

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Département d'Hydraulique



## MEMOIRE DE MASTER

Réalisé par :

*Mr. YABKA Charaf Eddine*

Thème

---

**Les techniques alternatives dans la gestion des  
eaux pluviales de la zone de Korti (w. Ghardaïa)**

---

Soutenue le 24.06.2013 devant le jury composé de :

**Président :** *Mr. S.BENZIADA*

**Promoteurs :** *Pr. S.BENMAMAR*

**Examineurs :** *Mr. N.NEBACHE*

*Dr. M.NAKIB*

Promotion 2015

# *Remerciements*

---

*Tout d'abord je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donnée la chance et le courage pour réaliser ce travail.*

*Je tiens à adresser en premier lieu mes remerciements à ma promotrice Melle. BENMAMAR qui n'a pas hésité à m'encadrer et me suivre dans ce travail, et qui m'a accordé de son temps, de son savoir et de ses conseils.*

*J'exprime mes vifs remerciements aux membres de Jury qui le feront l'honneur d'examiner cette mémoire de master.*

*Sans oublier de remercier mes enseignants de l'école nationale polytechnique du département de l'hydraulique.*

*Enfin, je remercie toutes les personnes ayant contribuées, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.*

## *Dédicace*

---

*Je dédie ce modeste travail :*

*A la mémoire de mon grand père*

*A ma très cher grande mère*

*A mes très chers Parents*

*A mes frères et sœurs*

*A mes oncles et à mes tantes*

*A toute ma famille*

*A tous mes Amis*

*A tous mes amis de l'école, spécialement pour ceux de la promotion*

*A toutes les personnes que je connais et que je n'ai pas citées.*

*Charaf Eddine*

### **ملخص:**

تهدف هذه الأطروحة إلى حماية بعض المناطق الواقعة على الضفة اليسرى لواد بلغنم من الفيضانات، التي تنشأ عن طريق التدفق السطحي لمياه الأمطار، مما يؤدي إلى تشكل برك مائية في المناطق السكنية.

و لتحقيق هذا الهدف، قمنا بتقديم لمحة عامة عن الفيضانات ثم تحديد المناطق الخاضعة لهذا النوع من الفيضانات عن طريق Global Mapper، و بعدها تقييم حجمها ثم قمنا باقتراح حلول لهذه المشاكل.

**كلمات مفتاحية:** فيضانات، التدفق السطحي ، Global Mapper .

### **Résumé :**

Cette mémoire de master à pour objectif de protégé la ville d'El Korti qui situé sur la rive gauche de l'oued Belghanem contre les inondations par ruissellement, ce qui forme des zones de stagnation des eaux pluvial.

Pour aboutir aux objectifs visés, la démarche suivante à été adoptée :

Une présentation générale des inondations, présentation de la zone d'étude, délimitation du bassin versant qui influencé sur la zone d'étude et leur caractéristiques par le logiciel Global Mapper, puis présentation des techniques alternatives les plus utiliser et en fin mes solution proposé.

**Mots clés :** Inondation, ruissellement, Global Mapper.

### **Abstract:**

This master thesis to aim to protected the city of El Korti which located on the left bank of the Belghanem river, against flooding by runoff, forming zones of storm water stagnation.

To achieve its objectives, the following approach has been adopted :

An overview of the floods , presentation of the study area boundary of the watershed that influenced the study area and their characteristics by the Global Mapper software and presentation of alternative techniques most used and end my proposed solution.

**Keywords:** Flood, runoff, Global Mapper.

# Sommaire

---

## Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des photos	
Liste des notations	
Introduction générale : .....	1
<b>Chapitre I : Généralités sur les inondations</b>	
Introduction : .....	2
I. Les inondations .....	2
II. Les crues .....	2
II.1. Processus de formation des crues .....	2
III. Mécanisme des inondations .....	3
IV. Les causes des inondations.....	3
V. Type des inondations et ses conséquences.....	4
V.1. Les inondations des plaines .....	4
V.2. Les inondations par ruissellement .....	4
V.3. Les inondations dues à des crues torrentielles.....	4
V.4. La remontée de la nappe .....	4
V.5. Inondation par rupture d'une protection .....	5
VI. Connaissance de l'alea « inondation » .....	5
VI.1. Principaux paramètres spécifiant l'alea « inondation ».....	5
VII. Les inondations en Algérie.....	6
VII.1. Les inondations de Novembre 2001 à Alger.....	6
VII.2. Les inondations du Sud.....	7
Conclusion.....	7
<b>Chapitre II : Présentation de la zone d'étude</b>	
Introduction .....	9
I. Situation géographique .....	9
II. Caractéristiques de la région.....	9
III. Ressources en eau de la vallée du M'Zab .....	10
III.1. Eaux de surfaces .....	10
III.2. Eaux souterraines.....	10
III.3. Climatologie .....	11
IV. Problématique de la région.....	12
Conclusion.....	13
<b>Chapitre III : Synthèse hydrologique du bassin versant</b>	
Introduction .....	14
I. Délimitation de bassin versant de la zone d'étude : .....	14
II. Étude pluviométrique.....	16

# Sommaire

---

II.1.	Ajustement de la série pluviométrique .....	17
II.2.	Pluies de courtes durées.....	19
II.3.	Intensités maximales de courte durée .....	19
II.4.	Construction des courbes IDF .....	20
III.	Evaluation des débits d'eaux pluviales .....	21
III.1.	Méthode de SOCOSE.....	21
III.2.	Méthode rationnelle .....	21
III.3.	Méthode superficielle .....	22
IV.	Choix de la méthode de calcul .....	23
V.	Calcul de débit de la crue:.....	23
	Conclusion.....	24

## **Chapitre IV : Les techniques alternatives dans la gestion des eaux pluvial**

	Introduction .....	25
I.	Présentation des systèmes alternatifs en eaux pluviales .....	25
I.1.	Les bassins de rétention .....	25
I.2.	Les tranchées drainantes / infiltrantes .....	28
I.3.	Le puits d'infiltration / d'injection .....	29
I.4.	Chaussées a structure réservoir.....	30
I.5.	Les noues et fossés .....	31
I.6.	Toitures terrasses et toitures végétalisées .....	33
I.7.	Citernes .....	35
II.	Conditions d'utilisation des systèmes alternatifs .....	36
III.	Les différentes techniques alternatives et leurs mécanismes de dépollution .....	37
	Conclusion.....	37

## **Chapitre V : Protection de la zone El Korti contre les inondations**

	Introduction .....	38
I.	Le choix des variantes appliqué .....	38
II.	Calcul du volume ruisselé par la méthode du bilan de la formule rationnelle.....	39
III.	Première variante : la construction des puits.....	40
III.1.	Conditions et domaine d'utilisation des puits.....	40
III.2.	Dimensionnement des puits .....	40
IV.	Deuxième variante : le couplage entre les puits et les bassins sec .....	41
IV.1.	Conditions et domaine d'utilisation des bassins sec : .....	41
IV.2.	Dimensionnement de la variante .....	42
	Conclusion.....	42
	Conclusion générale .....	43
	Références bibliographie.....	44
	Annexes .....	45

### Liste des figures

Figure II.1 : délimitation de la zone d'étude .....	9
Figure II.2 : vue en 3D de la zone d'étude réalisé par Global Mapper.....	13
Figure III.1 : Délimitation de sous bassin versant .....	15
Figure III.2 : calage de l'image satellitaire vienne de Google Earth sur MNT de la zone d'étude .....	15
Figure III.3 : ajustement à une loi Log-normale.....	18
Figure III.4 : Courbe IDF « Intensité – Durée – Fréquence » .....	20
Figure IV. 1 : bassin en eau .....	27
Figure IV. 2 : tranchée drainante (à gauche) et tranchée d'infiltration (à droite).....	29
Figure IV. 3 : schéma d'un puits d'infiltration.....	30
Figure IV. 4 : noue avec massif drainant.....	32
Figure IV. 5 : noue d'infiltration .....	32
Figure IV.6 : principe de stockage d'eau en toiture .....	33
Figure IV.7 : toiture végétalisée .....	34
Figure IV.8 : cuve de récupération eau de pluie.....	36
Figure V. 1 : délimitation des sous bassins .....	38
Figure V. 2 : les emplacements des puits .....	41

### Liste des tableaux

Tableau III.1 : caractéristiques de sous bassin versant .....	15
Tableau III.2 : caractéristique de la station pluviométrique de Ghardaïa.....	16
Tableau III.3 : caractéristique de la série pluviométrique .....	16
Tableau III. 4 : les pluies journalières maximales pour les différentes périodes de retour .....	18
Tableau III.5 : débits des crues.....	24
Tableau V.1 : les avantages et les inconvénients des bassins secs à ciel ouvert .....	26
Tableau V.2 : les avantages et les inconvénients des bassins en eau.....	27
Tableau V.3 : les avantages et les inconvénients des tranchées drainantes / infiltrantes .....	29
Tableau V.4 : les avantages et les inconvénients des puits d'infiltration.....	30
Tableau V.5 : les avantages et les inconvénients des tranchées a structure réservoir .....	31
Tableau V.6 : les avantages et les inconvénients des noues et des fossés.....	33
Tableau V.7 : les avantages et les inconvénients des toitures terrasses et toitures végétalisées	35
Tableau V.8 : les avantages et les inconvénients des citernes .....	36



## Liste des photos

Photo I. 1 : inondation de Bab el Oued (Alger) [ <i>Beloulou</i> 2008].....	7
Photo I. 1 : inondation de l'Octobre 2008 à Ghardaïa [ <i>Beloulou</i> 2008].....	7

## Liste des Notations

<b>Symbole</b>	<b>Unité</b>	<b>Définition</b>
$A_{BV}$	(ha)	Surface du bassin versant
$C_r$	-	Coefficient de ruissellement
$C_v$	-	Coefficient de variation
$H_{max}$	(m)	Altitude maximale du bassin versant
$H_{min}$	(m)	Altitude minimale du bassin versant
$H_{moy}$	(m)	L'Altitude moyenne du bassin versant
$I_m$	(%)	Pente moyenne du bassin versant
$I_{max}$	(mm/h)	Intensité maximale de la pluie
$I_{moy}$	(mm/h)	Intensité moyenne de la pluie
$P_{BV}$	(km)	Périmètre du bassin versant
$P_{jmax}$	(mm)	Pluies journalières maximales
$Q_F$	(m <sup>3</sup> /s)	Débit de pointe d'une fréquence « F »
$T$	(ans)	Périodes de retour
$t$	(heur)	Durée de l'averse
$Z_i$	-	Variable réduit de Gauss
$\mu_n$	(mm)	Moyenne de la série de la taille N
$\sigma_n^2$	(mm)	Variance de la série de la taille N

### Introduction générale

Dans notre pays, les inondations causent de graves dégâts que ça soit matériels ou bien humains. Ces inondations sont causées par les changements climatiques et environnementaux, ainsi du manque d'aménagements hydrauliques.

L'objectif de notre étude est la protection de la ville El Korti contre les risques d'inondation. Ceci en essayant de déterminer les principales causes de cette dernière, et de traiter les moyens de protection contre ce phénomène par des aménagements et des ouvrages de protection adéquat.

Pour bien mener cette étude, nous allons axer ce travail sur quatre chapitres essentiels :

- Dans le premier chapitre, nous donnons une généralité sur les inondations pour mieux comprendre le phénomène.
- Le deuxième chapitre, une présentation générale de la zone d'étude.
- Le troisième chapitre, présente la synthèse hydrologique du bassin versant de la zone d'étude afin de déterminer les différentes caractéristiques morphologiques de ce dernier.
- Le quatrième chapitre, une présentation des différentes techniques alternatives les plus utilisés, ainsi que les avantages et les inconvénients de chaque technique.
- Dans le dernier chapitre, nous terminons par une présentation des variantes a utilisées pour la protection de la Zone d'étude contre les inondations.

Enfin, nous terminerons par une conclusion globale.

## Chapitre I :

# Généralités sur les inondations

## Introduction :

Les inondations sont le résultat de la conjonction de phénomènes naturels spatio-temporels que sont l'intensité et durée des précipitations, le relief et la nature des sols. Ces phénomènes deviennent une problématique et un risque majeur pour les vies humaines, les équipements et les activités économiques.

## I. Les inondations

Etymologie : Le mot inondation vient du latin : «inundatio» qui signifie submersion.

Définition : Une inondation est un débordement d'un cours d'eau, le plus souvent en crue, qui submerge les terrains voisins. C'est-à-dire une augmentation du débit du cours d'eau lorsque ce débit ne peut plus transiter dans le lit mineur, lieu des écoulements ordinaire (débit d'étiage). Ce terme est souvent étendu aux débordements d'ouvrages artificiels tels que retenues ou réseaux d'assainissement, parfois associés à une remontée de la nappe phréatique [Djebali, 2014].

