

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -
Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de Technologie



MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

En : **Hydraulique**

Option : **Hydraulique urbaine**

Thème :

**REFLEXION AUTOUR DES INONDATIONS DES
VILLES : exemple de la ville de Maghnia**

Présenté par :

MESSAOUDI Walid & BOURICHA Ahmed

En novembre devant le jury :

Président	Mme LALAM .F	Ep. Debbal	Univ. Tlemcen
Examineur	Melle FANDI .W		Univ. Tlemcen
Encadreur :	Mme ADJIM H.	Ep. Djedid	Univ. Tlemcen

Année universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENT

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu ALLAH le tout, puissant, qui nous adonnés la force, le courage, la volonté et la patience d'accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour réaliser ce travail en particulier notre encadreur Mme. ADJIM HAYAT qui nous a proposé ce sujet et qui nous a encadrés et soutenus par ses conseils et ses efforts durant la préparation de ce mémoire.

Nous tenons également à remercier les membres de jury d'avoir accepté de faire partie du jury d'examination de ce travail, Mme DEBBAL Faiza en qualité de présidente de Jury et Melle FANDI Wassila en qualité d'examinatrice.

Nous remercions également les enseignants du département d'hydraulique de la faculté de Technologie de l'Université Abou Bekr Belkaidde Tlemcen.

Walid & Ahmed

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect

- *A mon père et à ma mère ;*
- *A mes sœurs ;*
- *A toute ma famille ;*
- *A tous mes amis sans exception ;*
- *A tous mes camarades de la promotion 2020 ;*
- *A tous mes enseignants du Département d'hydraulique.*

BOURJCHA Ahmed

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect

- *A mon père et à ma mère ;*
- *A mes frères ;*
- *A mes sœurs ;*
- *A toute ma famille ;*
- *A tous mes amis sans exception ;*
- *A tous mes camarades de la promotion 2020 ;*
- *A tous mes enseignants du Département d'hydraulique.*

MESSAOUDJ Walid

Résumé

Ce projet propose une réflexion autour du thème des inondations urbaines par dépassement des capacités des réseaux d'évacuation des eaux pluviales.

Après un aperçu général sur les inondations en Algérie et dans le monde ainsi que sur les risques naturels et les aléas, le choix du cas d'application a été fixé. C'est la ville de Maghnia, qui a été choisie vu la disponibilité de données pluviométriques. Un tracé des sous bassins a été réalisé puis le chemin du réseau fixé et les principaux paramètres physiques déterminés. Un traitement statistique des intensités de pluie disponibles a permis de tracer les courbes IDF et de déterminer les paramètres Montana pour une intensité dont la période de retour est de 10 ans. Le calcul des diamètres de conduites a été effectué en se servant de la méthode rationnelle.

En conclusion, on peut dire que le dimensionnement du réseau d'évacuation des eaux pluviales est une étape nécessaire pour se protéger des inondations mais elle n'est pas suffisante car on ne peut pas agir sur la pluie.

Mots clés : inondations, urbaines, pluie, courbe IDF, Montana, Maghnia

ملخص

يسمح هذا المشروع التفكير بإمعان في موضوع الفيضانات الحضرية من خلال تجاوز قدرات شبكات تصريف مياه الأمطار.

بعد إعطاء نظرة عامة على الفيضانات في الجزائر والعالم ومدى خطورتها، تم اختيار حالة التطبيق حول مدينة مغنية بسبب توافر بيانات هطول الأمطار. بعد تحديد المنطقة، وضع مخطط للأحواض الفرعية ثم تم تحديد مسار شبكة صرف مياه الأمطار وحساب المعايير الفيزيائية الرئيسية.

أتاحت المعالجة الإحصائية لشدة هطول الأمطار التي بحوزتنا رسم

منحنيات

الشدة-التدفق-التكرار (IDF) وتحديد معايير مونتانا للشدة لفترة عودة تبلغ 10 سنوات. وبعد ذلك تم حساب أبعاد الأنابيب.

ختاماً يمكننا القول أن حسن حساب شبكة صرف مياه الأمطار خطوة ضرورية للحماية من الفيضانات ولكنها غير كافية. لأننا لا نستطيع التحكم في كمية الأمطار.

الكلمات المفتاحية: فيضانات ، حضري، مطر، منحني IDF، مونتانا، مغنية

Abstract

This project proposes a reflection on the theme of urban flooding by exceeding the capacities of storm water drainage networks. After a general overview on the floods in Algeria and in the world as well as on natural risks and hazards, the choice of the application case was fixed. It is the town of Maghnia, which was chosen due to the availability of rainfall data. A layout of the sub-basins was carried out then the path of the fixed network and the main physical parameters determined.

Statistical processing of the available rainfall intensities made it possible to plot the IDF curves and determine the Montana parameters for an intensity with a return period of 10 years. The calculation of the pipe diameters was carried out using the rational method.

In conclusion, the sizing of the storm water drainage network is a necessary step to protect against flooding but it is not sufficient because we cannot act on the rain.

Keywords: floods, urban, rain, IDF curve, Montana, Maghnia

TABLE DES MATIERES

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des photos	
Liste des tableaux	
Abréviations	

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES INONDATIONS

1. Introduction	3
2. Les inondations	4
2.1. Définition	4
2.2. Lits d'un Oued	4
2.3. Crue et inondation	5
2.4. Types d'inondations	6
2.4.1. Introduction	6
2.4.2. Inondation par crues torrentielles	7
2.4.3. Inondation de plaines	7
2.4.4. Inondation par remontées des nappes phréatiques	8
2.4.5. Inondation par ruissellement en secteur urbain	9
2.4.6. Inondation par rupture de digues ou de barrages	10
2.4.7. Inondations marines	11
3. Les inondations dans le monde :	12
4. Les inondations en Algérie	14

CHAPITRE 2 : PROTECTION DES VILLES CONTRE LES INONDATIONS

1. Introduction	18
2. Concepts de catastrophe naturelle, d'aléa, de vulnérabilité et de risque	18
2.1. Catastrophe naturelle.....	18
2.2. Aléa	18
2.3. Vulnérabilité	18
2.4. Risque	19
3. La réglementation algérienne en matière de lutte contre les inondations	19
4. Procédé de protection des villes contre les inondations	20
4.1. Maitrise de l'urbanisation	20
4.2. Maitrise du ruissellement urbain	21
4.2.1. Généralités	21
4.2.2. Dimensionnement des réseaux d'évacuation des eaux pluviales	21
4.2.3. Entretien des réseaux d'évacuation des eaux pluviales.....	22
4.2.4. Favoriser l'infiltration des eaux pluviales	23
4.3. Maitrise du débit des crues.....	24
4.3.1. Généralités	24
4.3.2. Traitement des cours d'eau	24
4.3.3. Traitement des bassins versants.....	28
4.3.4. Utilisation de digues ou de barrages	29

CHAPITRE 3 : DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX D'EVACUATION DES EAUX PLUVAILES

1. Introduction	31
2. Les origines des eaux usées :	31
2.1. Les eaux usées domestiques	31
2.2. Les eaux pluviales ou de ruissellement :.....	32
2.3. Les eaux industrielles :.....	32
3. Systèmes d'évacuation :	32
4. Choix du système d'assainissement :	33
5. Evaluation des débits d'eau usée.....	33
5.1. Généralités	33

5.2.	Eaux usées domestique :	34
5.2.1.	Débit moyen journalier	34
5.2.2.	Débit de pointe	35
6.	Évaluation des débits d'eaux pluviales	35
6.1.	Généralités	35
6.2.	La méthode rationnelle	35
6.2.1.	Coefficient de ruissellement	36
6.2.2.	Intensité de la pluie	37
6.2.3.	Temps de concentration	38
6.2.4.	Loi de Montana	39
6.3.	La méthode superficielle	40
7.	Calcul hydraulique d'un réseau d'évacuation des eaux pluviales	41
7.1.	Conditions d'écoulement et de dimensionnement	41
7.2.	Méthode du calcul :	41

CHAPITRE 4 : DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX D'EVACUATION DES EAUX PLUVIALES DE LA VILLE DE MAGHNIA

1.	Introduction	45
2.	Présentation de la ville de Maghnia	45
2.1.	Historique de la ville	45
2.2.	La ville de Maghnia actuellement	46
2.3.	Climatologie de la ville de Maghnia	47
2.4.	Aspects socio-économiques de la ville de Maghnia	48
3.	Dimensionnement d'un réseau d'évacuation des eaux pluviales	48
3.1.	Introduction	48
3.2.	Proposition d'un réseau d'évacuation des eaux pluviales	49
3.3.	Détermination des paramètres de la loi de Montana	52
3.4.	Dimensionnement du réseau	60
4.	Conclusion	63

CONCLUSION GENERALE..... 64

BIBLIOGRAPHIE..... 66

LISTE DES FIGURES :

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES INONDATIONS

Figure 1 : Lit d'étiage, lit mineur et lit majeur.....	5
Figure 2 : Exemple d'un hydrogramme de crue.....	6
Figure 3 : Inondation par remontée de nappe phréatique.....	8
Figure 4 : Evolution du nombre d'inondation dans le monde.....	12

CHAPITRE 3 : DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX D'EVACUATION DES EAUX PLUVIALES

Figure 5 : Vitesse et débit en fonction du taux de remplissage.....	44
----------------------------------------------------------------------------	----

CHAPITRE 4 : DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX D'EVACUATION DES EAUX PLUVALES DE LA VILLE DE MAGHNA

Figure 6 : Précipitations enregistrées à Maghnia en 2018.....	47
Figure 7 : Températures enregistrées à Maghnia en 2018.....	48
Figure 8 : Courbes de niveau de la ville de Maghnia.....	49
Figure 9 : Bassins versants délimités	49
Figure 10 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 15 minutes.	53
Figure 11 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 30 minutes.	54
Figure 12 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 1 heure.	54
Figure 13 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 2 heures.....	55
Figure 14 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 3 heures.....	55
Figure 15 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 6 heures.....	56
Figure 16 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 12 heures.....	56
Figure 17 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 24 heures.....	57
Figure 18 : Courbe Intensité-Durée pour la période de retour de 5 ans.	59
Figure 19 : Courbe Intensité-Durée pour la période de retour de 10 ans.	59

LISTE DES PHOTOS :

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES INONDATIONS

Photo 1 : Inondation à El Harrach le 31/10/1911	3
Photo 2 : Inondation à Ghazaoueten 1952.....	3
Photo 3 : Inondation à Alger en 2019.....	4
Photo 4 :Inondation de Bab El Oued en 2001.....	7
Photo 5 :Inondation suite à la crue du Rhone (France) en 2003.....	8
Photo 6 : Etat d'une rue après les inondations à Djanet en Juin 2019.....	9
Photo 7 : Débordement de Oued M'zi à Laghouat le 07/09/2019.	10
Photo 8 :Fréjus après la rupture du barrage de Malpasset.....	11
Photo 9 : La ville de la Nouvelle-Orléans (USA) suite à la submersion marine en 2005.....	12

CHAPITRE 2 : PROTECTION DES VILLES CONTRE LES INONDATIONS

Photo 10 : Extension anarchique à Arzew.....	20
Photo 11 :Habitation dans le lit d'un Oued	20
Photo 12 :Des jeunes nettoyant un regard	23
Photo 13 : Etat d'un regard avant la saison des pluies.....	23
Photo 14 : Surface favorisant le ruissellement.....	23
Photo 15 : Terrain de tennis en béton bitumineux poreux.	23
Photo 16 :Stabilisation des berges de rivières par plantation végétale.	25
Photo 17 : Stabilisation des berges de cours d'eau par simple enrochements	25
Photo 18 : Stabilisation des berges de cours d'eau par murs en gabionnage.....	25
Photo 19 :Recalibrage de la section d'un cours d'eau.	26
Photo 20 et 21 : Recalibrage et reprofilage de OuedBoumerzoug (Constantine).....	27
Photo 22 :Epis en tronc d'arbre dans un courant d'eau.	27
Photo 23 :Sol nu favorable à l'érosion.....	28
Photo 24 :Banquettes antiérosives.....	29
Photo 25 :Banquettes de correction torrentielle en gabions.....	29
Photo 26 :Digue d'El Himeur pour protéger la vallée du M'zab.	30

CHAPITRE 4 : DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX D'EVACUATION DES EAUX PLUVAILES DE LA VILLE DE MAGHNA

Photo 27 :Mausolée de Lalla Maghnia	46
Photo 28 : Aperçu sur la ville de Maghnia.....	46

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES INONDATIONS

Tableau 1 :Nombre d'évènements des catastrophes naturelles entre 1969 et 1993	13
Tableau 2 : Les inondations enregistrées dans le paysentre 1962 et 2012.....	15
Tableau 3 : Causes des inondations constatées en Algérie.	16
Tableau 4 : Typologie des inondations constatées en Algérie.	16

CHAPITRE 3 : DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX D'EVACUATION DES EAUX PLUVAILES

Tableau 5 : Coefficients de ruissellement en fonction des différents types de sols.	37
Tableau 6 : Valeurs usuelles du coefficient de Strickler.....	42

CHAPITRE 4 : DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX D'EVACUATION DES EAUX PLUVAILES DE LA VILLE DE MAGHNA

Tableau 7 : Valeurs des variables de Gumbel pour différentes périodes de retour.....	57
Tableau 8 : Intensités de pluie pour des durées d'observations et des périodes de retour données.	58
Tableau 9 : Paramètres de Montana pour des périodes de retour de 5 et 10 ans.....	59
Tableau 10 : Calcul des pentes.....	61

Abréviations

A: surface du bassin

a et b : paramètres de Montana

BV : bassin versant

C : coefficient de Chezy

C_m : coefficient de ruissellement moyen du bassin

C_r : coefficient de ruissellement.

f : la fréquence expérimentale

ha : hectare

i : intensité de la pluie

I : pente

IDF intensité- pluie- débit

I_m : pente moyenne du bassin

K : coefficient de Strickler

mm : millimètre

m : mètre

m/m : mètre par mètre

m/s : mètre par seconde

n : coefficient de Manning(chapitre 3), rangde la variable (chapitre 4).

N : la taille de la colonne

p : Pluie

Q : débit

Q_{ps} : débit section pleine

Q_r : débitde ruissellement

R_h : rayon hydraulique

S I : système international d'unité

t_a : temps d'acheminement

t_e : temps d'imbibition

t_c : temps de concentration

T : période de retour

u : variable de Gumbel

V : vitesse d'écoulement

V_{ps} : vitesse section pleine

γ : Coefficient de rugosité de Bazin

Introduction générale

Introduction Générale

Introduction Générale

L'eau est une source vitale pour l'homme. Sans eau, il n'y aura pas eu de vie. Le corps humain est constitué d'environ 60% d'eau, ce qui correspond à 42 litres pour un homme de 70 kg. Il est même dit dans le saint coran que « toute matière vivante a été faite d'eau ».

Même si on revient à l'histoire, on note que depuis l'antiquité, toutes les civilisations connues se sont développées autour de l'eau, l'Égypte, la Mésopotamie, Rome, etc. En ces temps, l'eau était toujours considérée comme une bénédiction et même les inondations apportaient du limon qui fertilisait les terres et améliorait les récoltes agricoles.

Avec le temps, le développement technico-économique et industriel et l'amélioration des conditions de vie, l'homme s'est sédentarisé et les villes s'agrandissaient au fur et à mesure. On estime qu'en 2018, 55% de la population mondiale habite les villes, ce taux est de l'ordre de 70% en Algérie. Si cette urbanisation s'est accompagnée d'une amélioration des conditions de vie de la population, elle a aussi apporté quelques problèmes. Parmi ces problèmes, les inondations. En effet, avec des surfaces de plus en plus imperméables, des constructions en bord de rivières ou en zones inondables, des cours d'eau détournés ou obturés, etc. Les inondations devenaient de plus en plus récurrentes et les dégâts de plus en plus graves. En 2011 et sur la totalité des catastrophes naturelles enregistrées dans le monde, un désastre sur deux était une inondation.

L'Algérie, à l'instar de nombreux pays dans le monde, a vu le nombre des inondations urbaines augmenter ces dernières années. Les causes sont nombreuses et variées, certaines peuvent être maîtrisables comme les aménagements, les protections, etc. D'autres le sont moins, spécialement les précipitations. En effet, si on peut prendre toutes les précautions possibles pour réduire les conséquences des inondations, on ne peut malheureusement pas agir sur la quantité de pluie qui tombe.

Ce sont ces raisons qui nous ont poussés à entamer cette réflexion sur les inondations urbaines et particulièrement sur celles qui proviennent suite à un dépassement des capacités des réseaux d'évacuation des eaux de pluies. Pour cela, nous avons choisi la ville de Maghnia comme terrain d'application, ceci par ce qu'il y'avait une série de données de mesure des intensités de pluie disponible même si elle est ancienne.

Introduction Générale

Aussi, le mémoire a été organisé en quatre chapitres. En effet, après une introduction générale,

- **Le premier chapitre** définit le phénomène d'inondations et présente les différentes causes qui leur donnent naissance ainsi que les conséquences engendrées que ce soit dans le monde ou en Algérie.
- **Le Deuxième chapitre** décrit les différents moyens de protection et de lutte contre les inondations, leurs évolutions ainsi que leurs domaines d'application.
- **Le troisième chapitre** présente les méthodes de dimensionnement des réseaux d'évacuation des eaux usées domestiques et des eaux pluviales.
- **Le quatrième chapitre** détaille le calcul du réseau d'évacuation des eaux pluviales d'une partie de la ville de Maghnia.

Bien sûr, une conclusion générale clôture ce mémoire.

Chapitre I :
Généralités sur les
inondations

Chapitre 1

Généralités sur les inondations

1. Introduction

L'Algérie a connu des inondations dans le passé (Voir Photo 1 et Photo 2). Néanmoins, il a fallu attendre l'inondation de Bab El Oued à Alger en 2001 pour mesurer l'ampleur du phénomène et les dégâts qu'il peut engendrer. Le bilan dressé s'établit à 772 morts, 126 disparus, 320 blessés et 1454 sinistres [6]. L'estimation financière des dégâts est évaluée à environ 20 Milliard de Dinars [4].



Photo 1 : Inondation à El Harrach le 31/10/1911[27]



Photo 2 : Inondation à Ghazaoueten 1952[28]

Chaque année, la presse nationale dresse les bilans des pertes humaines et matérielles des pluies d'hiver qui, pour diverses raisons, provoquent régulièrement des inondations dont les intensités ne sont pas forcément de la même gravité (Photo 3).

Dans ce chapitre, nous allons donner un aperçu général sur les inondations, les causes, les conséquences et les moyens de s'en protéger.



