calculer le débit de pointe nécessaire pour dimensionner le réseau d'assainissement des eaux pluviales.

Données :**1^{er} cas :**

- Temps d'entrée dans le réseau 4 min ;
- Vitesse moyenne de l'eau dans la conduite est de 1.5 m/s ;
- Longueur de la plus longue conduite est de 1350 m ;
- Taille du bassin versant est de 1200*900 m ;
- Le coefficient de ruissellement $C=0.30$;
- Les paramètres a et b de la loi de Montana et pour une période de retour de 10 ans sont :
 $a=157.2$ et $b=0.48$

2- Si on considère que la surface de bassin versant égal 20ha et le coefficient de ruissellement égal 04, calculer le débit de pointe en respectant la même intensité pluviale ?

3- Si on considère que le débit de pointe égal $10.32 \text{ m}^3/\text{s}$ et en respectant la même surface de bassin, ainsi que le même coefficient de ruissellement ; quelle est la valeur de l'intensité pluviale ?

4- Si on considère que l'intensité pluviale égale 19.13mm/h et le débit de pointe égal $1.72 \text{ m}^3/\text{s}$; calculer le coefficient de ruissellement en tenant compte que la taille de bassin égale (1200*900 m) ?

2^{ème} cas :

- Temps d'entrée dans le réseau 6 min ;
- Vitesse moyenne de l'eau dans la conduite est de 2 m/s ;
- Longueur de la plus longue conduite est de 1400 m ;
- Taille du bassin versant est de 1500*1000 m ;
- Le coefficient de ruissellement $C=0.45$;
- Les paramètres a et b de la loi de Montana et pour une période de retour de 10 ans sont :
 $a=170.3$ et $b=0.50$

2- Si considère que les coefficients de Montana sont : $a = 246$ et $b = 0,492$ et intensité pluviale égale 49.05 mm/h :

- On demande de calculer le temps de concentration ?
- Si on suppose que le temps d'écoulement superficiel égal $t_s = 6.51$ min ; calculer le temps « tr » ainsi que la vitesse d'écoulement de l'eau dans la conduite si on prend la longueur de conduite 1200m.

3- Si on considère que le coefficient de Montana $a=275$, l'intensité pluviale égale 46.25mm/h et le temps de concentration égal 35,35minutes. On demande de déterminer le coefficient de Montana « b » ?

Chapitre 03 : Pollution urbaine des eaux pluviales

3.1 Introduction : La pollution urbaine des eaux pluviales est un problème environnemental qui survient lorsque les eaux de pluie se mélangent aux substances polluantes dans les villes. Les surfaces imperméables telles que les routes, les trottoirs et les toits empêchent l'eau de s'infiltrer dans le sol, ce qui provoque un ruissellement des eaux pluviales vers les systèmes de collecte d'eau. Ces systèmes de collecte sont souvent reliés à des rivières, des lacs ou des océans, ce qui peut entraîner une contamination de ces écosystèmes. Les polluants urbains courants peuvent être toxiques pour les plantes et les animaux qui habitent les cours d'eau, et ils peuvent également contaminer les sources d'eau potable. La pollution urbaine des eaux pluviales est donc un enjeu important pour la santé publique et l'environnement.

3.2 Définition de la pollution de l'eau : c'est toute modification chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau qui a un effet nocif les êtres vivants. De plus, la consommation des eaux polluées a des conséquences sérieuses sur la santé des êtres vivants. D'autre part, la pollution des eaux pluviales est un sujet primordial qui doit tenir en compte, intégrer et étudier par les acteurs de la ville, en précisant leurs effets sur les milieux récepteurs.

3.3 Types de pollution des eaux pluviales : on distingue 4 types essentiels de la pollution des eaux pluviales comme suite :

3.3.1 La pollution de l'eau de pluie : elle est naturellement polluée. En effet, les gouttes d'eau ne peuvent atteindre une taille suffisante pour tomber vers la terre qui signifie l'existence des particules solides dans l'atmosphère qui permettent d'initier le processus de nucléation. Une quantité des polluants atmosphériques urbains sont donc entraînés vers le sol lors des périodes pluvieuses.

3.3.2 La pollution des eaux de ruissellement pluvial : lorsque l'eau de pluie arrive au sol, une partie de l'eau va lessiver les surfaces sur lesquels elle s'écoule et l'autre partie va éroder les matériaux de surface. Les contaminants peuvent soit être dissous, soit être fixés sur les particules entraînées par l'eau.

D'autre part, la concentration en polluants des eaux de ruissellement pluvial dépend de plusieurs facteurs notamment :

- Intensité de la pluie ;
- Importance des ruissellements ;

- Nature du matériau de surface ;
- Nature des activités sur ou à proximité de la surface.

En pratique, le paramètre le plus pertinent reste cependant la distance parcourue par l'écoulement. De façon générale, si la goutte d'eau ruisselle plusieurs dizaines de mètres pour rejoindre un avaloir, elle se chargera beaucoup plus en polluants que si elle s'infiltré exactement là où elle est tombée et elle ne traverse que quelques centimètres de matériaux potentiellement pollués.

3.3.3 La pollution des rejets pluviaux stricts : Dans un système séparatif classique, les eaux de ruissellement sont recueillies dans des caniveaux ou des avaloirs, puis introduite dans un réseau souterrain de conduites et acheminées le plus directement possible vers un exutoire de surface. La pollution des rejets pluviaux stricts correspond à la pollution mesurée à la sortie de l'exutoire. De plus, la qualité des rejets pluviaux stricts est beaucoup plus mauvaise que la pollution des eaux de ruissellement. En effet, les rejets pluviaux stricts se trouvent :

- Dans les caniveaux, où les pratiques de nettoyage des rues, et les modes de vie des êtres vivants accumulent les polluants ;
- Dans le réseau de conduites qui reçoit, pendant les périodes de temps sec de plusieurs résidus, particulièrement, le produit du nettoyage des rues et des places de marché et les rejets divers de citoyens utilisant les avaloirs de rues comme des poubelles.

3.3.4 La pollution des rejets urbains de temps de pluie : Dans les villes algériennes les systèmes séparatifs ne sont pas généralisés, mais lorsque ces réseaux existent, la séparation des eaux usées et des eaux pluviales est rarement réalisée de façon parfaite. Ceci signifie que les **rejets urbains de temps de pluie (RUTP)** ne sont généralement pas des rejets pluviaux stricts, mais des mélanges d'eau usée et d'eau pluviale par des **déversoirs d'orage** et des **exutoires réputés strictement pluviaux**.

Les chiffres les plus souvent cités pour indiquer le fort degré de pollution des eaux rejetées par temps de pluie sont souvent ceux des effluents de réseau unitaire, ce qui explique d'une part leur très forte variabilité et d'autre part leurs fortes concentrations moyennes.

3.4 Sources de pollution des eaux pluviales : Les sources de contaminants dans les eaux de ruissellement sont extrêmement nombreuses et variées. On distingue deux types de sources notamment : **les sources exogènes et les sources endogènes** (Figure 3.1).

3.4.1 Les sources exogènes : elles contribuent à l'apport de contaminants via les retombées atmosphériques :

- Les grands axes de circulation ;
- Les couloirs aériens ;
- Les activités industrielles émettant dans l'atmosphère ;
- Les usines d'incinération ;
- Les centrales thermiques.

3.4.2 Les sources endogènes : elles comprennent :

- Les émissions par les matériaux urbains (corrosion des métaux, émission de micropolluants organiques par les matériaux synthétiques, émissions dues aux additifs tels que produits de traitement des bois...etc) ;
- Les émissions dues au trafic automobile ;
- Le chauffage (en particulier chauffage au fioul ou au bois) ;
- Les rejets associés à des zones de stockage de déchets industriels ou ménagers (poubelles) ;
- Les émissions liées à l'usage de divers produits d'entretien, et en particulier l'usage de pesticides ;
- Les rejets dus à des pratiques illicites telles que les vidanges sauvages ;
- Les déversements de produits chimiques (fond de pot de peinture, fond de cuve de pesticide...),
- Les rejets dus aux activités des usagers du site (déchets alimentaires, mégots de cigarettes ...).
- Les matériaux de couvertures synthétiques sont susceptibles d'émettre des phtalates par les PVC.
- Les toitures végétalisées dont les membranes d'étanchéité sont traitées avec un agent anti-racine peuvent également émettre des biocides.

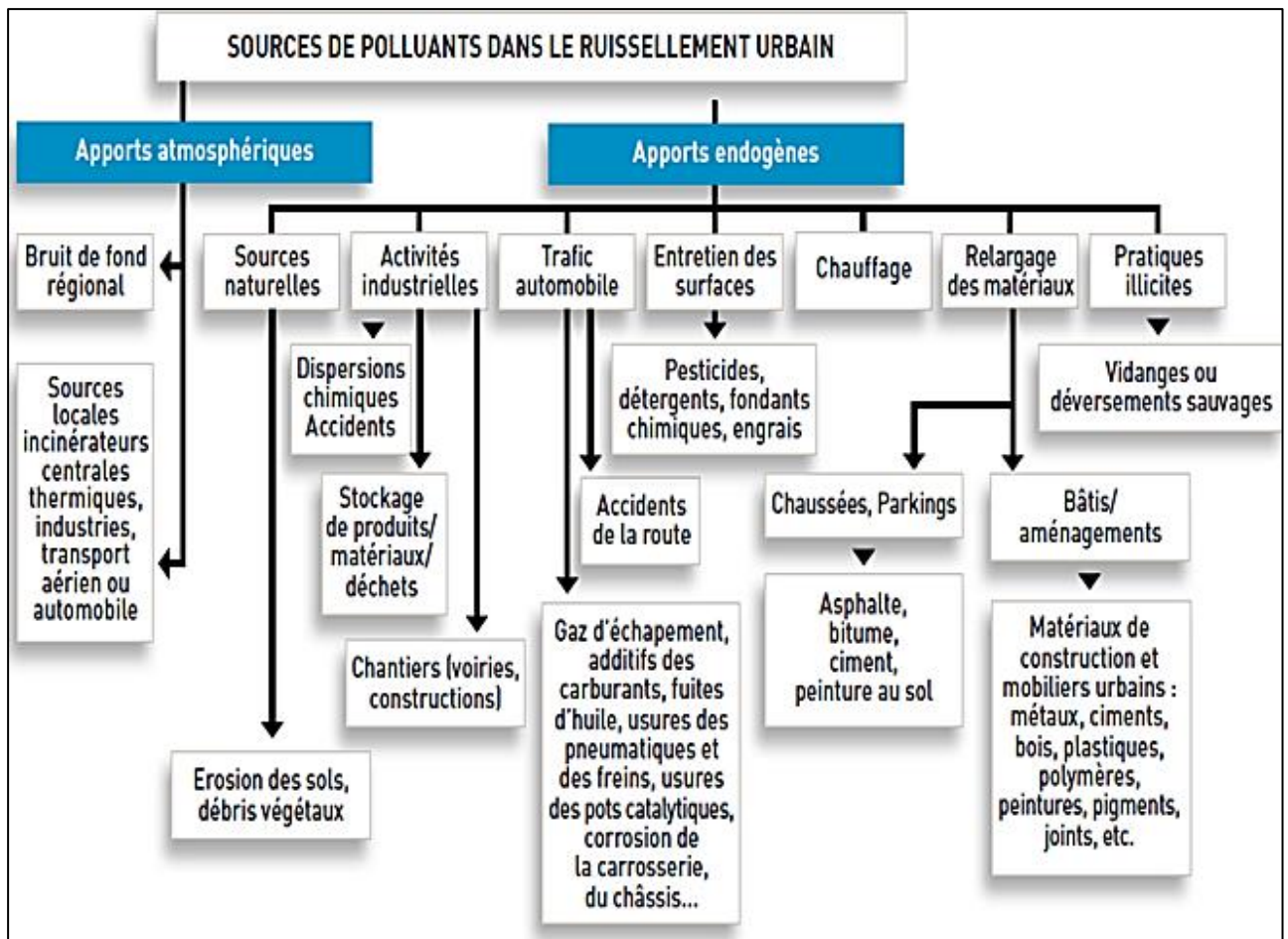


Figure 3.1: Sources de pollution des eaux de ruissellement.

3.5 Evaluation de pollution des eaux pluviales : l'évaluation de la pollution urbaine des eaux pluviales (ou les polluants) dépend de quatre paramètres essentiels : **les charges, la concentration, la densité et le poids volumique.**

3.5.1 La charge polluante : est la masse de polluant transitée en un point pendant une durée donnée ou pour un évènement particulier. Elles sont exprimées en kilogrammes par année (kg/année).

3.5.2 La concentration de polluants : c'est la quantité de polluant contenue par unité de volume d'eau. Elle est exprimée en milligrammes par litre (mg/L). Les charges polluantes et les concentrations sont dépendantes des caractéristiques pluviométriques des sites (quantité et intensité des précipitations). La charge ou la masse de polluants est calculée suivant la formule :

$$M_t = \sum_{i=1}^n Q_i \times C_i \times \Delta t_i$$

Où M_t : est la masse totale durant un évènement pluvieux, Q_i : est le débit durant chaque intervalle de temps Δt_i et C_i : est la concentration durant ce même intervalle de temps Δt_i .

La variabilité des concentrations peut être prise en compte avec le concept de **concentration moyenne par évènement (CME)**, qui se définit par la masse totale de polluant divisée par le volume total de ruissellement pour un évènement d'une durée spécifique et s'établit à l'aide de la relation suivante (EPA (NURP), 1983) :

$$CME = \frac{\text{Masse totale de polluants pour un évènement}}{\text{Volume total de ruissellement pour un évènement}}$$

3.5.3 La densité : est la masse divisée par le volume. Elle s'exprime en kilogramme par mètre cube. (kg/m^3).

3.5.4 Le poids spécifique : est la densité d'une substance divisée par la densité de l'eau à une température spécifiée. Donc, le poids spécifique de l'eau est de 1.