## II. Les crues

Une crue se définit par différentes critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe et son volume. Elle se caractérise par son hydrogramme graphique qui représente les variations de débit en un point en fonction du temps.

### II.1. Processus de formation des crues

Comprendre le processus de formation des crues revient à analyser les différents facteurs concourant à la formation et à l'augmentation temporaire des débits d'un cours d'eau. Principalement, on distingue :

- L'eau mobilisable : constituée de l'eau reçue par le bassin versant ;
- Le ruissellement : qui correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Le processus dépend de la nature du sol, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux ;

- Le temps de concentration : qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné du l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci ;
- La propagation de l'onde de crue : qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation [Djebali, 2014].

### III. Mécanisme des inondations

On définit les types de facteur influençant sur les inondations :

#### Facteurs physiques qui influencent les inondations

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

#### Facteurs aggravants du risque d'inondation

- ✓ L'usage et l'occupation des sols ;
- ✓ L'aménagement du territoire ;
- ✓ Le manque d'entretien des cours d'eau ;
- ✓ L'imperméabilisation des terres par l'urbanisation ou bien le bétonnage.

### IV. Les causes des inondations

Elles peuvent avoir de nombreuses causes cumulables :

- **Causes naturelles** : liée aux aléas climatiques et phénomènes météorologiques attendus.
- **Causes humaines directes** : établissements d'écluses de barrages permettant certes la navigation et le transport fluvial, mais diminuant la pente naturelle du cours d'eau, absence de gestion et de coordination des barrages à l'approche des crues.
- **Causes humaines indirectes** : liée aux modifications climatiques globales (émissions de gaz à effet de serre qui entraîne la fonte des glaciers et qui provoque une montée du niveau des océans, des cours d'eau ou encore cela pourrait entraîner des cyclones plus intenses.

## **V. Type des inondations et ses conséquences**

On distingue plusieurs types d'inondations :

### **V.1. Les inondations des plaines**

Elles sont générées par des crues lentes et progressives (l'eau monte de quelques centimètres par heure). Elles se produisent souvent après une longue période de pluies, lorsque les sols sont saturés d'eau, plutôt durant la période des hautes eaux (en hiver). Elles ne créent pas de danger pour les vies humaines, sauf en cas d'imprudence (noyade de petits enfants dans les dépressions, dérapage de véhicules etc.), mais peuvent s'étaler sur plusieurs semaines, et occasionner des dégâts très importants (interruption des communications dommages aux biens et aux activités) [*Beloulou, 2008*].

### **V.2. Les inondations par ruissellement**

Ce type d'inondation peut se produire en tout point de la zone inondable suite à des pluies particulièrement abondantes (pluies orageuses) ou à des infiltrations dans les habitations construites dans le lit majeur des cours d'eau. Dans les zones urbanisées, les sols imperméabilisés ne permettent pas à l'eau de percoler. Les eaux de pluie ruissellent, s'accumulent dans les points bas, saturent les réseaux d'évacuation, en partie colmatés par la boue, entraînant une remontée d'eaux par les égouts. Elles ont pour conséquence la submersion de la voirie et des constructions [*Beloulou, 2008*].

### **V.3. Les inondations dues à des crues torrentielles**

Elles ont pour origine la brusque montée des eaux (plusieurs mètres en quelques heures) de torrents ou de rivières suite à des pluies abondantes. Elles ne peuvent être prévues plusieurs jours à l'avance. Elles concernent plus particulièrement les régions montagneuses. Elles sont souvent dévastatrices et meurtrières [*Beloulou, 2008*].

### **V.4. La remontée de la nappe**

Le risque d'inondation dû à une crue peut être accru par un risque de remontée des eaux des nappes phréatiques. Dans certains endroits et sous certaines conditions une élévation exceptionnelle du niveau de ce type de nappe entraîne un type particulier d'inondation dit inondation par remontée de nappe. On admet que ce phénomène est fréquemment observé dans la zone de convergence des écoulements en raison de la présence d'un substratum imperméable. L'excès d'eau ne peut que s'émerger en surface ; d'où l'apparition de zones

hydromorphes (étangs, mares temporaires et marécages) dans certaines zones de dépression [Beloulou, 2008].

### **V.5. Inondation par rupture d'une protection**

L'inondation consécutive à une rupture de digue est un phénomène très brutal et d'autant plus dommageable que le site étudié est proche de la digue. Une rupture peut provoquer l'entrée d'un mur d'eau de plusieurs mètres de haut. Il est très difficile de prévoir la rupture d'un ouvrage de protection, ce qui rend la prévention de ce type d'accident particulièrement incertaine [Beloulou 2008].

## **VI. Connaissance de l'alea « inondation »**

L'aléa interpelle deux disciplines principales ; l'hydrologie et l'hydraulique fluviale. Dans le cas des inondations, l'hydrologie est la discipline qui permet d'obtenir les débits et leurs périodes moyennes de retour. Tandis que l'hydraulique est la discipline qui permet d'obtenir les niveaux d'eau et accessoirement les vitesses correspondant à ces débits. La combinaison de ces deux disciplines permet donc d'associer des périodes de retour à des niveaux et vitesses d'écoulement en divers points d'un cours d'eau.

### **VI.1. Principaux paramètres spécifiant l'alea « inondation »**

Quatre paramètres principaux sont nécessaires pour caractériser l'aléa inondation :

#### **a) Période de retour**

La notion de période de retour « T » n'est qu'une autre façon de caractériser la fréquence d'apparition d'un phénomène à un moment donné. Statistiquement, on la définit comme l'inverse de la probabilité d'occurrence de dépassement « p » de ce phénomène ;  $T=1/P$ . Un phénomène ayant une période de retour de cent ans (phénomène centennal) a une chance sur cent de se produire ou d'être dépassé chaque année. Cela est vérifié à condition de considérer une très longue période. Mais elle peut aussi, sur de courtes périodes (quelques années), se répéter plusieurs fois. Autrement dit, en vingt ans, un individu a une chance sur cinq de vivre la crue centennale. On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) ; plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants.

**b) Hauteur et durée de submersion**

La hauteur de submersion peut avoir un impact important sur le bâti, notamment lorsqu'elle dépasse la cote de référence. Lorsque la durée de submersion est importante, des problèmes sanitaires peuvent survenir, l'eau étant souvent malpropre, contaminée par les égouts. Pour l'homme, on considère généralement que des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm sont dangereuses. À titre d'exemple, une voiture commence à flotter à partir de 30 cm d'eau.

**c) Vitesse du courant**

La vitesse d'écoulement est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité, la dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur/ vitesse. À titre d'exemple, à partir de 0,5 m/s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme, avec un risque d'être emporté par le cours d'eau ou d'être blessé par des objets charriés à vive allure.

**d) Volume de matière transportée**

Ce volume est appelé « transport solide ». Il s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, galets, blocs, etc.) se trouvant dans les cours d'eau et dont le transport peut s'effectuer soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement sur le fond du lit, du fait des forces liées au courant. L'aléa inondation d'une rivière torrentielle sera essentiellement caractérisé par une vitesse du courant élevée et un fort transport solide.

**VII. Les inondations en Algérie**

L'Algérie est confrontée aux phénomènes de crues et d'inondations qui sont plus fréquents que les séismes et les glissements de terrains. Ces phénomènes provoquent des catastrophes et occasionnent d'importants dégâts humains et matériels. Ces crues, variables dans le temps et dans l'espace, sont violentes, parfois rapides et soudaines et surtout imprévisibles.

Pour illustrer le caractère catastrophique et la variabilité spatiale et temporelle de ces phénomènes en Algérie, on décrit ci-dessous quelques cas significatifs des inondations.

**VII.1. Les inondations de Novembre 2001 à Alger**

Les pluies abattues sur Alger (Bab el Oued) entre le 9 et le 11 Novembre 2001 (262 mm dont 204 mm en 24 heures) ont provoqué l'une des inondations les plus dramatiques qu'a connue l'Algérie. Le bilan de la catastrophe s'est soldé par plus de 700 morts, 115 disparus et des milliers de blessés. Les dommages aux biens (effondrement des constructions, coupures des routes et de l'électricité, renversement de voitures, arbres et poteaux électriques arrachés,



liaisons ferroviaires interrompues entre Alger et les autres villes) ont été estimés à 30 milliards de dinars algériens (300 millions de dollars). [Beloulou 2008]



**Photo I. 1 :** inondation de Bab el Oued (Alger) [Beloulou 2008]

## VII.2. Les inondations du Sud

Des inondations plus isolées ou de grandes envergures ont également marqué le Sud du pays; c'est ce qui s'est produit dans les régions d'Illizi, Adrar et Tamanrasset en Mars 2005, à Tindouf en Février 2006, à Béchar en Octobre 2007 et 2008 (8 personnes mort) et en Octobre 2008 a Ghardaïa (34 personnes mort). Des averses torrentielles et brèves engendrent une concentration des eaux ruisselées dans les lits d'oueds et torrents, le plus souvent à sec, et peuvent provoquer des débordements particulièrement destructeurs [Beloulou, 2008].



**Photo I. 2 :** inondation de l'Octobre 2008 à Ghardaïa [Beloulou ,2008]

## **Conclusion**

L'inondation est considérée comme un événement climatique extrême. Souvent qualifiée de risque naturel, elle est lourde de conséquences (pertes humaines, sociales, économiques et environnementales) tant pour les pays développés que pour les nations en développement bien que tous ne soient pas affectés de la même manière. La capacité à gérer l'impact de l'inondation varie également d'un pays, d'une région, d'une communauté et d'un groupe de population à l'autre.

## Chapitre II

### Présentation de la zone d'étude

#### Introduction

Classiquement, dans toute étude, une description du milieu est incontournable. En fonction du but recherché, l'étude est de plus en plus affinée de façon à faire ressortir les différents éléments explicatifs de la thématique traitée. Il faut donc, dès l'abord, développer quelques considérations générales sur la région d'étude.

#### I. Situation géographique

La zone d'étude (El Korti ) est située au Nord-Ouest de la commune de Ghardaïa (wilaya de Ghardaïa). Elle est située sur la rive gauche de l'oued Belghanem. Elle est limitée à l'Est par la ville Chihani et au nord par la zone d'activité Bindjebline Aabaza.



Figure II.1 : délimitation de la zone d'étude [Global mapper]

#### II. Caractéristiques de la région

Les Escarpements rocheux et les oasis déterminent le paysage dans lequel sont localisées les villes de la pentapole du M'Zab et autour duquel gravitent d'autres oasis (Berriane, Guerrara, Zelfana, Metlili et beaucoup plus éloignée au Sud El-Ménéa).

L'implantation des villes s'est faite par rapport aux grands axes de circulation et aux oasis et leur développement a été étroitement lié aux conditions naturelles (eau, climat, relief ...).

Le couvert végétal est pauvre, la structure et la nature du sol ne sont pas favorables à l'existence d'une flore naturelle riche. La verdure est plutôt créée par l'homme. Cependant la région n'est pas dépourvue de végétation naturelle; elle est rencontrée dans les lits d'oueds.

C'est une région très active où le secteur tertiaire est prépondérant avec le commerce, le tourisme et l'artisanat ainsi que l'agriculture et l'industrie [ANRH Ouargla, 2003].

### **III. Ressources en eau de la vallée du M'Zab**

#### **III.1. Eaux de surfaces**

Les eaux de surface sont rares, comme dans toutes les régions sahariennes. L'écoulement de l'Oued M'Zab est intermittent, il se manifeste à la suite des averses orageuses. Les conséquences sont parfois catastrophiques et les dégâts sont souvent remarquables.

Pour les crues de faible ampleur, un système hydraulique Mozabite formé d'une série de petits barrages et des galeries souterraines a été instauré.

#### **III.2. Eaux souterraines**

Les aquifères captés dans la région, sont classés par leurs profondeurs comme suit :

- Les eaux de la nappe phréatique contenues dans les alluvions des Oueds.
- Les eaux de la nappe profonde contenue dans les couches perméables des sables et des grès de l'Albien à 300 m.

##### **a) Nappe phréatique**

L'aquifère est formé d'alluvions et de sables du Quaternaire. Les alluvions reposent sur les couches calcaires du Turonien. L'épaisseur de ces alluvions peut atteindre 25 à 30 mètres. Cette nappe d'Infero-flux, exploitée par des puits traditionnels, présente un intérêt très important dans le domaine agricole, elle sert comme une source pour l'irrigation de la palmeraie de la vallée et elle sert également pour l'alimentation en eau potable à l'amont où les eaux sont moins chargées.