Photo 3 : Inondation à Alger en 2019[29]

2. Les inondations

2.1. Définition

Le mot inondation désigne une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Les causes sont nombreuses mais le premier facteur est la pluie qui tombe sur une région ou en un endroit avec une intensité qui dépasse la capacité d'évacuation de cette région ou de cet endroit.

On peut distinguer les inondations qui sont provoquées par le débordement des lits d'Oueds et qui submergent les berges et les régions environnantes ou les inondations en milieu urbain dues principalement aux dépassements de capacité d'évacuation des réseaux d'évacuation des eaux pluviales.

2.2. Lits d'un Oued

En général, les rivières quand elles coulent, elles occupent un certain espace dit « lit ». On distingue (Figure 1) :

- Lit mineur : Le lit mineur d'un oued, dit aussi lit ordinaire, est l'espace dans lequel s'écoulent les eaux d'une rivière en temps normal. Il peut être permanent ou saisonnier. Il est limité sur les côtés par les berges.
- Lit d'étiage : Le lit d'étiage est compris dans le lit mineur et est utilisé par l'écoulement de basses eaux. Il est aussi dit lit d'été. La vitesse de l'écoulement dans ce chenal est très irrégulière en fonction de la largeur. Ce chenal serpente presque le fond du lit mineur.

- Lit moyen : Le lit moyen d'un oued, dit aussi lit ordinaire, est l'espace dans lequel s'écoulent les eaux d'une rivière lors des crues saisonnières. C'est ce qu'appelle Tricart [8]. le lit majeur périodique, lit qui est occupé par les eaux au moins une fois par an.
- Lit majeur : Le lit majeur, appelé aussi plaine d'inondation ou lit d'inondation, est la partie adjacente au lit mineur, inondée seulement dans les cas des fortes crues. La bordure extérieure du lit majeur correspond au niveau de la plus grande crue historique enregistrée. Tricart[8] appelle ce lit le lit majeur exceptionnel.

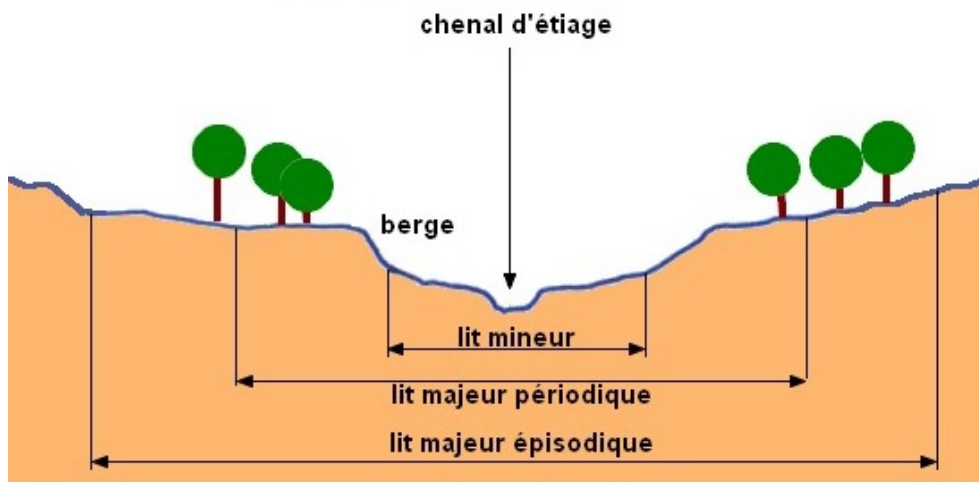


Figure 1 : Lit d'étiage, lit mineur et lit majeur [30]

Sur la figure 1 ci-dessus, le lit majeur est désigné par le terme lit épisodique.

2.3. Crue et inondation

Dans les définitions des lits des Oueds, le terme de crue a été utilisé. Ce dernier désigne l'augmentation du débit d'un cours d'eau par rapport au débit hors d'épisodes pluvieux. Les crues se traduisent par des élévations du niveau de l'eau dans le lit. A l'aide des outils des statistiques, on lie les crues à des périodes de retour. Ainsi, quand ces crues sont saisonnières ou annuelles, les eaux occupent le lit mineur et ne débordent pas au-delà. Quand les crues ont des périodes de retour au-delà d'une année, le niveau de l'eau dépasse le niveau supérieur du lit mineur sans dépasser celui du lit majeur. Quand des crues exceptionnelles se produisent, le débit de l'écoulement est trop fort et le niveau de l'eau peut dépasser le niveau

supérieur du lit majeur (exceptionnel). L'eau déborde et envahi les terrains environnants. On parle alors d'inondation.

En général, une crue se caractérise par son hydrogramme graphique qui représente la variation du débit en fonction du temps. Plus précisément, c'est la partie montante de ce hydrogramme qui est appelé crue, la partie descendante étant la décrue (Figure 2). Une crue se définit par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe et son volume.

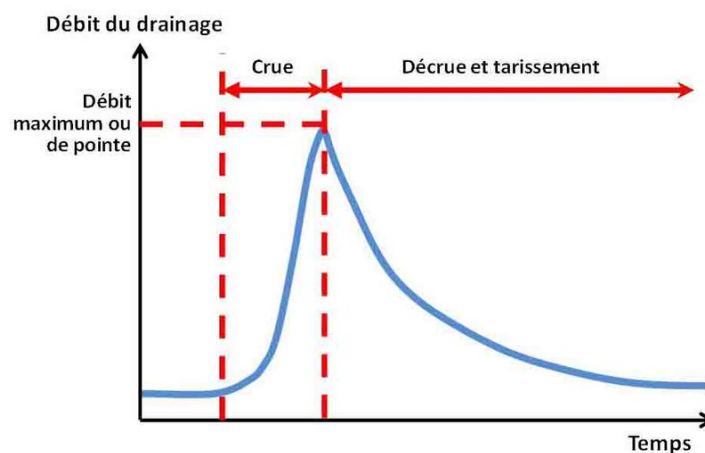


Figure 2 : Exemple d'un hydro-gramme de crue.

2.4. Types d'inondations

2.4.1. Introduction

En fait, si c'est souvent la pluie qui est à l'origine des inondations, ce n'est pas toujours le cas. Il existe d'autres causes qui peuvent provoquer les inondations. Elles sont plus rares mais réelles et peuvent être plus destructrices que celles provoquées par la pluie.

2.4.2. Inondation par crues torrentielles

Les inondations par crues torrentielles résultent de l'accélération du débit d'un cours d'eau suite à de fortes précipitations. Elles se caractérisent par une montée rapide des eaux, une vitesse d'écoulement très élevée et une durée de submersion très courte. Ces crues demeurent, exceptionnelles et constituent un grave danger pour les populations [2]. Elles sont relatives à des bassins versants ramassés avec de fortes pentes. Ces crues conduisent à des charriages de matériaux et de débris en grande quantité et qui constituent des facteurs d'aggravation des conséquences.

Si la rivière ou l'Oued traverse une ville, comme c'est le cas de nombreuses agglomérations en Algérie, le débordement s'effectuera sur la voirie et touchera les habitations. Les pertes humaines et matérielles se trouvent accentuées (Photo 4).



Photo 4 : Inondation de Bab El Oued en 2001 [31].

2.4.3. Inondation de plaines

Les inondations des plaines se produisent à la suite d'épisodes pluvieux prolongés, mais d'intensité modérée. Ces pluies s'abattent sur des sols où le ruissellement est long à se déclencher. Les tailles des bassins versants sont de moyens à grands. Le cours d'eau sort lentement de son lit ordinaire pour occuper son lit majeur et inonder les plaines sous-jacentes pendant de longues périodes. Ces phénomènes concernent particulièrement les terrains bas ou mal drainés. Sa dynamique lente peut durer pendant plusieurs semaines. Dans ce genre de catastrophe, les pertes ne sont pas fortement déplorées, la lenteur du phénomène donne le temps aux personnes d'évacuer les zones de danger.

A cause de la géomorphologie des bassins versants algériens, ce phénomène est moins récurrent en Algérie.



Photo 5 : Inondation suite à la crue du Rhone (France) en 2003[32].

2.4.4. Inondation par remontées des nappes phréatiques

Dans certains aquifères, lorsque la recharge due aux infiltrations des eaux de pluies dépassent d'année en année les prélèvements et les sorties par les exutoires naturels (les sources), le niveau de la nappe s'élève. Cette remontée arrive parfois au niveau de la surface du sol et provoque des inondations.

En milieu urbain, ce type d'inondation détériore les infrastructures des bâtiments et immeubles et perturbe le fonctionnement des divers réseaux souterrains. Il peut conduire à des tassements de bâtiments, d'affaissement de sols, de glissement de terrains, etc.

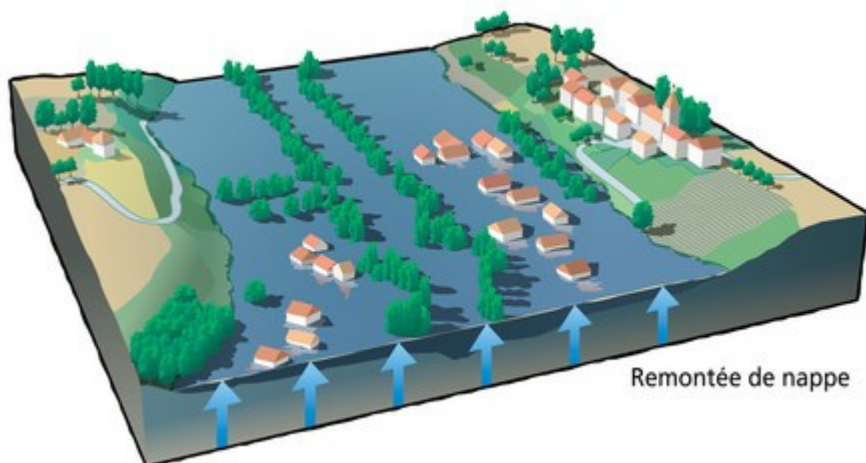


Figure 3 : Inondation par remontée de nappe phréatique[33]

A cause d'une situation hydrogéologique particulière, ce cas de remontée de nappe aquifère a été enregistré dans la région du Souf à El Oued dans le Sud de l'Algérie [7].

2.4.5. Inondation par ruissellement en secteur urbain

Quand la pluie tombe en milieu urbain, les eaux ruissellent en surface, rejoignent les réseaux d'évacuation des eaux pluviales par les avaloirs et sont rejetées loin de la ville. Ceci quand les réseaux fonctionnent correctement et ne sont pas dépassés. Il arrive souvent que ces réseaux se trouvent incapables d'évacuer ces eaux soit parce que le débit généré par ces pluies dépasse leurs capacités ou parce que ces derniers ne fonctionnent pas correctement parce qu'ils étaient détériorés, mal dimensionnés ou mal réalisés.

Les dégâts de ce type d'inondations dépendent de la nature des terrains envahis et de leurs pentes, de l'intensité de la pluie et de la taille des bassins drainés. Il se trouve que dans de nombreux cas, des réseaux urbains d'évacuation des eaux pluviales drainent des bassins urbains et péri-urbains. Ces derniers ont des surfaces importantes et font charrier divers objets jusqu'aux réseaux. Ces branchages, terres, végétations, etc. bouchent les avaloirs et les conduites et aggravent les conséquences de ce type d'inondation (Photo 6).



Photo 6 : Etat d'une rue après les inondations à Djanet en Juin 2019[34]

Le ruissellement sur la voirie est parfois dû à la sortie de l'eau de son lit majeur quand la rivière traverse une ville. Si la crue est exceptionnelle, ce cas rentrera dans le cadre des inondations dues à des crues torrentielles et les dégâts seront très graves comme mentionné auparavant. Si la crue n'est pas exceptionnelle mais les débits générés dépassent la capacité du lit majeur, les eaux débordent sur la chaussée et touchera les habitations situées dans l'environnement de la rivière. Les pertes humaines et matérielles peuvent être importantes mais généralement moins que celles provoquées par les crues torrentielles.



Photo 7 : Débordement de Oued M'zi à Laghouat le 07/09/2019[35]

2.4.6. Inondation par rupture de digues ou de barrages

En général, les barrages sont réalisés en béton, béton armé ou en remblai de terre. Dans les pays où le stress hydrique ne se fait pas sentir, ils servent surtout à la production de l'électricité. Dans les pays où les saisons sèches sont longues, ils servent à stocker les eaux de pluies des saisons humides pour s'en servir lors des saisons sèches. Pour les digues en terre, ils servent à protéger les villes contre les inondations.

Pour diverses raisons, il arrive que certains de ces ouvrages cèdent et provoquent des inondations à l'aval. Les conséquences de ce type d'inondations sont très graves dans la mesure où ces inondations sont brusques et brutales. En libérant rapidement de grandes quantités d'eau, les vitesses de l'écoulement sont très élevées et les dégâts très importants.

En Algérie, ce type d'incidents s'est produit dans le passé avec le barrage de Fergoug (Mascara) qui s'est rompu à trois reprises, en 1872, en 1881 et 1927, la dernière rupture étant la plus catastrophique[9].

En France, c'est la rupture du barrage de Malpasset (Fréjus, France) qui est considérée comme étant la catastrophe naturelle la plus grave survenue en France. Suite à des pluies diluviennes qui sont abattues sur le bassin pendant une dizaine de jours, le barrage en voûte céda le 2 décembre 1959 vers 21H libérant près de 50 Millions de mètres cube sur la ville de Fréjus, les pertes humaines et matérielles furent énormes[3].



Photo 8 : Fréjus après la rupture du barrage de Malpasset[36].

2.4.7. Inondations marines

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer suite à des conditions météorologiques particulières, fortes dépressions, forts vents de mer et coefficient de marée élevé. Elles se traduisent par l'invasion par des eaux salées particulièrement agressives sur le littoral. Elles se manifestent soit lors d'un raz de marée ou de tsunami, soit lors d'une tempête (surcote marine, vents et précipitations importants) ou en cas de rupture des défenses contre la mer.

La photo 6 ci-dessous montre la ville de la Nouvelle-Orléans (USA) suite à la submersion marine due à la rupture des digues de protection de la ville provoquée par l'ouragan Katrina en 2005. Il faut rappeler que la ville de la Nouvelle-Orléans est bâtie en partie sous le niveau de la mer.



Photo 9 : La ville de la Nouvelle-Orléans (USA) suite à la submersion marine en 2005[37].

3. Les inondations dans le monde :

Les inondations ont frappé dans le passé et frapperont dans le futur. L’homme ne peut que s’y adapter en essayant de réduire les conséquences. En effet, les inondations sont les catastrophes naturelles les plus fréquentes. Leur nombre a considérablement augmenté, surtout entre 1990 et 2010, une tendance bien illustrée par les allures des courbes de la figure 4 ci-dessous [1].

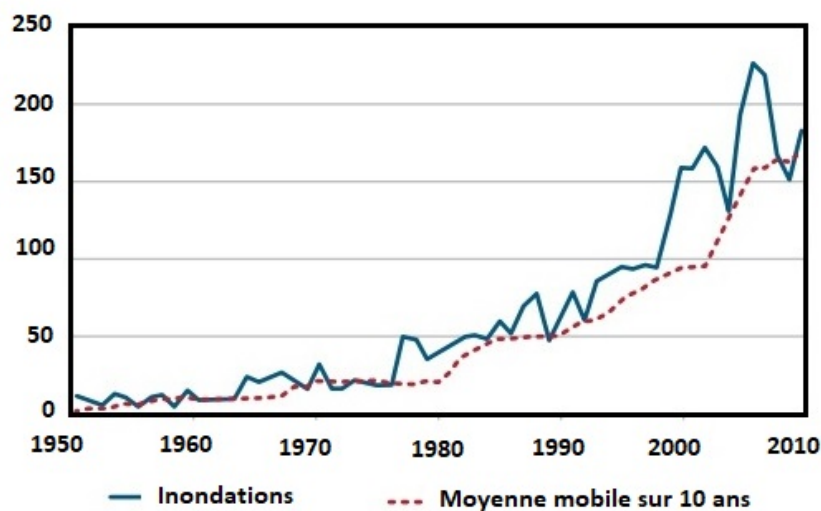


Figure 4 : Evolution du nombre d’inondation dans le monde[1].

Pour la seule année 2010, 178 millions de gens ont été victimes d'inondations. Dans les années exceptionnelles telles que 1998 et 2010, les pertes totales dépassent les 40 milliards de dollars[1]. Un inventaire établi par l'Observatoire des inondations de Dartmouth (USA) entre 1985 et 2007 indique quelles inondations les plus dévastatrices et les plus violentes sont celles engendrées par les cyclones tropicaux[5].

Rien que pour l'année 2018, le centre de recherche de l'épidémiologie des désastres de l'université catholique de Louvain, en Belgique note qu'environ 35 Millions de personnes ont été touchés par les inondations. Le bilan entre 2000 et 2017 s'établit à environ 86,7 Millions. Parmi les 10 grandes catastrophes les plus meurtrières en 2018, 4 sont des inondations (Inde, Nigeria, Japon et Corée du Nord) [23].

Selon ce même centre, les pays les plus touchés par les inondations depuis 1990 sont la Chine avec 228 inondations, l'Inde avec 192 inondations, l'Indonésie avec 137 inondations, les Etats-Unis avec 135 inondations, le Philippines avec 120 inondations, le Bangladesh avec 60 inondations et Japon avec 22 inondations.

Le tableau ci-dessous dressé par le bureau international du travail (BIT) montre qu'entre 1969 et 1993, les inondations viennent en second en nombre derrière les vents violents. C'est surtout en Asie qu'ils surviennent [24].

Tableau 1 : Nombre d'évènements des catastrophes naturelles entre 1969 et 1993[23].

	Afrique	Amérique	Asie	Europe	Océanie	Total
Tremblement de terre	40	125	225	167	83	640
Sécheresse et famine	277	49	83	15	14	438
Inondation	149	357	599	123	138	1 366
Glissement de terrain	11	85	93	19	10	218
Vents violents	75	426	637	210	203	1 551
Eruption volcanique	8	27	43	16	4	98
Autre*	219	93	186	91	4	593

* Avalanche, vague de froid, vague de chaleur, invasion d'insectes, tsunami.

Ces catastrophes n'ont pas les mêmes impacts si elles surviennent dans les pays développés disposant de moyens d'alertes et d'intervention ou si elles surviennent dans les pays du tiers monde. De même, elles n'ont pas les mêmes conséquences si les parties inondées se trouvent en raz de campagne ou en site urbain. La concentration des habitations et des équipements dans les villes font que dans ces endroits que les pertes humaines et économiques sont les plus

élevées. Il faut noter que dans les pays du tiers monde, de nombreuses villes se sont étendues sous forme d'habitat précaire sur des terrains inondables aggravant la situation en cas d'inondation.

