

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 محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريبيج  
Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون  
قسم العلوم الفلاحية

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des Sciences Agronomiques

# Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Aménagement Hydro - agricole

## Intitulé :

**Protection des zones urbaines et rurales contre l'alea  
d'inondations- Cas oued Boumergued Bordj Bou  
Arreridj**

Présenté par :

Zine Eddine Hedidane

Soutenu le 26/06/2023, Devant le Jury:

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	M. /Mme Bouzid Chawki	Pr.	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.
Encadrant :	M. /Mme Herizi Toufik	M__	Université de B.B.A.
Examineur :	M. /Mme Chorghal Nacira	M__	Université de B.B.A.

Année Universitaire 2022/2023

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns in black and white, framing the page. The border is composed of repeating motifs of leaves, flowers, and scrolls, creating a classic and elegant frame.

## Dédicaces

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études, A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral , bien sur A mes petits princesses Amina et Aya , A mes chers frères (Aymen et Salah ) , pour leur appui et leur encouragement,A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, A toute mes collègues sur tout "Mohamed et Fateh , Rafik et Nour Eddine , Moka , Rida et son frère Hakim allah yarahmou , et bien sur Mon bras droite Bilal laadjal et Saber Fashion . Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,Merci d'être toujours là pour moi .

**Zine Eddine.H**

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns in black and white, framing the page. The border is composed of repeating motifs of leaves, scrolls, and circular designs, creating a classic and elegant frame.

## Remerciement

Je remercie mon Dieu qui m'a achevé ce modeste travail.

Mon encadreur, Mr **HERIZI TOUFIK** pour tous ses précieux conseils, pour son écoute active, sa disponibilité. En effet, Commencer un TER et finir la totalité du mémoire en si peu de temps, n'a pas été une tâche facile, et je n'aurais pas tant réussi si je n'avais pas reçu ses conseils, ainsi que sa force de persuasion

à mes parents et mes proches, qui m'ont soutenu durant les moments de doute et d'abandon, qui ont plus cru en moi.

à ces conseillers de la bibliothèque, qui ne liront sans doute pas ce mémoire mais qui m'ont aidé à apporter leurs réflexions sur mon plan de mémoire et qui m'ont fourni toutes les documentations nécessaires.

**Zine Eddine.H**



**Table des matières**

# Table des matières

<b>Introduction</b> .....	01 - 02
---------------------------	---------

## **Chapitre I- Recherche bibliographique**

I.1- Introduction .....	03
I.2- Phénomène d'inondation .....	03
I.3- Caractéristique d'écoulement à surface libre dans les cours d'eau .....	04
I.4- Les régimes d'écoulement à surfaces libres .....	05
I.4.1- Régimes d'écoulement suivant le nombre de Froude .....	05
I.4.2 - Régimes d'écoulement suivant le nombre de Reynolds $R_e$ .....	07
I.5- Classification des écoulements à surface libre .....	07
I.5.1- Ecoulement permanent ou non permanent .....	07
I.5.2- Ecoulement uniforme ou non uniforme .....	08
I.6- Principaux paramètres caractérisant l'aléa d'inondation .....	08
I.7- Type d'inondations .....	09
I.7.1- Les inondations des plaines .....	09
I.7.2- Les inondations par crues torrentielles .....	10
I.7.3- Les inondations par ruissellement en secteur urbain .....	10
I.7.4- Inondations par remontées des nappes phréatiques .....	10
I.7.5- Inondation par rupture d'une protection .....	11
I.7.6- Inondations marines .....	11
I.8- Le risque d'inondation .....	11
I.8.1- Risques majeurs – inondations .....	11
I.8.2- Risques liés aux conflits .....	12
I.9- Utilisation des modèles hydrologiques pour la prédétermination des valeurs de crues..	12
I.10- Conclusion .....	15

## **Chapitre II- Présentation de la zone d'étude et analyse des données utilisées**

II.1- Introduction .....	17
II.2- Présentation de la zone d'étude .....	17
II.2.1- La situation géographique .....	17
II.2.2- Situation climatique .....	18
II.2.3- Démographie .....	21
II.2.4- Description de la zone d'étude.....	21