L'alimentation de la nappe se fait essentiellement par les eaux de pluies torrentielles et par les eaux de la nappe profonde (*Albien*).

##### **b) Nappe profonde**

Elle constitue la principale ressource en eau de la région qui est exploitée actuellement par 33 forages dans l'ensemble de la vallée.

L'aquifère est composé de sables, grés et d'argiles sableuses d'âge *Albien*. Selon la région, elle est captée à une profondeur allant de 80 à 1000m.

### **III.3. Climatologie**

Le climat de la wilaya est de type saharien, Il se distingue par de grandes amplitudes entre les températures du jour et de nuit, d'été et d'hiver. Il se caractérise par des étés aux chaleurs torrides et des hivers doux, surtout pendant la journée.

#### **a) Température**

L'analyse d'une série d'observations statistiques enregistrée au niveau de la Wilaya de Ghardaïa, sur une période d'observations de 10 ans, a fait ressortir que la température moyenne mensuelle enregistrée, est de 22,40 °C.

#### **b) Précipitations**

Les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme de pluies. Ces dernières sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares. Elles sont liées aux perturbations soudano-sahariennes ou sahariennes.

Cette insuffisance de pluies sahariennes est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité inter-annuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse. C'est le cas de Ghardaïa.

Selon des données statistiques, sur une période d'observation de 10 ans, on a constaté que la pluviométrie était très faible. La moyenne annuelle est de 74,95 mm et le nombre de jours de pluie ne dépasse pas onze (11) jours entre les mois de janvier et mars.

#### **c) Humidité**

Des données de la station météorologique de Ghardaïa montrent qu'il y a une période de sécheresse de mois de juin au mois de juillet et il y a une période humide qui est en automne et en hiver.

#### **d) Évapotranspiration**

La qualité d'eau évaporée dans la région de Ghardaïa est influencée par le degré de température, les vents et les précipitations, elle augmente quand ceux-ci augmentent.

### e) Vents

Les vents dominants d'été sont forts et chauds tandis que ceux d'hiver sont froids et humides. Les vents de sable sont très fréquents dans la région d'El-Ménéa surtout pendant le printemps, les mois d'avril, mai et juin.

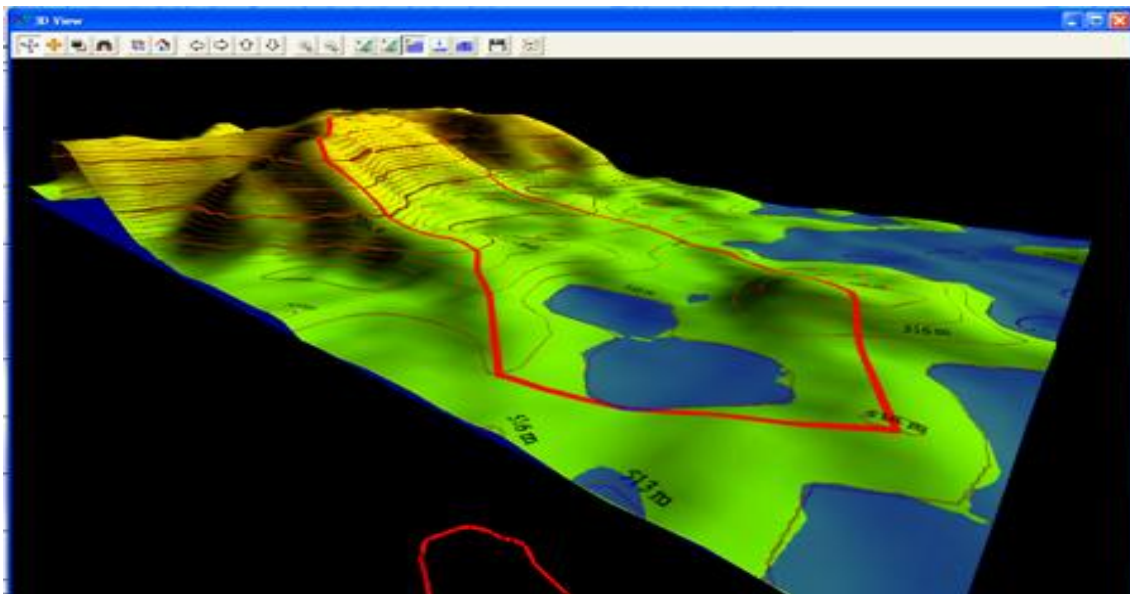
Pour ce qui est du Sirocco dans la zone de Ghardaïa, on note une moyenne annuelle de 11 jours/an pendant la période qui s'étend du mois de mai à septembre.

## IV. Problématique de la région

La ville d'El Korti subit le phénomène d'inondation par ruissellement. Ce type d'inondation est à cause de l'urbanisation anarchique qui augmente le coefficient de ruissellement et de la topographie de terrain qui présente des dépressions dans certains endroits ce qui forme des zones de stagnation des eaux pluvial.

L'absence des ouvrages hydraulique qui permettent d'assuré une bonne évacuation des eaux de ruissellement de manière à empêcher la submersion des zones urbanisées et d'éviter toute stagnation après les averses.

La figure II.2 suivante montre une vue de 3D de la zone d'étude. Cette figure montre les endroits qui subissent les inondations par ruissellement.



**Figure II.2** : vue en 3D de la zone d'étude réalisé avec Global Mapper

## **Conclusion**

Malgré le climat saharien de la région de Ghardaïa, les crues apparaissent d'une manière irrégulière, exceptionnelle et catastrophique.

Suite à cette présentation, nous allons faire une synthèse hydrologique du bassin versant de la zone d'étude afin de déterminer les différentes caractéristiques de ce dernier.

## Chapitre III :

### Synthèse hydrologique du bassin versant

#### Introduction

L'étude des averses revêt une importance capitale en hydrologie non seulement dans l'aménagement des cours d'eau mais aussi dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques qui protègent les contre les différents types d'inondation. La connaissance de la pluie probable est indispensable voir obligatoire pour la détermination des eaux du ruissellement.

#### I. Délimitation de bassin versant de la zone d'étude :

Pour bien délimiter le sous bassin versant de la zone d'étude on utilise :

- Un logiciel de SIG (système d'information géographique) qui est le Global Mapper v15.0.
- MNT de la zone d'étude.

Pour cette délimitation on procède comme suit :

1. On ouvre le MNT de la zone d'étude par le logiciel Global Mapper.
2. On sélectionne la zone que nous voulons délimiter le BV.
3. On génère les courbes de niveau avec une équidistance voulue.
4. On génère les sous bassins versants puis on digitalise le SBV qui englobe la zone d'étude.
5. On détermine les caractéristiques de ce dernier.



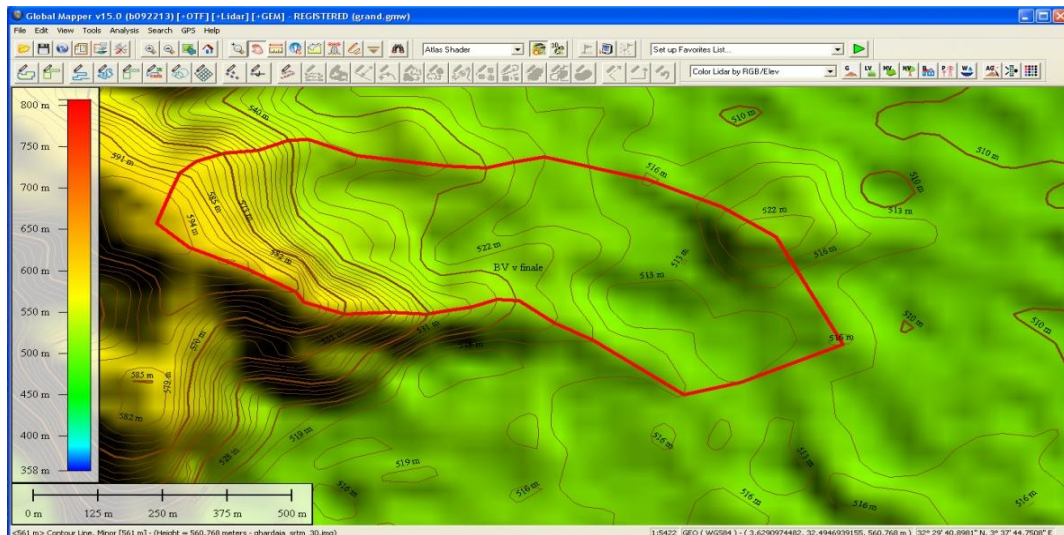


Figure III.1 : Délimitation de sous bassin versant

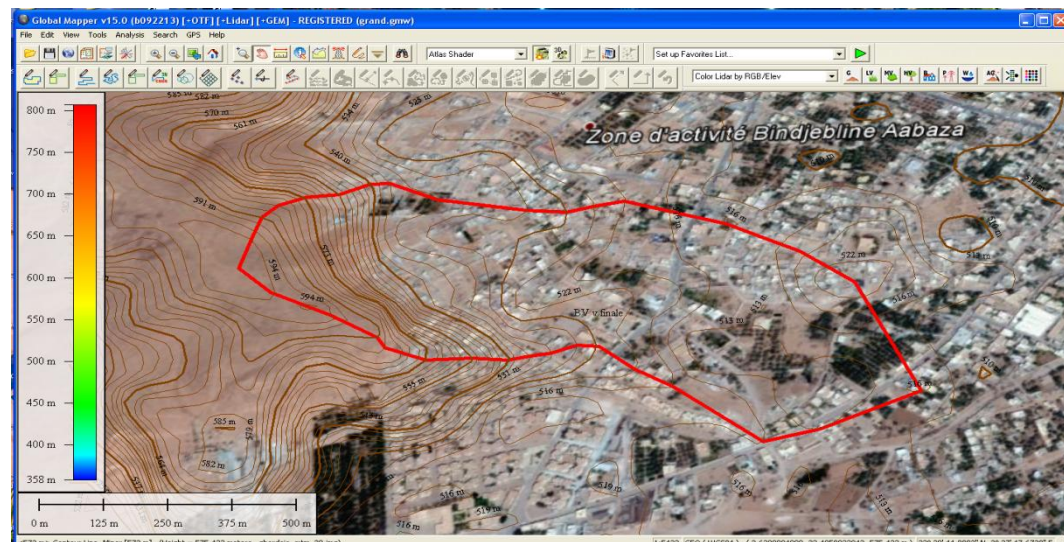


Figure III.2 : calage de l’image satellitaire venue de Google Earth sur MNT de la zone d’étude

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques de sous bassin versant considéré :

Tableau III.1 : caractéristiques de sous bassin versant

Caractéristiques	Unité	Valeur
Surface	ha	35.03
Périmètre	km	2.72
Altitude maximale	m	530.19
Altitude moyenne	m	513.00
Altitude minimale	m	510.00
Pente moyenne de bassin versant	%	7.20

## II. Étude pluviométrique

La seule série mise à notre disposition est celle de la station de l'ONM, et qu'est une série acceptable (taille 34 ans) et représentative de la région d'étude (selon l'ONM de Ghardaïa).

Cette série représente les pluies journalières maximales entre 1975 et 2008 (annexe 01), elle est homogène et indépendante d'après le test d'homogénéité et de l'indépendance.

Le tableau suivant représente les caractéristiques de la station de mesure et de la série d'étude.

**Tableau III.2 :** caractéristique de la station pluviométrique de Ghardaïa

Nom		Ghardaïa
Organisme (source)		Office Nationale de la Météorologie (ONM)
Coordonnées	Latitude	32°24 N
	Longitude	03°48 E
Altitude (m)		468
Période d'observation		1975 – 2008
Nombre d'années observées		34
Observation		Station en fonctionnement

**Tableau III.3 :** caractéristique de la série pluviométrique

Taille de la série	34
Moyenne	19.30
Ecart type	12.60
Coefficient de variation	00.65

## II.1. Ajustement de la série pluviométrique

Il existe plusieurs lois d'ajustement des séries pluviométriques (loi Normale, loi Log normal, loi de Gumbel...), et le choix de la loi d'ajustement dépend de la nature des données et leur taille et il faut vérifier l'indépendance et l'homogénéité des données. Dans notre cas, la série est homogène et indépendant, les données sont les pluies journalières maximales et la taille de la série est de 34 valeurs, donc la méthode qui convient est la loi de Gumbel ou loi Log-normale.