4. Les inondations en Algérie

L'Algérie, comme la plupart des autres pays du monde, connaît épisodiquement des phénomènes de crues et d'inondation qui se manifestent de façon catastrophique entravant d'une manière importante les diverses activités socioéconomiques et engendrant d'importantes pertes en matière de vies humaines et de coût économique.

Si les esprits ont été frappés par les inondations de Bab El Oued de 2001, la presse nationale ne cesse de relever à chaque début d'hiver les cas des inondations signalées à travers le territoire national et les difficultés rencontrées par la population.

Sur le site de la protection civile nationale[25]est publié un historique des catastrophes enregistrées dans le pays de 1962 à 2012. Sur 47 évènements notés, 17 sont relatives à des inondations, ce qui représente un pourcentage de 36%. En matière de perte de vies humaines, seuls les séismes les dépassent (Séisme de Chlef en 1980 et celui de Boumerdes en 2003).

Le bilan dressé par la protection civile est donné dans le tableau 2 de la page suivante. Ce tableau s'arrête en 2012, or de nombreux évènements se sont produits après. Certains n'ont demandé que des interventions techniques, d'autres ont enregistré des pertes matérielles et en vies humaines.

De ce tableau, il ressort un fait notable, la majorité des inondations ont eu lieu en automne (Septembre, Octobre et Novembre), 13 cas sur 17 (76%).

Tableau 2 : Les inondations enregistrées dans le pays entre 1962 et 2012[25].

N°	Date	Lieu	Dégât
1	09/10/1969	Est du pays	27 décès, 44 blessés.
2	12/10/1971	Azazga (TiziOuzou)	40 décès.
3	28/03/1973	TiziOuzou	52 décès.
4	01/09/1980	El Eulma (Sétif)	44 décès, 50 blessés.
5	11/11/1982	Annaba	21 décès.
6	29/12/1984	Jijel	29 décès, 11 000 sinistrés.
7	20/10/1993	Oued Rhiou (Relizane)	23 décès, 20 blessés.
8	23/09/1994	Bordj Bouareridj	16 décès.
9	28/09/1994	Mascara	02 décès.
10	28/10/1995	Laghouat	40 décès.
11	10/11/2001	Bab El Oued (Alger)	900 entre décès et disparus
12	10/04/2004	Adrar	29 décès, 5 000 sinistrés, 700 habitations détruites
13	14/09/2007	Babar (Khenchela)	01 décès, 31 familles sinistrées.
14	01/10/2008	Ghardaïa	43 décès, 04 disparus, 86 blessés.
15	08/10/2008	Béchar	13 décès.
16	01/10/2011	El Bayadh	11 décès dont 01 de la protection civile.
17	22/02/2012	El Tarf	03 décès, importants dégâts matériels.

Un bilan établi par le ministère des ressources en eau en 2018 [26] donne, sur l'ensemble des inondations recensées (le chiffre total n'est pas donné), le constat suivant :

Tableau 3 : Causes des inondations constatées en Algérie[26]

N°	Constat	Pourcentage
1	• Planification et aménagement du territoire inadéquats	21
2	• Manque d'instruments pour gérer la crise	20
3	• Problèmes relatifs aux ouvrages hydrauliques inadéquats	14
4	• Occupation des zones inondables	12
5	• Manque de coordination entre acteurs	9
6	• Problèmes relatifs à la conservation du bassin	8
7	• Problèmes d'entretien des cours d'eau	6
8	• Perception inadéquate du risque d'inondation	5
9	• Application laxiste de la réglementation	4
10	• Ressources économiques inadéquates	1

Le même bilan dresse le tableau suivant selon la typologie des inondations constatées :

Tableau 4 : Typologie des inondations constatées en Algérie[26]

N°	Typologie	Pourcentage
1	• Ruissellement pluvial urbain	48
2	• Crue rapide	21
3	• Crue éclair	12
4	• Crue lente, graduelle	11
5	• Remontée de la nappe phréatique	4
6	• Submersion marine	2
7	• Ecoulement en nappe	2

De ces tableaux, il ressort que presque la moitié des inondations est due à un ruissellement urbain, donc inadéquation ou insuffisance des réseaux d'évacuation des eaux pluviales. Les crues sont responsables d'environ 40% des autres inondations. Pour les causes de ces inondations, ce sont surtout l'aménagement du territoire qui est inadéquate et le manque d'instruments pour gérer la crise. L'occupation des zones inondables ne participe qu'avec environ 10% des inondations.

Chapitre II :
Protection des villes
contre les inondations

Chapitre 2

Protection des villes contre les inondations

1. Introduction

Les inondations, sont un peu comme les séismes, là où elles doivent se produire, elles se produiront. Le seul moyen de s'en protéger, c'est de bien se préparer. Cette préparation doit être envisagée selon plusieurs aspects qu'on peut regrouper sous deux volets, un volet juridico-administratif et un volet scientifique et technique.

Le premier volet concerne l'organisation à adopter et les dispositions à prendre avant, pendant et après une inondation. Le deuxième volet concerne les dispositions techniques basées sur des connaissances scientifiques à mettre en œuvre pour diminuer des conséquences des inondations.

Ces volets demandent la maîtrise de certaines notions indispensables à la compréhension des inondations et nécessaires pour élaborer des stratégies efficaces.

2. Concepts de catastrophe naturelle, d'aléa, de vulnérabilité et de risque

2.1. Catastrophe naturelle

Une catastrophe naturelle est un évènement d'origine naturelle qui se manifeste en certains endroits du globe terrestre et qui peut engendrer des pertes matérielles ou en vies humaines très importantes. Ces catastrophes provoquent de tels dégâts sur les équipements, les infrastructures ou l'environnement de sorte que toute activité économique ou sociale se trouve interrompue. Si les causes qui provoquent ces catastrophes sont d'origines purement naturelles, leurs conséquences sont très impactées par les actions de l'homme.

Les inondations font partie des catastrophes naturelles car c'est la pluie qui est la première cause de manifestation. L'importance des dégâts vient de l'occupation que fait l'homme de l'espace.

2.2. Aléa

Le mot aléa vient du latin *alea* qui veut dire jeu de dés ou de hasard. Le dictionnaire Larousse l'explique comme étant la tournure imprévisible que peut prendre un évènement souvent défavorable. Transposé aux catastrophes naturelles, l'aléa exprime la menace que

représente un évènement naturel pour une région donnée. Dans le cas où cet évènement se produit, la région subira des dommages qui peuvent être très importants.

L'aléa est caractérisé par de nombreux paramètres, on cite l'intensité, la probabilité d'occurrence (de se produire) et la localisation spatiale.

2.3. Vulnérabilité

La vulnérabilité représente la capacité des éléments physiques, sociaux, économiques ou environnementaux d'un site ou d'un milieu, exposés à un aléa de subir des préjudices ou des dommages.

La vulnérabilité face aux aléas des catastrophes naturelles réside donc dans les capacités intrinsèques des milieux touchés à résister, à se soustraire et à surmonter les conséquences de l'avènement de cet aléa. La capacité de reconstruction est une composante importante de la vulnérabilité.

La vulnérabilité consiste donc les éléments vulnérables et à évaluer les pertes de ces éléments après un évènement catastrophique. Les enjeux de la vulnérabilité sont les personnes, les biens, les activités et équipements, le milieu naturel susceptible de connaître des dommages.

2.4. Risque

On parle de risque naturel quand des populations, des constructions, des équipements, etc. (les enjeux) sont exposés aux méfaits d'une catastrophe naturelle. Si les dégâts peuvent être très importants, on parle de risque majeur. Caractériser le risque passe par l'évaluation de l'aléa et la caractérisation de la vulnérabilité. Le risque est donc une combinaison entre l'aléa et la vulnérabilité.

3. La réglementation algérienne en matière de lutte contre les inondations

La lutte contre les inondations en Algérie est abordée par la loi N° 04-20 du 25 décembre 2004 relative aux règles de prévention des risques majeurs et de gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable [10]. Cette loi traite des inondations dans la section 2. Elle paraît riche et assez complète. Néanmoins, son application concrète peut être discutable.

En plus des définitions et des qualifications, cette loi recense et détaille les actions à entreprendre pour limiter les conséquences des inondations. Elle n'aborde pas les aspects techniques mais demande à ce que tout ce qui peut atténuer les conséquences des inondations doit être soit réalisé. Qu'il s'agit de réalisations techniques, organisations administratives ou démarches scientifiques.

Dans le volet scientifique, la loi demande de développer les moyens de prévision et de quantification du phénomène et de préparer des scénarios d'impact. Un zonage concernant les zones inondables doit être élaboré. Ce zonage peut être complété par des études d'impact.

Le coté organisationnel est abordée à travers le développement des systèmes de pré-alertes et d'alertes et leurs activations aux moments opportuns et la mise en place de plans ORSEC (Organisation de la réponse de sécurité civile) à différents échelles, nationale, wilaya et communale. Ces plans ORSEC se déclenchent en fonction des alertes, celles-ci étant décidés en fonction de certains seuils de pluie.

Concernant les aménagements à réaliser pour diminuer les impacts des inondations, la loi préconise d'entreprendre de les réaliser en fonction des études réalisées sur les risques et sur la carte de zonage. La loi insiste pour que ces réalisations soient priorisées et entamées même si le phénomène reste entaché d'incertitude.

4. Procédé de protection des villes contre les inondations

4.1. Maitrise de l'urbanisation

Historiquement, la naissance des villes était souvent liée à certains facteurs comme la proximité des sources d'eau, le passage de routes commerciales, la disponibilité des ressources naturelles, etc. Avec le développement économique et social du 20^{ième} siècle, les villes se sont agrandies et cette expansion a été effectuée parfois d'une manière non planifiée où les risques naturels comme les glissements de terrains ou les inondations n'ont pas été pris en compte.



Photo 10 : Extension anarchique à Arzew[38]



Photo 11:Habitation dans le lit d'un Oued[39]

A cet effet, une des difficultés majeure qui se pose aux gestionnaires actuels est la maîtrise de l'urbanisation. Celle-ci doit s'exprimer à travers les documents d'urbanisme et les plans de prévention des risques. Ainsi, le code de l'urbanisme doit exiger la prise en compte des divers risques et notamment celui des inondations dans les documents d'urbanisme. De même, les plans locaux d'urbanisme doivent disposer de documents réglementaires permettant d'accepter ou de refuser l'urbanisation de certains sites sujets à des risques.

Ainsi, toute expansion d'une ville doit être précédée d'une étude technique concernant les divers risques auxquels cette expansion peut être exposée. Concernant les inondations, l'étude doit présenter une carte des risques et préciser les zones non urbanisables car inondables. L'étude peut donner des orientations concernant les aménagements préliminaires et nécessaires à effectuer pour diminuer le risque.

Comme mentionné dans le chapitre 1 (Tableau 3), une grande partie des inondations (20%) en Algérie est due à des aménagements inadéquats du territoire.

4.2. Maitrise du ruissellement urbain

4.2.1. Généralités

En général, les inondations dans les milieux urbains sont dues à deux situations :

- Soit à un dépassement de la capacité du réseau d'évacuation des eaux pluviales suite à des pluies qui ont généré des débits dépassant le débit avec lequel le réseau a été dimensionné. Le tableau 4 du chapitre 1 montre que 48% des inondations en Algérie sont de cette nature.
- Soit un débordement de rivière passant au travers de la ville (Sidi Bel Abbès, Béchar, Alger, etc.) suite à des crues générant des débits dépassant les capacités du lit majeur de la rivière. Là aussi, le tableau 4 du chapitre 1 montre que 44% des inondations en Algérie sont de cette typologie.

Ne parlons pas ici des interventions humaines qui peuvent parfois favoriser l'avènement de l'une ou l'autre situation. Elles seront abordées un peu plus loin.

4.2.2. Dimensionnement des réseaux d'évacuation des eaux pluviales

En général et pour des raisons économiques et d'efficacité, les réseaux d'évacuation des eaux pluviales sont dimensionnés pour des débits de projets dont la période de retour est de 10 ans. Ce dimensionnement doit être étudié d'une manière rigoureuse, surtout :

- En ce qui concerne la détermination des bassins versants relatives aux différentes conduites et leurs caractéristiques (Surface, pente et ruissellement). Une estimation erronée de ces caractéristiques conduit à un dimensionnement inadéquat.
- En ce qui concerne la détermination du débit de projet. Ce dernier dépend de la qualité des mesures des intensités des pluies et leurs représentativités. Des données insuffisantes ou non représentatives conduit à un dimensionnement inapproprié.

Ces précautions ne garantissent pas forcément que le réseau ne soit pas dépassé pendant la durée de service car rien ne peut garantir, que pendant la durée de service du réseau, une intensité de pluie qui générera un débit supérieur à celui qui a servi au dimensionnement ne surviendra, le comportement de la nature est aléatoire.

On rappelle ici que les inondations de Bab El Oued d'Alger de 2001 ont été provoquées par des intensités de pluie qui ont une période de retour d'environ 91 ans [11]. Autrement dit, il y'a une très forte probabilité pour qu'entre 2001 et 2092 (c'est loin pour des personnes mais pas pour une ville), une inondation pareille se produira, la seule parade, c'est de bien s'y préparer.

4.2.3. Entretien des réseaux d'évacuation des eaux pluviales

Les eaux pluviales quand elles ruissellent sur la voie publique, elles rejoignent les réseaux à travers des avaloirs. Or, il se trouve que la pluie en ruisselant transporte avec elle divers matières se trouvant à la surface du sol : matières solides, feuilles d'arbres, matières plastiques, etc. Ces matières obturent les regards et les conduites rendant ces derniers non fonctionnels. Il est évident que pour que cette éventualité soit évitée, il faut que les réseaux d'évacuation des eaux pluviales soit entretenus et nettoyés régulièrement. Il est recommandé à ce que ce nettoyage soit effectué au début d'automne car, c'est en ces temps, après la saison sèche de l'été que la chaussée se trouve pleine de détritrus, matières solides, etc. et que les premières pluies vont les amener au réseau. Ceci est encore plus vrai quand le bassin urbain draine une partie se trouvant en zone péri-urbaine non urbanisée. Dans ce cas, les premières pluies vont trouver un sol nu et sec facilement érodable. Ce qui fait que le transport solide sera important.

Les photos 9 et 10 ci-dessous, prises d'internet, montre l'état dans lequel se trouve les avaloirs à l'arrivée de la pluie.



Photo 12 : Des jeunes nettoyant un regard[40]



Photo 13 : Etat d'un regard avant la saison des pluies[40]

4.2.4. Favoriser l'infiltration des eaux pluviales

Le ruissellement en milieu urbain est très important car les surfaces sont en général traitées que ça soit la chaussée, les trottoirs, les terrasses, etc. (Photo 14). Une des solutions pour réduire le ruissellement est de multiplier les surfaces boisées et les espaces verts publics ou privés. Ces surfaces ont des coefficients de ruissellement faibles, ce qui favorise les infiltrations. Une autre technique actuellement très utilisée en Europe est l'utilisation pour les trottoirs et les aires de jeux un béton bitumineux poreux (Photo 15). Moyennant un dispositif de drainage souterrain adéquat, ce type de surface permet de drainer de grandes quantités d'eau. Ces surfaces permettent aussi d'éviter la stagnation et le ruissellement de l'eau de pluie.



Photo 14 : Surface favorisant le ruissellement[41]



Photo 15 : Terrain de tennis en béton bitumineux poreux[42]

4.3. Maitrise du débit des crues

4.3.1. Généralités

Comme explique auparavant, une bonne partie des inondations qui se produisent ont pour cause principale le débordement des rivières qui traversent les villes, les eaux sortent du lit majeur pour envahir les espaces environnants. Ce débordement est la conséquence de crues qui ont été générées par des pluies intenses. Quand la crue est lente, les personnes ont le temps d'évacuer les lieux et mes pertes en vies humaines se trouvent réduites. Quand la crue est rapide, le débordement l'est aussi. Les pertes matérielles et humaines sont souvent très importantes.

Pour diminuer des conséquences de ce type d'inondations, certaines mesures sont généralement prises. Ces mesures peuvent être divisées en deux catégories, celles qui traitent le cours d'eau et celles qui traitent le bassin versant.

4.3.2. Traitement des cours d'eau

a. Stabilisation des berges des cours d'eau

Les techniques végétales

Il s'agit de planter de la végétation pour stabiliser les berges à l'aide des racines (Photo 16). En comparaison avec les autres techniques et en plus d'être un procédé écologique, on peut accorder aux techniques végétales un certain nombre d'avantages :

- Régulation du cycle hydrologique (favorisation de l'infiltration et écrêtement des pointes des crues).
- Excellente intégration paysagère des ouvrages de stabilisation dans le milieu.
- Absence de perturbation dans les échanges entre le lit mineur et la nappe phréatique, à plus grande échelle entre le cours d'eau et ses zones humides et milieux annexes.
- Participation à l'autoépuration du cours d'eau par absorption d'éléments nutritifs ou polluants et filtration des apports sédimentaires.
- Résistance souple opposée aux contraintes hydrauliques, permettant de mieux dissiper l'énergie.

Cette technique a aussi quelques inconvénients. D'abord, il faut du temps aux plantations pour se développer et devenir efficace. Ensuite, il faut que les travaux soient réalisés lors de l'été ou de l'automne pour profiter du niveau bas de la rivière. Enfin, ces techniques demandent une surveillance continue.



Photo 16 : Stabilisation des berges de rivières par plantation végétale[43]

Les techniques utilisant les enrochements

Quand les pentes des berges ne permettent pas d'utiliser les techniques végétales, l'utilisation des enrochements peut être envisagée. Il s'agit ici de stabiliser les berges contre l'effondrement et contre l'érosion par le courant. Les techniques de réalisation sont multiples, elles vont du simple dépôt de grosses pierres du bas vers le haut du talus (Photo 17) aux murs par gabionnage (Photo 18).



Photo 17 : Stabilisation des berges de cours d'eau par simple enrochements[44]



Photo 18 : Stabilisation des berges de cours d'eau par murs en gabionnage[45]

Les techniques de stabilisation des berges par végétation ou par enrochements visent à dissiper l'énergie de l'écoulement et à lutter contre l'érosion des berges qui risquent de s'effondrer dans le cours d'eau et de réduire par conséquent la section du canal. Cette réduction de la section du canal provoque une augmentation de la vitesse de l'écoulement qui se traduit par une plus forte énergie qui risque d'être destructrice.