3.6 Catégories des polluants des eaux pluviales : on distingue quatre catégories de pollution des eaux pluviales : **polluants physiques, chimiques, biologiques, les facteurs additionnels** qui peuvent avoir une influence sur la qualité des eaux pluviales.

3.6.1 Polluants physiques : dans cette catégorie, on retrouve les matériaux grossiers (incluant les débris et déchets) ainsi que les matières en suspension (MES). De plus, Les solides grossiers comprennent les particules de dimensions plus grandes que 2 à 5 mm (**sédiments, sables et gravier**) et les débris artificiels qui peuvent être transportés par le ruissellement (**plastiques, papier, contenants métalliques, feuilles et autres déchets divers**). Le tableau 3.1 donne la composition générale des solides grossiers qu'on retrouve dans les eaux de ruissellement urbain.

Tableau 3.1: Composition des solides grossiers dans le ruissellement.

Groupe de solides grossiers	Caractéristiques
Végétation	Principalement des feuilles d'arbres
Plastiques d'usage personnel	Provenant des piétons et usagers de routes
Plastiques d'usage commercial	Emballage commercial
Papiers (usage personnel)	Journaux, revues, contenants pour nourriture, bouts de cigarettes
Papier (usage commercial)	Papier usagé
Métaux	Contenants divers
Autres	Autres matériaux divers

D'autre part, Les solides retrouvant dans l'eau peuvent être classés en 3 grandes catégories selon (Minton, 2005) : **dissous, en suspension et sédimentables.**

- **Les matières dissoutes :** (de diamètres inférieurs à environ 0,5 μm) sont définies comme étant les matières solides qui passeront à travers un filtre de laboratoire.
- **Les matières en suspension :** ont des diamètres supérieurs à 0,5 μm et elles sont sédimentables, pendant de leur forme et de leur gravité spécifique, pour des diamètres supérieurs à 20,5 à 50 μm . Elles sont caractérisées par trois facteurs principaux :
 - ❖ **La distribution de la dimension des particules (DDP) :** qui signifie la granulométrie des particules fines et jouent un rôle très important dans le contrôle de la qualité des eaux pluviales.
 - ❖ **Les vitesses de chute :** est la composante verticale de la distance parcourue par une particule en suspension dans un liquide en un temps donné. Elle dépend de l'équilibre entre les forces dues à la pesanteur et de celles dues à la turbulence. Le tableau donne des valeurs recommandées pour les vitesses de chute en fonction des dimensions des particules.
 - ❖ **La surface des particules.**

Tableau 3.2: Vitesses de chute approximatives en fonction des dimensions de particules

Classification de la gamme des particules	Diamètre de la particule (μm)	Vitesse de chute (mm/s)
Sable très grossier	2000	200
Sable grossier	1000	100
Sable moyen	500	53
Sable fin	250	26
Sable très fin	125	11
Silt grossier	62	2.3
Silt moyen	31	0.66
Silt fin	16	0.18
Silt très fin	8	0.04
Argile	4	0.011

3.6.2 Les polluants chimiques : sont les nutriments, les paramètres de demande en oxygène, les huiles et graisses ainsi que les métaux lourds.

- **Les paramètres de demande en oxygène :** la décomposition de la matière organique par les microorganismes implique une diminution des niveaux d'oxygène dissous dans les eaux à faibles courants comme les lacs et les estuaires. Donc, la demande en oxygène est divisée en deux catégories principales :

- **La demande biologique en oxygène (DBO5) :** c'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques par l'oxydation des matières organiques biodégradables en utilisant des bactéries. Elle permet aussi d'évaluer la fraction biodégradable de la charge polluante carbonée des eaux usées. Elle est en général calculée au bout **de 5 jours à 20 °C**.
- **La demande chimique en oxygène (DCO) :** c'est la consommation en dioxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau. Elle permet d'évaluer la charge polluante des eaux usées. Le tableau suivant donne les limites des paramètres de demande en oxygène (DBO et DCO) et les matières en suspension (MES) :

1-Huiles et graisses : ce sont des polluants composent de plusieurs produits chimiques organiques avec différentes propriétés et degrés de toxicité. La source majeure pour ces éléments polluants est les véhicules moteurs de différentes natures et les composés chimiques associés aux huiles et graisses qui se retrouveront majoritairement dans le ruissellement des stationnements, des rues et des stations-services.

2-Métaux lourds : Les métaux lourds les plus rencontrés dans les eaux pluviales incluent le plomb, le zinc, le cuivre et le cadmium.

Tableau 3.3: Limites de classe de qualité des eaux pluviales.

	Très bien	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
DBO5 (mg/l)	DBO5 < 3	3 < DBO5 < 6	6 < DBO5 < 10	10 < DBO5 < 25	DBO5 > 25
DCO (mg/l)	DCO < 20	20 < DCO < 30	30 < DCO < 40	40 < DCO < 50	DCO > 50
MES (mg/l)	MES < 25	25 < MES < 50	50 < MES < 100	100 < MES < 150	MES > 150

3.6.3 Les polluants biologiques : comprennent les coliformes (totaux et fécaux) et les streptocoques fécaux.

a- Les facteurs additionnels : on retrouve le (pH), la turbidité et la température.

- **Le pH :** c'est une abréviation qui signifie « potentiel Hydrogène », le pH d'une solution est une mesure de la concentration (de l'activité) des ions d'hydrogène (H⁺), ou H₃O⁺, dans une solution aqueuse. Le pH d'une eau brute naturelle se situe normalement dans la gamme de 6,5 à 8,5.
- **Turbidité :** c'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières en suspension comme l'argile, le silt, des particules organiques colloïdales et autres organismes microscopiques.

Le tableau 3.3 suivant regroupe les polluants associés au ruissellement urbain :

Tableau 3.4: Les polluants associés au ruissellement urbain.

Classes	Paramètres	Critères de qualité de l'eau			Sources possibles	Effets
		CPC	CPVAC	CARE		
Sédiments	Organiques	-	-	-	Sites de construction et ruissellement rural et urbain, débordement des réseaux d'égouts.	Perte d'usage de l'eau, transport des contaminants.
	MES	-	5.00	-		
	Turbidité	-	2.00	5.00		
	Matières dissoutes	-	-	-		
Nutriments	Nitrites	1.0	0.02	-	Ruissellement rural et urbain et les dépôts atmosphériques.	Prolifération d'algues et plantes, la toxicité et la perte de l'eau.
	Nitrates	10.0	40.0	-		
	Azote	0.5	Variable	-		
	Phosphates	-	-	-		
	Phosphore	-	-	-		
Micro-organismes	Coliformes totaux	-	-	-	Rejets de bateaux, animaux domestiques et sauvages, les branchements croisés.	Maladies d'origine hydrique.
	Coliformes fécaux	14-1000	-	200-1000		
	E. Coli	-	-	-		
	Entérocoques	-	-	-		
	Virus	-	-	-		
	Parasites	-	-	-		

Organiques	DBO5	-	0.3	-	Débordement des réseaux d'égouts et le ruissellement urbain.	Diminution d'oxygène dissous et mortalité des poissons.
	DCO	-	-	-		
	COT	-	-	-		
	Oxygène dissous	-	4.0-8.0	-		
Polluants toxiques	Contaminants organiques et inorganiques (métaux)	-	-	-	Ruissellement urbain et rural, rejets industriels et dépôts de matériaux dangereux.	Toxicité potentielle pour les humains et les autres organismes.
Sels	Chlorures	250.0	230.0	-	Fontes de neiges et ruissellement urbain.	Corrosion des véhicules et contamination des eaux potables.
Hydrocarbures	Huiles et graisse minérales	-	-	-	Rejets d'huile.	Perte d'usage de l'eau.

Remarque :

CPC : Critère de **Pr**évention de la **C**ontamination de l'eau

CPVAC : Critère de **Pr**otection de la **V**ie **A**quatique **C**hronique ;

CARE : Critère d'**A**ctivités **R**écréatives et d'**E**sthétique.

Le tableau 3.5 présente les sources typiques de polluants pour le ruissellement urbain.

Tableau 3.5: sources typiques des différents polluants pour le ruissellement urbain

Sources	MES	Nutriments	Micro-organismes	Demande en oxygène dissous	Métaux	Huile	Polluants synthétiques
Erosion de sol	✓	✓		✓	✓		
Sol dénudé	✓	✓	✓				
Fertilisants		✓			✓		
Déchets humains	✓	✓	✓	✓			
Déchets d'animaux	✓	✓	✓	✓			
Fluides pour véhicules	✓			✓	✓		
Combustion d'essence			✓		✓	✓	
Usure des véhicules	✓				✓	✓	
Produits chimiques	✓	✓			✓	✓	✓
Procédés industriels	✓	✓			✓	✓	✓
Peintures et dissolvants					✓	✓	
Ouvrages contrôlant les eaux pluviales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

3.7 Caractérisation de pollution urbaine des eaux pluviales selon l'occupation du sol : la composition chimique des eaux de ruissellement dépend en large partie des types d'occupation du sol. On distingue quatre (4) types d'occupation du sol en ce qui concerne la caractérisation de la qualité des eaux de ruissellement urbain :

- Secteurs résidentiels et commerciaux ;
- Secteurs industriels ;
- Routes et autoroutes ;
- Sites de construction.

Le tableau suivant fournit des ordres de grandeur des concentrations moyennes des principaux paramètres représentatifs de la pollution urbaine des eaux pluviales.

Tableau 3.6: Concentration moyenne de rejet (mg/l) pendant une pluie selon la densité du tissu urbain.

Type d'aménagement	Quartiers résidentiel (habitat individuel)	Quartiers résidentiel (habitat collectif)	Habitations denses, zones industrielles et commerciales	Quartiers très denses, centres villes et parkings
Coefficient de ruissellement	0.2 à 0.4	0.4 à 0.6	0.6 à 0.8	0.8 à 1
MES (mg/l)	100-200	200-300	300-400	400-500
DCO (mg/l)	100-150	150-200	200-250	250-300
DBO5 (mg/l)	40-50	50-60	60-70	70-80

En outre, l'ordre de grandeur des concentrations moyennes par site pour les parkings et différents types de voiries est illustré dans le tableau suivant :

Tableau 3.7: Concentrations moyennes des polluants pour les parkings et les voiries.

Polluants	Concentrations				
	Voiries urbaines			Autoroutes	Parkings
	Trafic faible (< 3000 véhicules par jour)	Trafic moyen (entre 3000 et 10000 véhicules par jour)	Trafic fort (>10000 véhicules par jour)		
MES (mg/l)	11.7- 117	59.8-240	69.3-260	41.3-762	98-150
DCO (mg/l)	70-368			107	50-199
Cd (µg/l)	0.4-1.4	0.4-13.8		3.0-3.7	1.2

Cu ($\mu\text{g/l}$)	47-75.9	51.7-103.8	65.6-143.5	16.1-120	6-80
Pb ($\mu\text{g/l}$)	25-535			2.4-224	15.4-137
Zn ($\mu\text{g/l}$)	129.3-1956			70-660	125-526
HA ($\mu\text{g/l}$)	393-1359				
HAP ($\mu\text{g/l}$)	0.16-4.5			0.31-21.8	1.62-3.5
Hct ($\mu\text{g/l}$)	160-227	4000-11000		21.8-4760	150-1000

3.8 Classes de pollution des eaux pluviales : on distingue trois grandes familles de pollution des eaux pluviales :

3.8.1 La pollution chronique : Les recherches montrent que les eaux de pluie se chargent de particules et de micropolluant tout au long de leur parcours depuis l'atmosphère jusqu'à leur exutoire via les surfaces imperméables. Les teneurs en micropolluants peuvent être importantes et avoir un impact réel sur l'environnement. Elle provient de l'usure des surfaces (toitures, voiries, érosion des sols...).

Tableau 3.8: Concentrations moyenne par site pour les différents types de toitures.

Polluant	Petits éléments de couvertures	Toit métallique	Toit terrasse	Toit végétalisé
MES (mg/l)	19-64	25-40	3-29	9-37
DCO (mg/l)	4-78	12-49	6-12	9-41

3.8.2 La pollution accidentelle : les accidents de circulation, et en particulier les accidents de poids lourds transportant des matières dangereuses participent à la pollution des eaux pluviales. De plus, l'**incendie** d'un bâtiment situé à proximité de la voirie ou du parking est un autre risque potentiel qui participe aussi dans la pollution. Cet incendie peut générer des produits potentiellement polluants et l'intervention des pompiers qui répandent de grandes quantités d'eau est susceptible d'entraîner ces contaminants vers le système de gestion des eaux pluviales. En outre, **la rupture ou débordement de cuves ou de canalisations** est considérée comme un autre type de pollution accidentelle.

3.8.3 La Pollution dans les ouvrages de transfert séparatifs pluviaux et unitaires : la pollution des eaux recueillies par un réseau séparatif pluvial correspond à celle des eaux de ruissellement. De plus, les mélanges d'eaux pluviales et d'eaux usées, sédimentation en temps sec et reprise en temps de pluie, rejets accidentels sont encore plus marqués dans le cas d'un système unitaire, et qui entraînent dans la pollution des eaux pluviales. Le tableau suivant résume toutes les charges polluantes rejetées dans les systèmes séparatifs et unitaires.

Tableau 3.9: Concentrations des eaux pluviales et les eaux usées selon le type de réseau.

Type de rejets	Pluviaux séparatifs		Pluviaux unitaires
Type de zone urbaine	Résidentielle et commerciale	Autoroute et route à fort trafic	Mixte
MES (mg/l)	1-4582	110-5700	176-647
DBO5 (mg/l)	0.7-220	12.2-32	43-225
DCO (mg/l)	20-365	128-171	250-530
NH4 (mg/l)	0.2-4.6	0.02-2.1	3.1-8
P (mg/l)	0.02-14.3	-	6.5-14
Pb (µg/l)	10-3100	2410-34000	80-450
Zn (µg/l)	10-3680	170-355	100-1070
Hct (µg/l)	0.04-25.9	2.5-400	4-35
Glyphosate	0.1-4.72	0-1750	-

3.9 Les inondations

3.9.1 Définition : c'est le débordement d'eau qui submerge les terrains environnants. Elle se transforme rapidement en risque et entraîne des conséquences plus ou moins grave sur les populations, leurs biens et l'environnement dans les zones habitées.