### a) Ajustement de la série pluviométrique à la loi Log-normale

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_n\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\frac{(\ln x - \mu_n)^2}{\sigma_n^2}} ; \quad x > 0 \quad (\text{II-3})$$

$$\text{Tel que } \begin{cases} \mu_n = \frac{1}{N} \sum_1^N \ln x_i \\ \sigma_n^2 = \frac{1}{N} \sum_1^N (\ln x_i - \mu_n)^2 \end{cases} \quad (\text{II-4})$$

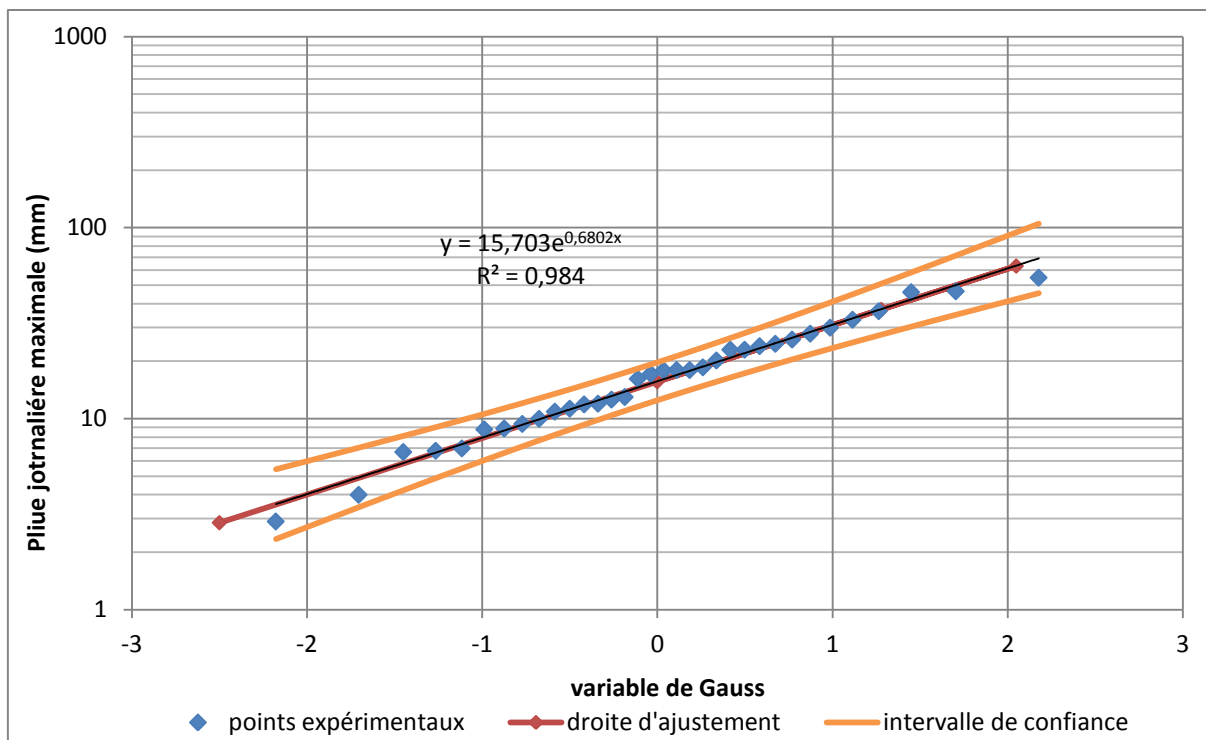
Avec, N : la taille de la série pluviométrique. [Touaïbia, 2004]

Pour faire l'ajustement à une loi Log-normale, on procède comme suit :

- On classe les valeurs des précipitations par l'ordre croissant ;
- On calcule les fréquences expérimentales de chaque valeur en utilisant la formule de Hazen ;
- On calcule les caractéristiques de la série  $\mu_n$  et  $s_{LnP}$  ;
- On reporte les points expérimentaux sur un papier de probabilité logarithmique ;
- On trace la droite d'Henri qui a comme équation la formule suivante :

$$\ln P_i = \overline{\ln P} + z_i * s_{LnP} \quad (\text{II-5})$$

Les résultats s'ajustement sont présenter dans la figure II.4 et l'annexe A.3



**Figure III. 3 :** ajustement à une loi Log-normale

b) *Interprétation des graphes*

Les valeurs expérimentales s'alignent bien avec la droite d'Henri avec un coefficient de corrélation  $R^2$  égal à 98.40%, donc notre série pluviométrique s'ajuste bien à la loi Log-normale.

A partir du graphe d'ajustement à la loi Log-normale, on peut tirer les pluies journalières maximales pour les différentes périodes de retour.

**Tableau III. 4 :** les pluies journalières maximales pour les différentes périodes de retour

Période de retour (ans)	fréquence	$P_{jmax}$ (mm)
2	0.500	15.7
5	0.800	27.8
10	0.900	37.5
20	0.950	48.0
30	0.967	54.6
50	0.980	63.4

## II.2. Pluies de courtes durées

Les pluies de courtes durées sont calculées par la relation « type Montana » établie par Body à l'ANRH :

$$P_{t,F} = P_{j \max F} \left( \frac{t}{24} \right)^b \quad (\text{II-6})$$

Avec,  $P_{t,F}$ : pluie fréquentielle de durée  $t$  ;  $P_{j \max F}$ : pluie journalière fréquentielle ;  $t$  : durée de l'averse ;  $b$  : Exposant climatique ( $b = 0,15$  pour la station de Ghardaïa) ; [Touaïbia, 2004].

## II.3. Intensités maximales de courte durée

Une averse est définie comme un épisode pluvieux continu, pouvant avoir plusieurs pointes d'intensité. L'intensité moyenne d'une averse s'exprime par le rapport entre la hauteur de pluie observée et la durée  $t$  de l'averse :

$$I_{moy} = \frac{P_{t,F}}{t} \quad (\text{II-7})$$

Où,  $I_{moy}$  : est l'intensité moyenne de la pluie (mm/h)

Au cours d'une même averse, l'intensité des précipitations varie à chaque instant suivant les caractéristiques météorologiques de celle-ci. Plutôt que de considérer l'averse entière et son intensité moyenne, on peut s'intéresser aux intensités observées sur des intervalles de temps au cours desquels on aura enregistré la plus grande hauteur de Pluie. On parle alors d'intensité maximale.

$$I_{max} = \frac{P_{t,Fmax}}{t} \quad (\text{II-8})$$

Où,  $I_{max}$  : est l'intensité maximale de la pluie (mm/h) ;

Cette notion d'averse est très importante en milieu urbain pour la détermination des débits des eaux pluviales et des petits bassins versants pour l'évaluation des débits de crues.

Le temps de retour est fonction du type d'ouvrage à dimensionner ou à protéger et la durée est fonction du type de problème étudié.

Les résultats de calculs pour les périodes de retour (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100ans) et pour des durées d'averse de 15 min jusqu'à 1 jour sont présentés dans l'annexe 02.

#### II.4. Construction des courbes IDF

Les courbes Intensité – Durée - Fréquence IDF sont construites dans le but de permettre, de synthétiser l'information pluviométrique au droit de la station représentative de la zone d'étude et, d'autre part de calculer simplement les débits de projet et d'estimer les débits de crue et des eaux pluviales tout en définissant la pluie de projet de type uniforme caractérisée par une intensité constante pour toute sa durée.

A partir des résultats obtenus au tableau précédent, il est alors possible de les représenter graphiquement dans le but de tracer les courbes IDF pour les temps de retour 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100ans (figure suivante).

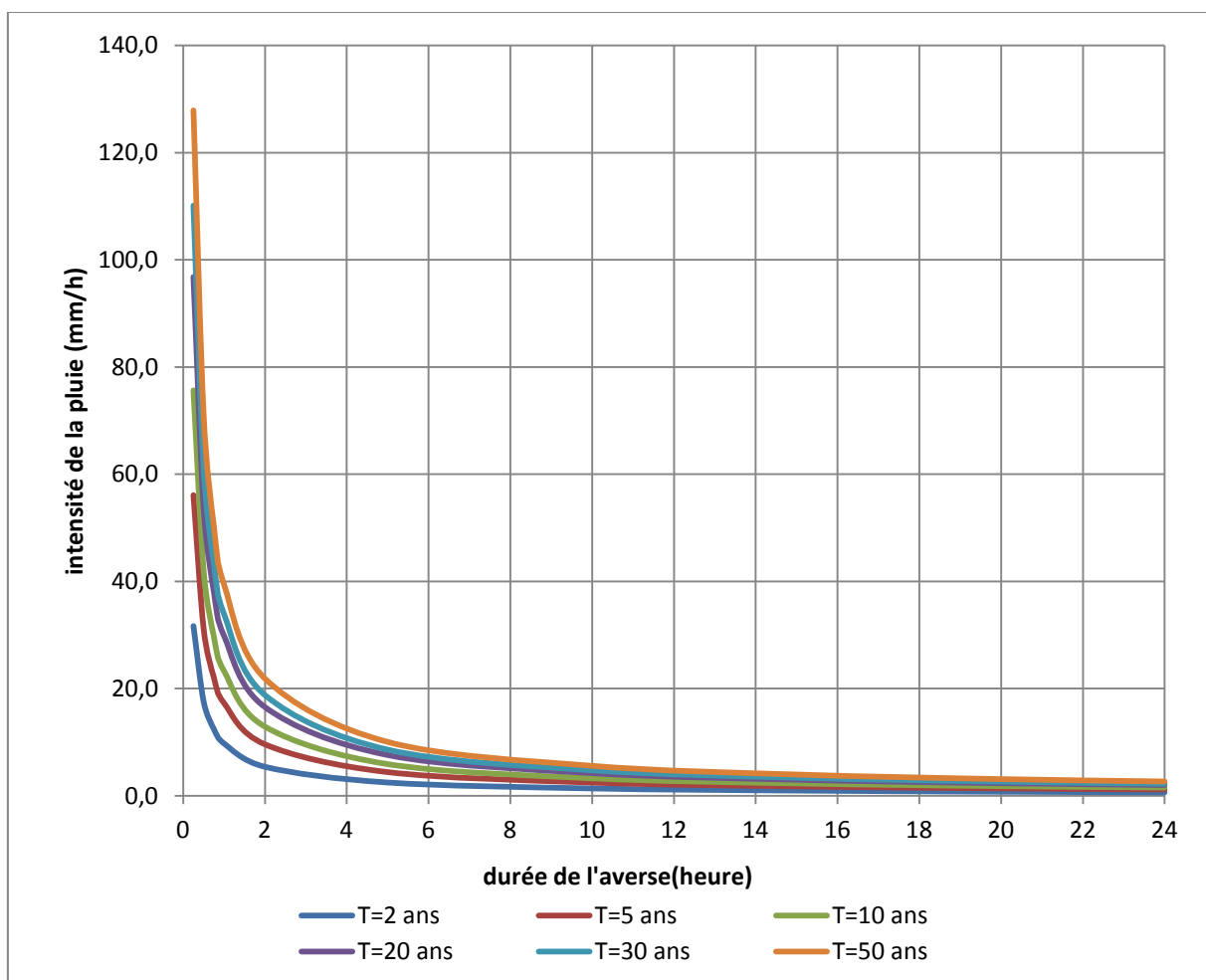


Figure III. 4 : Courbe IDF « Intensité – Durée – Fréquence »

### III. Evaluation des débits d'eaux pluviales

La quantification des eaux de ruissellement est obtenue par l'application de différentes méthodes, parmi ces méthodes :

#### III.1. Méthode de SOCOSE

La méthode de SOCOSE est le résultat, obtenu en 1980, d'une synthèse nationale de l'observation de près de 5000 crues sur 137 petits bassins versants en milieu rural. [*Régie Bourrier 2010*]

La méthode prend en compte des paramètres morphométriques (superficie, longueur du bassin) et des paramètres climatiques (pluie décennale journalière locale, pluviométrie moyenne annuelle, température moyenne interannuelle réduite au niveau de la mer, paramètre b de la formule exponentielle).

On remarquera qu'elle ne prend pas en compte la pente du terrain et ne contient pas de coefficient dépendant de la capacité de la pluie à s'infiltrer ou à ruisseler jusqu'à l'exutoire.

Il y a lieu de préciser que la méthode de SOCOSE permet d'obtenir une valeur de débit de fréquence décennale d'un bassin versant rural de grande dimension. Seule une étude rigoureuse comportant une observation minutieuse du site, une enquête auprès des riverains et des services compétents et une comparaison avec d'autres sites voisins, permettra de garantir le résultat.