Le premier objectif de ces techniques est de garder la section de l'écoulement constante. Ce qui rejoint les objectifs du recalibrage des cours d'eau qui va être abordé ci-dessous.

b. Recalibrage des cours d'eau

Le principe du recalibrage consiste à augmenter la débitante du lit mineur en augmentant la section de l'écoulement par élargissement du lit, approfondissement de la section ou les deux à la fois. Le recalibrage des cours d'eau est probablement l'un des types d'intervention les plus fréquemment réalisés. Le principe consiste à calculer la section à donner au canal pour qu'il puisse évacuer un débit de projet donné sans débordement. Cette technique peut être utilisée en milieu urbain comme en milieu rural si les champs environnants sont sensibles aux inondations (Culture de maïs ou de céréales par exemple).

En général, le recalibrage des cours d'eau s'accompagne d'autres interventions telles que (Photo 19) :

- La rectification du lit mineur ;
- La protection des berges contre l'érosion ;
- La suppression de la ripisylve (végétation sur les rives);
- Un reprofilage du cours d'eau (point traité ci-après).



Photo 19 : Recalibrage de la section d'un cours d'eau[44]

c. Reprofilage des cours d'eau

Le reprofilage d'un cours d'eau, dit parfois redressement, consiste à uniformiser la section et la pente. Cette opération s'accompagne très souvent par la modification du profil en long en le rendant plus ou moins rectiligne et en supprimant les sinuosités (Photos 20 et 21). En plus d'être une opération qui n'est pas très écologique, le reprofilage d'un cours doit être effectué avec précaution quand il s'agit de lutter contre les inondations, car la

rectification du tracé en long fait que l'eau trouve plus de facilité pour s'écouler. Au lieu donc d'être une opération de lutte contre les inondations, elle peut être un facteur favorisant les inondations.



Photo 20 et 21 : Recalibrage et reprofilage de Oued Boumerzoug (Constantine) [46]

Dans le cadre de la lutte contre les inondations, le reprofilage du cours d'eau doit être envisagé dans un cadre plus global dans lequel le traitement du bassin est partie intégrante de l'opération.

d. Les épis

Un épi est un talus en enrochement ou tout autre matériau (Photo 22) de faible hauteur, enraciné à la berge et établi transversalement par rapport au cours d'eau. Il constitue un obstacle à l'écoulement de l'eau et sont utilisés pour stabiliser les berges contre l'érosion provoquée par les courants. Dans le cadre de la lutte contre les inondations, ils n'ont que peu d'effet. Leur contribution reste limitée à la diminution de l'intensité du courant en absorbant une partie de son énergie.



Photo 22 : Epi en tronc d'arbre dans un courant d'eau[47]

4.3.3. Traitement des bassins versants

a. Reboisement et végétalisation des bassins versants

Le reboisement et la végétalisation des bassins versants ont été étudiés surtout pour réduire le transport solide qui remplit les retenues d'eau et réduit leurs capacités de stockage. Les sols nus sont très fragiles par rapport à l'érosion due au ruissellement de l'eau de pluie. Les particules du sol ne trouvent pas à quoi s'accrocher (Photo 23) et vont être charriées et s'accumuler au fond des retenues.



Photo 23:Sol nu favorable à l'érosion [48]

Concernant l'intérêt du reboisement dans la lutte contre les inondations, il est évident que l'augmentation des zones boisées à l'échelle d'un bassin versant est théoriquement profitable concernant la gestion des crues. En effet, les forêts augmentent l'interception de l'eau au niveau des feuilles, des branches et sur le tronc des arbres. La présence de zones boisées permet aussi une augmentation locale de la rugosité du terrain, le ruissellement est alors légèrement réduit. L'impact du reboisement et de la végétalisation sur les crues n'est pas très significatif [12].

b. Banquette antiérosive

Les banquettes antiérosives ont été utilisées dans le cadre de lutte contre l'érosion des bassins versants, le principe étant de réduire la vitesse du ruissellement. Cette technique a été utilisée en Algérie depuis un certain temps. Elle est un peu plus efficace que la technique du reboisement quand il s'agit de lutter contre les inondations car les tranchées retiennent l'eau et retardent son ruissellement. La plus part du temps, cette technique est accompagnée par du reboisement (Photo 24).



Photo 24: Banquettes antiérosives[49]

Dans les petits torrents à forte déclivité, des petits barrages successifs peuvent être réalisées. Ces petits ouvrages peuvent être construits en bois, en enrochements ou en gabions (Photo 25).

Ces structures bloquent les sédiments, freinent le rythme du courant, canalisent les eaux pluviales et stabilisent les terrains.



Photo 25: Banquettes de correction torrentielle en gabions[50]

4.3.4. Utilisation de digues ou de barrages

Une digue est un remblai longitudinal qui peut être réalisé en divers matériaux selon les disponibilités locales mais le plus souvent en terre.

Chapitre 2 **Protection des villes contre les inondations**

Une digue peut agir de trois façons différentes, elle peut empêcher le passage de l'eau en retenant celle-ci en dehors de la zone protégée. Il s'agit dans ce cas d'une digue de protection. Elle peut canaliser le flux d'eau vers une zone non protégée pour éviter l'inondation dans la zone protégée. Elle peut aussi contenir l'eau dans une zone tampon située en amont pour réduire l'inondation en aval. Dans ce cas, il peut s'agir d'un barrage).

Dans le domaine de la lutte contre les inondations, la digue a pour rôle de faire obstacle à l'écoulement pour protéger les zones potentiellement inondables. Dans ce cas, on peut être en présence de :

- Digue de protection : Ce sont des digues dont le rôle est de contenir les eaux à l'amont et de les empêcher d'atteindre les terres à l'aval qui sont potentiellement inondables. Ce type de digue est réalisé pour lutter surtout contre les inondations marines ;
- Digue de dérivation : dite aussi digue de rivière canalisée dont l'objectif est de contenir les eaux dans une emprise choisie par les concepteurs ;
- Digue écrêteur de crues : Ce sont des digues dont l'objectif principal est d'écrêter les crues, c'est-à-dire diminuer le débit maximal de la crue. Vide au départ, cette digue stocke les eaux de la crue, une fois remplie, elle laisse passer l'excédent.

Sur la photo 22 ci-dessous est donnée la digue d'El Himeur, réalisée pour protéger la vallée du M'zab contre les inondations. Elle a une capacité de stockage de 22 Millions de mètres cubes.



Photo 26 :Digue d'El Himeur pour protéger la vallée du M'zab[51]

Il faut noter que les digues réalisées en terre ne supportent pas la submersion. C'est pourquoi, ces digues, si elles sont prévues pour protéger une zone, elles doivent être rigoureusement étudiées car s'il arrive qu'elles cèdent, les dégâts seront encore plus élevés.

Chapitre III :
Dimensionnement des
réseaux d'évacuation
des eaux pluviales

Chapitre 3

Dimensionnement des réseaux d'évacuation des eaux pluviales

1. Introduction

L'assainissement des agglomérations tel qu'on le comprend actuellement a pour objet d'assurer la collecte puis l'évacuation de l'ensemble des eaux usées et pluviales et leur rejet dans des exutoires naturels. Si au début les contraintes réglementaires étaient minimales, de nombreuses lois et directives sont venues ensuite introduire des règles et des normes pour encadrer ce domaine, car un réseau d'assainissement mal conçu, mal dimensionné ou mal exploité risque d'être à l'origine de certaines nuisances (bruits, insectes, odeurs, pollutions, etc.).

Le rejet des eaux usées dans la nature sans contrôle peut entraîner une pollution aussi bien les sols que les cours d'eau ou les nappes phréatiques.

Ce projet est centré sur les réseaux d'évacuation des eaux pluviales car c'est dans l'optique de la protection des villes contre les inondations que ce travail est mené. C'est pour cette raison que les méthodes de calcul de ces réseaux sont données dans ce chapitre. Les éléments nécessaires pour l'application de ces méthodes sont abordés avec le maximum de précision possible.

Dans ce travail, nous nous intéressons uniquement aux réseaux des eaux pluviales. Néanmoins, nous présentons aussi les réseaux d'assainissement des eaux usées d'origine domestique car souvent ces réseaux sont traités avec les réseaux d'évacuation des eaux pluviales.

2. Les origines des eaux usées :

2.1. Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques sont les eaux issues de la consommation des ménages. On les sépare généralement en deux catégories. Les eaux grises sont composées des rejets des cuisines, des salles de bains, des machines à laver, de l'entretien et du nettoyage des sols, etc. Les eaux vannes ou eaux noires sont celles qui proviennent des rejets des toilettes. Les

premières sont chargées surtout de produits de détergents alors que les secondes sont chargées surtout de matières fécales.

Le débit des eaux usées domestiques dépend de la consommation journalière du ménage. Ce débit est plus ou moins durant l'année.

2.2 Les eaux pluviales ou de ruissellement :

Ces eaux proviennent du ruissellement de la pluie et des eaux de lavage des voies publiques. Ces eaux sont chargées des déchets minéraux et organiques qu'elles rencontrent sur les champs, les terrains ou la voie publique et qu'elles charrient avec elles pour les amener jusqu'au réseau.

Le débit de ces eaux est très variable dans l'année. Il peut être très important en période pluvieuse, notamment lors des orages, et nul pendant la saison sèche.

2.3. Les eaux industrielles :

Les eaux industrielles proviennent des rejets des usines. En principe, leurs rejets dans le réseau public sont soumis à des autorisations préalables. En effet, ces eaux peuvent être porteuses de pollution chimique très importante et dont les stations de traitement classique ne sont pas doter de moyens pour les éliminer. Dans le cas où les autorisations leurs sont accordées, ils ont pour devoir de :

- Soit éliminer les éléments toxiques contenus dans leurs rejets,
- Soit neutraliser au moins ces éléments toxiques.

Pour les débits de ces eaux, ils dépendent du type de l'industrie installée. Ces débits sont plus ou moins maîtrisés.

3. Systèmes d'évacuation :

En assainissement, il existe trois principaux types de systèmes d'évacuation :

- **Le système unitaire :** Ce système collecte les eaux usées et pluviales dans une seule canalisation. Il est généralement plus économique mais a quelques inconvénients comme par exemple le dépassement de la capacité des stations de traitement lors des orages, la remontée des eaux usées en surface en cas de dépassement de la capacité du réseau, etc.
- **Le système séparatif :** Ce système collecte les eaux usées et pluviales dans des conduites différentes. Il est généralement plus cher que le réseau unitaire. Il a comme principal avantage de ne pas acheminer les eaux pluviales à la station de traitement.

- **Le système pseudo-séparatif:** C'est un système séparatif particulier dans lequel les eaux pluviales des toitures et des cours des habitations sont rejetées dans le réseau des eaux usées domestiques. Ces eaux permettent de nettoyer le réseau des détritiques qui auront pu s'accumuler lors de la saison sèche. Le réseau d'eaux pluviales reçoit uniquement les eaux qui ruissellent sur les chaussées et trottoirs.

Il faut noter que dans les agglomérations, on trouve souvent des schémas de réseaux hybrides combinant parfois deux ou trois systèmes. Cette complexité du réseau est due aux divers branchements et extensions qui se sont effectuées dans le temps quand la ville s'est agrandie.

4. Choix du système d'assainissement :

Le choix d'un schéma du réseau d'évacuation à adopter dépend de nombreux paramètres. Le premier paramètre dont dépend ce choix est le coût des investissements initiaux et des frais d'entretien. On peut néanmoins énoncer les deux règles générales suivantes :

- Le réseau séparatif convient aux agglomérations de faibles pentes et de fortes pluies.
- Le réseau unitaire convient aux agglomérations disposant de fortes pentes et de faibles pluies
- On peut ajouter le cas, quand il est possible d'avoir plusieurs points de rejets, les réseaux de type séparatif peuvent être préférés.

5. Evaluation des débits d'eau usée

5.1. Généralités

En général, les réseaux d'évacuation des eaux usées d'origine domestique ou pluviales sont prévus pour évacuer des débits dits de projet. Sur les principes, ces débits sont évalués par des procédés différents. Les eaux usées d'origine domestique sont déterminés en cherchant un maximum journalier. Ce maximum est à lier avec la variation de la consommation de l'eau potable pendant la journée. Par contre, pour le débit des eaux pluviales, il est déterminé sur la base d'études statistiques elles-mêmes liées à des périodes de retour.

5.2. Eaux usées domestique :

5.2.1. Débit moyen journalier

Le débit moyen journalier des eaux usées domestiques rejetées dans une conduite du réseau est calculé sur la base de la consommation moyenne journalière en eau potable de la population branchée à cette conduite. Ce débit est obtenu au moyen de la formule suivante :

$$Q_{moy,j} = \frac{K_r \cdot D \cdot N}{86400} \text{ (l/s)}$$

Dans cette formule, K_r est un coefficient qui représente le pourcentage des eaux rejetées dans le réseau par rapport celles fournies. Ce coefficient varie en 0,8 et 1. On estime qu'une partie des eaux potables fournies et consommées n'est pas rejetées dans le réseau d'assainissement, arrosage par exemple.

Dans cette même formule, D représente la dotation en eau potable par personne et par jour en litres par jour. Cette dotation varie d'un pays à un autre. En Algérie par exemple, les réseaux sont calculés pour une dotation de 150 litres par jour par personne. Le paramètre N représente le nombre la population totale branchée à la conduite. Le chiffre 86400 est un chiffre qui permet la conversion entre le jour et la seconde.

On peut rencontrer dans certains documents une formule écrite différemment mais qui est totalement équivalente à celle-ci. Cette formule s'écrit :

$$Q_{moy,j} = K_r \cdot D \cdot T_O \cdot N_H$$

Dans cette formule, K_r et N représentent les mêmes paramètres que ceux de la première la formule. T_O représente le taux moyen d'occupation des habitations (nombre moyen de personnes par logement ou par maison), il dépend des pays. N_H est le nombre d'habitations raccordées à la conduite.

L'équivalence entre les deux formules se situe dans légalité ci-dessous :

$$N = T_O \cdot N_H$$

Dans la seconde formule, la conversion est implicite, c'est-à-dire qu'elle est à effectuer dans les calculs puisque les résultats doivent être exprimés dans des unités équivalentes.

5.2.2. Débit de pointe

Le débit de pointe, qui est le débit de projet, est calculé en déterminant un coefficient de pointe K_p par la formule suivante :

$$K_p = 1,5 + \frac{1}{\sqrt{Q_{moy,j}}}$$

Il faut noter deux points concernant le coefficient K_p :

- Le débit moyen journalier $Q_{moy,j}$ est introduit dans la formule en litres/seconde,
- Le coefficient K_p ne doit pas dépasser 4. C'est-à-dire que, dans les calculs, quand on trouve des valeurs de K_p inférieures ou égales à 4, on prend ces valeurs en compte. Quand on trouve des valeurs de K_p supérieures à 4, on prend $K_p = 4$.

Le débit de pointe ou le débit de projet est obtenu par :

$$Q_p = K_p \cdot Q_{moy,j}$$

6. Évaluation des débits d'eaux pluviales

6.1. Généralités

Les réseaux d'évacuation des eaux pluviales sont sensés évacuer les eaux de ruissellement de la pluie qui tombe sur un bassin. Les quantités de pluie qui tombent sur le bassin varient dans le temps. Pour dimensionner donc un réseau d'évacuation des eaux pluviales, il faut disposer de séries des intensités de pluies de la région. Plus de détails seront donnés lors du calcul de ce type de réseau.

En général, deux méthodes sont les plus utilisées pour l'évaluation de ce débit :

- La méthode rationnelle,
- La méthode superficielle.

6.2. La méthode rationnelle

C'est la méthode la plus élémentaire pour calculer un débit généré par une pluie sur un bassin. Elle s'exprime sous la forme :

$$Q_p = C_r \cdot i \cdot A$$

Cette méthode est recommandée pour des bassins de surface inférieure à 10 hectares.

Les différents paramètres de cette formule sont :

- C_r est le coefficient de ruissellement.
- i est l'intensité de la pluie,
- A est la surface du bassin drainé par la conduite.

Très souvent, la formule de la méthode rationnelle est présentée avec un coefficient de conversion. Ce coefficient est donné en fonction des unités avec lesquelles l'intensité de la pluie et la surface du bassin sont exprimées. A notre sens, il vaut mieux laisser la formule telle que proposée initialement et d'utiliser les données avec des unités S.I., ce qui donneraient forcément des résultats exprimés en unités S.I.

6.2.1. Coefficient de ruissellement

Le coefficient C_r , est un chiffre sans dimension, il correspond à la proportion des eaux qui ruissellent à la surface du sol par rapport à la quantité totale de l'eau qui tombe sous forme de pluie. Il est égal à 0 si toute l'eau tombée du ciel est absorbée par le sol. Il est égal à 1 si toute l'eau tombée du ciel ruisselle à la surface du sol. La plus part du temps, ce coefficient est compris entre 0 et 1 et il est à rechercher dans des tables.

Si la surface d'un bassin n'est pas homogène, ce qui est souvent le cas, le coefficient de ruissellement moyen ou équivalent est obtenu au moyen de la formule suivante :

$$C_{r,eq} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} C_{ri} \cdot A_i}{A}$$

Dans cette formule, C_{ri} est le coefficient de ruissellement relatif à la surface A_i , cette dernière étant une portion de la surface totale A du bassin. La somme des A_i donne la surface totale A du bassin.

Tableau 5 : Coefficients de ruissellement en fonction des différents types de sols [52]

Type de surface	Coefficient de ruissellement (Cr) compris entre
Zone d'activités tertiaires centres villes autres	0,70 / 0,95 0,50 / 0,70
Zone résidentielle pour 1 pavillon ensemble de pavillons détachés ensemble de pavillons attachés	0,30 / 0,50 0,40 / 0,60 0,60 / 0,75
Zone industrielle	0,50 / 0,90
Cimetières - Parcs	0,10 / 0,25
Zone de jeux	0,25 / 0,35
Rue et trottoirs asphalte béton pavé	0,95 0,95 0,85
Pelouse (sol sablonneux) pente < 2 % 2 % < pente < 7 % pente > 7 %	0,05 / 0,10 0,10 / 0,15 0,15 / 0,25
Pelouse (sol terreux) pente < 2 % 2 % < pente < 7 % pente > 7 %	0,13 / 0,17 0,18 / 0,22 0,25 / 0,35

6.2.2. Intensité de la pluie

L'intensité de pluie représente la quantité de pluie qui tombe pendant une durée de temps précise. Elle est souvent exprimée en mm/h.

En général, ce n'est pas la pluie qui provoque les inondations mais c'est l'intensité de la pluie qui en est responsable. En fait, c'est une pluie qui tombe pendant une certaine durée et qui génère un ruissellement qui dépasse la capacité du réseau à l'évacuer sans débordement sur la chaussée.

En fait, l'intensité de pluie est variable en fonction du temps et pour protéger une zone, il faut déterminer l'intensité de pluie qui risque de se produire pendant une certaine durée et qui peut provoquer des inondations. Ceci est réalisé à l'aide des outils de la statistique.