3.9.2 Caractéristiques des inondations : elles ont caractérisé par : la hauteur de submersion, la durée de submersion, la vitesse de l'écoulement et le débit (mesuré en m³/s).

Les paramètres influant les inondations : on distingue quatre paramètres essentiels qui influent les inondations :

- ❖ Le régime des pluies ;
- ❖ Le relief ;
- ❖ La taille du bassin versant ;
- ❖ L'état des sols.

3.9.3 Facteurs aggravant les inondations : il existe plusieurs facteurs aggravant le risque de l'inondation :

- La concentration des personnes et accumulation des biens dans le champ d'inondation ;
- La défaillance des dispositifs de protection ;
- Le transport des dépôts de produits indésirables comme les produits polluants, les matières toxiques ;
- La formation et la rupture d'embâcles ;
- La surélévation de l'eau en amont des obstacles (ponts, remblais, mur...etc) ;
- La saturation des réseaux de collecte ou des ouvrages de gestion locale des eaux pluviales ;
- L'insuffisance des dispositifs d'engouffrement due à un défaut de conception ou d'entretien.

3.9.4 Les origines des inondations : les inondations sont causées par plusieurs paramètres comme :

- ✚ **Origine naturelle :** qui correspond aux phénomènes météorologiques et climatiques tels que : pluies exceptionnelles, pluies torrentielles, fonte des neiges...etc.
- ✚ **Origine humaine directe :** qui est basé sur la modification du système fluvial des cours d'eau ou de leurs caractéristiques morphologiques (largeur, longueur, pente, etc.) par la construction d'ouvrages hydrauliques, la dégradation des sols et l'agriculture intensive
- ✚ **Origine humaine indirecte :** qui est liée à la pollution et le réchauffement climatique qui modifient les conditions climatiques du monde entier.

3.9.5 Types de dommages dus aux inondations (conséquences) : on distingue quatre types de dommages dus aux inondations :

- ✓ **Les dommages aux personnes** comme les accidents, les conditions sanitaires, le désarroi psychologique, les difficultés financières) ;
- ✓ **La détérioration du système économique** comme les dommages aux réseaux, aux entreprises, aux bâtiments, le chômage technique, paralysie économique des territoires, les coûts de réparation et reconstruction) ;
- ✓ **Les atteintes à l'environnement** comme les pollutions directes ou indirectes venant de sites industriels impactés ou d'exploitations agricoles, l'érosion massive des traits de côtes et des versants, déclenchement de catastrophes technologiques majeures ;
- ✓ **Les dégradations du patrimoine culturel** qui atteintes à des valeurs universelles irremplaçables, à l'identité culturelle d'une société.

3.9.6 Types des inondations : il existe cinq types des inondations comme suite :

3.9.6.1 Les inondations par débordement de cours d'eau : lorsqu'un cours d'eau déborde de son lit habituel (zone où les eaux s'écoulent en temps normal). On distingue deux types des inondations par débordement de cours d'eau :

- **Les crues lentes de plaine :** on parle d'une inondation par crue lente de plaine lorsqu'un fleuve ou une rivière sort lentement de son lit mineur et envahit son lit moyen, voir son lit majeur. En outre, Les zones touchées se situent dans la vallée de la rivière ou du fleuve. Elles ont souvent lié à des pluies répétées, prolongées ou intenses qui provoquent une élévation plus ou moins brutale du débit et par conséquent de la hauteur d'un cours d'eau.

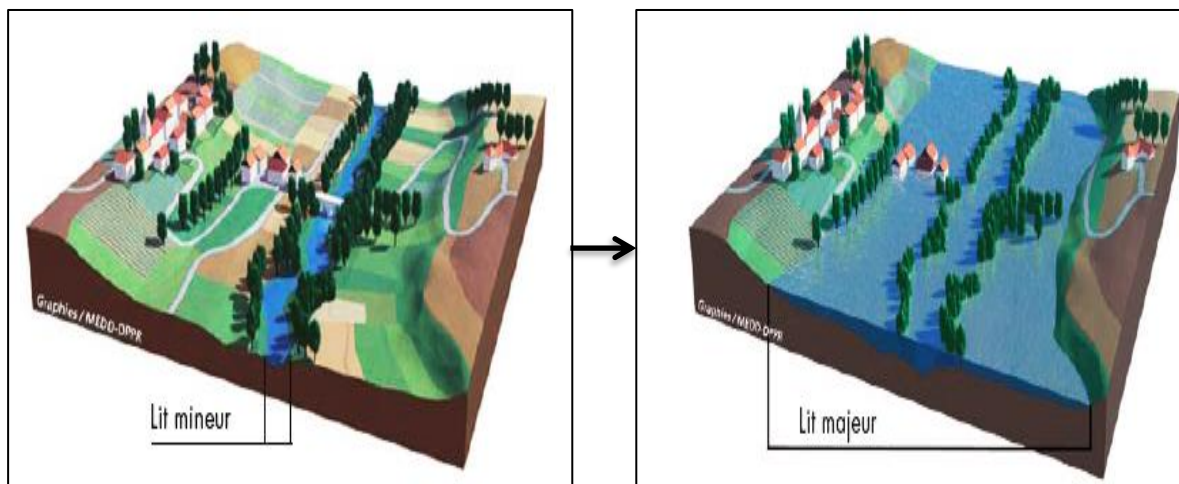


Figure 3.2: Les inondations par crue lente de plaine.

- **Les crues rapides et torrentielles :** elles se produisent principalement en zone montagneuse ou de relief marqué et surviennent à l'issue de précipitations intenses ou en période de fonte des neiges. Elles se caractérisent par une montée des eaux très rapide, un fort accroissement de la vitesse d'écoulement du cours d'eau et le transport d'éléments solides (sédiments, galets, rochers, bois morts et débris divers).



Figure 3.3: Crue torrentielle dans le village de Barèges (Hautes-Pyrénées, 2013).

3.9.6.2 Les inondations par remontée de nappes : elles sont le plus souvent provoquées par le ruissellement de l'eau de pluie qui tombe sur le bassin versant, ou de l'eau provenant de la fonte des neiges lors des épisodes de redoux. Elles déroulent de plusieurs jours à plusieurs semaines.



Figure 3.4: la remontée de la nappe phréatique.

3.9.6.3 Les inondations par ruissellement (coulées de boue) : ce type de l'inondation se mis en place dès que la pluviométrie dépasse la capacité d'absorption du sol. De ce fait, l'eau ne s'infiltrer pas, mais se concentre, se charge de particules solides, érode le sol et ruisselle à cause de :

- Les sols sont déjà gorgés d'eau, saturés, ils ne peuvent en absorber davantage ;
- Les sols sont imperméables et l'eau ne peut pas s'infiltrer.

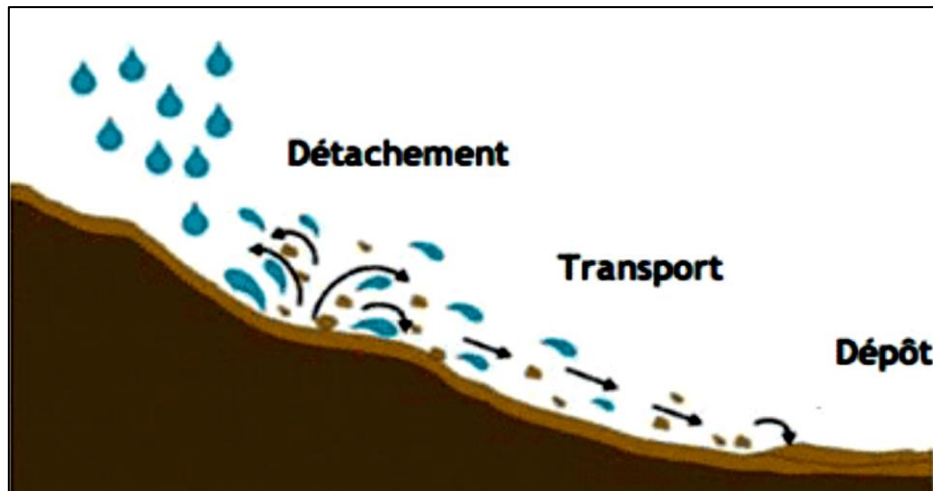


Figure 3.5: Processus de coulée de boue.

3.9.6.4 Les inondations par rupture de digue : elles sont souvent provoquées lors d'un défaut de conception, un manque d'entretien ou tout simplement un volume d'eau trop important peut **créer une brèche puis une rupture d'un ouvrage de protection**. Les conséquences sont en général catastrophiques car le flux d'eau est soudain et très puissant et elles sont très souvent dévastatrices et meurtrières car elles ne laissent que très peu de temps aux riverains pour se mettre à l'abri.



Figure 3.6: Rupture d'une digue à Novato (Californie) en 2005.

3.9.6.5 Les inondations par submersions marines : les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par les eaux d'origine marine. Elles surviennent lors d'une élévation du niveau de la mer. Elles se déroulent de quelques minutes à quelques heures. Elles dépendent de plusieurs facteurs comme : Plusieurs facteurs entrent en jeu :

- Les coefficients de marée ;
- La pression atmosphérique et le vent ;

- La houle (les vagues).



Figure 3.7: Les inondations par submersions marines.

3.10 Inondation en Algérie : Algérie comme tous les pays du monde connaît des phénomènes naturels comme l'inondation qui manifeste des catastrophes sur le milieu urbain.

De plus, l'inondation en Algérie est divisée en trois catégories principales :

- a. Inondations liées aux situations météorologiques :** remarquables se traduisant par une forte pluviométrie.
- b. Inondations résultant des activités humaines :** la défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux de pluie, l'encombrement des oueds par les déchets, les décombres et les troncs d'arbre...etc.
- c. Inondations produites dans des régions à topographie défavorable :** comme le cas des villes traversées par des oueds (El Bayadh, Bordj Bou Arreridj, Sidi Bel Abbes, etc.), ou situées au pied d'une montagne (Ain Defla, Batna et Médéa). Ces agglomérations à forte concentration de populations et sous l'effet d'une urbanisation anarchique sont exposées au risque d'inondation aussi légère qu'elle soit.

3.11 Quelques exemples des inondations en Algérie : au cours de ces dernières années, Algérie connaît des inondations manifestant des catastrophes fracassantes sur leurs wilayas et le tissu urbain comme : les inondations de Bab El Oued en 2001 et Ghardaïa en 2008.



Figure 3.8: Inondations en Algérie (a) à Ghardaïa en 1^{er} octobre 2008 (b) Quartiers de Bab El Oued (Alger) 2001.

3.12 Relation entre l'inondation et la pollution des eaux pluviales

Il existe une relation directe entre l'inondation et la pollution des eaux pluviales. Lorsqu'il y a une forte pluie, les surfaces imperméables des villes empêchent l'eau de s'infiltrer dans le sol et de se recharger dans les nappes phréatiques. Au lieu de cela, l'eau s'accumule sur les routes et les trottoirs, et elle est dirigée vers les systèmes de collecte d'eau, tels que les égouts pluviaux. Si ces systèmes sont incapables de gérer le volume d'eau, ils peuvent déborder et causer des inondations. Les inondations peuvent alors emporter avec elles les polluants urbains tels que les huiles de voiture, les pesticides, les produits chimiques de nettoyage, les déchets solides, les matières organiques et les métaux lourds. Ces polluants peuvent être transportés vers les cours d'eau, les lacs et les océans, causant une contamination et des dommages environnementaux importants. De plus, les inondations peuvent également entraîner des risques pour la santé publique, tels que la propagation de maladies transmises par l'eau et la destruction des infrastructures de traitement des eaux. Par conséquent, la gestion des eaux pluviales est essentielle pour prévenir les inondations et la pollution associée, et pour maintenir la santé et le bien-être des écosystèmes et des populations humaines dans les zones urbaines.

3.13 Les séries des exercices : Partie 3

TD 06 : Calcul des débits des réseaux

Exercice 01

1-Déterminer le débit moyen journalier d'eaux usées d'une commune de 10000 équivalent habitants consommant 240 l/j.h ?

2-Déterminer le coefficient de pointe du débit d'eaux usées ?

3-Déterminer le débit de pointe ?

a -Si on considère que le débit moyen journalier égal 40 l/s, calculer le coefficient de pointe ainsi que le débit de pointe ?

b -Si on considère que le coefficient de pointe égal 1.85 et le débit de pointe égal 92.5 l/s, déterminer le débit moyen journalier ainsi que la consommation des habitants si la commune contient 20000 équivalent habitants ?

Exercice 02

1-Déterminer le débit moyen journalier d'eaux usées d'une commune de 30000 équivalent habitants consommant 280 l/j.h ?

2-Déterminer le coefficient de pointe du débit d'eaux usées ?

3-Déterminer le débit de pointe ?

a- Si on considère que la consommation des habitants égale 0.03 l/s.h pour une commune contient 25000 équivalent habitants, calculer :

- Le débit moyen journalier ? le coefficient de pointe ? le débit de pointe ?

b- Si on considère que la consommation des habitants égale 0.4 m³/s.h pour une commune contient 22000 équivalent habitants, calculer :

- Le débit moyen journalier ? le coefficient de pointe ? le débit de pointe ?

c- Si on considère que la consommation des habitants égale 2.02 l/h.h pour une commune contient 32000 équivalent habitants, calculer :

- Le débit moyen journalier ? le coefficient de pointe ? le débit de pointe ?