#### III.2. Méthode rationnelle

La méthode rationnelle est utilisée pour déterminer le débit de pointe d'un bassin versant pour une précipitation donnée. Elle est basée sur l'hypothèse qu'une pluie constante et uniforme sur l'ensemble d'un bassin versant produit un débit de pointe lorsque toutes les sections du bassin versant contribuent à l'écoulement, soit après un temps égal au temps de concentration. Par simplification, la méthode rationnelle suppose aussi que la durée de la pluie est égale au temps de concentration. Elle ne tient pas compte de l'hétérogénéité de la pluviométrie et a tendance à surévaluer le débit de pointe.

$$Q_{max} = C * i * A \quad (II-9)$$

Où, C : coefficient de ruissellement ( $0 < C < 1$ ) ; i : intensité d'une averse dont la durée est égal au temps de concentration du BV et A : superficie du BV en km<sup>2</sup>.

a) **Hypothèses de la méthode rationnelle :**

Les hypothèses de base sont les suivantes :

- L'intensité de l'averse en mm/h est uniforme, dans le temps et dans l'espace, sur l'ensemble du bassin drainé.
- Le débit de pointe  $Q_p$  en (m<sup>3</sup>/s) de l'hydrogramme de ruissellement est une fonction du débit précipité  $i$ , et du surface  $A$ .
- L'intervalle de la récurrence du débit de pointe  $Q_p$  est le même que celui de l'averse d'intensité uniforme  $i$ .
- En fin, le coefficient de ruissellement est invariable d'une averse à l'autre.

**III.3. Méthode superficielle**

L'expression littérale du débit provenant d'un bassin versant urbanisé pour une fréquence «  $F$  » donnée a été établie à partir des travaux de **M. Caquot**. Les études les plus récentes, Confirmées par des vérifications expérimentales, ont permis de fixer la valeur numérique des coefficients de cette expression.

La formule superficielle du débit de fréquence de dépassement «  $F$  » prend l'aspect suivant :

$$Q(F) = K^{1/u} . I^{v/u} . C^{1/u} . A^{w/u} \quad (\text{II-10})$$

Dans laquelle les divers paramètres sont des fonctions de **a (F)** et (ou) de **b (F)** qui sont eux-mêmes. Les paramètres de la relation.

$$i(t, f) = a(f) . t^{b(f)} \quad (\text{II-11})$$

Où **i (t, F)** est l'intensité maximale de la pluie de durée **t**, de fréquence de dépassement **F**, **i** est exprimé en millimètres par minute et **t** en minutes est compris entre 5 minutes et 120 minutes.

**Q (F)** est le débit de fréquence de dépassement **F** exprimé en mètres cubes par seconde

**I** : est la pente moyenne du bassin versant (en mètres par mètre).

**Cr** : est le coefficient de ruissellement

**A** : est la superficie du bassin versant (en hectares).



**K, U, V et W** : sont des coefficients d'expression

$$K = \frac{0.5b(F) a(F)}{6,6} \quad (\text{II-12})$$

$$U = 1 + 0.287b(F) \quad (\text{II-13})$$

$$V = -0.41b(F) \quad (\text{II-14})$$

$$W = 0.95 + 0.507b(F) \quad (\text{II-15})$$

a) **Validité de la méthode superficielle :**

Dans le domaine actuel de vérification de l'ajustement du modèle de M. Caquot, les formules d'expression du débit, quelle que soit la période de retour d'insuffisance choisie, sont valables dans les conditions suivantes :

- une superficie totale < 200 ha
- la pente doit être comprise entre (0.2 < I < 5) %
- le coefficient de ruissellement (0.2 < Cr < 1)
- le coefficient d'allongement (0.8 < M < 2)

#### IV. Choix de la méthode de calcul

Tenant compte des caractéristiques de notre sous bassin versant du point de vue surface et de pente (I > 5%), la méthode rationnelle est la plus appropriée nous optons pour l'utilisation de la méthode rationnelle.

#### V. Calcul de débit de la crue:

Le calcul de débit de la crue est fait pour une crue les périodes de retour de 10 et 30 ans et pour les durées de 0.25, 0.5, 0.75, 1 et 2 h.

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau (III.5) :

**Tableau III.5 : débits des crues**

<b>Période de retour (ans)</b>	<b>Durée (heur)</b>	<b>Intensité (mm/h)</b>	<b>Débit (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>10</b>	0.25	75.6	5.15
	0.50	42.0	2.86
	0.75	29.7	2.02
	1.00	23.3	1.59
	2.00	12.9	0.88
<b>30</b>	0.25	110.1	7.50
	0.50	61.1	4.16
	0.75	43.3	2.95
	1.00	33.9	2.31
	2.00	18.8	1.28

### Conclusion

Ce présente chapitre eu pour résultat la détermination des caractéristiques de sous bassin versant étudier et l'estimation de débit la crue considéré afin de pouvoir dimensionner les ouvrages qui permettent d'assuré la protection de la population et leur biens contre les inondations.

## Chapitre IV :

# Les techniques alternatives dans la gestion des eaux pluvial

## Introduction

Les techniques alternatives sont des ouvrages d'assainissement pluvial qui peuvent prendre différents aspects. Leur fonctionnement repose sur deux principes :

- La rétention de l'eau de pluie et de ruissellement, pour réguler les débits et étaler les apports à l'aval.
- L'infiltration dans le sol, lorsqu'elle s'avère possible, pour réduire les volumes s'écoulant vers l'aval.

Il existe donc des ouvrages différant suivant leur fonction.

- Les ouvrages de rétention : ils stockent temporairement les eaux pluviales avant de les restituer, vers un exutoire, à débit limité grâce à un organe de régulation.
- Les ouvrages d'infiltration : leur exutoire est le sol. En effet, ils contiennent les eaux pluviales collectées, pendant qu'elles s'infiltrent directement.
- Les ouvrages de rétention infiltrant.

Ce sont des techniques modulables et complémentaires qui assurent une gestion optimum des eaux de pluie et de ruissellement. Elles peuvent être mises en œuvre aussi bien dans les zones d'urbanisation nouvelles, que dans les centres-villes anciens ; et surtout de manière autonome lorsque les exutoires sont saturés ou éloignés.

## I. Présentation des systèmes alternatifs en eaux pluviales

### I.1. Les bassins de rétention

Ils sont destinés à contenir le surplus d'eaux de pluie et de ruissellement généré par l'urbanisation ou l'aménagement d'un site en fonction d'un débit d'évacuation régulé vers un exutoire, exutoire pouvant être le réseau public, le milieu hydraulique superficiel ou un système d'infiltration. Ils ont un rôle d'étalement, d'écêtement des eaux pluviales.

Ils sont principalement constitués par trois parties : un ouvrage d'alimentation, une zone de stockage et un ouvrage de régulation.

**a) Le bassin sec à ciel ouvert**

Les bassins secs sont vides la majeure partie du temps et dont la durée d'utilisation est très courte, de l'ordre de quelques heures selon les précipitations. En effet, le bassin sec se vidange complètement suite à un événement pluvieux. Après un prétraitement, les eaux pluviales peuvent s'évacuer soit par infiltration, soit au réseau. Le fond d'un bassin sec peut être imperméabilisé ou végétalisé. Dans ce dernier cas, les espèces plantées seront choisies pour leur capacité à supporter d'être inondées.

**Avantage et inconvénient**

Les avantages et les inconvénients des bassins secs à ciel ouvert sont donnés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau V.1** : les avantages et les inconvénients des bassins secs à ciel ouvert

<b>Avantage</b>	<b>Inconvénient</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bonne intégration paysagère (zone verte en milieu urbain).</li> <li>– Utilisation pour les aires de détente, terrains de jeux.</li> <li>– Faibles couts de réalisation (terrassment, plantation).</li> <li>– Entretien simple (tonte ou balayage)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Emprise foncière importante</li> <li>– Entretiens fréquents des espaces verts pour les bassins paysagers.</li> <li>– Pollution de la nappe.</li> </ul>

**b) Le bassin en eau**

C'est un plan d'eau permanent dans lequel sont déversées les eaux de pluie et de ruissellement collectées au cours de l'épisode pluvieux.

Leur taille varie en fonction de leur utilité (usage plurifonctionnel) et du volume de rétention nécessaire. Elle peut varier de la petite mare en fond de jardin jusqu'au lac accueillant des activités nautiques. Leur dimension conditionnera le type d'utilisation et d'exploitation.

Quelque que soit leur taille, ils abriteront toujours un « écosystème » aquatique dont l'équilibre dépendra des variations de volume et de qualité dues aux apports pluviaux.

Les bassins en eau sont le plus souvent utilisés comme des plans d'eau permanents et paysagers susceptibles d'accueillir des activités variées en fonction de leur dimension :

- activités de loisir s'ils sont de grandes tailles (pêche, canotage, promenade,...),
- aspect paysager s'ils sont de petites tailles.

Pour améliorer l'aspect paysager et garantir la stabilité des berges du bassin, il est recommandé de réaliser des berges végétalisées selon un profil emboîté [CUGT, 2009].



**Figure IV. 1 :** bassin en eau [Lutz, 2010].

#### Avantage et inconvénient

Les avantages et les inconvénients des bassins en eau sont donnés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau V.2 :** les avantages et les inconvénients des bassins en eau

Avantage	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Possibilité de recréer un écosystème ;</li> <li>– Investissement faible (aménagement d'un plan d'eau existant) ;</li> <li>– Possibilité de réutiliser les eaux de pluie ;</li> <li>– Entretien des espaces verts réduit ;</li> <li>Autres fonctions que le stockage des eaux :</li> <li>– plans d'eau, lieux d'activités aquatiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Emprise foncière importante</li> <li>– Pollution de la nappe pour les bassins d'infiltration ;</li> <li>– Risques liés à la sécurité des riverains.</li> </ul>

**a) Le bassin enterré**

Ce sont des ouvrages de stockage (génie civil) souterrains, que l'on peut enterrer sous des espaces verts, des voiries ou encore des parkings. Ils se vidangent complètement suite à l'épisode pluvieux.

Le plus souvent, pour les gros volumes, on préfère mettre en œuvre de structures réservoirs.

Les structures réservoirs peuvent être assimilées, sur le principe de fonctionnement, à un bassin de rétention enterré. La différence étant essentiellement axée sur le remplissage de la structure (matériaux constitutifs), le volume utile et l'entretien de l'intérieur de l'ouvrage.

Le bassin enterré est plus généralement utilisé chez le particulier (ouvrage préfabriqué) pour les petits volumes (rétention des eaux de pluie et de ruissellement à la parcelle). Dans ce cas, deux types de bassins peuvent être mis en œuvre :

- bassin dont le volume disponible correspond au volume utile,
- bassin dont le volume disponible correspond au volume utile + volume pour réutilisation (valorisation de l'investissement, amortissement). [CUGT, 2009]

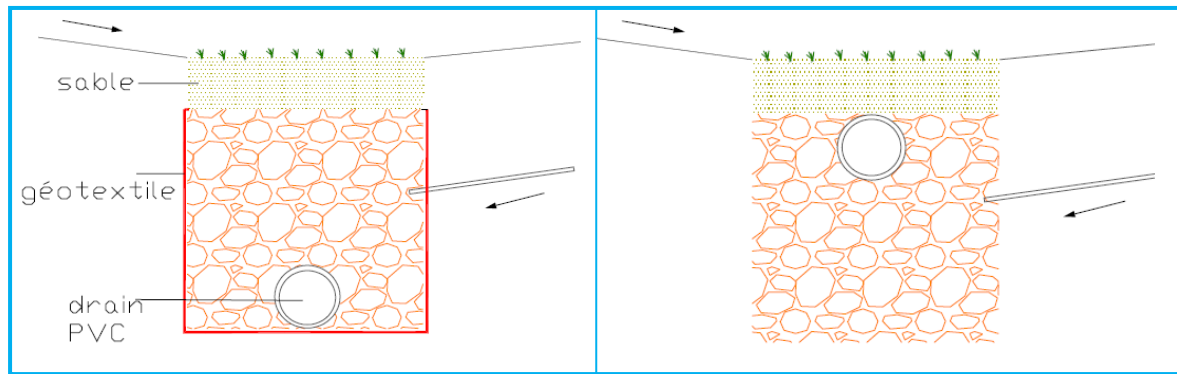
**I.2. Les tranchées drainantes / infiltrantes**

Une tranchée est un ouvrage superficiel (entre 1 et 2 mètres de profondeur), linéaire, utilisé pour l'assainissement pluvial des voiries et de toitures.