Pour calculer le débit qui correspond à une certaine intensité elle-même liée à une période de retour, on utilise la formule de Montana qui s'écrit :

$$i(t_c, T) = \frac{a}{t_c^b} = a \cdot t_c^{-b}$$

Dans cette formule, t_c est le temps de concentration, a et a sont les paramètres de la loi de Montana. Ils sont déterminés à l'aide des outils de la statistique et ce sont ces paramètres qui sont liés à la période de retour. Cette période de retour est fixée en fonction de la protection qu'on souhaite se donner. Pour des raisons technico-économiques, cette période est généralement fixée à 10 ans.

6.2.3. Temps de concentration

Le temps de concentration d'un bassin est défini comme étant le temps mis par la pluie tombée du point le plus éloigné pour atteindre l'exutoire du bassin versant. C'est un paramètre très important et en même temps très difficile à déterminer. Il existe de nombreuses formules dans la littérature. Ces formules donnent le temps de concentration en fonction de certains paramètres du bassin dont la surface (A), la pente (I), la longueur du talweg ou du chemin hydraulique (L) et le coefficient de ruissellement (C).

Parmi ces formules, on a noté :

- La formule de Kiprich :

$$t_c = 0,0195 \cdot L^{0,77} \cdot I^{-0,385}$$

Cette formule est adaptée pour des bassins dont les sols sont argileux, la superficie comprise entre 0,4 et 80 hectares et la pente comprise entre 3% et 10%. La pente est calculée sur le parcours L entre les altitudes se trouvant à 10% et 85% de l'exutoire

Concernant les dimensions des différentes variables, L est en m, I en m/m et t_c en min.

- La formule de Ventura :

$$t_c = 7,62 \sqrt{\frac{A}{I}}$$

A est en km^2 , I en m/m et t_c en min.

- La formule de Passini :

$$t_c = 7,62 \sqrt{\frac{A}{I}}$$

A est en km^2 , I en m/m et t_c en min.

- La formule de Giandotti :

$$t_c = 0,14 \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{I}}$$

A est en ha, L en m, I en m/m et t_c en min.

- La formule de Turazza :

$$t_c = 65,1\sqrt{A}$$

A est en km² et t_c en min.

Ces formules ont été dans leur majorité établies pour des bassins ruraux. Pour des bassins urbains, les formules suivantes sont recommandées :

- La formule de Shaake et Geyer :

$$t_c = 1,75L^{0,24} \cdot I^{-0,16} \cdot C^{-0,26}$$

Dans cette formule, L est en m, I en m/m, C sans dimension et t_c en min.

- La formule de Desbordes :

$$t_c = 6,624A^{0,3} \cdot I^{-0,38} \cdot C^{-0,45}$$

A est en ha, I en %, C sans dimension et t_c en min.

6.2.4. Loi de Montana

Plusieurs formules ont été développées pour représenter l'évolution de l'intensité de la pluie en fonction de sa durée. La loi de Montana est souvent utilisée. Cette loi empirique fournit, pour un site donné, l'intensité moyenne de la pluie sur la durée t en fonction de deux paramètres a et b obtenus par cet ajustement selon la formule suivante :

$$i(t_c, T) = \frac{a}{t_c^b}$$

a et b sont les paramètres de la loi de Montana déterminés par des ajustements statistiques.

Pour un bassin versant donné, la pluie la plus défavorable est celle qui tombe pendant une durée égale au temps de concentration. Donc, l'intensité la plus défavorable est :

$$i(t_c, T) = \frac{a}{t_c^b}$$

a et b dépendent de la période de retour fixée, on préfère écrire cette relation sous la forme :

$$i(t_c, T) = \frac{a(T)}{t_c^{b(T)}}$$

6.3. La méthode superficielle

La méthode superficielle ou méthode de Caquot est une issue de la méthode rationnelle. Elle s'affranchit de la détermination du temps de concentration. La formule proposée est la suivante :

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

Dans cette équation, le débit Q est en m^3/s , la pente I est en m/m , C sans unité et A en hectares. Les paramètres K, u, v et w sont en fonction des coefficients a et b de la loi de Montana, ces derniers dépendent de la période de retour T .

Ces paramètres sont donnés par les formules suivantes :

$$K = \frac{a(T) \cdot 0,501^{b(T)}}{6,6}$$

$$u = 1 + 0,287b(T)$$

$$v = -0,41b(T)$$

$$w = 0,95 + 0,507b(T)$$

La méthode superficielle est valable pour :

- La surface du bassin ou groupement de bassins ≤ 200 hectares ;
- Pente comprise entre $0,0002 \leq I \leq 0,05$;
- Coefficient de ruissellement $0,2 \leq C \leq 1$;
- Coefficient d'allongement $M \geq 0,8$;

Les formules des différents paramètres ont été établies pour un coefficient de forme M égal à 2. Ce coefficient est donné par :

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

Les paramètres L et A doivent être utilisés avec des unités de telle façon à obtenir un coefficient de forme sans dimension.

Si le coefficient de forme du bassin est différent de 2, le débit est corrigé par un facteur correcteur m :

$$m = \left\{ \frac{M}{2} \right\}^{0,7b(T)}$$

7. Calcul hydraulique d'un réseau d'évacuation des eaux pluviales

7.1. Conditions d'écoulement et de dimensionnement

Dans les réseaux d'assainissement des eaux usées ou d'évacuation des eaux pluviales, L'écoulement doit toujours être gravitaire. La topographie des lieux joue un rôle primordial dans la conception de ce type de réseaux. Une fois conçu et réalisé, le réseau doit être en mesure d'assurer un écoulement minimum pour éviter le dépôt de particules solides et débris dans les conduites et qui peuvent les boucher. Ceci est vérifié à l'aide de conditions sur les vitesses.

Ces conditions sont :

- Une vitesse d'au moins 0,6 m/s pour le un dixième (1/10) du débit de pleine section.
- Une vitesse d'au moins 0,3 m/s pour le un centième (1/100) du débit de pleine section.

Si ces vitesses ne sont pas assurées,

1. Il faut jouer d'abord sur les diamètres. Si aucun diamètre ne permet d'assurer ces conditions,
2. Il faut voir si une augmentation légère de la pente ne permet pas de garantir ces conditions,
3. En dernière solution, il faut prévoir des chasses et des curages réguliers pour nettoyer les conduites en début des saisons pluvieuses.

A l'opposé des considérations relatives à l'auto-curage, le souci de prévenir la dégradation des joints sur les canalisations circulaires et leur revêtement intérieur, les vitesses d'écoulement doivent de même respecter des limites supérieures admissibles.

Il est déconseillé de dépasser des vitesses de l'ordre de (4 à 5) m/s à pleine section. On peut accepter des vitesses atteignant 6 m/s pour les canalisations en béton ordinaire.

Si la pente du terrain est trop forte, il y'a lieu d'aménager des décrochements dans le profil en long des ouvrages par l'introduction des regards des chutes.

7.2. Méthode du calcul :

Pour le dimensionnement du réseau, on utilise la relation de Chezy relative aux écoulements à surface libre et qui s'écrit :

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

Avec : C le coefficient de Chezy, R_h le rayon hydraulique et I la pente.

Le rayon hydraulique est défini par :

$$R_h = \frac{S_m}{P_m}$$

Le rayon hydraulique R_h a une dimension de longueur.

S_m et P_m sont respectivement la surface mouillée et le périmètre mouillé de la conduite.

Pour le coefficient de Chezy, il dépend des caractéristiques de la conduite et du rayon hydraulique. Deux formules sont disponibles :

- Formule de Manning-Strickler

La formule proposée par Manning-Strickler s'écrit :

$$C = K \cdot R_h^{1/6} = \frac{R_h^{1/6}}{n}$$

n et K sont respectivement le coefficient de Manning et de Strickler. Ils sont liés par la relation suivante :

$$n = \frac{1}{K}$$

En injectant la relation de Manning-Strickler dans la relation de Chezy, on obtient :

$$V = K \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Pour garder la formule de la vitesse homogène en dimension, K s'exprime en $[m^{1/3}/s]$. Le tableau suivant donne quelques valeurs usuelles de ce paramètre.

Tableau 6 : Valeurs usuelles du coefficient de Strickler.

Nature des parois	K (m ^{1/3} /s)
Béton lisse	75-90
Canal en terre, non enherbé	60
Canal en terre, enherbé	50
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	35-40
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	10-15
Lit majeur en prairie	20-30
Lit majeur en vigne ou taillis	10-15
Lit majeur urbanisé	10-15
Lit majeur en forêt	< 10

- Formule de Bazin

Bazin propose une formule un peu plus complexe :

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

γ est le coefficient de rugosité de Bazin. Il vaut 0,25 pour les eaux usées et 0,46 pour les eaux pluviales.

L'avantage de la formule de Bazin est qu'avec un calcul approché, la formule de Chezy devient plus simple à utiliser puisqu'elle s'écrit :

$$V = 60 \cdot R_h^{3/4} \cdot I^{1/2}$$

Lors des déterminations des vitesses pour vérifier les conditions d'autocurage, les formules donnant le rayon hydraulique sont complexes lorsque le niveau de l'eau dans les conduites est à des hauteurs quelconques. Ce calcul devient aisé en utilisant l'abaque ci-dessous.

Cet abaque donne la vitesse et le débit d'écoulement dans une conduite en fonction du niveau de l'eau dans la conduite et en fonction de la vitesse ou le débit pleine section.

Pour une conduite de diamètre D , le rayon hydraulique vaut :

$$R_h = \frac{D}{4}$$

$$V = 60 \cdot R_h^{3/4} \cdot I^{1/2}$$

$$V_{PS} = 60 \cdot \frac{D^{3/4}}{4^{3/4}} \cdot I^{1/2}$$

$$Q_{PS} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} V_{PS}$$

En ayant la hauteur h de l'eau dans la conduite, on peut calculer le rapport :

$$r_h = \frac{h}{D}$$

On se place sur l'axe vertical à cette valeur et on projette sur la courbe de la vitesse ou du débit. Des courbes de la vitesse ou du débit, on projette sur l'axe vertical. Là, on lit les rapports :

$$r_v = \frac{V_h}{V_{PS}}$$

$$r_Q = \frac{Q_h}{Q_{PS}}$$

La vitesse ou le débit à la hauteur h sont calculés par :

$$V_h = r_v \cdot V_{PS}$$

$$Q_h = r_Q \cdot Q_{PS}$$

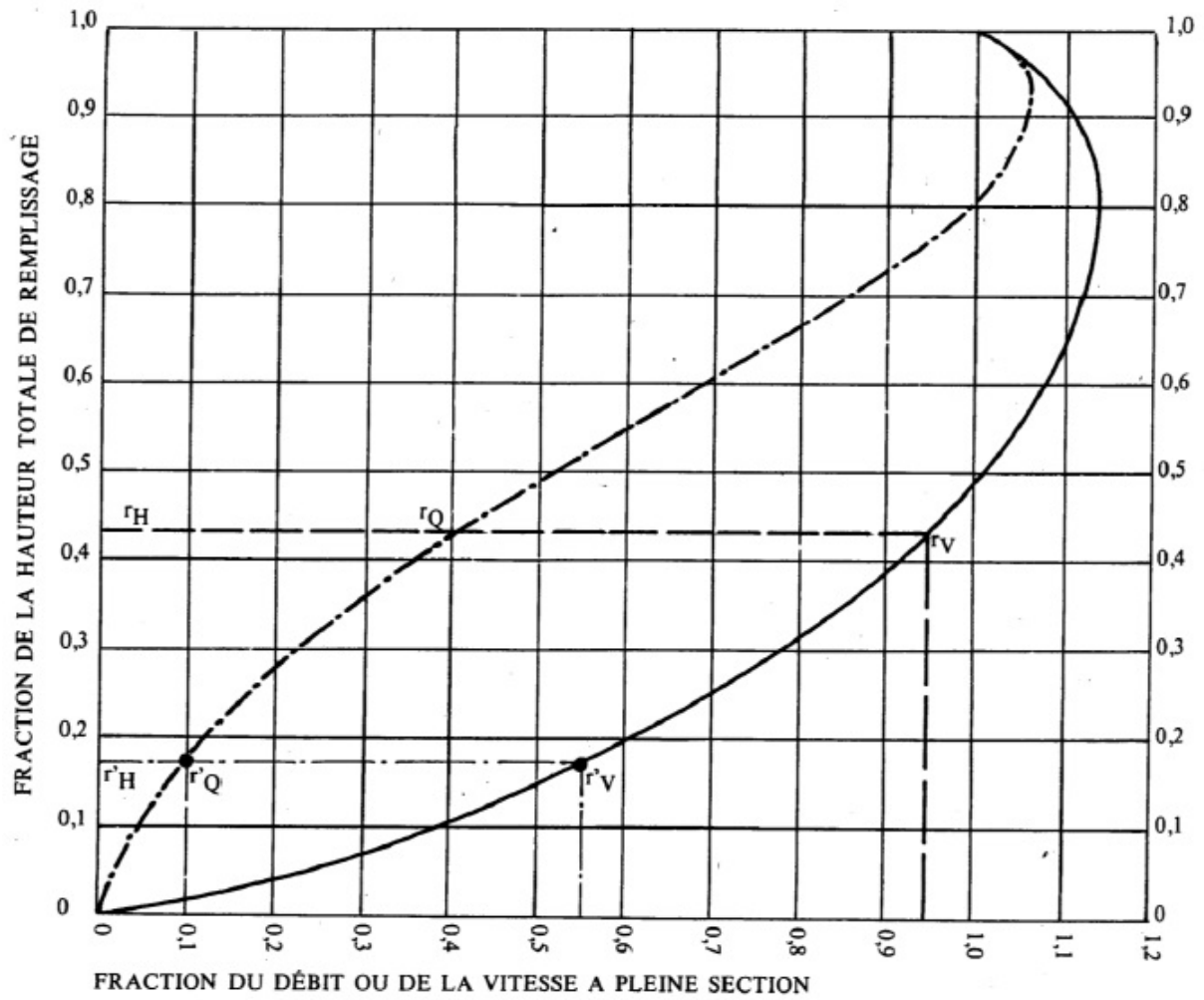


Figure 5 : Vitesse et débit en fonction du taux de remplissage.

Chapitre IV :
Dimensionnement du
réseau d'évacuation
des eaux pluviales de
la ville de Maghnia

Chapitre 4

Dimensionnement des réseaux d'évacuation des eaux pluviales de la ville de Maghnia

1. Introduction

Comme précisé dans les précédents chapitres, ce projet concerne la problématique des inondations des villes par dépassement des capacités d'évacuation des réseaux des eaux pluviales. La ville de Maghnia a été choisie pour l'application de la méthodologie de dimensionnement de ce type de réseau. Le choix de cette ville a été conditionné par le fait que cette dernière a connu des inondations à répétition depuis quelques temps. En plus de ça, nous disposons de quelques données climatologiques, bien que anciennes, mais qui nous serviront pour appliquer notre méthodologie.

Il faut aussi noter que vu les difficultés d'obtenir des données de terrain, les cartes utilisées ont été tirées de sites internet.

2. Présentation de la ville de Maghnia

2.1 Historique de la ville

La ville de Maghnia est située à l'extrême Nord-Ouest du pays, à 13 km de la frontière algéro-marocaine. Le site a été habité depuis l'antiquité. Des vestiges datant de 25 000 à 10 000 ans avant notre ère ont été retrouvés dans le voisinage. De même, des vestiges datant de l'ère romaine ont été mis à jour lors de la rentrée des français dans la région en 1943. En fait, les romains y avaient régné entre le III^{ème} et le V^{ème} siècle. Ils y avaient installé une garnison militaire pour surveiller la région. Le nom qui revenait dans les inscriptions retrouvées est « NUMERUS SYRORUM », « SYRORUM » ou simplement « SYR ». Avant l'arrivée des français, la localité servait surtout de lieu de rencontre des tributs de la région, en majorité nomades, pour commercer entre eux.

Les français s'installent définitivement en 1944 en construisant un fort et un hôpital militaire sur les ruines du fort romain. Ils donnèrent au lieu le nom de LallaMaghnia, devenu Maghnia avec le temps, nom d'une sainte, chef de Zaouia, qui de retour du pèlerinage et voyant sa fin proche désigna le lieu où elle souhaitait être enterrée. A sa mort, un mausolée fut construit, il y est toujours.

La ville est devenue célèbre surtout pour avoir enfanté le premier président de l'Algérie indépendante et pour avoir aussi été le lieu de la signature du traité entre la France occupante

et le Maroc le 18 mars 1845 qui fixa la frontière entre le Maroc et l'Algérie française de l'époque.



Photo 27 : Mausolée de Lalla Maghnia

2.2 La ville de Maghnia actuellement

A l'indépendance, la ville était constituée principalement du centre (1) habité par la population coloniale et les quartiers périphériques de Matemor (7) à l'est et de l'abattoir au sud-est habités par les autochtones. Après l'indépendance, la ville s'est étendue principalement vers l'ouest où la topographie est favorable. Des quartiers plus ou moins organisés comme cité Haddam (2), cité Cadi (3) ou El Brigui (4) sont nés. Des quartiers spontanés sont nés au fur et à mesure de l'évolution de la ville accompagnée d'un fort exode rural. Ainsi, sont nés des quartiers comme Gradate (9), Chaaba, OuledBendamou (8), OuledBensaber, Hay Omar (6), etc.

Les autorités municipales ont pris part à l'agrandissement de la ville en organisant des lotissements dans le cadre de l'auto-construction. Ainsi, des quartiers comme l'Abattoir djedid, Matemordjedid (numéro5 sur la photo 28), Hay IbnSina, Hay Messali El Hadj ont vu le jour.



Photo 28 : Aperçu sur la ville de Maghnia (google earth)

La ville compte actuellement une population de l'ordre de 100 000 (\pm 87 000 en 2008). Elle est caractérisée par de fortes pentes principalement dans le centre-ville, le quartier Matemor, Matemor -Djedid, Gradate, Chaaba, Hay Ibn Sina et Messali El Hadj car ces quartiers ont été érigés sur les flancs de collines. Dans ces quartiers et dans le cas de fortes pluies, le ruissellement peut être à forte vitesse. Par contre des quartiers comme cité Haddam, cité Cadi, El Brigui sont caractérisés par des pentes faibles car ils ont été en majorité érigés sur des terres agricoles planes. Dans ces quartiers, c'est l'évacuation des eaux de pluies qui risquent de se poser pour défaut de pente.

La ville dispose des points de rejet naturels constitués par Oued Ouardefou qui longe la ville du côté Sud. Actuellement, la ville est en train de s'étendre de part et d'autre de cette rivière. Ce qu'il faut noter, c'est que si cette rivière coulait dans le temps, à cause des sécheresses des années passées, elle est actuellement juste le réceptacle des eaux usées de la ville.