TD07 : Formule de l'IT77**Exercice 01**

1. Calculer pour la canalisation de diamètre 800 et de pente 3,6% le débit selon la formule de l'IT 77
2. Calculer pour la canalisation de diamètre 600 et de pente 4,6% le débit selon la formule de l'IT 77
3. Calculer pour la canalisation de diamètre 800 et de pente 3,6% le débit selon la formule de Manning-Strickler
4. Calculer pour la canalisation de diamètre 600 et de pente 4,6% le débit selon la formule de Manning-Strickler
5. Calculer le débit d'une canalisation de diamètre 500 mm et de pente 1,5% selon la formule de l'IT 77.
6. Trouver le débit pour une canalisation de diamètre 400 mm et de pente 2,2% selon la formule de l'IT 77.
7. Calculer le débit pour une canalisation de diamètre 600 mm et de pente 3% selon la formule de Manning-Strickler.
8. Trouver le débit pour une canalisation de diamètre 700 mm et de pente 4,8% selon la formule de Manning-Strickler.

Exercice 02

Une conduite en PVC de diamètre 500 mm et de pente 0,8% est utilisée pour transporter de l'eau à une vitesse de 2 m/s. Calculez le débit dans la conduite en utilisant la formule de Manning-Strickler et en supposant que le coefficient de Manning n est de 0,013.

Exercice 03

Une conduite en fonte de diamètre 700 mm et de pente 2% est utilisée pour transporter de l'eau à une vitesse de 1,8 m/s. Calculez le débit dans la conduite en utilisant la formule de l'IT 77 et en supposant que le coefficient de débit k est de 0,013.

TD08 : Pollution des eaux pluviales

Répondre aux questions suivantes :

1. Donner la définition de la pollution des eaux pluviales ?
2. Quels sont les types de la pollution des eaux pluviales ?
3. Donner la différence entre la pollution des eaux de ruissellement pluvial et la pollution de l'eau de pluie ?
4. Que signifie le terme « RUTP » ?
5. On distingue deux types de sources de la pollution des eaux pluviales, expliquer brièvement ces types ?
6. L'évaluation de la pollution urbaine des eaux pluviales (ou les polluants) dépend de quatre paramètres essentiels, lesquels ?
7. Comment calculer le paramètre de la concentration moyenne par évènement (CME) ?
8. Quelles sont les catégories des polluants des eaux pluviales ?
9. Que signifie les termes suivants : DBO5, DCO et MES ?
10. On distingue quatre (4) types d'occupation du sol en ce qui concerne la caractérisation de la qualité des eaux de ruissellement urbain, lesquels ?
11. Quels sont les caractéristiques des inondations ?
12. Quels sont les facteurs aggravant les inondations ?
13. Donner quelques exemples des inondations en Algérie ?
14. Expliquer brièvement la relation entre les inondations et la pollution des eaux pluviales ?

Chapitre 04 : Techniques de la gestion des eaux pluviales et Intégration urbaine des aménagements pluviaux

4.1 Introduction

La gestion des eaux pluviales fait référence aux différentes méthodes et techniques utilisées pour collecter, stocker, traiter et distribuer les eaux de pluie. Les eaux pluviales sont une ressource précieuse qui peut être utilisée pour diverses activités, telles que l'irrigation des cultures, l'entretien des espaces verts ou encore la recharge des nappes phréatiques. Cependant, si elles ne sont pas gérées correctement, les eaux pluviales peuvent causer des inondations, des glissements de terrain et même la pollution de nos rivières et lacs. La gestion des eaux pluviales est donc essentielle pour assurer la sécurité publique, protéger l'environnement et optimiser l'utilisation de cette ressource naturelle.

4.2 Objectifs de la gestion des eaux pluviales

- 1-Limiter la production d'eaux de ruissellement ;
- 2- Limiter les sources de contamination des eaux pluviales, avec entre autres des pratiques d'entretien de la voirie et des espaces verts ;
- 3- Privilégier les rejets dans des milieux récepteurs peu sensibles ;
- 4-Traiter les rejets afin que les concentrations et les flux de divers polluants soient acceptables par le milieu.
- 5- Limiter les inondations dues à une forte pluie ;
- 6- Améliorer la qualité de vie des communautés en réduisant les risques d'inondations et en créant des espaces verts et des zones récréatives qui utilisent l'eau de pluie pour l'irrigation.
- 7- Conserver l'eau en collectant et en stockant l'eau de pluie pour une utilisation ultérieure dans les jardins, les parcs et d'autres activités d'irrigation.

4.3 Principes de la gestion des eaux pluviales

Les principes de la gestion des eaux pluviales sont :

1. La gestion à la source : La gestion des eaux pluviales devrait commencer par la réduction de la quantité d'eau de pluie qui atteint les égouts pluviaux. Cela peut être accompli par des pratiques telles que la collecte de l'eau de pluie pour l'irrigation ou la création de surfaces perméables pour que l'eau puisse s'infiltrer dans le sol.

2. La prévention de la pollution : Les eaux pluviales peuvent entraîner la pollution de nos cours d'eau, de nos rivières et de nos lacs en emportant des débris, des huiles de voitures et d'autres contaminants. Il est important de mettre en place des techniques de filtration et de traitement des eaux pluviales pour prévenir cette pollution.
3. La gestion des débits : La gestion des eaux pluviales devrait inclure des méthodes pour gérer les débits d'eau en temps de pluie. Des bassins de rétention ou des canaux d'irrigation peuvent être utilisés pour stocker l'eau de pluie et la libérer lentement dans le sol.
4. La collaboration : La gestion des eaux pluviales nécessite une collaboration entre les différentes parties prenantes, y compris les gouvernements locaux, les communautés, les professionnels de l'eau et les propriétaires fonciers. En travaillant ensemble, ces groupes peuvent développer des solutions intégrées pour une meilleure gestion des eaux pluviales.
5. La durabilité : La gestion des eaux pluviales devrait viser à atteindre des résultats à long terme en utilisant des pratiques durables et respectueuses de l'environnement. Cela peut inclure l'utilisation de techniques telles que la réutilisation de l'eau de pluie pour l'irrigation ou la création de jardins pluviaux pour maximiser l'absorption de l'eau dans le sol.

D'autre part, la gestion des eaux pluviales participe au :

1-Limiter l'imperméabilisation ;

2- Eviter le rejet d'eaux pluviales à l'extérieur de l'aménagement en mobilisant les capacités d'infiltration et d'évapotranspiration disponibles dans le périmètre de l'aménagement ;

3-Privilégier la gestion des eaux pluviales en respectant la répartition des ouvrages ;

4-Privilégier les ouvrages végétalisés par rapport au génie civil classique ;

5-Limiter le ruissellement et la centralisation des eaux pluviales collectées, car cela permet également de limiter les flux polluants ;

6-Gérer l'eau à proximité des points de production en limitant les mélanges de différentes sources de polluants ;

7-Privilégier les techniques végétalisées pour la gestion des eaux pluviales ;

8-Installer, si nécessaire des ouvrages de prétraitement à l'amont d'ouvrages de stockage ou d'infiltration pour retenir les macro-déchets ;

9-Eviter de concentrer les eaux et limiter les distances de ruissellement sur les surfaces urbaines.

4.4 Axes de la gestion des eaux pluviales

Les axes principaux pour faire la gestion des eaux pluviales peuvent varier selon les situations locales, mais en général, ils peuvent inclure :

- a. **La gestion à la source** : La gestion à la source consiste à gérer l'eau de pluie à l'endroit où elle tombe. Cela peut être accompli par des pratiques telles que la collecte de l'eau de pluie pour l'irrigation, la création de surfaces perméables pour que l'eau puisse s'infiltrer dans le sol, ou la construction de toits verts pour absorber l'eau de pluie.
- b. **Les infrastructures vertes** : Les infrastructures vertes sont des techniques de gestion des eaux pluviales qui utilisent des éléments naturels tels que les plantes, les arbres et le sol pour absorber et filtrer l'eau de pluie. Les jardins pluviaux, les bassins de rétention, les zones humides artificielles et les toits verts sont des exemples d'infrastructures vertes.
- c. **Les infrastructures grises** : Les infrastructures grises sont des techniques de gestion des eaux pluviales qui utilisent des éléments artificiels tels que les tuyaux, les canaux et les barrages pour gérer l'eau de pluie. Les canaux d'irrigation, les bassins de stockage et les systèmes de drainage sont des exemples d'infrastructures grises.
- d. **La planification et la réglementation** : La planification et la réglementation sont importantes pour la gestion des eaux pluviales. Les gouvernements locaux peuvent élaborer des plans de gestion des eaux pluviales pour guider les décisions relatives à l'aménagement du territoire, et des règlements peuvent être mis en place pour encourager ou exiger l'utilisation de pratiques de gestion des eaux pluviales durables.
- e. **L'éducation et la sensibilisation** : L'éducation et la sensibilisation sont également importantes pour encourager la gestion des eaux pluviales. Les propriétaires fonciers, les entreprises et les communautés doivent être informés des avantages de la gestion des eaux pluviales et des pratiques qu'ils peuvent utiliser pour aider à réduire les risques d'inondations et à protéger la qualité de l'eau.

4.5 Suivi de la conception d'un projet de gestion des eaux pluviales

1-Assurer un suivi des opérations tout au long du projet ;

2-Identifier les intervenants, leurs rôles et leurs interactions ;

Qui fait quoi et quand ? Il est important d'identifier les intervenants ainsi que leur rôle le plus en amont possible du projet. **L'organigramme des intervenants** permet de représenter schématiquement les liens fonctionnels et organisationnels entre intervenants aux différentes phases du projet afin de faciliter la communication entre eux.

Tableau 4.1: Les phases et les principes des intervenants des projets de gestion des eaux pluviales.

Phases	Intervenants	Principes
Définition du cahier des charges	Maître d'ouvrage	Définir les spécificités de bases, les enjeux, les objectifs ; les modalités d'exécution, les contraintes.
Etudes de diagnostic	Maître d'ouvrage, ingénieurs conseils, usagers, institutions	Etudier le site et son contexte : atouts et contraintes.
Esquisse	Allez et retours entre l'équipe de Maîtrise d'œuvre, la Maîtrise d'ouvrage et les institutions	-Définir le projet dans ses grands traits. -Intégrer les principes de gestion alternative des eaux pluviales.
Avant-projet	« Allez et retours » entre le groupement/Maîtrise d'ouvrage et entre Maîtrise d'ouvrage/maître d'œuvre. Usagers, institutions	Définir les risques, détails du projet, et du chiffrage.
Projet	Equipe de Maîtrise d'œuvre, Maîtrise d'ouvrage, gestionnaire, institutions	Finaliser la conception du projet et description technique.

Passation des contrats de travaux	Entreprise	-Analyser les offres -Choisir l'entreprise qui va réaliser l'ouvrage
Visa	Entreprises, aller-retours entre le groupement/Maîtrise d'ouvrage et entre Maîtrise d'ouvrage/maître d'œuvre.	Reprise des plans élaborés en phase de projet par l'entreprise qui a remporté le marché.
Réalisation	Maîtrise d'ouvrage, équipe de Maîtrise d'œuvre, entreprise.	Suivre le bon déroulement du chantier de façon à ce que le résultat soit conforme au projet initial.
Réception et contrôle	Maîtrise d'ouvrage, commune	Vérification de la bonne réalisation (localisation, géométrie, alimentation, rejet, topographie, capacité de stockage, etc
Gestion et suivi	Gestionnaire, maître d'œuvre, commune, institutions	-Reprise de l'ouvrage par le maître d'ouvrage, -Répartition de tâches relatives à l'exploitation et la maintenance des ouvrages au sein de ses équipes Entretien, -Contrôle du suivi des ouvrages

3-Contrôler l'entretien et assurer le suivi des ouvrages

Chaque contrôle doit être spécifique à l'ouvrage et prendre en compte l'environnement du dispositif.

a. Le suivi des ouvrages et le contrôle de l'entretien : peuvent se faire :

- sous forme de fiche de visite de site ou d'intervention,

- de manière inopinée et/ou planifiée par des organismes internes ou des délégataires extérieurs.

b. Le contrôle : comprend 2 points essentiels :

- contrôle visuel de l'ouvrage sur site,
- contrôle des documents relatifs à l'inspection et à l'entretien (carnet d'entretien, fiche d'intervention, bordereaux de suivi des déchets, etc.).

c. Les documents relatifs au suivi et contrôle d'entretien des ouvrages

1. Fiche de suivi/visite de site : elle contient les points suivants :

- ✓ Date de visite ;
- ✓ Evaluation environnementale ;
- ✓ Evaluation technique ;
- ✓ Sécurité ;
- ✓ Asservissement ;
- ✓ Fonctionnement hydraulique ;
- ✓ Efficacité de l'ouvrage par rapport à la/aux fonction(s) qui lui ont été assignées (collecte, régulation hydraulique et/ou dépollution, etc.) ;
- ✓ Analyses de l'eau en sortie (si pertinent) ;
- ✓ Contrôle des fiches d'intervention et des bordereaux de suivi des déchets Matériel remplacé ;
- ✓ Observations ;
- ✓ Photos de visite de site ;
- ✓ Conclusion.

2. Carnet d'entretien : il contient 4 éléments principaux

a- Informations relatives à l'ouvrage et/ou à l'aménagement

- ❖ Qu'est-ce que c'est ?
- ❖ Comment ça marche ?
- ❖ Intérêt de la technique ;

- ❖ Importance de l'entretien ;
- ❖ Photos référence ;
- ❖ Schémas.

b-Modalités d'inspection et d'entretien

- ❖ Accessibilité ;
- ❖ Outils et matériel ;
- ❖ Devenir des « déchets » courants (sédiments et végétaux) ;
- ❖ Prétraitements et traitement (fréquence, procédure, etc.) ;
- ❖ Pollution accidentelle ;
- ❖ Evacuation de l'eau après chaque grosse pluie.

c-Fiche d'intervention

- ❖ Date ;
- ❖ Observations Matériaux ;
- ❖ Équipements, remplacés ;
- ❖ Déchets enlevés.

d-Bordereau de suivi des déchets

- ❖ Date d'entretien ;
- ❖ Coordonnées du sous-traitant ;
- ❖ Type et volume des déchets ;
- ❖ Observations ;
- ❖ Recyclage éventuel (déchets verts, etc.) ;
- ❖ Destination des déchets.