Elles sont remplies de matériaux poreux (massifs de graviers ou de galets, structure réservoir,...) et revêtues de dalles de béton ou de pelouse. Elles sont le plus souvent équipées d'un système de drainage.

On note qu'il existe deux principaux types de fonctionnement :

- *les tranchées drainantes* : système de rétention des eaux. L'eau est évacuée grâce à un drain, selon un débit régulé vers l'exutoire (le réseau d'assainissement pluvial traditionnel, le milieu hydraulique superficiel, un système d'infiltration).
- *les tranchées infiltrantes* : système d'infiltration, couplé au système de rétention. L'évacuation des eaux pluviales se fait par infiltration directe dans le sol mais on peut également la coupler avec un écoulement régulé. Ceci permettra la vidange complète de l'ouvrage [CUGT, 2009].



**Figure IV. 2 :** tranchée drainante (à gauche) et tranchée d'infiltration (à droite)

### Avantage et inconvénient

Les avantages et les inconvénients des tranchées drainantes et tranchée d'infiltration sont donnés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau V.3 :** les avantages et les inconvénients des tranchées drainantes / infiltrantes

Avantage	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coûts relativement faibles.</li> <li>- Installation aisée et maîtrisée.</li> <li>- Epuration partielle des eaux ruisselées.</li> <li>- Très bonne intégration paysagère.</li> <li>- Réalimentation de la nappe (si infiltration)</li> <li>- Bien adaptées aux terrains plats dont l'assainissement pluvial est difficile à mettre en place</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risques de colmatage</li> <li>- Entretien régulier</li> <li>- Pas adaptées à des terrains à forte pente</li> <li>- Risque de pollution de la nappe (si infiltration)</li> </ul>

### **I.3. Le puits d'infiltration / d'injection**

Le recours aux puits d'infiltration afin de réduire les rejets d'eaux de pluie et de ruissellement est une technique longuement éprouvée. Elle permet l'infiltration au plus près du point de collecte.

Anciennement, ils pouvaient être comblés par des matériaux poreux (graviers, concassés,...), assurant la stabilité de l'ouvrage, la filtration des eaux pluviales et ainsi réduisant l'effet de colmatage en fond.

On remarque donc qu'il existe deux principaux types de fonctionnement :

- les puits d'infiltration, qui ne sont pas en contact direct avec la nappe phréatique,

- les puits d'injection, qui eux, sont en contact direct avec la nappe et injectent donc directement l'eau dans la zone saturée. [CUGT, 2009]

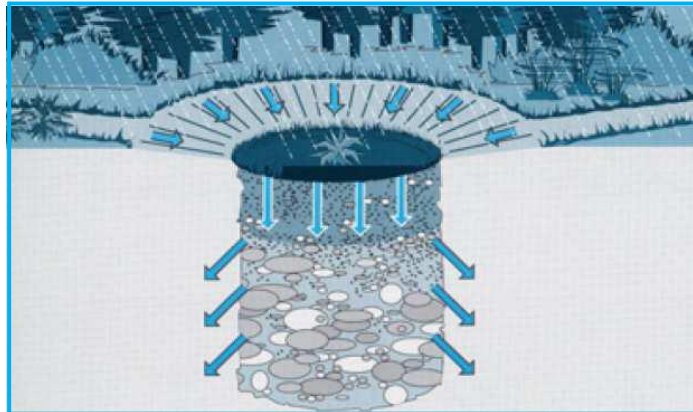


Figure IV. 3 : schéma d'un puits d'infiltration [Lutz, 2010].

#### Avantage et inconvénient

Les avantages et les inconvénients des puits d'infiltration sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau V.4 : les avantages et les inconvénients des puits d'infiltration

Avantage	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bonne intégration dans le tissu urbain ;</li> <li>– Alimentation de la nappe ;</li> <li>– Pas de contrainte topographique majeure ;</li> <li>– Technique intéressante dans le cas d'un sol superficiel imperméable et d'un sous-sol perméable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Colmatage possible ;</li> <li>– Entretien régulier ;</li> <li>– Risque de pollution de la nappe ;</li> <li>– Capacité de stockage limitée.</li> </ul>

#### **I.4. Chaussées à structure réservoir**

Les chaussées à structure réservoir (CSR) ont pour but d'écarter les débits de pointe de ruissellement en stockant temporairement la pluie dans le corps de la chaussée. Elles peuvent être assimilées à des bassins de retenue enterrés remplis de matériaux poreux. Leur fonctionnement consiste donc à stocker l'eau dans le volume vide des matériaux. L'eau est évacuée par infiltration ou vers le réseau public.



La structure réservoir est caractérisée par le coefficient de vide définissant leur capacité de stockage des eaux ainsi que par la résistance à la compression définissant leur solidité et le domaine d'utilisation [Lutz, 2010].

Le fonctionnement hydraulique de la chaussée à structure réservoir est assuré par 3 fonctions : une injection de l'eau dans l'ouvrage, un stockage temporaire de l'eau et une évacuation.

L'injection de l'eau dans le corps de la chaussée se fait soit de manière répartie (utilisation d'un revêtement drainant : dalles, pavés à joints larges, enrobés et bétons drainants...), soit de manière localisée (revêtement étanche). Dans ce dernier cas, l'eau est recueillie par des avaloirs classiques et injectée dans le corps de la chaussée par l'intermédiaire d'un drain diffuseur.

#### Avantage et inconvénient :

Les avantages et les inconvénients des tranchées à structure réservoir sont donnés dans le tableau ci-dessous.

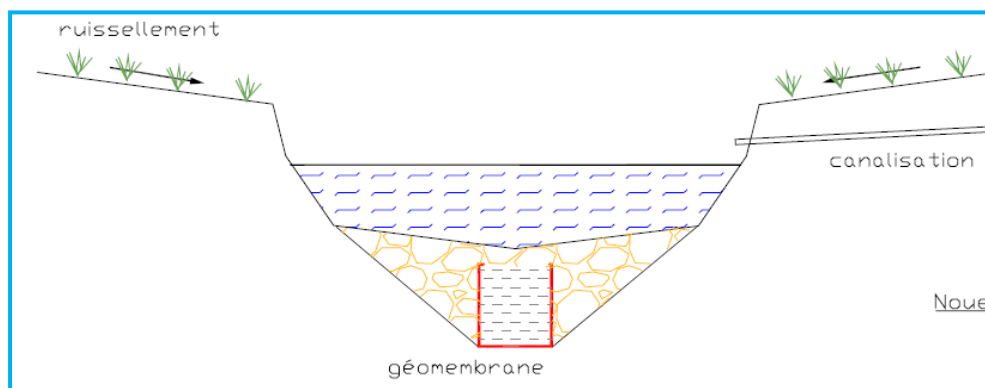
**Tableau V.5 :** les avantages et les inconvénients des tranchées à structure réservoir

Avantage	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ouvrages enterrés sans impact visuel ;</li> <li>– Insertion en milieu urbain sans consommation d'espace supplémentaire</li> <li>– Dépollution efficace des eaux pluviales par décantation et filtration par interception des particules au travers de la structure ;</li> <li>– Réalimentation de la nappe (si infiltration).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Étude et mise en œuvre délicate ;</li> <li>– Risques de colmatage ;</li> <li>– Entretien difficile ;</li> <li>– Durée de vie réduite ;</li> <li>– Problème de la voirie provisoire de chantier ;</li> <li>– Problématique du passage des réseaux.</li> </ul>

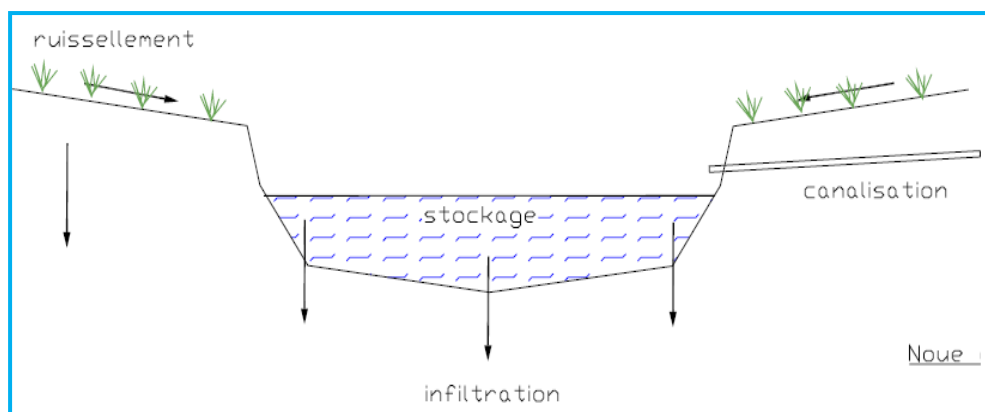
### **I.5. Les noues et fossés**

Les fossés et les noues sont deux ouvrages, permettant de collecter et de réguler les eaux de pluie et de ruissellement en ralentissant leur écoulement vers un exutoire. L'infiltration continue du point de collecte à l'exutoire permet d'en réduire le volume. L'exutoire peut être le réseau d'assainissement pluvial traditionnel, le milieu hydraulique superficiel ou un système d'infiltration.

Une noue est une fosse large et peu profonde, avec un profil présentant des rives en pente douce. Sa fonction est de stocker une partie du volume ruisselé issu d'un épisode pluvieux. Le stockage et l'écoulement de l'eau se font à l'air libre, à l'intérieur de la noue. L'eau est collectée soit par l'intermédiaire de canalisations (eaux de toitures...) ou après ruissellement sur les surfaces adjacentes. Elle est évacuée soit vers un exutoire (réseau, puits, bassin de rétention, milieu naturel) ou par infiltration dans le sol et/ou par évaporation. Lorsque l'infiltration n'est pas autorisée, on mettra en place une géomembrane ou un dispositif d'étanchéité qui isolera le sol et le protégera de toute pollution. Du gazon sera planté par-dessus pour conserver l'aspect esthétique de la noue [Lutz, 2010].



**Figure IV. 4 :** noue avec massif drainant



**Figure IV. 5 :** noue d'infiltration

#### Avantage et inconvénient

Les avantages et les inconvénients des noues et des fossés sont donnés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau V.6 :** les avantages et les inconvénients des noues et des fossés

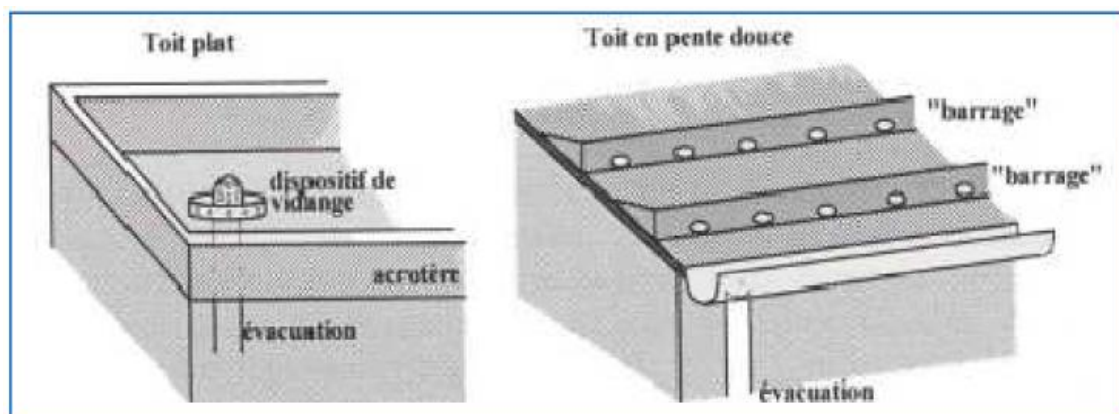
Avantage	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Espace paysager et esthétique ;</li> <li>– Utilisation éventuelle en espaces de jeux et de loisirs ;</li> <li>– Alimentation de la nappe phréatique (si infiltration) ;</li> <li>– Délimitation de l'espace ;</li> <li>– Cout peu élève ;</li> <li>– Bonne efficacité épuratoire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Risque de colmatage ;</li> <li>– Entretien régulier ;</li> <li>– Risque d'accident en période de remplissage ;</li> <li>– Risque de pollution de la nappe ;</li> <li>– Nuisances possibles avec la stagnation de l'eau.</li> </ul>

## I.6. Toitures terrasses et toitures végétalisées

### a) Toitures terrasses

Le stockage en toitures terrasses (toits stockant) est un moyen efficace pour réduire les effets de l'imperméabilisation sur le ruissellement. L'eau stockée est restituée à débit limité au réseau d'eau pluvial ou à un autre exutoire grâce à un dispositif de régulation spécifique. Le stockage se fait sur quelques centimètres d'eau de pluie sur les toits le plus souvent plats, ou éventuellement présentant une pente de 0,1 à 5 %.