2.3 Climatologie de la ville de Maghnia

Bien que se trouvant à une distance raisonnable de la mer, le climat qui règne sur la ville est du type aride à semi-aride caractérisé par un été chaud et un hiver froid avec une pluviométrie relativement faible. En effet, la zone d'étude présente un climat méditerranéen avec une pluviométrie moyenne de l'ordre de 350mm à 400mm par an. La période la plus arrosée s'étale de Novembre à Avril avec 80% des précipitations totales et 48 jours de pluies. En hiver, la température moyenne oscille autour de 10°C avec un minimum de 6°C. En été par contre, la température moyenne est de l'ordre de 30°C, avec des températures oscillant entre 24°C et 30°C, exceptionnellement maximales de l'ordre de 40°C. Ces constatations sont confirmées par les figures ci-.

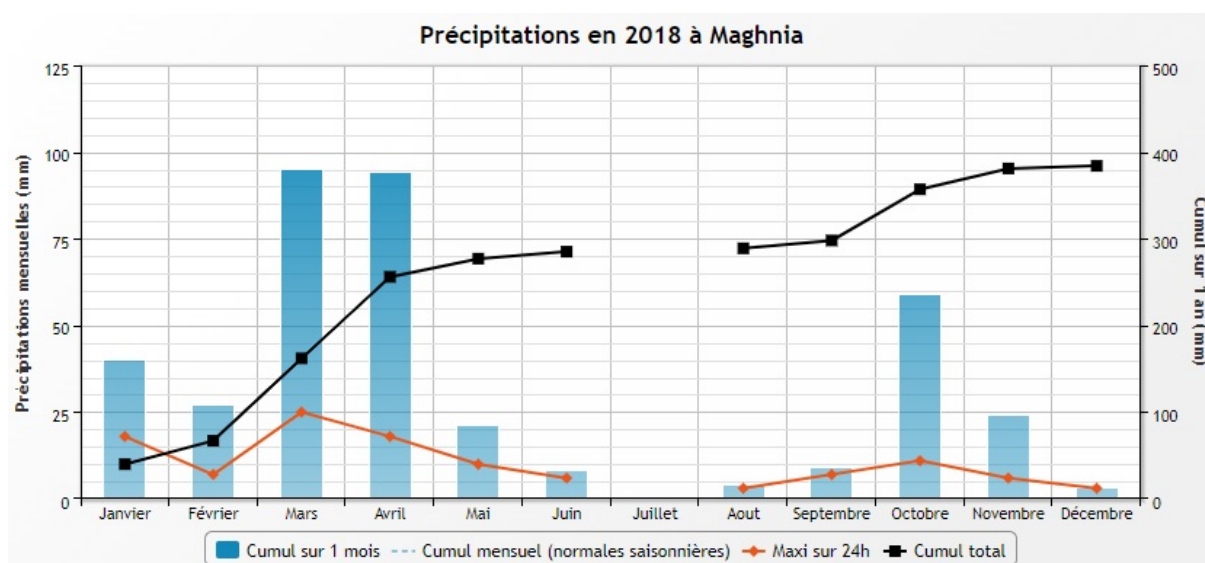


Figure 6 : Précipitations enregistrées à Maghnia en 2018[53]

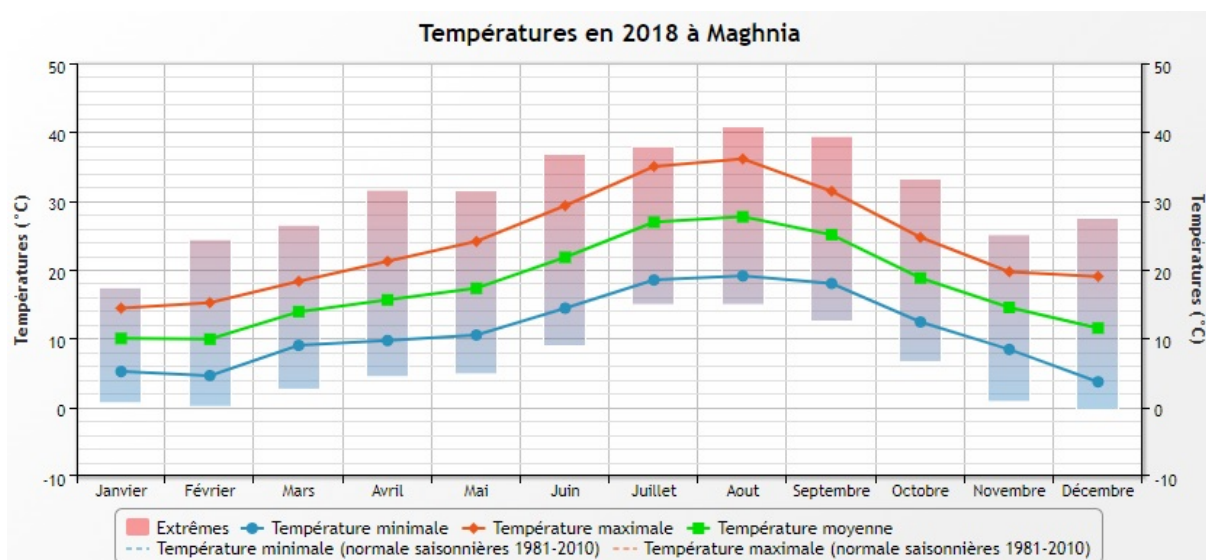


Figure 7 : Températures enregistrées à Maghnia en 2018[53]

2.4. Aspects socio-économiques de la ville de Maghnia

La région de Maghnia a une vocation agricole vue la disponibilité des terres fertiles dans la région. Avec la sécheresse qui s'est installée dans la région, cette activité a décliné. Pour diversifier les activités économiques, les autorités l'ont doté d'une première zone industrielle vers la fin des années 70 et des unités industrielles ont été installées. Une deuxième zone industrielle a été créée récemment. Pour le volet touristique, la région dispose de deux stations thermales, Hammam Chiguer et Hammam Boughrara.

Une annexe de l'Université de Tlemcen installée dans la ville a été élevée récemment en centre universitaire et la daïra de Maghnia a été récemment élevée en Wilaya déléguée.

3. Dimensionnement d'un réseau d'évacuation des eaux pluviales

3.1. Introduction

A cause des difficultés rencontrées dans l'obtention des données de terrain, seule une partie de la ville a été choisie pour être traitée dans cette étude. Cette partie sera partitionnée en sous-bassins qui seront drainés par des conduites à déterminer. La carte utilisée de la ville a été extraite à partir du site internet <https://fr-ch.topographic-map.com/maps/eg3z/Maghnia/>. La partition a été effectuée sur la base des courbes de niveau données par ce site. Ce site permet d'obtenir les altitudes des différents points considérés. Les distances horizontales sont déterminées à partir de carte satellite de la ville de Maghnia (https://satellites.pro/carte_de_Maghnia#). Les surfaces des sous-bassins ont été calculées en

les divisant en triangles et en utilisant la formule de Héron pour des triangles quelconques. La figure ci-dessous tirée de ce site montre un peu les difficultés rencontrées.

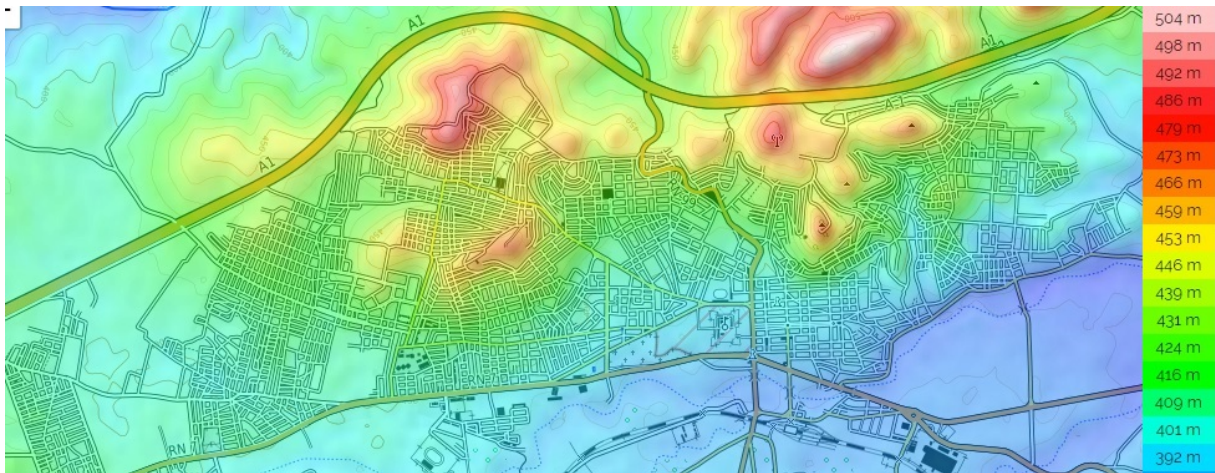


Figure 8 : Courbes de niveau de la ville de Maghnia[54]

3.2. Proposition d'un réseau d'évacuation des eaux pluviales

Comme mentionné auparavant, la taille de la ville et le manque de données font que seule une partie de la ville a été considérée, l'objectif étant d'appliquer la méthodologie de dimensionnement tout en essayant de discuter les difficultés rencontrées en chemin.

En même temps, les difficultés rencontrées pour le choix d'un schéma optimal nous a poussée à profiter de la configuration de la ville et le fait que cette dernière est longée par Oued Ouardefou pour proposer un schéma avec plusieurs points de rejet. Ceci facilite énormément le calcul. Pour cela et en respectant la topographie de la ville, 15 sous-bassins ont été délimités (Voir figure 9).

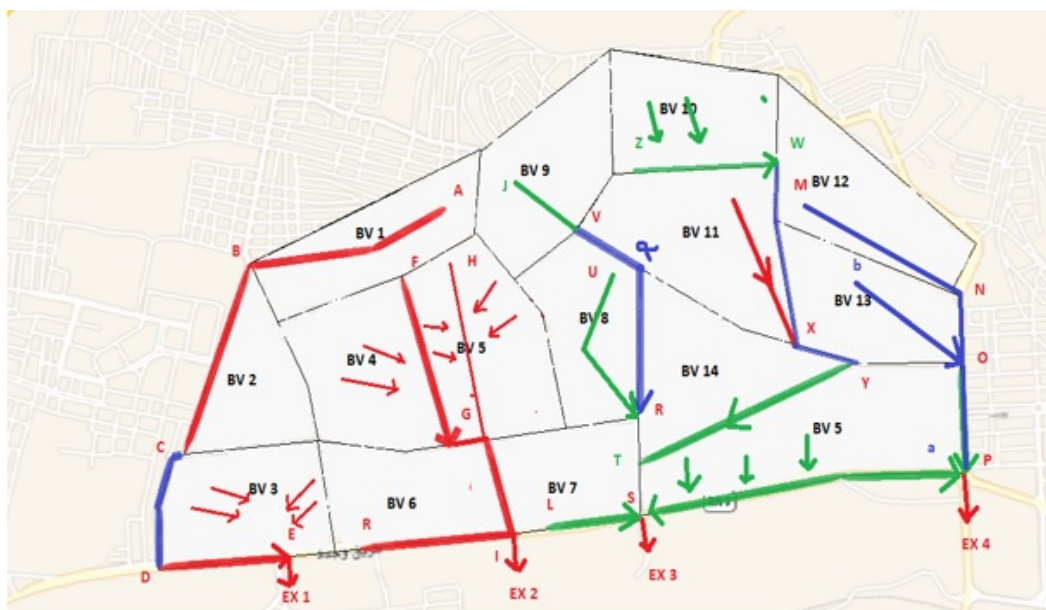


Figure 9 : Bassins versants délimités

Ainsi, le fonctionnement du réseau est le suivant :

- Le bassin BV1 est drainé par la conduite AB, qui déverse son débit dans la conduite BC qui draine le bassin BV2. Ces débits transitent par la conduite CD. Au point D, ils rejoignent la conduite DE qui draine le bassin versant 3. Le tout est rejeté au point de rejet 1 dans Oued Ouardefou au point E.
- Le bassin BV4 est drainé par la conduite FG alors que le bassin versant BV5 est drainé par la conduite HG. Ces débits transitent ensuite par la conduite GI pour rejoindre le point de rejet 2 au point I.
- Le bassin BV9 drainé par la conduite JV rejoint le point de connexion R par la conduite VR. Au point R, la conduite UR déverse le débit drainé du bassin versant BV8. Ces débits transitent par la conduite RT. En ce point, arrivent les débits des bassins versants BV10, BV11 et BV14 qui sont drainés respectivement par les conduites ZW, KX et YT. Notons que la conduite WX fait transiter le débit du bassin BV10 et du bassin BV11. Le tout rejoint la conduite YT qui draine en même temps le bassin BV14.
- Le tronçon de conduite TS collecte les débits qui transitent par la conduite RT et la conduite YT.
- Le bassin BV12 est drainé par la conduite MN. Ce débit transite par la conduite NO. Le bassin versant BV13 est drainé par la conduite YO. Ces débits transitent par la conduite OP pour le point de rejet 4.
- Les bassins versants BV6, BV7 et BV15 rejettent directement les eaux collectées respectivement par les conduites QI, LS et aS.

Pour entamer les calculs, il a été donc de déterminer les surfaces, les pentes moyennes et les coefficients de ruissellement de ces sous-bassins.

- Pour la surface, c'est la méthode de triangulation qui a été utilisée. Les dimensions des triangles ont été déterminées à l'aide du site cité précédemment. Les surfaces ont été approchées et la formule utilisée est :

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

Dans cette formule, p est le demi-périmètre du triangle. Les lettres a, b et c représentent les trois côtés du triangle.

- Pour les pentes, c'est sur la base de la proposition du réseau que ces dernières ont été déterminées. Les longueurs des conduites ont été déterminées par le même site cité précédemment et la différence de l'altitude des extrémités des conduites a été déterminée à l'aide des courbes de niveau. Sachant que les conduites suivent le réseau des voies publiques, un calcul de pente moyenne a été parfois nécessaire. Cette pente moyenne a été calculée par la formule suivante :

$$I_m = \left[\frac{\sum_i L_i}{\sum_i \frac{L_i}{\sqrt{I_i}}} \right]^2$$

Dans cette formule, I_m est la pente moyenne du tronçon entier, I_i représente les pentes des différentes parties qui constituent le tronçon en question. L_i sont les longueurs de ces parties.

- Pour le coefficient de ruissellement pris en compte dans les calculs, il a été déterminé par observation sur carte des proportions bâties et des proportions non bâties des surfaces des différents sous-bassins. Un calcul du coefficient de ruissellement moyen a ensuite été effectué. Ce calcul est réalisé à l'aide de la formule suivante :

$$C_m = \frac{\sum_i C_i \cdot A_i}{\sum_i A_i}$$

Dans cette formule, C_m est le coefficient de ruissellement moyen du bassin en entier, C_i et A_i sont respectivement le coefficient de ruissellement et la surface relative aux différentes parties qui constituent ce sous-bassin.

Il est de coutume de prendre le temps de concentration de bassins versants urbains égal à :

$$t_c = t_e + t_a$$

- Le temps t_e est calculé à l'aide des formules empiriques donnant le temps de concentration. Pour notre cas, nous l'avons calculé à l'aide de la formule de Shaake et Geyer qui s'écrit :

$$t_e = 1,75 L^{0,24} \cdot I^{-0,16} \cdot C^{-0,26}$$

Cette formule semble adaptée aux bassins versants urbains.

Le temps t_a est défini comme étant le temps d'acheminement, c'est le temps nécessaire pour que l'eau traverse la conduite de bout en bout. Il est généralement calculé à l'aide de la formule :

$$t_a = \frac{L}{V_{PS}}$$

Dans les formules précédentes, L est la longueur de la conduite, V_{PS} est la vitesse dans la conduite section pleine, I est la pente moyenne du bassin généralement prise égale à la pente de la conduite et C est le coefficient de ruissellement moyen du bassin.

3.3. Détermination des paramètres de la loi de Montana

Les inondations urbaines par dépassement des capacités des réseaux d'évacuation des eaux pluviales sont dues généralement à des pluies dont l'intensité est importante. Pour dimensionner ces réseaux, une étude statistique est nécessaire pour déterminer les paramètres de la loi de Montana qui donne l'intensité de la pluie qui correspond à une période de retour donné en fonction du temps de concentration du bassin.

La formule de Montana qui s'écrit :

$$i(t_c, T) = \frac{a}{t_c^b} = a \cdot t_c^{-b}$$

Les paramètres à déterminer sont les constantes a et b de l'équation ci-dessus. Pour cela, il faut disposer des séries de données sous forme d'intensité de pluie en fonction de durée d'observation.

Pour notre projet, nous avons pu disposer de séries de données de la ville de Maghnia. Ces séries sont constituées des maximums de pluies observées durant des temps qui correspondent à 15 minutes, 30 minutes, 1 heure, 2 heures, 3 heures, 6 heures, 12 heures et 24 heures. Ces séries s'étalent de 1973 à 1996, c'est-à-dire sur 24 ans.

Ces séries ont été ajustées à la loi de Gumbel. Pour réaliser cet ajustement, il faut passer par les étapes suivantes :

- 1- Classer les intensités de pluies dans un ordre croissant, qu'on appellera par la suite les variables ;
- 2- Affecter un rang à chaque variable (le rang d'une variable c'est sa position dans la colonne des valeurs classées, la première variable est de rang 1, la suivante est de rang 2, etc.).
- 3- Calculer la fréquence expérimentale de chaque valeur. Cette fréquence est calculée par la formule suivante :

$$f = \frac{n - 0,5}{N}$$

Dans cette formule, f et n sont respectivement la fréquence expérimentale et le rang de la variable. N est la taille de la colonne, pour notre cas $N = 24$.

Calculer la variable de Gumbel par la formule suivante :

$$u = -\ln(-\ln(f))$$

4- L'ajustement est visualisé en traçant la courbe :

$$p = f(u)$$

p est la pluie maximale observée.

Les résultats de ces ajustements sont représentés sur les figures suivantes.