4.6 Techniques de la gestion des eaux pluviales

4.6.1 Introduction

Les techniques de gestion des eaux pluviales, également appelées techniques de gestion des eaux de ruissellement, sont des pratiques visant à gérer l'impact des précipitations sur l'environnement urbain. Les eaux pluviales, lorsqu'elles sont collectées par les surfaces imperméables telles que les toits, les routes et les parkings, peuvent causer des problèmes tels que des inondations, la pollution de l'eau et la réduction de la qualité de vie en milieu urbain. Les techniques de gestion des eaux pluviales consistent à collecter, stocker, infiltrer et utiliser les eaux pluviales afin de minimiser leur impact sur l'environnement et de préserver les ressources en eau. Ces techniques incluent des méthodes de gestion innovantes telles que les toits verts, les jardins pluviaux, les bassins de rétention, les revêtements perméables, les systèmes de récupération d'eau de pluie, les bassins d'infiltration, les noues paysagères, les tranchées d'infiltration et les murs végétalisés. Ces techniques peuvent également contribuer à la création d'un environnement urbain plus durable et résilient face aux changements climatiques.

4.6.2 Quelques exemples des techniques

4.6.2.1 Les toits verts

Définition : Les toits verts, également appelés toits végétalisés, sont des toits recouverts de végétation. Cette végétation peut être composée de plantes, de fleurs ou même de légumes. Les toits verts ont de nombreux avantages, notamment la réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain, la réduction de la consommation d'énergie, la réduction du bruit, l'amélioration de la qualité de l'air et la rétention d'eau de pluie. Les toits verts peuvent être extensifs (avec une couche de substrat plus mince et une végétation plus résistante) ou intensifs (avec une couche de substrat plus épaisse et une plus grande variété de plantes) (Figure 4.1).

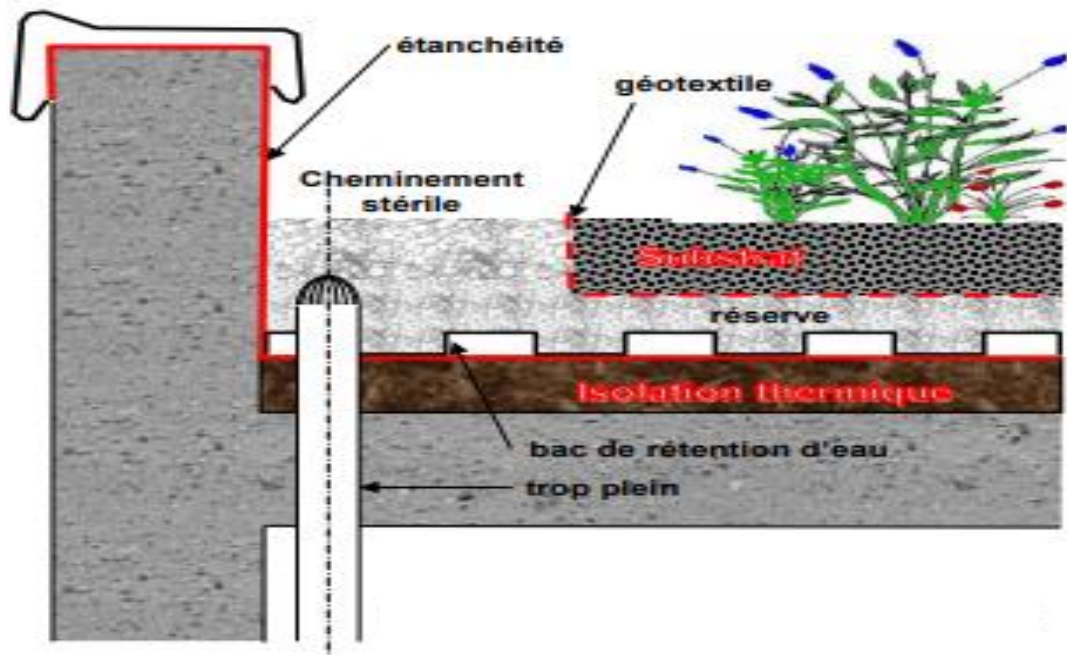


Figure 4.1: Conception d'un toit vert.

4.6.2.2 Les jardins pluviaux

Définition : Les jardins pluviaux sont des aménagements paysagers conçus pour gérer les eaux pluviales. Ces jardins permettent d'absorber l'eau de pluie et de la filtrer avant qu'elle ne s'écoule dans les égouts pluviaux ou les cours d'eau. Les jardins pluviaux sont généralement constitués de plantes et de sols perméables, et sont souvent aménagés dans des zones en pente pour faciliter l'écoulement de l'eau (Figure 4.2).

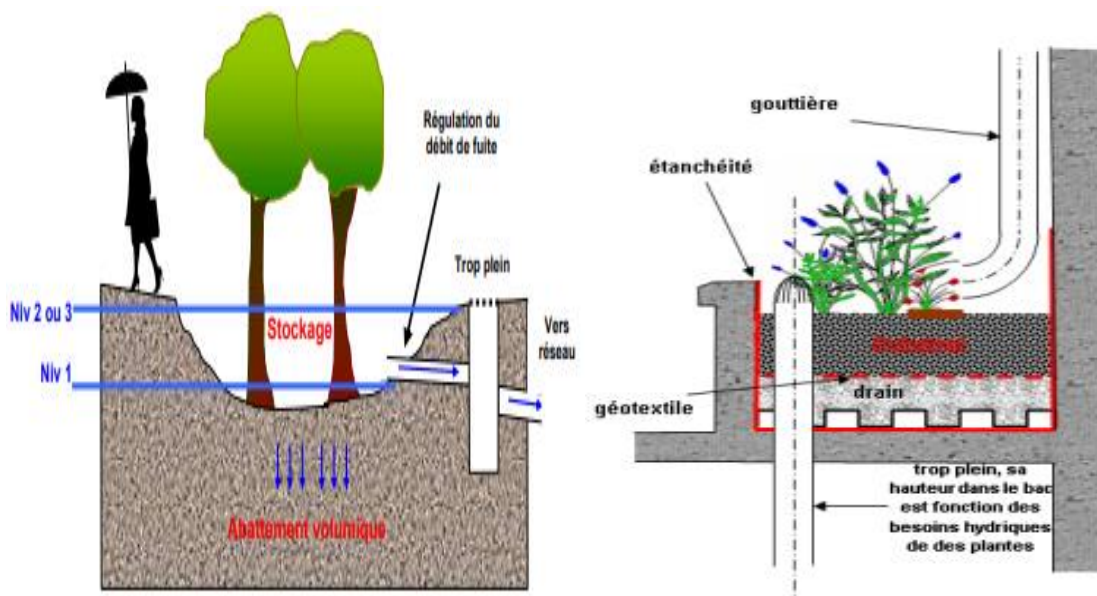


Figure 4.2: Jardin de pluie infiltrant.

4.6.2.3 Les bassins de rétention

Définition : Les bassins de rétention sont des structures conçues pour collecter l'eau de pluie et la retenir temporairement. Cette eau est ensuite progressivement relâchée dans les cours d'eau ou les égouts pluviaux. Les bassins de rétention sont généralement aménagés avec des plantes et des sols perméables pour faciliter l'infiltration de l'eau dans le sol (Figure 4.3).

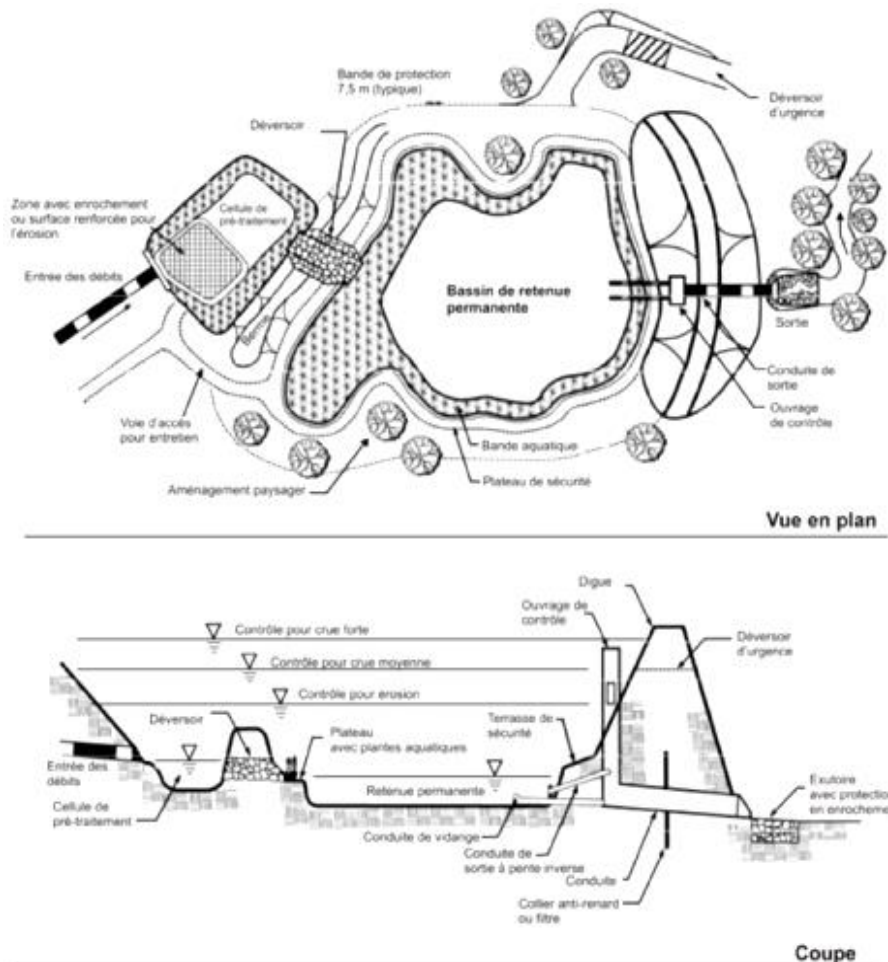


Figure 4.3: Vue en plan et une coupe d'un bassin de rétention.

4.6.2.4 Les revêtements perméables

Définition : Les revêtements perméables sont des surfaces de sol ou de pavage qui permettent à l'eau de pluie de s'infiltrer dans le sol plutôt que de ruisseler vers les égouts pluviaux. Les revêtements perméables sont souvent utilisés dans les parkings, les allées et les trottoirs pour réduire le ruissellement de l'eau de pluie (Figure 4.4)

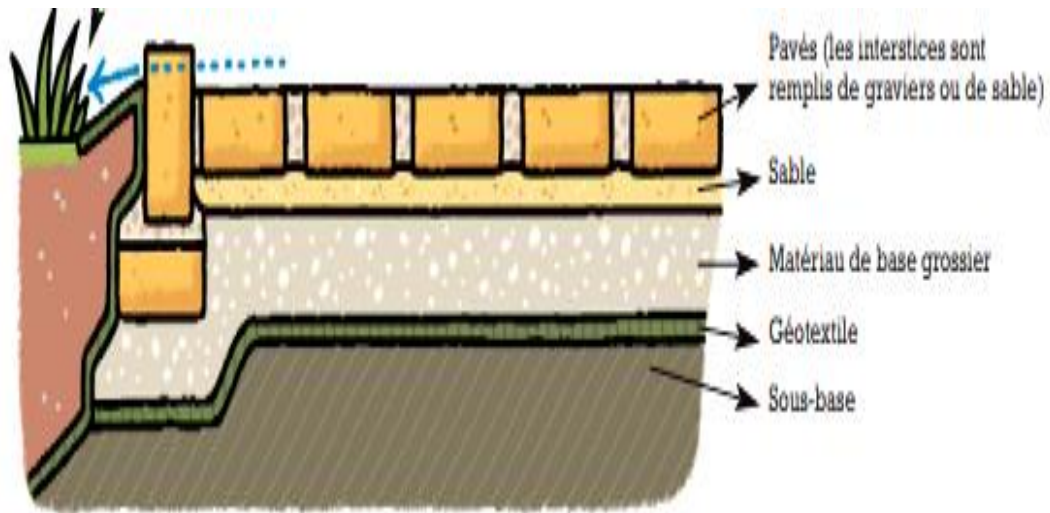


Figure 4.4: Les revêtements perméables.

4.6.2.5 Les systèmes de récupération d'eau de pluie

Définition : Les systèmes de récupération d'eau de pluie sont conçus pour collecter et stocker l'eau de pluie qui tombe sur les toits ou d'autres surfaces imperméables. Cette eau peut être réutilisée pour l'arrosage, le nettoyage ou même pour les toilettes. Les systèmes de récupération d'eau de pluie peuvent être simples (comme des barils de récupération d'eau de pluie) ou plus complexes (comme des systèmes de stockage souterrains) (Figure 4.5).