II.2.5- Situation du réseau d'assainissement .....	24
II.3- Analyse des données utilisées .....	24
II.3.1- Test d'homogénéisation .....	27
II.3.2- Calcul des paramètres statistiques de la série par la méthode des moments .....	28
II.3.3- Ajustement des pluies maximales journalières .....	28
II.3.4- Estimation du débit maximal $Q_{max}$ dans l'oued Boumergued .....	31
II.4- Conclusion .....	35

**Chapitre III- *Analyse et discussion des résultats obtenus et proposition d'un nouveau modèle***

III .1- Introduction .....	37
III .2- L'utilisation des méthodes classiques pour l'évaluation de débit maximal dans les oueds .....	37
III .3- Analyse de corrélation .....	38
III .4- Comparaison des deux approches .....	42
III .5- Dimensionnement de l'ouvrage de protection .....	42
III .6- Conclusion .....	48
<b>Conclusion</b> .....	50-51



**Liste des tableaux**

## Liste des tableaux

Tableau II.1: Températures moyennes mensuelles et annuelles .....	18
Tableau II.2: Les valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation .....	19
Tableau II.3: Les variations concernant les moyennes mensuelles et annuelles .....	19
Tableau II.4: Répartition des stations météorologiques à travers la ville de B.B.A .....	20
Tableau II.5: les moyennes mensuelles et totales annuel des précipitations .....	20
Tableau II.6: Estimation de la population à l'horizon futur .....	21
Tableau II.7: série des pluies journalières maximales (Pj max) station de BBA .....	27
Tableau II.8: Les résultats de calcul sont résumés dans le tableau suivant .....	28
Tableau II.9: paramètres statistiques de pluie journalière maximale estimée par la méthode des moments.....	29
Tableau II.10: Détermination de la pluie journalière maximale par les trois lois .....	31
Tableau II.11: Les valeurs de S, L, Hmoy et Hmin, BV Boumergued .....	32
Tableau II.12: valeurs de Pj max, Tc et Ptc .....	33
Tableau II.13: Valeur de $\gamma$ en fonction de bassin versant .....	34
Tableau II.14: valeurs de débit maximal estimées par l'approche classique .....	35
Tableau III .1: Valeurs des débits max station Maghrawa .....	40
Tableau III.2 - valeurs de Pjmax, Tc, Ptc et Qmax de chaque approche pour T = 100ans.....	42
Tableau III .3 - valeur de $K_s$ pour différents types du lit.....	43
Tableau III .4 - Les caractéristiques géométriques et hydrauliques de canal de protection à l'oued Boumergued.....	46



**Listes des figures**

## Liste des tableaux

Figure I.1- Niveaux d'eau relative aux lits d'un cours d'eau (Piégay, 2018) .....	05
Figure I.2 Régimes d'écoulement à surface libre dans les cours d'eau (Bennis, 2009) ...	06
Figure I.3 Classifications des écoulements dans les cours d'eau .....	08
Figure II.1: Situation géographique de la zone d'étude (en blanche) .....	18
Figure II.2: Diagramme des précipitations moyennes mensuelles .....	20
Figure II.3 : Répartitions spatiale de la précipitation au niveau de la wilaya de Bordj Bou Arredidj.....	21
Figure II.4 : Image d'ancienne protection pour l'oued Boumergued (existants actuellement).....	22
Figure II.5: Point de raccordement entre oued Boumergued (trapézoïdal à ciel ouvert) et oued Mardj El Wassat .....	22
Figure II.6: Point de raccordement avec Chaaba de forêt Boumergued .....	23
Figure II.7: Situation d'oued Boumergued vis-à-vis le centre urbain .....	23
Figure II.8: Ajustement de la série de pluie à la loi Normale .....	29
Figure II.9: Ajustement de la série de pluie à la loi Log-Normale .....	30
Figure II.10: Ajustement de la série de pluie à la loi Gumbel .....	31
Figure III .1: Corrélation entre $P_{jmax}$ et le <i>debit max oued Sidi Aich (Bejaia)</i> .....	39
Figure III .2 :Corrélation entre $P_{jmax}$ et le <i>debit max station Farnatou (Sétif)</i> .....	39
Figure III .3: Illustration graphique de la dépendance débit (Maghrawa) – pluie (Boumergued).....	41
Figure III .4: Elargissement brusque de lit d'oued dans la partie basse de la zone étudiée ...	45
Figure III .5: Profil en travers de la section de notre ouvrage .....	47

Figure III .6: Variation des principaux paramètres hydrauliques en fonction des conditions d'écoulement ..... 48



**Liste d'abréviation**

## Liste d'abréviation

Pn- Population future.