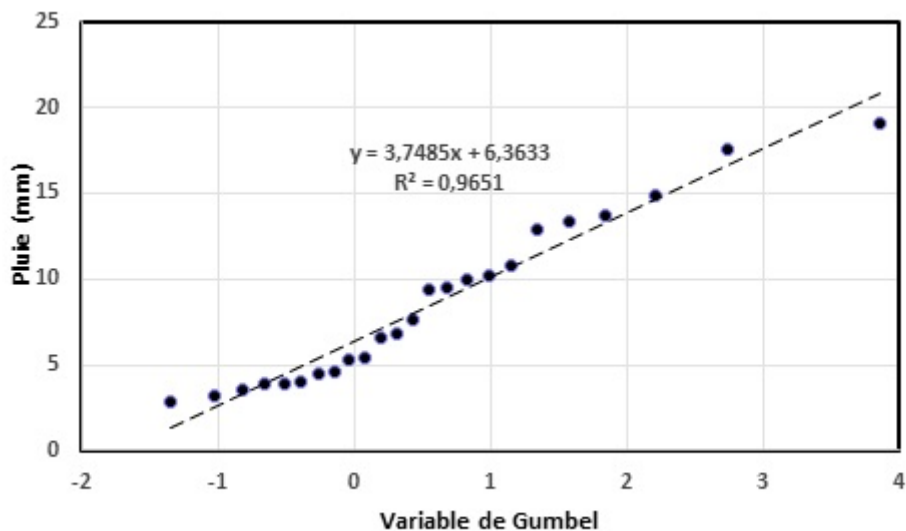


Figure 10 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 15 minutes.

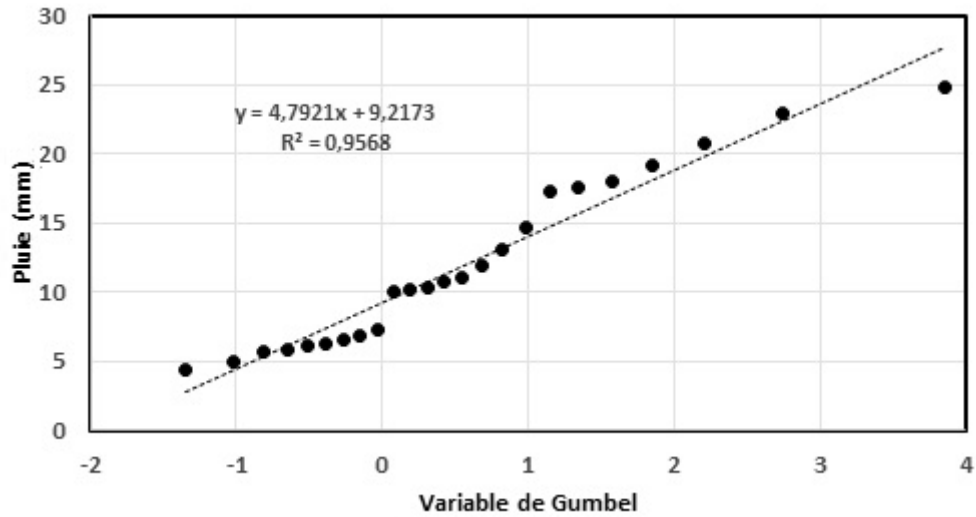


Figure 11 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 30 minutes.

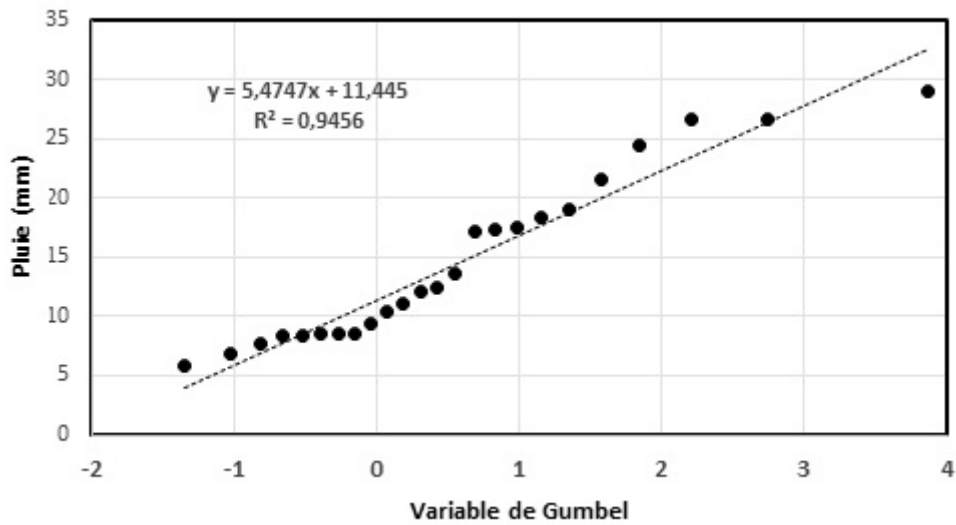


Figure 12 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 1 heure.

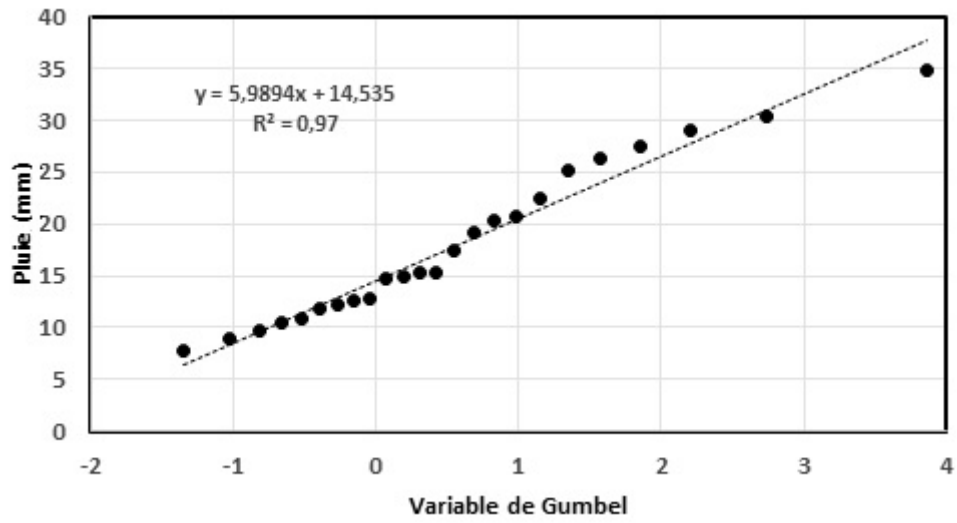


Figure 13 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 2 heures.

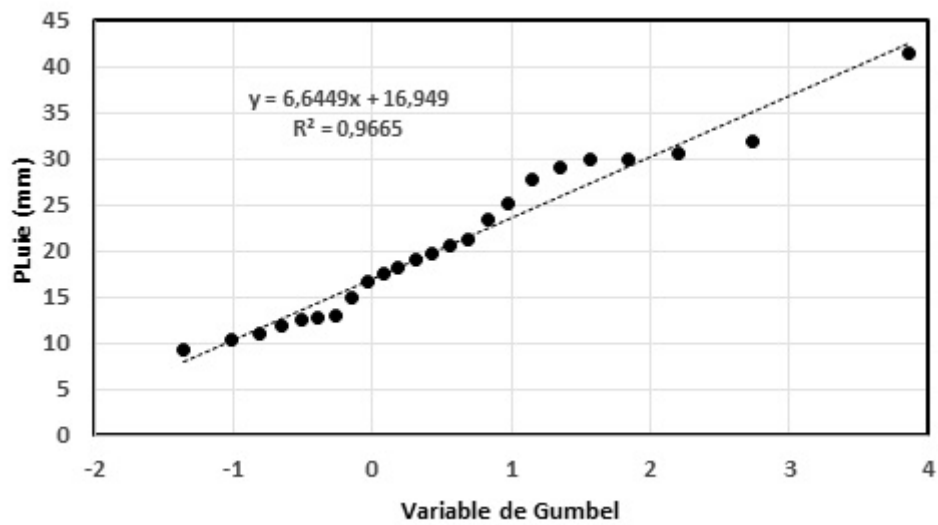


Figure 14 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 3 heures.

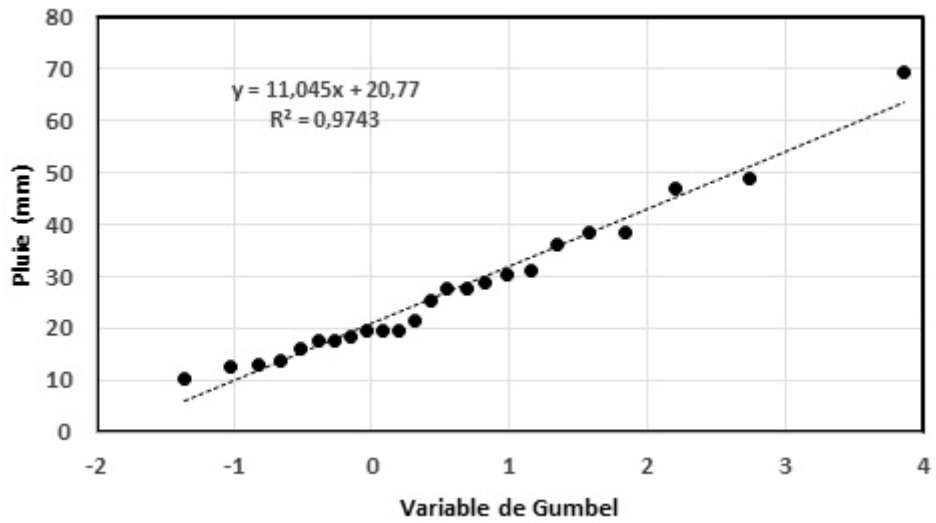


Figure 15 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 6 heures.

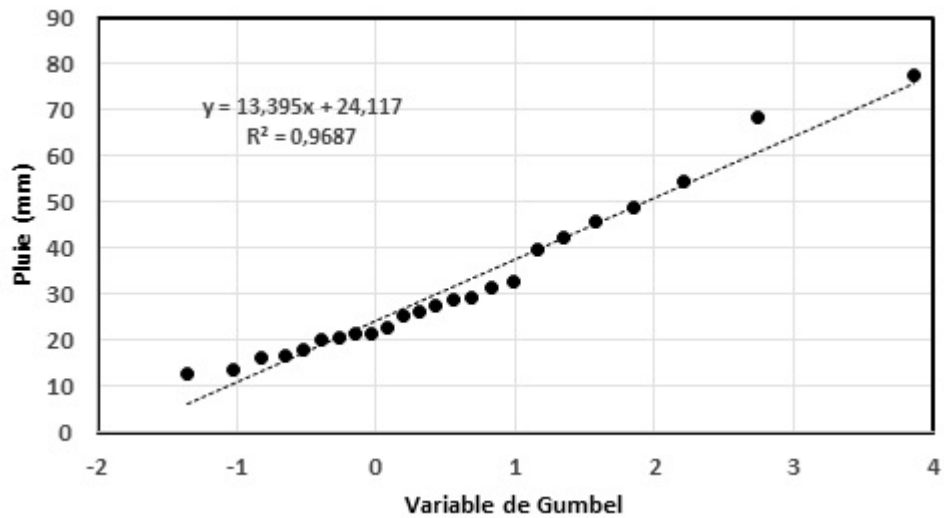


Figure 16 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 12 heures.

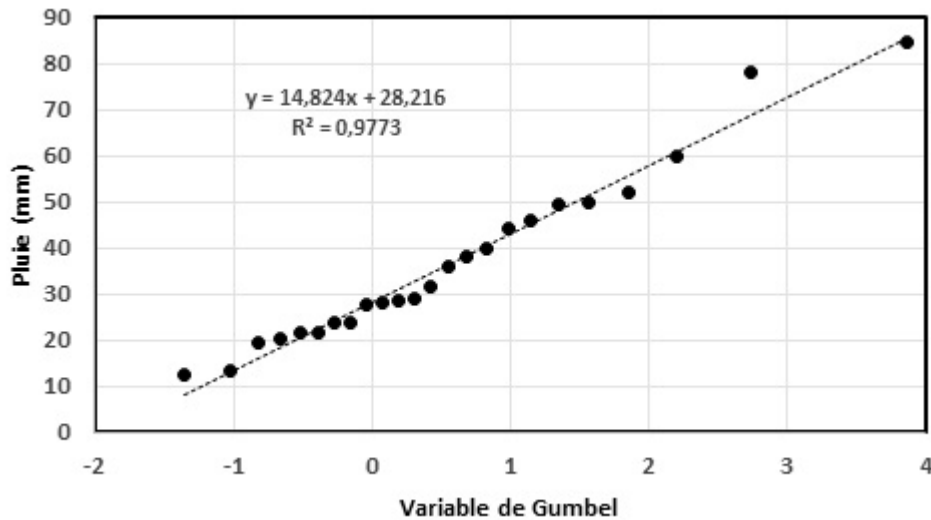


Figure 17 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales observées pendant 24 heures.

Pour déterminer les paramètres de la loi de Montana, il faut tracer les courbes IDF (Intensité-Fréquence-Durée). Pour notre projet, on va le faire uniquement pour les périodes de retour de 5 ans et de 10 ans. Pour cela, on dresse le tableau suivant.

Tableau 7 : Valeurs des variables de Gumbel pour différentes périodes de retour.

Période de retour T (ans)	2	5	10	20	50	100
Fréquence $f = 1 - \frac{1}{T}$	0,5	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
Variable de Gumbel $u = -\ln(-\ln(f))$	0,37	1,50	2,25	2,97	3,90	4,60

Pour la suite, on utilise les équations d'ajustement des variables affichées sur les graphes. A l'aide de ces équations, on calcule les intensités de pluie en fonction des périodes de retour comme mentionné sur le tableau suivant.

Tableau 8 : Intensités de pluie (en mm/h) pour des durées d'observations et des périodes de retour données.

Durée de l'observation	Equation	T=5 ans	T=10 ans
15 min	$p = 3,75u + 6,36$	47,94	59,20
30 min	$p = 4,79u + 9,21$	32,81	40,00
1 heure	$p = 5,47u + 11,45$	19,65	23,76
2 heures	$p = 5,99u + 14,54$	11,76	14,01
3 heures	$p = 6,65u + 16,95$	8,97	10,64
6 heures	$p = 11,05u + 20,77$	6,22	7,61
12 heures	$p = 13,4u + 24,12$	3,68	4,52
24 heures	$p = 14,82u + 28,22$	2,10	2,57

Les valeurs des deux dernières colonnes sont obtenues à l'aide des équations d'ajustement et des variables de Gumbel correspondantes. A titre d'exemple, la pluie maximale qui risque d'être observée pendant 3 heures tous les 10 ans est calculée de la manière suivante :

$$p = 6,65 \times 2,25 + 16,95 = 31,91 \text{ mm}$$

Pour la transformer en une intensité, on divise par la durée de l'observation, pour notre exemple c'est 3 heures. Donc, l'intensité de la pluie qu'on risque de voir revenir tous les 10 ans qui durera 3 heures est :

$$i(T = 10 \text{ ans}) = \frac{31,91}{3} = 10,64 \text{ mm/h}$$

Pour déterminer les paramètres de Montana pour ces deux périodes de retour, on trace les courbes suivantes.

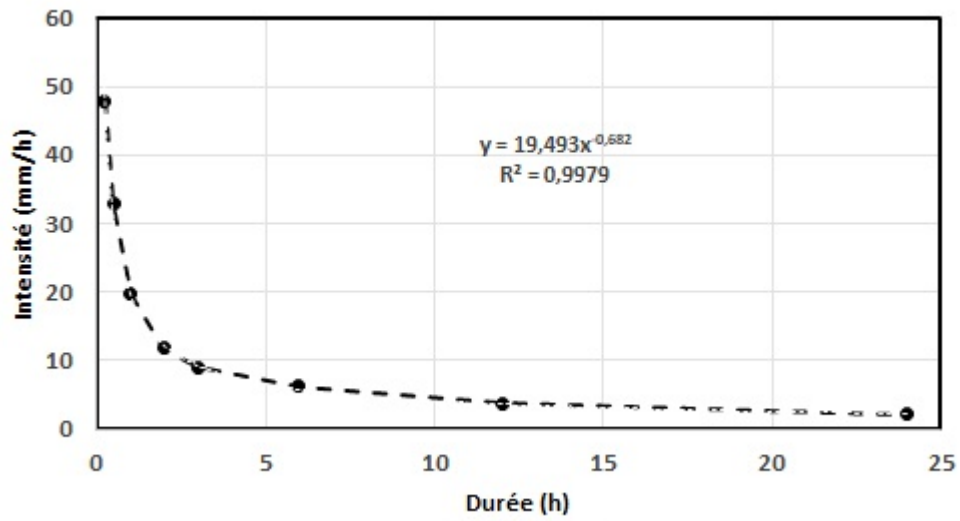


Figure 18 : Courbe Intensité-Durée pour la période de retour de 5 ans.

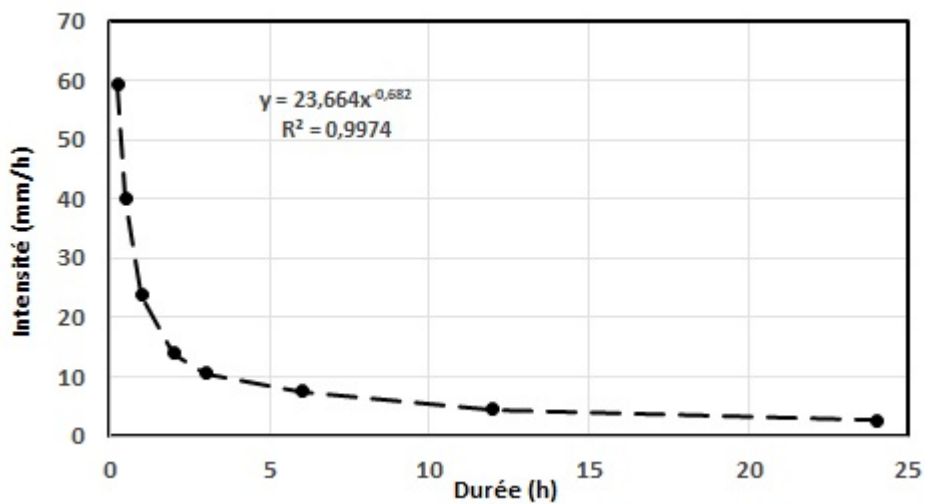


Figure 19 : Courbe Intensité-Durée pour la période de retour de 10 ans.

En conclusion de ce paragraphe, on donne les paramètres de Montana obtenus pour la ville de Maghnia. Ils sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Paramètres de Montana pour des périodes de retour de 5 et 10 ans.

	a	b
T= 5 ans	19,49	0,68
T = 10 ans	23,66	0,68

3.4. Dimensionnement du réseau

- Calcul des pentes moyennes :

Les pentes moyennes de chaque tronçon ont été calculées par la formule décrite précédemment. Le tableau ci-dessous regroupe les détails de ces calculs.