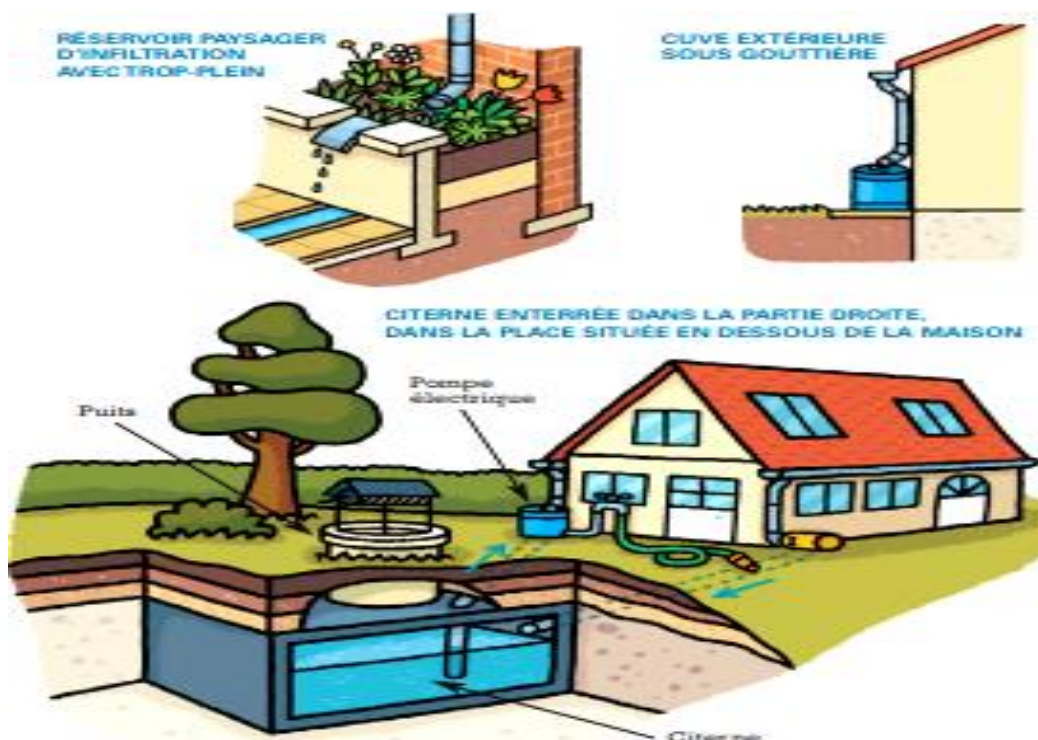


Figure 4.5: Les systèmes de récupération d'eau de pluie.

4.6.2.6 Les bassins d'infiltration

Définition : les bassins d'infiltration sont des structures souterraines qui sont conçue pour collecter et stocker temporairement les eaux pluviales et les eaux de ruissellement. Le bassin d'infiltration permet à l'eau de pluie de s'infiltrer lentement dans le sol, rechargeant ainsi la nappe phréatique. Il est souvent construit en creusant un trou peu profond et en remplissant le fond avec des matériaux perméables tels que du gravier ou du sable. Le bassin d'infiltration peut également être conçu pour être végétalisé avec des plantes appropriées pour augmenter l'infiltration et la filtration des eaux pluviales. Cette technique permet de réduire le volume des eaux de ruissellement et de prévenir les inondations en régulant le débit des cours d'eau et en améliorant la qualité de l'eau (Figure 4.6).



Figure 4.6: Exemple d'un bassin d'infiltration.

4.6.2.7 Les noues paysagères

Définition : Les noues paysagères sont des fossés peu profonds et étendus, remplis de plantes et de sols perméables, qui permettent de recueillir l'eau de pluie et de la filtrer. Les noues paysagères sont souvent utilisées pour traiter les eaux de ruissellement provenant de surfaces imperméables telles que les parkings, les allées ou les toits. Les noues paysagères permettent également d'améliorer l'esthétique de l'environnement urbain (Figure 4.7).

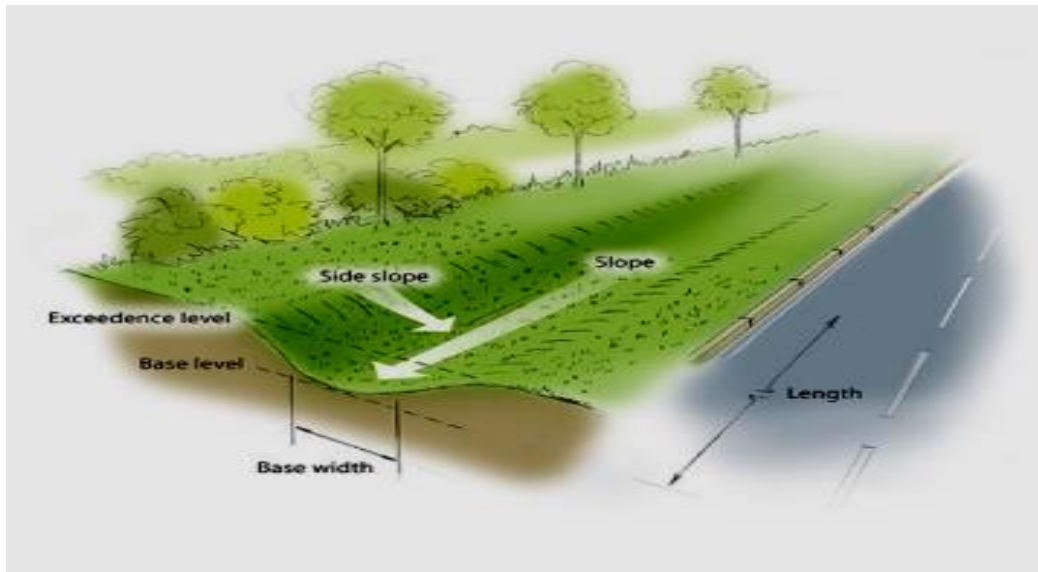


Figure 4.7: Exemple des noues paysagères.

4.6.2.8 Les tranchées d'infiltration

Définition : Les tranchées d'infiltration sont des fossés peu profonds remplis de graviers et de sols perméables qui permettent d'infiltrer l'eau de pluie dans le sol. Les tranchées d'infiltration sont souvent utilisées pour traiter les eaux de ruissellement provenant de surfaces imperméables telles que les parkings, les allées ou les toits. Les tranchées d'infiltration peuvent être plantées de végétation pour améliorer l'esthétique de l'environnement urbain (Figure 4.8).



Figure 4.8: Exemple d'une tranchée d'infiltration.

4.6.2.9 Les murs végétalisés

Définition : Les murs végétalisés, également appelés murs verts, sont des structures verticales recouvertes de végétation. Les murs végétalisés peuvent être installés à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments. Ils peuvent être autoportants ou attachés aux murs des

bâtiments existants. Les murs végétalisés ont de nombreux avantages, notamment la réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain, la réduction du bruit, l'amélioration de la qualité de l'air et l'augmentation de la biodiversité en milieu urbain. Les murs végétalisés peuvent être installés à des fins esthétiques ou fonctionnelles, comme pour améliorer l'isolation thermique des bâtiments (Figure 4.9).



Figure 4.9: Exemple d'un mur végétalisé.

4.6.3 Avantages et inconvénients des techniques de gestion des eaux pluviales

Les avantages et inconvénients des techniques de gestion des eaux pluviales sont illustrés dans les tableaux suivants :

Tableau 4.2 : Les avantages des techniques de gestion des eaux pluviales.

Techniques	Avantages
Les toits verts	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des îlots de chaleur urbains : les toits verts retiennent une grande partie de l'eau de pluie, ce qui réduit la température ambiante dans les villes. • Réduction des coûts énergétiques : les toits verts peuvent réduire les coûts de climatisation en été et de chauffage en hiver, car ils fournissent une isolation supplémentaire. • Réduction des coûts d'entretien : les toits verts nécessitent peu d'entretien une fois qu'ils ont été installés. • Amélioration de la qualité de l'air : les toits verts absorbent les gaz

	<p>nocifs et les particules dans l'air.</p>
Les jardins pluviaux	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des inondations : les jardins pluviaux sont conçus pour absorber l'eau de pluie et réduire les risques d'inondations. • Amélioration de la qualité de l'eau : les jardins pluviaux peuvent filtrer les contaminants de l'eau de pluie avant qu'ils ne se déversent dans les rivières et les lacs. • Beauté esthétique : les jardins pluviaux ajoutent une touche de beauté naturelle à un environnement urbain. • Habitat naturel : les jardins pluviaux offrent un habitat pour les insectes et les oiseaux.
Les bassins de rétention	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des inondations : les bassins de rétention sont conçus pour retenir l'eau de pluie, réduisant ainsi les risques d'inondations. • Amélioration de la qualité de l'eau : les bassins de rétention peuvent filtrer les contaminants de l'eau de pluie avant qu'ils ne se déversent dans les rivières et les lacs. • Habitat naturel : les bassins de rétention offrent un habitat pour la faune et la flore locales. • Réduction des coûts d'assainissement : les bassins de rétention peuvent réduire les coûts d'assainissement des eaux pluviales pour les villes.
Les revêtements perméables	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des îlots de chaleur urbains : les revêtements perméables peuvent réduire la température ambiante dans les villes en absorbant l'eau de pluie. • Réduction des risques d'inondation : les revêtements perméables permettent à l'eau de pluie de s'infiltrer dans le sol, réduisant ainsi les risques d'inondations. • Réduction de l'érosion : les revêtements perméables peuvent

	<p>réduire l'érosion du sol en permettant à l'eau de pluie de s'infiltrer dans le sol plutôt que de couler sur la surface.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduction des coûts de construction : les revêtements perméables peuvent réduire les coûts de construction car ils nécessitent moins de matériaux que les revêtements imperméables.
Les systèmes de récupération d'eau de pluie	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la consommation d'eau : les systèmes de récupération d'eau de pluie permettent d'utiliser l'eau de pluie pour les tâches ménagères comme l'arrosage du jardin, la lessive ou encore les toilettes, ce qui réduit la consommation d'eau potable. • Économies financières : en réduisant la consommation d'eau potable, les factures d'eau peuvent être réduites. • Réduction de la charge sur les réseaux d'égouts : en réduisant la quantité d'eau qui coule dans les égouts municipaux, les systèmes de récupération d'eau de pluie peuvent réduire les risques d'inondations et les coûts d'entretien des infrastructures. • Utilisation durable de l'eau : en utilisant l'eau de pluie plutôt que l'eau potable, les systèmes de récupération d'eau de pluie peuvent aider à préserver les ressources en eau potable.
Les bassins d'infiltration	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des risques d'inondations : les bassins d'infiltration peuvent aider à réduire les risques d'inondations en permettant à l'eau de pluie de s'infiltrer dans le sol plutôt que de s'accumuler à la surface. • Réduction de la charge sur les réseaux d'égouts : en réduisant la quantité d'eau qui coule dans les égouts municipaux, les bassins d'infiltration peuvent réduire les risques d'inondations et les coûts d'entretien des infrastructures. • Amélioration de la qualité de l'eau : les bassins d'infiltration permettent de filtrer l'eau de pluie en la faisant passer à travers le sol, ce qui peut réduire la quantité de polluants qui se retrouvent

	<p>dans les cours d'eau et les écosystèmes environnants.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Embellissement des espaces extérieurs : les bassins d'infiltration peuvent être aménagés pour servir d'espaces verts, offrant ainsi un avantage esthétique.
Les noues paysagères	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire les risques d'inondations en permettant l'absorption de l'eau de pluie et son infiltration dans le sol. • Filtrer les polluants et les nutriments qui se trouvent dans l'eau de ruissellement, ce qui peut améliorer la qualité de l'eau des cours d'eau et des lacs voisins. • Offrir des habitats pour les plantes et les animaux, ce qui peut contribuer à la diversité biologique d'une région. • Les noues paysagères peuvent être aménagées de manière à ajouter de la beauté et de l'intérêt visuel à un paysage.
Les tranchées d'infiltration	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire le volume d'eau de pluie qui s'écoule sur les surfaces imperméables et peut causer des inondations ou une pollution des cours d'eau. • Filtrer les polluants et les nutriments présents dans l'eau de ruissellement, ce qui peut améliorer la qualité de l'eau des cours d'eau et des lacs voisins. • Biodiversité : Les tranchées d'infiltration peuvent fournir des habitats pour les plantes et les animaux, contribuant ainsi à la diversité biologique de la région. • Faible coût initial : Les tranchées d'infiltration peuvent être moins coûteuses que les autres méthodes de gestion des eaux pluviales, car elles nécessitent peu de matériaux et d'équipement.
Les murs végétalisés	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la qualité de l'air : Les murs végétalisés peuvent aider à purifier l'air en absorbant les polluants atmosphériques et en produisant de l'oxygène.

	<ul style="list-style-type: none"> • Isolation thermique : Les murs végétalisés peuvent aider à réduire la quantité de chaleur qui pénètre dans un bâtiment en été et à maintenir la chaleur à l'intérieur en hiver, ce qui peut réduire les coûts de climatisation et de chauffage. • Réduction de la pollution sonore : Les murs végétalisés peuvent atténuer le bruit en absorbant les ondes sonores, ce qui peut améliorer la qualité de vie dans les zones urbaines bruyantes. • Amélioration de l'esthétique : Les murs végétalisés peuvent ajouter de la beauté et de l'intérêt visuel à un paysage urbain.
--	---

Tableau 4.3 : Les inconvénients des techniques de gestion des eaux pluviales.