L'eau est retenue au moyen d'un parapet en pourtour de toiture, sur une certaine hauteur d'eau, puis est évacuée. Sur les toits plats, le dispositif d'évacuation est constitué d'une ogive centrale avec filtre, raccordée au tuyau d'évacuation et d'un anneau extérieur, perce de rangées de trous dont le nombre et la répartition conditionnent le débit de décharge. Dans le cas de toits en pente, le stockage est rendu possible grâce à l'utilisation des caissons cloisonnant la surface et jouant le rôle de mini barrages. [Lutz, 2010]



**Figure IV. 6** : principe de stockage d'eau en toiture [Lutz, 2010]**b) Toitures végétalisées**

Il est possible de combiner cette technique avec des toitures végétalisées qui offrent en plus de la rétention d'eau, un apport isolant, et augmente l'évapotranspiration. La toiture végétalisée consiste en un système d'étanchéité recouvert d'un complexe drainant qui accueille un tapis de plantes pré-cultivées (sedum, vivaces, graminées, etc.). Grâce à l'absorption de ces plantes, les eaux pluviales sont épurées d'une partie de leur pollution. Le complexe de végétalisation est caractérisé par une surcharge limitée et une faible épaisseur (généralement < 10 cm), et le poids du complexe est, dans la plupart des cas, compris entre 50 et 150 kg/m<sup>2</sup>.

On distingue généralement deux types de toitures vertes : les toitures à végétation intensive et les toitures à végétation extensive. Le premier groupe se caractérise par une épaisse couche de substrat dans laquelle il est même possible de planter des arbres. Les toitures appartenant au deuxième groupe possèdent quant à elles une couche de substrat plus fine et ne sont bien souvent pas accessibles. [Lutz, 2010]

**Figure IV. 7** : toiture végétalisée [Lutz, 2010]Avantage et inconvénient

Les avantages et les inconvénients des toitures terrasses et toitures végétalisées sont donnés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau V.7** : les avantages et les inconvénients des toitures terrasses et toitures végétalisées

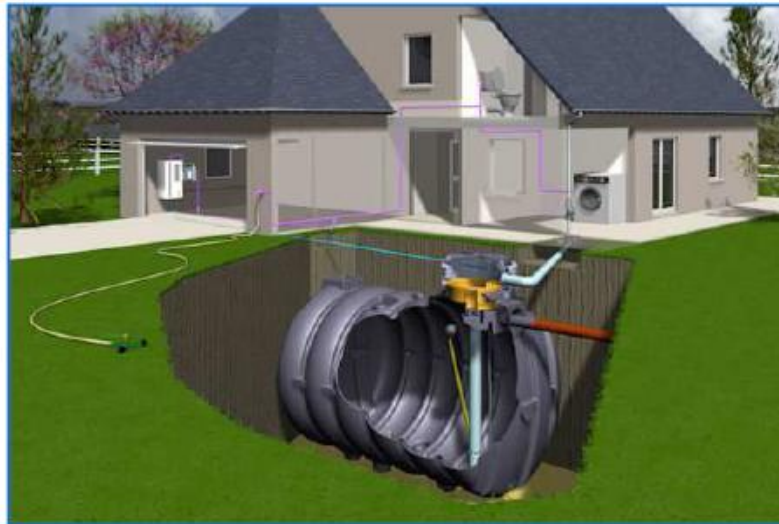
Avantage	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Adapté à l'échelle de la parcelle ;</li> <li>– Bonne intégration dans le tissu urbain ;</li> <li>– Pas de technicité particulière par rapport aux toitures traditionnelles ;</li> <li>– Pour les toitures végétalisées, augmentation des performances des bâtiments (isolation acoustique, confort d'ete...).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entretien régulier</li> <li>– A utiliser avec précautions sur une toiture existante (vérification de la stabilité et d'étanchéité) ;</li> <li>– Difficultés de mise en place sur des toitures de pente &gt; 2 % structurels du projet) ;</li> <li>– Nécessite d'une réalisation soignée par des entreprises qualifiées.</li> </ul>

### I.7. Citernes

La citerne est un réservoir strictement équivalent à un bassin de retenue étanche, qui peut être enterré ou non, permettant le stockage des eaux pluviales des toitures. Il s'agit d'un système bien adapté à la réutilisation des eaux à l'échelle parcellaire. Il existe plusieurs types de citernes : en béton, en polyéthylène (PEHD) ou en acier.

Pour un usage privatif, les citernes ont des capacités variant de 2 à 9m<sup>3</sup>. Les capacités peuvent atteindre les valeurs suivantes : jusqu'à 20 m<sup>3</sup> pour les cuves en béton armé, jusqu'à 50 m<sup>3</sup> pour celles en polyéthylène et jusqu'à 120m<sup>3</sup> pour celles en acier, pour des usages industriels par exemple.

Des citernes standardisées sont souvent utilisées. Dans ce cas, on choisit une capacité volumique au moins égale à celle déterminée lors du dimensionnement. Le surdimensionnement du volume de la citerne permet de créer une réserve d'eau pour une réutilisation ultérieure [Lutz, 2010].



**Figure IV. 8 :** cuve de récupération eau de pluie [Lutz 2010]

### Avantage et inconvénient

Les avantages et les inconvénients des citernes sont donnés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau V.8 :** les avantages et les inconvénients des citernes

Avantage	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Système adapte aux particuliers ;</li> <li>– Installation aisée et maîtrisée ;</li> <li>– Invisible si enterre ;</li> <li>– Encombrement faible ;</li> <li>– Réutilisation des eaux pluviales (arrosage...).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aucune épuration ;</li> <li>– A intégrer dans l’environnement si non enterrées ;</li> <li>– Entretien des pompes et des filtres ;</li> <li>– Vidange si besoin.</li> </ul>

## II. Conditions d’utilisation des systèmes alternatifs

Toutes les techniques ne sont pas adaptables a toutes les situations. Il n’existe a priori pas une solution compensatoire donnée pour un type de projet ou d’opération d’urbanisme. Donc le choix du tel ou tel technique est en fonction des données et des contraintes du site (perméabilité du sol, pente du terrain naturel, profondeur de la nappe) d’une part, du type d’urbanisme et en fonction de cout de la réalisation et d’entretien d’autre part

### **III. Les différentes techniques alternatives et leurs mécanismes de dépollution**

L'étude des techniques alternatives ont montré qu'elles pouvaient constituer de très bons ouvrages de dépollution suivant leur fonction et leurs caractéristiques.

On retrouve deux grands mécanismes de traitement des pollutions inhérentes à ces solutions : la décantation et la filtration.

De plus, des expériences ont démontré que certaines plantes (mises en œuvre pour l'intégration paysagère de l'ouvrage) pouvaient avoir un grand pouvoir dépolluant, c'est la phyto-remédiation, apportant un moyen de dépollution supplémentaire [CUGT, 2009].

Donc, l'intégration de la dépollution des eaux pluviales n'est pas un concept effacé dans les méthodes déjà employées. Selon les techniques alternatives utilisées, ces mécanismes interviennent déjà séparément ou simultanément. Leur intégration dans les aménagements ne nécessite qu'une réflexion et un travail soigné menés en amont.

### **CONCLUSION**

Les techniques alternatives présentées dans ce chapitre, constituent les nouveaux moyens d'action permettant de répondre à la problématique de gestion des eaux pluviales et la protection de la population et leurs biens contre les inondations par ruissellement.

Dans qui va suivre, nous présentons les techniques utilisées pour la gestion des eaux pluviales de la zone El Korti.

## Chapitre V :

# Protection de la zone El Korti contre les inondations

## Introduction

Les techniques alternatives, même s'ils recherchent les mêmes objectifs, présentent des caractéristiques différentes, le choix d'une technique est lié directement aux différentes contraintes techniques (hydraulique, topographique, etc.), sociologiques (insertion dans le site, usage, gestion, etc.) et économiques (cout de la solution en investissement et entretien).

### I. Le choix des variantes appliqué

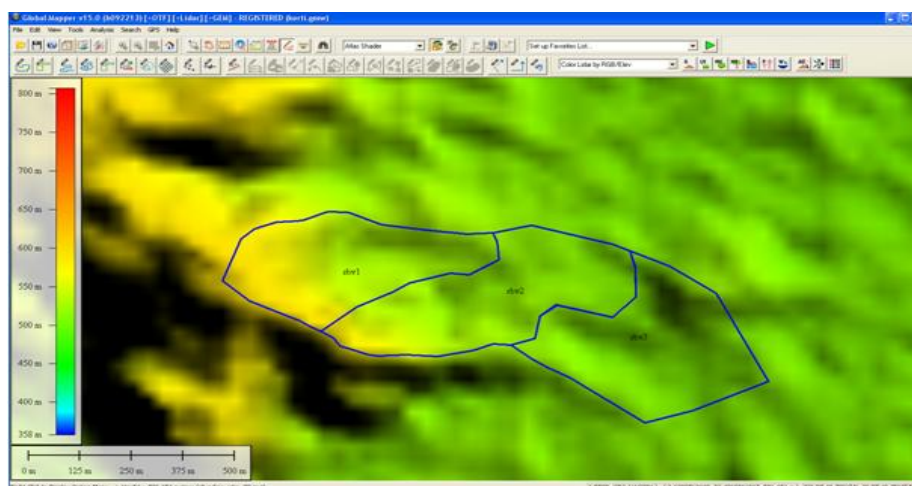
Pour la protection de la zone El korti contre les inondations par ruissellement nous avons proposé les deux variantes suivantes :

*Première variante* : la protection de la zone El Korti par la construction des puits.

*Deuxième variante* : la protection de la zone par le couplage entre les puits et les bassins sec à ciel ouvert.

Pour le dimensionnement de chaque variante on fait découpé le bassin versant en sous bassin pour déterminé le volume d'eau généré par chaque sous bassin.

La délimitation des sous bassins est effectuée à l'aide de Global Mapper (Figure V-1).



**Figure V.1** : délimitation des sous bassins

La détermination des caractéristiques est effectuée à l'aide de Global Mapper (Tableau V-1)



**Tableau V-1** : les caractéristiques des sous bassins versant

	Surface (ha)	Périmètre (m)
<b>Sous bassin versant 1</b>	10.41	1405
<b>Sous bassin versant 2</b>	12.28	1684
<b>Sous bassin versant 3</b>	12.27	1564

## II. Calcul du volume ruisselé par la méthode du bilan de la formule rationnelle

S'il tombe une averse d'intensité uniforme  $I$  sur un bassin versant d'une superficie  $A$  (en hectares) et que le temps de concentration  $t_c$  (en minute) est déterminé à l'exutoire, en posant  $t_r$  = durée en minute de l'averse,  $V_R$  = volume d'eau ruisselé,  $Q_p$  = débit de pointe correspondant à  $t_c$  et  $Q_{pr}$  = débit de pointe correspondant à une averse de durée quelconque, le volume d'eau ruisselé est donnée par : *[Bourrier, 2010]*

$$V_R = Q_{pr} * 60 t_r \quad (V-1)$$

$$Q_{pr} = C I A, \text{ avec : } I = I(t_r) \quad (V-2)$$

Le calcul du volume engendré par chaque sous bassins versant pour une période de retour de 10 ans et une durée de 30 min est donné par le tableau ci-dessous.

**Tableau V-2** : les volumes d'eau engendré par les sous bassins versant

	Intensité (mm/h)	Volume d'eau (m <sup>3</sup> )
<b>Sous bassin versant 1</b>	42.00	1202.35
<b>Sous bassin versant 2</b>	42.00	1547.28
<b>Sous bassin versant 3</b>	42.00	1288.35

### III. Première variante : la construction des puits

#### III.1. Conditions et domaine d'utilisation des puits

Afin de pouvoir mettre en œuvre cette technique, il convient avant tout de s'assurer de la présence d'horizon géologique favorable à l'infiltration. Que ce soit dans les couches superficielles ou inférieures.

Pour éviter les risques de pollution de la nappe, le puits ne doit pas se trouver à proximité d'une zone de stockage de produits dangereux ou de produits polluants.

Les puits d'infiltration peuvent être installés sur un réseau d'assainissement traditionnel afin de réduire le débit à l'exutoire ou comme exutoire même du réseau ou bien encore être installé en parallèle du réseau. L'alimentation du puits peut se faire directement au niveau du terrain naturel (T.N.) après ruissellement (au milieu d'une place ou en fond d'un système de rétention par exemple), ou au sein de l'ouvrage lui-même grâce à des canalisations.