Tableau 10 : Calcul des pentes

	Longueur (m)	Dénivellation (m)	Pente	Pente moyenne (%)
BV1	100	1	0,01	0,0262
	130	2	0,02	
	110	4	0,04	
	50	4	0,08	
	90	8	0,09	
	80	4	0,05	
BV2	260	23	0,09	0,0704
	220	12	0,05	
	110	8	0,07	
Tronçon	200	7	0,04	0,0156
	140	1	0,01	
BV3	150	2	0,01	0,0079
	180	1	0,01	
BV4	90	7	0,08	0,0625
	100	11	0,11	
	60	3	0,05	
	70	4	0,06	
	60	3	0,05	
	90	4	0,04	
OP	270	12	0,04	0,04
BV6	460	7	0,02	0,02
BV7	170	3	0,02	0,02
	170	3	0,02	
BV8	170	2	0,01	0,0157
	190	4	0,02	

**Chapitre 4 Dimensionnement des réseaux d'évacuation des eaux pluviales de la ville
Maghnia**

BV9	100	9	0,09	0,0776
	60	4	0,07	
	60	6	0,10	
	120	8	0,07	
RT	140	5	0,04	0,04
BV10	200	3	0,02	0,0126
	270	3	0,01	
Tronçon	110	6	0,05	0,0294
	530	14	0,03	
BV11	230	7	0,03	0,0247
	240	6	0,03	
	160	3	0,02	
Tronçon XT	140	3	0,02	0,02
BV14	680	4	0,01	0,01
BV15	530	3	0,01	0,0064
	400	3	0,01	

- Calcul des vitesses et des débits à pleine section :

Bassin	A (ha)	C	I (m/m)	L (m)	K	D (m)	Vps (m/s)	Qps
1 (AB)	13,31	0,82	0,0262	560	76,92	0,40	2,68	0,34
2 (BC)	15,72	0,91	0,0704	930	76,92	0,40	4,40	0,55
CD			0,0156	340	76,92	0,40	2,07	0,26
3 (DE)	12,14	0,88	0,0079	330	76,92	0,50	1,71	0,34
4 (FG)	12,35	0,95	0,0625	470	76,92	0,30	3,42	0,24
5 (HG)	13,00	0,89	0,0953	460	76,92	0,30	4,22	0,30
GI			0,0444	270	76,92	0,35	3,20	0,31
6 (QI)	16,44	0,93	0,0152	360	76,92	0,30	1,69	0,12
7 (LS)	9,99	0,94	0,0176	630	76,92	0,30	1,82	0,13
8 (UR)	10,91	0,95	0,0157	180	76,92	0,40	2,07	0,26
9 (JV)	9,89	0,95	0,0776	340	76,92	0,40	4,62	0,58
VR			0,0354	730	76,92	0,40	3,12	0,39
RT			0,0357	140	76,92	0,40	3,13	0,39

**Chapitre 4 Dimensionnement des réseaux d'évacuation des eaux pluviales de la ville
Maghnia**

10 (ZW)	13,03	0,86	0,0126	470	76,92	0,40	1,86	0,23
WX			0,0294	640	76,92	0,40	2,84	0,36
11 (KX)	12,14	0,95	0,0247	630	76,92	0,40	2,61	0,33
XY			0,0214	140	76,92	0,40	2,43	0,30
14 (YT)	17,27	0,88	0,0059	680	76,92	0,55	1,57	0,37
TS			0,0333	150	76,92	0,55	3,74	0,89
15 (aS)	25,88	0,46	0,0064	930	76,92	0,45	1,43	0,23
12 (MN)	15,12	0,80	0,0077	540	76,92	0,45	1,57	0,25
NO			0,0286	210	76,92	0,45	3,03	0,48
13 (bO)	12,04	0,80	0,0217	330	76,92	0,45	2,64	0,42
BV12+BV13								
OP			0,0412	340	76,92	0,45	3,64	0,58

- Calcul débits de ruissellement et vérifications :

Bassin	ta	Shake	tc	a	b	i	Qr	V (1/10)	V (1/100)	
1 (AB)	3,48	15,07	18,55	23,664	-0,682	3,23	0,10	1,47	0,54	Verse BV2
2 (BC)	3,53	14,13	21,14	23,664	-0,682	2,95	0,12	2,42	0,88	Verse CD
CD	2,74						0,22	1,14	0,41	BV1+BV2
3 (DE)	3,22	15,81	28,78	23,664	-0,682	2,39	0,07	0,94	0,34	
							0,29			Ex 1
4 (FG)	2,29	12,10	14,39	23,664	-0,682	3,84	0,13	1,88	0,68	
5 (HG)	1,82	11,46	13,28	23,664	-0,682	4,06	0,13	2,32	0,84	
GI	1,41						0,25	1,76	0,64	Ex 2
6 (QI)	3,56	14,30	17,86	23,664	-0,682	3,31	0,14	0,93	0,34	Ex 2
7 (LS)	5,78	15,96	21,74	23,664	-0,682	2,90	0,08	1,00	0,36	Ex 3
8 (UR)	1,45	11,99	13,44	23,664	-0,682	4,02	0,12	1,14	0,41	
9 (JV)	1,23	10,81	12,04	23,664	-0,682	4,34	0,11	2,54	0,92	
VR	3,90						0,11	1,71	0,62	
RT	0,75						0,23	1,72	0,63	
10 (ZW)	4,22	16,08	20,30	23,664	-0,682	3,04	0,09	1,02	0,37	
WX	3,75						0,09	1,56	0,57	

**Chapitre 4 Dimensionnement des réseaux d'évacuation des eaux pluviales de la ville
Maghnia**

11 (KX)	4,03	15,06	19,08	23,664	-0,682	3,17	0,10	1,43	0,52	
XY	0,96						0,20	1,33	0,49	
14 (YT)	7,21	19,71	26,93	23,664	-0,682	2,50	0,11	0,86	0,31	
YT							0,30			
TS	0,67						0,53	2,06	0,75	Ex 3
15 (aS)	10,84	24,78	35,62	23,664	-0,682	2,07	0,07	0,79	0,29	Ex 3
12 (MN)	5,72	18,29	24,02	23,664	-0,682	2,71	0,09	0,86	0,31	
NO	1,16						0,09	1,67	0,61	
13 (bO)	2,08	13,76	15,84	23,664	-0,682	3,60	0,10	1,45	0,53	
BV12+BV13							0,19			
OP	1,56						0,19	2,00	0,73	Ex 4

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé un réseau d'évacuation des eaux pluviales d'une partie de la ville de Maghnia. Le tracé a été effectué sur la base des voies publiques et de la topographie. Le choix des bassins a été difficile car la topographie est complexe et le choix du sens de l'écoulement de surface a été difficile à établir. Néanmoins, pour le principe, nous avons montré que la protection pour des intensités de période de retour fixée est possible moyennant des décisions tranchées par la gestion de la ville. La vérification des conditions des débits ou des vitesses n'a pas été toujours facile, mais dans l'ensemble, le réseau proposé est fonctionnelle.

Conclusion général

Conclusion générale

A travers ce mémoire, nous avons d'abord essayé d'expliquer la notion du risque d'inondation en montrant que c'est un concept binomial combinant deux autres concepts qui sont, l'aléa qui est le phénomène physique d'intensité et d'occurrence (période de retour) données et la vulnérabilité qui représente les conséquences dommageables de cet aléa sur les enjeux (habitations, populations, activité, etc.).

Les inondations représentent un risque naturel très aléatoire qui menace les populations loin des cours d'eau mais aussi ceux au voisinage. Malheureusement, ce phénomène cause toujours des pertes humaines importantes parfois par manque de protection de grande ampleur mais parfois par défaut de petits aménagements.

En ce qui nous concerne, nous avons abordé le phénomène des inondations urbaines dues au dépassement des capacités des réseaux d'évacuation des eaux pluviales. Nous l'avons abordé à travers trois chapitres de nature bibliographique et un chapitre d'application. Ces chapitres et ce travail nous ont permis de cerner la méthodologie de dimensionnement des réseaux des eaux pluviales. Pour que ce dimensionnement soit correct, il faut réunir un certain nombre de conditions. En dehors des calculs purement techniques, il faut disposer de données précises et suffisantes du terrain pour pouvoir le diviser en sous-bassins adéquats. Il faut aussi disposer de données représentatives des intensités de pluies observées sur la région pour pouvoir calculer les paramètres de la loi de Montana qui correspondent à la région. Enfin, il y'a un paramètre très difficile à cerner et qui est le temps de concentration. En effet, ce paramètre est déterminé à l'aide de formules empiriques dont les représentativités ne sont pas établies.

En conclusion, on peut attribuer les inondations en Algérie à plusieurs causes, certaines sont maitrisables, d'autres non. En premier lieu, les réseaux déjà en fonction ont-ils été dimensionnés correctement avec des données des précipitations représentatives ou pas ? En second lieu, ont-ils été réalisés dans les règles de l'art ? Pour ce point, on vise surtout le fait que parfois, les regards ne sont pas placés dans les endroits adéquats pour collecter le ruissellement de surface. Le dernier point concerne l'entretien. En effet, à cause de la climatologie qui règne en Algérie et qui caractérisée par un été sec, le réseau se remplit de

Conclusion générale

poussières, de débris et de feuillage en été et en automne et à l'arrivée de la pluie, elle trouve des conduites souvent bouchées. A cela, il faut ajouter le manque de civisme de la population.

Le dernier point concerne la pluie, on a beau dimensionner un réseau pour une intensité de pluie de période de retour donnée, on ne peut jamais garantir qu'une pluie plus intense ne survienne et ne dépasse les capacités du réseau en place. C'est pourquoi, toute étude de ce type doit être complétée par une étude de risque et de vulnérabilité.

Références bibliographiques:

[1] **Jha A.K., Bloch R., Lamond J., (2012)**, « Villes et inondations : Guide de gestion intégrée du risque d'inondation en zone urbaine pour le XXI^e siècle », Cities and Flooding ; A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. Chapitre 7, pages 604-608, Banque mondiale : Washington, 2012.

[2]. **Boubchir A, (2007)**, « Risques d'inondation et occupation des sols dans le Thore (région de Labruguiere et de Mazamet) », Mémoire de Master 1 en Géographie et Aménagement, Université de Toulouse, 75 p.

[3]. **Boudou M., (2016)**, « Monographie de la rupture du barrage de Malpasset, 2 décembre 1959 », Extrait du Tome 2, Thèse de Doctorat en Géographie et Aménagement de l'Espace, Université Paul-Valéry Montpellier III, France, 462 p.

[4]. **CheikhLounis G., Chatelain J.L., Mimouni O., Machane D., Hellel M., Belhai D., Doukhi M., Sadou O., (2013)**, « Evaluation du risque d'inondation dans le bassin versant de l'Oued Kniss – Centre urbain d'Alger ' Algérie », Bulletin du Service Géologique National, Vol. 24, n° 1, pp. 1-13, 2013.

[5]. **Djebali K., (2015)**, « Contribution à l'étude de l'aléa " inondations": Genèse et prédiction. Cas de la vallée d'El Abadia (Ain Defla) », Mémoire de Master en Hydraulique, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique Arbaoui Abdellah, Blida, 2015, 94 p.

[6]. **Guenifi D., (2004)**, « Gestion risque inondation : Application réglementaire pour la sauvegarde des personnes et des biens », Actes des Journées Techniques 'Risques naturels, Inondation : Prévision-Protection', Centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides, Batna, 15-16 décembre 2004.

[7]. **Kadri S.R., Chaouche S., (2018)**, « La remontée des eaux dans la région du Souf : une menace sur un écosystème oasisien », Les Cahiers d'EMAM [En ligne], 30 | 2018, mis en ligne le 01 juin 2018, consulté le 31 janvier 2021. <https://doi.org/10.4000/emam.1554>

[8]. **Tricart J., (1960)**, « Les types de lits fluviaux », Information géographique, volume 24, n°5, 1960. pp. 210-214, <https://doi.org/10.3406/ingeo.1960.2025>

- [9] **La Houille Blanche, (1928)**, « Rupture du barrage de l'Oued Fergoug (26 Novembre 1927) », Rapport de la Commission technique chargée de déterminer les causes de la rupture, La Houille Blanche, <http://www.shf-lhb.org> or <http://dx.doi.org/10.1051/lhb/1928022>
- [10] **JORA, (2004)**, « Loi n° 04-20 du 13 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable », Journal Officiel de la République Algérienne, pp.13-21.
- [11] **Yahiaoui A., (2012)**, « Inondations Torrentielles Cartographie des Zones Vulnérables en Algérie du Nord (Cas de l'oued Mekerra, Wilaya de Sidi Bel Abbès) », Thèse de Doctorat en Hydraulique, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2012, 186 p.
- [12] **Cosandey C., Andréassian V., Martin C., Didon-Lescot J.F., Lavabre J., et al., (2003)**, « Rôle joué par la forêt sur l'hydrologie des régions méditerranéennes. Synthèse des recherches menées en France ». J.P. Bariot. Rapport quadriennal (1999-2002) du Comité National Français de Géodésie et de Géophysique, Comité National Français de Géodésie et de Géophysique, pp.239-250, 2003. Consulté le 31 janvier 2021 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00325629>
- [13] **Duglas A. (2004)**, « Caractérisation du régime des crues le modèle débit-durée-fréquence convergent Approche locale et régionale ». Thèse Doctorat, Institut national polytechnique de Grenoble.
- [14] **Chibanefarhat, 2011**, « Etude du réseau d'assainissement de la localité de TAGMA commune de Ain Fezza », P.E.F de Master en hydraulique urbaine, Département hydraulique- Université de Tlemcen
- [15] **GOMELLA, C., et GUERREE, H., 1986**, « Guide d'assainissement dans les agglomérations urbaines et rurales (tome 1), Edition Eyrolles, Paris.
- [16] **KERBOUSSA, N., 1992** : étude de VRD du lotissement A MAGGARINE, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état des travaux géodésiques GENIE CIVIL. Centre national des techniques spatiales à ARZIO – wilaya de BLIDA
- [17] **GHANEM. R, et BEN MERZOUGH, H., 2009**, étude de réhabilitation de réseau d'assainissement de la ville de Ain el Hdjele (W M'sila), mémoire de fin d'études, université Mohamed Boudiaf M'sila.
- [18] **FRANCOIS, V., 1994** « Mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau et de L'assainissement », Edition Moniteur, Paris.
- [19] **CLAUDON. J.G**, les réseaux d'assainissement, 2eme édition 1985, p.482. Paris
- [20] **DJOUKBALA, O., 2014**, Conception et dimensionnement d'un réseau d'assainissement par logiciel COVADIS 9.1 commune d'Ouled Sidi Brahim (W M'sila), mémoire de fin d'études, université Mohamed Boudiaf M'sila
- [21] **Brière F.G., 1997** « distribution et collecte des eaux », édition de l'école polytechnique de Montréal.

[22].KERLOC'H B et MAELSTAF D., (2014), « Le dimensionnement des réseaux d'assainissement des agglomérations » Edition Carema Bronpp67.

Webographie (dernière consultation le 15 Novembre 2020)

[23]<https://uclouvain.be/fr/decouvrir/presse/actualites/61-millions-de-personnes-touchees-par-des-phenomenes-meteos-extremes-en-2018.html>

[24]<http://www.ilocis.org/fr/contilo6.html>

[25]<http://www.protectioncivile.dz/>

[26]<https://www.interieur.gov.dz/images/PRISE-EN-CHARGE-DE-LA-PROBLEMATIQUE-DES-INONDATIONS.pdf>

[27] www.pinterest.fr/pin/252694229076113861/

[28]www.vitamedz.com/1952-inondation-a-nemours-ghazaouet-2/Photos_169_205845_13_1.html

[29]<https://dia-algerie.com/wp-content/uploads/2018/04/DIA-Innodations.jpg>.

[30].<http://crues-de-la-loire.e-monsite.com/pages/3-3.html>.

[31] https://img.over-blog-kiwi.com/0/93/23/67/20181110/ob_974133_bab-el-oued-2010.jpg

[32] http://observatoire-regional-risques-paca.fr/sites/default/files/biblio/IN_PHENO_1.JPG

[33].https://www.georisques.gouv.fr/sites/default/files/dossiers_thematiques/inondation/2020_remontee15.jpg

[34] <https://www.algerie360.com/wp-content/uploads/2019/06/Inondations-Djanet.jpg>

[35].<https://cdn.liberte-algerie.com/images/article/thumbs/d-323504dimportants-degats-materiels-enregistres-95f4c.jpg>

[36] https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSftOyW_CUj8J132_Aoi0ICq9ZA3d00KoAgZUkBnEFABAWeA4HF&s

[37]https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3d/KatrinaNewOrleansFlooded_edit2.jpg/456px-KatrinaNewOrleansFlooded_edit2.jpg

[38]<https://www.liberte-algerie.com/ouest/arzew-capitale-des-bidonvilles-261389>

[39]<https://www.liberte-algerie.com/reportage/lhiver-de-toutes-les-angoisses-284384>

[40]<https://www.elwatan.com/regions/centre/alger/des-mesures-en-amont-de-la-saison-hivernale-entretien-des-reseaux-dassainissement-pour-eviter-les-inondations-02-09-2020>

- [41] <http://www.set-revue.fr/de-la-gestion-patrimoniale-des-reseaux-dassainissement-aux-techniques-alternatives-de-gestion-des>
- [42] <https://www.techni-contact.com/produits/6182-12575809-construction-renovation-terrain-de-tennis-en-beton.html>
- [43] <http://www.affq.ca/services.htm>
- [44] <http://www.maxipaysage.com/realisation/amenagement-et-stabilisation-des-berges-riviere-aux-pins?page=1>
- [45] <https://www.archiexpo.fr/prod/borghio-azio/product-148122-1608040.html>
- [46] <https://www.skyscrapercity.com/threads/constantine-am%C3%A9nagement-et-calibrage-des-oueds-des-zones-urbaines-in-progress.1520476/page-11>
- [47] https://aappma-de-bessenay.skyrock.com/tags/kHYoNoiO8hP-Brevenue_3.html
- [48] <https://www.journaldelenvironnement.net/article/erosion-l-europe-perd-trop-de-sol,61686>
- [49] <https://journals.openedition.org/physio-geo/2319>
- [50] <https://www.lacompagniedesforestiers.com/restauration-de-milieus-naturels/lutte-contre-l-erosion/correction-torrentielle>
- [51] <https://www.docplayer.fr/118635204-Republique-algerienne-democratique-et-populaire.html>
- [52] <https://docplayer.fr/7548844-Methode-pour-le-dimensionnement-des-ouvrages-de-stockage.html>
- [53] <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2018/maghnia/valeurs/60522.html>
- [54] <https://fr-ch.topographic-map.com/maps/eg3z/Maghnia/>