Techniques	Inconvénients
Les toits verts	<ul style="list-style-type: none"> • Coût initial élevé : les coûts d'installation d'un toit vert sont plus élevés que pour un toit traditionnel. • Besoins en irrigation : les toits verts nécessitent une irrigation régulière, ce qui peut augmenter les coûts d'exploitation. • Poids supplémentaire : les toits verts peuvent être très lourds, ce qui peut nécessiter des modifications structurelles sur le toit de l'immeuble. • Risque de fuites : si le système de drainage n'est pas correctement installé, il peut y avoir des fuites d'eau sur le toit.
Les jardins pluviaux	<ul style="list-style-type: none"> • Besoins en espace : les jardins pluviaux nécessitent souvent beaucoup d'espace pour être installés. • Coûts d'entretien : les jardins pluviaux nécessitent un entretien régulier pour fonctionner correctement. • Risque d'accumulation de débris : les jardins pluviaux peuvent accumuler des débris végétaux qui doivent être nettoyés régulièrement. • Risque d'envahissement de plantes : les jardins pluviaux peuvent

	<p>être envahis par des plantes indésirables si l'entretien n'est pas effectué régulièrement.</p>
Les bassins de rétention	<ul style="list-style-type: none"> • Besoins en espace : les bassins de rétention nécessitent souvent beaucoup d'espace pour être installés. • Coûts d'installation élevés : les coûts d'installation d'un bassin de rétention peuvent être élevés en raison des travaux de terrassement et de construction nécessaires. • Risque de colmatage : les bassins de rétention peuvent se colmater avec des sédiments et des débris, ce qui peut réduire leur efficacité. • Risque de débordement : si le bassin de rétention n'est pas correctement dimensionné, il peut déborder en cas de fortes pluies, ce qui peut causer des inondations.
Les revêtements perméables	<ul style="list-style-type: none"> • Besoins en entretien : les revêtements perméables nécessitent un entretien régulier pour fonctionner correctement. • Risque de colmatage : les revêtements perméables peuvent se colmater avec des sédiments et des débris, ce qui peut réduire leur efficacité. • Coûts d'installation initiaux élevés : les coûts d'installation de revêtements perméables peuvent être élevés en raison des travaux de terrassement et de construction nécessaires. • Risque de gel : les revêtements perméables peuvent être endommagés par le gel en hiver, ce qui peut réduire leur efficacité en tant que surface perméable.
Les systèmes de récupération d'eau de pluie	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts initiaux élevés : les coûts d'installation d'un système de récupération d'eau de pluie peuvent être élevés, en particulier si un réservoir de grande capacité est nécessaire. • Besoins en espace : les réservoirs de stockage peuvent prendre de la place dans une propriété. • Nécessité d'entretien : les systèmes de récupération d'eau de pluie nécessitent un entretien régulier pour garantir leur bon

	<p>fonctionnement et éviter les problèmes de contamination.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Risques de contamination : si les réservoirs de stockage ne sont pas correctement entretenus, l'eau de pluie récupérée peut être contaminée par des bactéries ou des polluants, ce qui peut poser des risques pour la santé.
Les bassins d'infiltration	<ul style="list-style-type: none"> • Besoins en espace : les bassins d'infiltration nécessitent un espace important, ce qui peut être difficile à trouver dans les zones urbaines denses. • Coûts élevés : les coûts d'installation et d'entretien d'un bassin d'infiltration peuvent être élevés, en particulier si un système de filtration ou de traitement est nécessaire pour garantir la qualité de l'eau. • Risques de contamination : si le bassin d'infiltration est mal conçu ou mal entretenu, il peut contaminer les eaux souterraines ou les sols environnants, ce qui peut avoir des conséquences négatives sur l'environnement et la santé humaine. • Nécessité d'entretien : les bassins d'infiltration nécessitent un entretien régulier pour garantir leur bon fonctionnement et éviter les problèmes de contamination.
Les noues paysagères	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien : Les noues paysagères nécessitent un entretien régulier pour s'assurer que les plantes ne deviennent pas envahissantes et que les fossés ne se bouchent pas. • Coût initial : La construction d'une noue paysagère peut être plus coûteuse que la construction d'un système de drainage conventionnel. • Limitations de l'espace : Les noues paysagères peuvent nécessiter plus d'espace que les systèmes de drainage conventionnels, ce qui peut poser des problèmes dans les zones urbaines où l'espace est limité.

	<ul style="list-style-type: none"> • Résistance à la circulation : Les noues paysagères ne sont généralement pas conçues pour supporter le poids de véhicules motorisés, il est donc important de les placer de manière à éviter tout dommage causé par la circulation.
Les tranchées d'infiltration	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance : Les tranchées d'infiltration nécessitent un entretien régulier pour s'assurer que les matériaux filtrants ne se bouchent pas et que les plantes ne deviennent pas envahissantes. • Espace limité : Les tranchées d'infiltration nécessitent un certain espace pour être construites, ce qui peut poser des problèmes dans les zones urbaines où l'espace est limité. • Contraintes du sol : Les tranchées d'infiltration ne fonctionnent pas dans tous les types de sols, car certains sols peuvent être trop imperméables pour permettre une infiltration adéquate. • Temps de vidange : Les tranchées d'infiltration peuvent prendre du temps à se vider complètement, ce qui peut poser des problèmes dans les zones à forte pluviométrie.
Les murs végétalisés	<ul style="list-style-type: none"> • Coût initial : Les murs végétalisés peuvent être coûteux à construire et à installer, en particulier s'ils nécessitent des équipements ou des structures spéciales pour soutenir les plantes. • Entretien : Les murs végétalisés nécessitent un entretien régulier pour s'assurer que les plantes sont en bonne santé et que le système d'irrigation fonctionne correctement. • Poids : Les murs végétalisés peuvent être très lourds en raison du poids des plantes et du système de support, ce qui peut poser des problèmes de sécurité structurelle s'ils ne sont pas correctement conçus et installés. • Limitations de l'espace : Les murs végétalisés peuvent nécessiter un certain espace pour être construits, ce qui peut poser des problèmes dans les zones urbaines où l'espace est limité.

4.6.4 Etapes de réalisation et entretien des techniques de gestion des eaux pluviales

Les étapes à suivre pour réaliser et entretenir les techniques de gestion des eaux pluviales

4.6.4.1 Évaluation du site

La première étape de la gestion des eaux pluviales est l'évaluation du site. Cette évaluation consiste à déterminer la quantité d'eau de pluie qui s'écoule sur le site et la nature du sol. Cette étape est importante car elle permet de déterminer quelle technique de gestion des eaux pluviales est la plus adaptée au site. Pour évaluer le site, il est souvent nécessaire de réaliser une étude hydrologique pour mesurer le débit d'eau de pluie et la vitesse d'écoulement.

4.6.4.2 Conception de la technique

Une fois l'évaluation du site terminée, il est temps de concevoir la technique de gestion des eaux pluviales. Les techniques peuvent inclure des toitures végétalisées, des bassins de rétention, des chaussées perméables, etc. La conception doit prendre en compte la quantité d'eau de pluie que le site reçoit, le sol, la topographie et la capacité de stockage de l'eau. Cette étape peut nécessiter l'aide d'un professionnel de l'ingénierie ou de la conception.

4.6.4.3 Mise en place de la technique

Une fois que la technique de gestion des eaux pluviales est conçue, il est temps de la mettre en place. Cette étape peut impliquer l'installation de nouveaux équipements, tels que des bassins de rétention, ou la modification d'équipements existants, tels que des toits. La mise en place de la technique doit être effectuée conformément aux normes et réglementations locales.

4.6.4.4 Formation du personnel

Si de nouveaux équipements sont installés, il est important de former le personnel pour s'assurer que les équipements sont utilisés de manière efficace et sécuritaire. Le personnel doit être formé à l'entretien de la technique et à la détection des signes de défaillance des équipements.

4.6.4.5 Entretien de la technique

L'entretien régulier de la technique de gestion des eaux pluviales est crucial pour assurer son efficacité. Les techniques nécessitent souvent un nettoyage régulier pour éliminer les débris, tels que les feuilles et les branches. Il est également important de s'assurer que les équipements fonctionnent correctement et de réparer rapidement tout équipement défectueux.

Il est recommandé d'établir un plan d'entretien régulier pour chaque technique de gestion des eaux pluviales. Le plan doit inclure les procédures d'inspection, de nettoyage et de maintenance.

De plus, le plan d'entretien régulier devrait inclure des inspections périodiques pour détecter les problèmes potentiels, des travaux de nettoyage réguliers pour éliminer les obstructions et les débris, et des réparations immédiates en cas de dommages ou de dysfonctionnements. Il est également important de suivre les directives du fabricant ou de l'installateur pour assurer un fonctionnement efficace et sécuritaire de la technique de gestion des eaux pluviales utilisée. Il se repose sur les étapes suivantes :

- Nettoyage des entrées et sorties : Les entrées et les sorties d'ouvrage de gestion doivent être régulièrement nettoyées pour éviter les obstructions. Les grilles, les canaux et les tuyaux de sortie doivent être inspectés et nettoyés pour s'assurer qu'ils sont exempts de débris et de sédiments.
- Élimination des débris : Les débris tels que les feuilles, les branches, les débris de construction et les débris de l'environnement doivent être régulièrement éliminés pour éviter les obstructions dans le système de drainage et d'infiltration.
- Élimination des sédiments : Les sédiments qui s'accumulent d'ouvrage de gestion doivent être régulièrement éliminés pour éviter la réduction de la capacité de stockage et d'infiltration. Le nettoyage des sédiments peut se faire en utilisant une pompe ou une excavatrice pour aspirer les sédiments.
- Inspection de la structure : La structure d'ouvrage de gestion doit être régulièrement inspectée pour détecter les dommages et les fuites. Les zones où l'eau s'accumule doivent être identifiées pour éviter les risques de stagnation et de développement de moustiques.
- Maintenance de la végétation : Les plantes dans et autour d'ouvrage de gestion doivent être régulièrement taillées pour éviter leur surcroissance et les risques d'obstruction dans le système de drainage et d'infiltration.

4.6.5 Choix de la technique de gestion des eaux pluviales plus adaptée

Le choix d'une technique alternative pour la gestion des eaux pluviales dépend de plusieurs facteurs, tels que la topographie, la nature des sols, la taille de la zone urbaine, les

objectifs environnementaux, les exigences réglementaires et les contraintes budgétaires. Voici quelques étapes pour vous aider à choisir une technique alternative adaptée pour la gestion des eaux pluviales :

- ✓ **Évaluer les caractéristiques de la zone urbaine** : La première étape consiste à évaluer les caractéristiques de la zone urbaine pour déterminer les zones à risque d'inondation, les zones avec une forte imperméabilisation, les caractéristiques du sol et les contraintes spatiales.
- ✓ **Examiner les options disponibles** : Ensuite, il est important d'examiner les options disponibles pour la gestion des eaux pluviales, telles que les bassins de rétention, les jardins de pluie, les toits verts, les revêtements perméables, les fossés de drainage, etc. Chaque option a ses avantages et ses inconvénients, il est donc important de bien comprendre leurs performances et leurs coûts.
- ✓ **Évaluer les performances** : Une fois que vous avez identifié les options potentielles, il est important d'évaluer leurs performances en termes d'efficacité de traitement des eaux pluviales, de réduction des inondations, de coûts de construction et d'entretien, d'impact environnemental, etc.
- ✓ **Consulter les parties prenantes** : Il est également important de consulter les parties prenantes telles que les propriétaires fonciers, les gestionnaires de l'eau, les décideurs politiques et les résidents locaux pour comprendre leurs besoins, leurs préférences et leurs préoccupations.
- ✓ **Choisir la technique alternative** : Après avoir évalué les options disponibles et consulté les parties prenantes, vous pouvez choisir la technique alternative la plus adaptée pour la gestion des eaux pluviales. En résumé, le choix d'une technique alternative pour la gestion des eaux pluviales doit être basé sur une évaluation approfondie des caractéristiques de la zone urbaine, des options disponibles, des performances, des parties prenantes et des contraintes budgétaires.

4.7 Intégration urbaine des aménagements pluviaux

4.7.1 Introduction : L'intégration urbaine des aménagements pluviaux est devenue un enjeu majeur pour les villes modernes, confrontées aux défis environnementaux, paysagers, climatiques et sociaux. En effet, les précipitations de plus en plus intenses et fréquentes, ainsi que l'expansion urbaine rapide, ont entraîné une augmentation des risques d'inondation, de pollution de l'eau et d'érosion des sols. Pour répondre à ces défis, de nombreuses villes adoptent une approche innovante pour la gestion des eaux pluviales en intégrant des aménagements pluviaux dans leur planification urbaine. Cette intégration vise à concilier les enjeux environnementaux, paysagers, climatiques et sociaux, en créant des espaces verts attractifs, des zones de loisirs agréables, tout en favorisant l'infiltration de l'eau de pluie dans le sol, la rétention de l'eau de pluie pour une utilisation ultérieure, ou la filtration des polluants. L'intégration urbaine des aménagements pluviaux est donc une approche holistique qui contribue à rendre les villes plus résilientes, durables et agréables à vivre pour les citoyens.

4.7.2 Role d'intégration urbaine des aménagements pluviaux

L'intégration urbaine des aménagements pluviaux joue un rôle crucial dans la gestion durable des eaux pluviales en milieu urbain. Voici les rôles principaux qu'elle peut jouer :

- ❖ **Réduction des risques d'inondation :** Les aménagements pluviaux permettent de retenir l'eau de pluie à la source et de la réutiliser ou de la laisser s'infiltrer lentement dans le sol, plutôt que de la laisser ruisseler rapidement vers les égouts et les rivières, ce qui réduit le risque d'inondation.
- ❖ **Amélioration de la qualité de l'eau :** Les aménagements pluviaux peuvent filtrer l'eau de pluie, réduisant ainsi la quantité de polluants qui atteignent les rivières et les lacs, ce qui améliore la qualité de l'eau et protège la biodiversité.
- ❖ **Contribution à l'adaptation au changement climatique :** Les aménagements pluviaux permettent de réduire les effets du changement climatique, en atténuant les effets des vagues de chaleur, en régulant la température et en augmentant la résilience des écosystèmes urbains.
- ❖ **Amélioration de la qualité de vie :** Les aménagements pluviaux peuvent être conçus pour être esthétiquement attrayants, fournissant ainsi des espaces verts et des aires de

loisirs agréables pour les citoyens. Ils peuvent également contribuer à améliorer la qualité de l'air en réduisant la pollution.

- ❖ **Promotion de la durabilité** : L'intégration urbaine des aménagements pluviaux contribue à promouvoir la durabilité en assurant une gestion efficace et efficiente des ressources en eau dans les zones urbaines.

4.7.3 Les approches d'intégration urbaine des aménagements pluviaux

4.7.3.1 Approche environnementale

L'intégration urbaine des aménagements pluviaux du point de vue environnemental consiste à utiliser des techniques qui imitent le cycle naturel de l'eau de pluie. Les aménagements pluviaux peuvent être conçus pour favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol, la rétention de l'eau de pluie pour une utilisation ultérieure, ou la filtration des polluants. Ces techniques permettent de réduire l'impact des eaux de pluie sur le milieu naturel en limitant le ruissellement et l'accumulation de l'eau en surface. Les aménagements pluviaux peuvent inclure des jardins de pluie, des bassins de rétention, des fossés filtrants, des noues paysagères, des toitures végétalisées, des pavés perméables, etc. L'objectif est de limiter l'impact des eaux de pluie sur les écosystèmes naturels, qui sont souvent perturbés par les ruissellements d'eau de pluie.