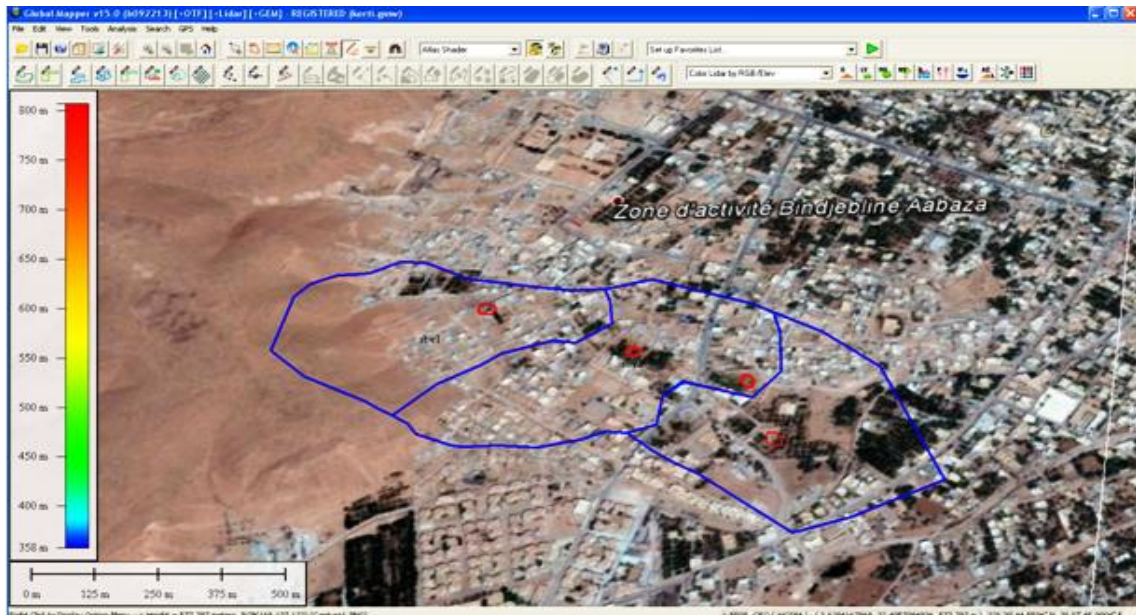
#### III.2. Dimensionnement des puits

Pour chaque sous bassin versant, on propose de construire deux puits de rayon R et d'hauteur H afin de stocker le volume d'eau engendré par chaque sous bassin. Les dimensions de ces puits sont données dans le tableau (V-3) (le dimensionnement est fait pour le cas où l'infiltration est négligeable):

**Tableau V-3 : les dimensions des puits**

	<b>Rayon (m)</b>	<b>Hauteur (m)</b>
<b>Sous bassin versant 1</b>	3.50	15.62
<b>Sous bassin versant 2</b>	3.50	20.10
<b>Sous bassin versant 3</b>	3.50	16.74

Les puits sont placés dans les endroits les plus bas de chaque sous bassin pour assurer leur remplissage d'une façon gravitaire. L'emplacement de ces puits est indiqué par la figure suivante :



**Figure V.2 :** les emplacements des puits

#### **IV. Deuxième variante : le couplage entre les puits et les bassins sec**

##### **IV.1. Conditions et domaine d'utilisation des bassins sec :**

Avant toute réalisation des bassins secs, il faut assurer une intégration paysagère complète de ce dernier. Cette intégration permettra de transformer l'ouvrage hydraulique en un élément à part entière de l'opération. Pour cela, on cherche à lui donner une valeur paysagère tout en lui conférant (lorsque cela s'avère possible) de multiples autres usages (zone de détente, aire de jeu, ...).

Pour permettre la mise en œuvre d'un bassin plurifonctionnel et l'ouvrir au public, on assure :

- la mise en sécurité des personnes,
- une bonne information des riverains ou des usagers sur son fonctionnement,
- une signalétique adéquate,
- la mise en sécurité des équipements constitutifs de l'ouvrage.

L'alimentation en eau durant l'épisode pluvieux peut se faire :

- par ruissellement direct,
- par déversement du réseau pluvial (le bassin est le point bas du réseau),

- par mise en charge et débordement du réseau. Evitant des apports d'eau de pluie et de ruissellement lors des pluies de faibles intensités.

Si le volume disponible au sein de l'ouvrage est supérieur au volume utile à stocker, le surplus peut être réutilisé (arrosage, réutilisations diverses,...).

#### **IV.2. Dimensionnement de la variante**

Pour le sous bassin versant 1 et 3, la réalisation d'un bassin de 65 (m) de longueur, 20(m) de largeur et de 1(m) de profondeur est suffisant pour stocker le volume d'eau engendré par chaque sous bassin pendant les périodes pluvial et qui sera utilisé comme aire de jeu dans les périodes sèche.

Pour le sous bassin versant 2, la construction de deux puits de rayon de 3.5 m et de profondeur de 20 m est suffisante pour stocker un volume d'eau de l'ordre de 1547.28 m<sup>3</sup> généré par une pluie de 30 minute pour une période de retour de 10ans

#### **Conclusion**

Les technique des puits et des bassins sec a ciel ouvert nécessite des entretiens spécifique et régulier, l'enlèvement des flottants et encombrants retenus par les systèmes, ceci afin d'éviter tous types de nuisances.

## **Conclusion générale**

Les inondations provoquant des dégâts humains et matériels qui peuvent être catastrophique, surtout dans les zones urbaines. Donc il faut faire certain aménagement pour minimiser et amortir ces dégâts.

Des inondations par ruissellement urbain peuvent se produire, en dehors du lit des cours d'eau proprement dit. L'imperméabilisation des sols et la conception de l'urbanisation augmente les volumes d'eau de ruissellement, ce qui nécessite l'application des techniques qui permet d'évacuer ou de stocker les eaux de ruissellement afin de protéger la population contre les inondations.

Les techniques alternatives constituent les nouveaux moyens d'action permettant de répondre à la problématique de gestion des eaux pluviales.

La diversité des solutions et la possibilité de coupler les principes de rétention et d'infiltration, permettent aux techniques alternatives de s'adapter à n'importe quel milieu, n'importe quelle situation et de répondre aux exigences de n'importe quel projet.

# Références bibliographique

---

## Référence bibliographique

**ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), (2003).** « Note relative à l'étude de la nappe phréatique ». Direction régionale Sud Ouargla.

**Bourrier, R.,( 2010 ).** « Guide technique de l'assainissement Collecte – Epuration – Conception Exploitation ». Le moniteur, 4<sup>e</sup> édition,757 pages.

**Beloulou, L., (2008).** « Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain. Cas de la ville de Annaba (Nord-Est Algérien) ».Thèse de doctorat d'état,université BadjiMokhtar-Annaba.342 pages

**CUGT, (2009).** « Guide de gestion des eaux de pluie et de ruissellement ».Direction Assainissement.102 pages

**Djebali, K., (2014).** « Etude de protection d'une ville contre les inondations cas de la vallée de Abadia (Ain Defla) ». Mémoire de projet de fin d'étude, ENSH, Blida, 170 pages.

**Lutz,N.,(2010).** « Etude des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales et usées en aménagement ». Mémoire de projet de fin d'études, INSA Strasbourg (France),92 pages.

**Touaïbia, B., (2004).** « Manuel pratique d'hydrologie ». Editeur les presses Madani Frères Guerrouaou, Blida, 166 pages.

## Annexes

---

### Annexe 01 : pluies journalières maximales enregistrées parla station pluviométrique de Ghardaïa

<b>Année</b>	<b>Pluie journalière maximale (mm)</b>	<b>Année</b>	<b>Pluie journalière maximale (mm)</b>
<b>1975</b>	24.70	<b>1992</b>	12.00
<b>1976</b>	17.20	<b>1993</b>	11.00
<b>1977</b>	17.90	<b>1994</b>	54.00
<b>1978</b>	11.30	<b>1995</b>	30.00
<b>1979</b>	18.60	<b>1996</b>	12.00
<b>1980</b>	46.50	<b>1997</b>	23.00
<b>1981</b>	13.00	<b>1998</b>	04.00
<b>1982</b>	09.40	<b>1999</b>	26.00
<b>1983</b>	02.90	<b>2000</b>	18.00
<b>1984</b>	20.20	<b>2001</b>	18.00
<b>1985</b>	06.80	<b>2002</b>	24.00
<b>1986</b>	36.60	<b>2003</b>	33.00
<b>1987</b>	08.80	<b>2004</b>	46.00
<b>1988</b>	08.90	<b>2005</b>	07.00
<b>1989</b>	06.70	<b>2006</b>	16.00
<b>1990</b>	27.90	<b>2007</b>	10.00
<b>1991</b>	10.90	<b>2008</b>	23.00

## Annexes

### Annexe 02: ajustement à une loi de Galton

rang	Pluie journalière maximale (mm)	F(x)	Z (x <sub>i</sub> )	Ln (x <sub>i</sub> )	valeur théorique	borne inférieur	borne supérieur
1	2.9	0.015	-2.178	1.065	3.6	2.3	5.4
2	4	0.044	-1.705	1.386	4.9	3.4	7.0
3	6.7	0.074	-1.450	1.902	5.9	4.2	8.1
4	6.8	0.103	-1.265	1.917	6.6	4.9	9.0
5	7	0.132	-1.115	1.946	7.4	5.5	9.8
6	8.8	0.162	-0.987	2.175	8.0	6.1	10.6
7	8.9	0.191	-0.874	2.186	8.7	6.6	11.3
8	9.4	0.221	-0.770	2.241	9.3	7.2	12.1
9	10	0.250	-0.674	2.303	9.9	7.7	12.8
10	10.9	0.279	-0.585	2.389	10.6	8.2	13.5
11	11.3	0.309	-0.499	2.425	11.2	8.8	14.2
12	11.9	0.338	-0.417	2.477	11.8	9.3	15.0
13	12	0.368	-0.338	2.485	12.5	9.9	15.8
14	12.6	0.397	-0.261	2.534	13.1	10.4	16.6
15	13	0.426	-0.185	2.565	13.8	11.0	17.4
16	16.2	0.456	-0.111	2.785	14.6	11.6	18.3
17	17.2	0.485	-0.037	2.845	15.3	12.2	19.2
18	17.9	0.515	0.037	2.885	16.1	12.8	20.2
19	18	0.544	0.111	2.890	16.9	13.5	21.3
20	18	0.574	0.185	2.890	17.8	14.1	22.4
21	18.6	0.603	0.261	2.923	18.7	14.9	23.7
22	20.2	0.632	0.338	3.006	19.8	15.6	25.0
23	23	0.662	0.417	3.135	20.9	16.4	26.5
24	23	0.691	0.499	3.135	22.0	17.3	28.1
25	24	0.721	0.585	3.178	23.4	18.2	29.9
26	24.7	0.750	0.674	3.207	24.8	19.3	32.0
27	26	0.779	0.770	3.258	26.5	20.4	34.4
28	27.9	0.809	0.874	3.329	28.4	21.7	37.2
29	30	0.838	0.987	3.401	30.7	23.2	40.6
30	33	0.868	1.115	3.497	33.5	25.1	44.8
31	36.6	0.897	1.265	3.600	37.1	27.3	50.4
32	46	0.926	1.450	3.829	42.1	30.3	58.4
33	46.5	0.956	1.705	3.839	50.0	35.0	71.6
34	54.8	0.985	2.178	4.004	69.0	45.4	105.0



## Annexes

---

**Annexe 03** : Intensités maximales de durée t (h) et de période de retour T (an)

Durée (heures)	Période de retour (ans)						
	2	5	10	20	30	50	100
<b>0.25</b>	31.7	56.1	75.6	96.8	110.1	127.9	154.1
<b>0.50</b>	17.6	31.1	42.0	53.7	61.1	70.9	85.5
<b>0.75</b>	12.4	22.0	29.7	38.1	43.3	50.3	60.6
<b>1.00</b>	9.7	17.3	23.3	29.8	33.9	39.4	47.4
<b>2.00</b>	5.4	9.6	12.9	16.5	18.8	21.8	26.3
<b>5.00</b>	2.5	4.4	5.9	7.6	8.6	10.0	12.1
<b>10.00</b>	1.4	2.4	3.3	4.2	4.8	5.6	6.7
<b>15.00</b>	1.0	1.7	2.3	3.0	3.4	3.9	4.7
<b>20.00</b>	0.8	1.4	1.8	2.3	2.7	3.1	3.7
<b>24.00</b>	0.7	1.2	1.6	2.0	2.3	2.6	3.2