Elle est basée sur les étapes suivantes :

- ✓ **Évaluation des risques** : il s'agit d'identifier les zones à risque d'inondation et de pollution, ainsi que les sources de pollution de l'eau.
- ✓ **Conception des aménagements** : les aménagements pluviaux sont conçus pour favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol, la rétention de l'eau de pluie pour une utilisation ultérieure, ou la filtration des polluants. Les techniques utilisées peuvent inclure des jardins de pluie, des bassins de rétention, des fossés filtrants, des noues paysagères, des toitures végétalisées, des pavés perméables, etc.
- ✓ **Mise en œuvre des aménagements** : les aménagements pluviaux sont construits et installés sur le terrain.
- ✓ **Suivi et entretien** : il est important de surveiller l'efficacité des aménagements pluviaux et de les entretenir régulièrement pour assurer leur bon fonctionnement.

4.7.3.2 Approche paysagère et urbaine

L'intégration urbaine des aménagements pluviaux du point de vue paysager et urbain consiste à créer des espaces verts et des zones de loisirs qui contribuent à améliorer la qualité de vie des citoyens. Les aménagements pluviaux peuvent être conçus pour être esthétiquement attrayants, pour améliorer la qualité de l'air et de l'eau, et pour augmenter la biodiversité. Les aménagements pluviaux peuvent inclure des jardins pluviaux, des parcs urbains, des allées vertes, des sentiers de randonnée, etc. L'objectif est de transformer les aménagements pluviaux en éléments de la ville qui contribuent à son charme et à sa qualité de vie.

Elle est basée sur les étapes suivantes :

- ✓ **Évaluation des besoins** : il s'agit d'identifier les zones de la ville qui pourraient bénéficier d'aménagements pluviaux paysagers et urbains pour améliorer la qualité de vie des citoyens.
- ✓ **Conception des aménagements** : les aménagements pluviaux sont conçus pour être esthétiquement attrayants, pour améliorer la qualité de l'air et de l'eau, et pour augmenter la biodiversité. Les techniques utilisées peuvent inclure des jardins pluviaux, des parcs urbains, des allées vertes, des sentiers de randonnée, etc.
- ✓ **Mise en œuvre des aménagements** : les aménagements pluviaux sont construits et installés sur le terrain.
- ✓ **Suivi et entretien** : il est important de surveiller l'efficacité des aménagements pluviaux et de les entretenir régulièrement pour assurer leur bon fonctionnement.

4.7.3.3 Approche climatique

L'intégration urbaine des aménagements pluviaux du point de vue climatique consiste à utiliser des techniques qui contribuent à atténuer les effets du changement climatique. Les aménagements pluviaux peuvent aider à prévenir les inondations en ralentissant le ruissellement de l'eau de pluie et en augmentant la capacité de rétention des sols. Les aménagements pluviaux peuvent également aider à réguler la température en créant des espaces verts, qui absorbent la chaleur et rafraîchissent l'air ambiant. Les aménagements pluviaux peuvent inclure des toitures végétalisées, des murs végétaux, des arbres, des haies, des jardins pluviaux, etc. L'objectif est de concevoir des aménagements pluviaux qui contribuent à rendre les villes plus résilientes face aux effets du changement climatique.

Elle est basée sur les étapes suivantes :

- ✓ **Évaluation des risques** : il s'agit d'identifier les zones de la ville les plus exposées aux risques climatiques, tels que les inondations, les sécheresses, les vagues de chaleur, etc.
- ✓ **Conception des aménagements** : les aménagements pluviaux sont conçus pour atténuer les effets du changement climatique en prévenant les inondations, en régulant la température, en augmentant la résilience des écosystèmes urbains, etc. Les techniques utilisées peuvent inclure des toitures végétalisées, des murs végétaux, des arbres, des haies, des jardins pluviaux, etc.
- ✓ **Mise en œuvre des aménagements** : les aménagements pluviaux sont construits et installés sur le terrain.
- ✓ **Suivi et entretien** : il est important de surveiller l'efficacité des aménagements pluviaux et de les entretenir régulièrement pour assurer leur bon fonctionnement.

4.7.4 Influence de l'intégration urbaines des aménagement pluviaux sur l'imperméabilisation des sols

L'intégration urbaine des aménagements pluviaux peut avoir un impact significatif sur l'imperméabilisation des sols. Les aménagements pluviaux sont des installations conçues pour collecter, stocker et traiter les eaux pluviales qui tombent sur les surfaces imperméables telles que les toits, les routes et les parkings. Ces installations peuvent inclure des fossés de drainage, des bassins de rétention, des jardins de pluie et d'autres solutions de gestion des eaux pluviales. En intégrant ces aménagements pluviaux dans les zones urbaines, on peut réduire l'imperméabilisation des sols en permettant à l'eau de pluie de s'infiltrer dans le sol plutôt que de s'écouler en surface. Cela peut aider à maintenir la qualité de l'eau, à réduire le risque d'inondation et à améliorer la santé des écosystèmes aquatiques locaux. De plus, l'intégration urbaine des aménagements pluviaux peut également contribuer à améliorer la qualité de vie des habitants en offrant des espaces verts et des zones de loisirs dans les zones urbaines. Les jardins de pluie, par exemple, peuvent être conçus pour ressembler à des jardins traditionnels et peuvent être utilisés pour la détente et la socialisation. En résumé, l'intégration urbaine des aménagements pluviaux peut avoir un impact positif sur l'imperméabilisation des sols en permettant à l'eau de pluie de s'infiltrer dans le sol plutôt que de s'écouler en surface.

Cela peut également contribuer à améliorer la qualité de vie des habitants en offrant des espaces verts et des zones de loisirs dans les zones urbaines.

4.7.5 Relation entre les approches d'intégration urbaine des aménagements pluviaux et la gestion écologique des villes

Les approches d'intégration urbaine des aménagements pluviaux et la gestion écologique des villes sont étroitement liées. En effet, la gestion écologique des villes vise à intégrer des pratiques durables dans la gestion des espaces urbains afin de réduire l'impact négatif de l'urbanisation sur l'environnement, en favorisant la biodiversité, en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en améliorant la qualité de l'air et de l'eau. Les aménagements pluviaux font partie intégrante de la gestion écologique des villes, car ils permettent de gérer les eaux pluviales de manière durable et écologique. En effet, ces aménagements consistent à intégrer des techniques de gestion des eaux pluviales dans la conception et l'aménagement des espaces urbains, en utilisant notamment des techniques telles que la végétalisation des toitures, la création de zones de rétention d'eau ou la mise en place de chaussées perméables.

En intégrant ces aménagements pluviaux dans la gestion écologique des villes, les municipalités peuvent réduire l'impact des événements météorologiques extrêmes tels que les inondations et les sécheresses, améliorer la qualité de l'eau et augmenter la biodiversité en créant des habitats pour la faune et la flore locales. En outre, les aménagements pluviaux peuvent contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre en favorisant la capture du carbone par les plantes et en réduisant la consommation d'énergie nécessaire pour traiter les eaux pluviales. En somme, les approches d'intégration urbaine des aménagements pluviaux sont donc un élément essentiel de la gestion écologique des villes, permettant de créer des villes plus durables et résilientes face aux défis environnementaux actuels et futurs.

4.8 Les series des exercices : Partie 4

TD09 : Techniques et gestion des eaux pluviales

Répondre aux questions suivantes :

1. Donner les objectifs de la gestion des eaux pluviales ?
2. Quels sont les principes de la gestion des eaux pluviales ?
3. Les axes principaux pour faire la gestion des eaux pluviales peuvent varier selon les situations locales, lesquels ?
4. Comment faire le Suivi de la conception d'un projet de gestion des eaux pluviales ?
5. Quels sont les documents relatifs au suivi et contrôle d'entretien des ouvrages de la gestion des eaux pluviales ?
6. Citer quelques exemples des techniques de la gestion des eaux pluviales ?
7. Quelles sont les différences entre les techniques de la gestion des eaux pluviales ?
8. Donner les avantages de la technique de toits verts ?
9. Citer les inconvénients de la technique de bassin de rétention ?
10. Quelle est la différence entre les bassins de rétention et les bassins d'infiltration ?
11. Donner les deux types des systèmes de récupération d'eau de pluie ?
12. Expliquer brièvement les étapes de réalisation et entretien des techniques de gestion des eaux pluviales ?
13. Comment choisir la technique de gestion des eaux pluviales la plus adaptée ?
14. Quel est le rôle d'intégration urbaine des aménagements pluviaux ?
15. Citer les approches d'intégration urbaine des aménagements pluviaux ?
16. Expliquer brièvement la relation entre les approches d'intégration urbaine des aménagements pluviaux et la gestion écologique des villes ?

5. Conclusion générale

En conclusion, la gestion des eaux pluviales est cruciale pour assurer la durabilité et la résilience des villes face aux événements météorologiques extrêmes et à la pollution. Les techniques de gestion des eaux pluviales peuvent aider à minimiser les risques d'inondations et de pollution, ainsi qu'à créer des espaces verts et des habitats pour la faune et la flore locales, améliorant ainsi la qualité de vie dans les zones urbaines. Les villes modernes sont souvent caractérisées par un environnement urbain très imperméable, avec des routes, des parkings et des bâtiments qui empêchent l'eau de pénétrer dans le sol. Cette situation peut causer des inondations lors de fortes pluies. L'intégration urbaine des aménagements pluviaux, tels que les jardins de pluie, les toitures végétalisées et les surfaces perméables, peut contribuer à la création d'un environnement urbain plus agréable et écologique, tout en améliorant la qualité de l'eau et la gestion des eaux pluviales. Il est donc important que les décideurs urbains intègrent ces techniques dans leurs plans d'aménagement pour construire des villes plus résilientes et durables. En fin de compte, la gestion efficace des eaux pluviales est un élément clé de la construction de villes plus durables et plus résilientes face aux défis environnementaux de notre époque.

6. Bibliographie

- [1] H. CHEVALIER (2007). «L'eau, un enjeu pour demain : état des lieux et perspectives», sang de la terre, Paris.
- [2] Ville perméable : l'eau, ressource urbaines. (2015) ICI ,Paris.
- [3] Communauté d'Agglomération de Moulins, (2016) « Gestion durable des eaux pluviales : Guide pratique ».
- [4] L. S. MAZZUOLI (2012). « La gestion durable de l'eau : ressources, qualité, organisation », Dunod : paris
- [5] S. DASYLVA (2015). « Gestion durable : des eaux pluviales dans les villes africaines : un enjeu de développement de masse » , L'harmattan, Paris.
- [6] CERTU (2008). « L'assainissement pluvial intégré dans l'aménagement. Éléments clés pour le recours aux techniques alternatives », Ministère de l'Ecologie et du Développement durable, Direction de l'eau, France
- [7] CERTU (2003). «La ville et son assainissement : Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau», Ministère de l'Ecologie et du Développement durable, Direction de l'eau, France
- [8] B. CHOCAT (2008). « Etat de l'art sur la gestion urbaine des eaux pluviales et leur valorisation », ONEMA- Office International de l'Eau.
- [9] D. GRANGER (2009). « Méthodologie d'aide à la gestion durable des eaux urbaine », thèse de doctorat, L'Institut National des Science Appliquées de Lyon.
- [10] E. CHOULI (2006). « La gestion des eaux pluviales urbaines en Europe : Analyse des conditions de développement des techniques alternative », thèse de doctorat, l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Iles de France.
- [11] G. ARNAUD et al. (2017). « Conception et dimensionnement des systèmes de gestion des eaux pluviales et de collecte des eaux usées ; « Révision de l'Instruction technique 77/284 » rattaché à la commission Assainissement de l'Astee.
- [12] J.P. COLIN (2008). « Guide pratique : Aménagement et eaux pluviales ». Communauté urbaine de lyon direction de l'eau.

- [13] M.C. GROMAIRE et al (2013). « Outils de bonne gestion des eaux de ruissellement en zones urbaines ». eau seine normandie ; Agence de l'eau. France.
- [14] Rappprt : Gestion des eaux pluviales urbaines et réduction du risque d'inondations par ruissellement. L'Établissement public Loire (2006), France.
- [15] M.C GROMAIRE (1998). « La pollution des eaux pluviales urbaines en reseau d'assainissement unitaire caracteristiques et origines ». thèse de doctorat, l'école nationale des ponts et chaussées, France.
- [16] B.I. DIOMANDE (2014). « La climatologie et a l'hydrologie », cours licence, universite alassane ouattara de bouake, Cote d'Ivoire.
- [17] M. BERSI (2019). « Climatologie: support de cours ». Université de sétif, Algérie.
- [18] M.KHOMSI (2017). « Cours Assainissement ». Ecole Mohammadia d'ingénieurs. Maroc.
- [19] A. UTFAROUIN (2013). « Etude d'assainissement et de voirie du lotissement beni amir a fquih ben salah ». Mémoire Stage : Projet Professionnel Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech.
- [20] J. VAZQUEZ (20006). « Guide technique sur le fonctionnement des déversoirs d'orage ». Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg.France.
- [21] G. RIVARD (2012). « Guide de gestion des eaux pluviales ». Le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec. Canada.
- [22] T. H. F. Wong (2006). «Australia Runoff Quality-A Guide to Water sensitive urban design». Engineers Australia, Melbourne.
- [23] B. CHOCAT (éditeur) (1997). « Encyclopédie d'hydrologie urbaine ». Lavoisier, Paris.
- [24] J. STEPHENS et al. (2002). «Stormwater planning. A Guidebook for British Columbia ». British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection, Vancouver, C.-B.
- [25] R. A. Allison (1998). «From roads to rivers: Gross pollutant removal from urban waterways». Rapport 98/6, Cooperative Research Center for Catchment Hydrology, Australie.
- [26] B. Chocat (2014). « Techniques alternatives pour la gestion des eaux pluviales : risques réels et avantages ». Insa de Lyon et le groupe de travail "eaux pluviales et aménagement" du Graie. France.