Po- Population actuel pour l'année 2008 .

T - Taux d'accroissement (1.3%) .

N - Nombre d'années séparant l'année de futur et l'année de référence.

- coefficient modulaire.  $k_i = x_i / \bar{x}$

- taille de l'échantillon.  $n$

- pluie journalière maximale moyenne en mm .  $P_{J_{\max, moy}}$

- coefficient de variation de la série pluviométrique.  $C_v$

- écart type.  $\delta$

y - variable réduite de Gumbel .

x - précipitation maximale journalière (y) .

paramètre d'ajustement (gradex).  $\alpha$

*S* : Surface du bassin versant,  $Km^2$ .

L : Longueur du thalweg principal, km.

: Altitude moyenne, m NGA.  $H_{moy}$

: Altitude à l'exutoire, m NGA.  $H_{\min}$

*P<sub>1c</sub>* : pluie de courte durée de fréquence donnée en mm .

*P<sub>jmax</sub>* : Pluie max journalière de même fréquence, mm.

*T<sub>c</sub>* : Temps de concentration, heur.

$b$  : Exposant climatique = 0,32.

$Q_{max}$  (%): débit maximum de crue en  $m^3/s$  de même fréquence que celle de la pluie de courte durée.

$S$ : superficie du bassin versant ( $km^2$ ).

$L$ : longueur du talweg principal (km).

$H_{moy}$ ,  $H_{min}$ : altitudes moyennes et minimales (en m).

$P_{tc}$ : pluies de courte durée (m).

$S$ : superficie du bassin versant ( $Km^2$ ).

$L_p$ : longueur du talweg principal (Km).

$A$ : coefficient régional pris égal à 20.

$k$ : constante qui dépend des caractéristiques du bassin versant pris égal à 2.

$P$ : précipitation moyenne interannuelle en mm.

$T$ : période de retour en années.

$P_{tc}$  : Pluie de courte durée pour un temps de concentration  $t = T_C$  .

$S$  : Superficie de bassins versant,  $km^2$ .

$T_C$  : Temps de concentration, heur .

$C$  : Coefficient de ruissellement en grande crue,  $C = 0,9$ .

$F$ : Coefficient de forme de la crue :  $F = 12 / (4+3.\gamma)$ .

$S$  : Superficie du bassin [ $Km^2$ ].

$T_c$  : temps de concentration[ $h$ ] .

$P_{ct}$ : pluie fréquentielle de courte durée correspondant au temps de concentration en mm.

$H_0$ : C'est la perte d'eau initiale. Au nord de l'Algérie  $H_0 = 7$  mm.

$\alpha_p$  : Coefficient de ruissellement de la crue pour une période donnée.

$X_p$  : précipitation de fréquence donnée qui correspond au temps de concentration.

0,28 coefficient de changement d'unité.

$Q_{pt}$ : Débit de pointe fréquentiel ( $m^3/s$ ).

$u$ : Variable réduite de Gauss.

$Q_p$ : Débit de pointe annuel ( $m^3/s$ ).

$P$ : Pluie moyenne annuelle reçue par le bassin versant (mm).

$S$ : Surface du bassin versant en  $Km^2$ .

- débit de projet en  $m^3/s$   $Q = 36 m^3/s$ .

- coefficient de Strickler  $K_s = 70$ .

- section mouillée en  $m^2$ .  $S_m$

- pente hydraulique (0.01 m/m).  $I$

- rayon hydraulique en m.  $R_h$

$v$ - vitesse qui correspond un débit max.

$Q_{max}$ - le débit max calculé par la nouvelle approche.

$S_c$ - la section de canal donnée par logiciel Canal21.

$F_r$ - nombre de Froude.

$v$ - vitesse qui correspond un débit max en m/s.

$h$ - hauteur adoptée pour l'ouvrage de protection en m.



# Introduction

## Introduction générale

Tout écoulement d'eau subit une perte de son énergie totale en frottement, entre les couches de fluides d'une part, le fluide et les parois du canal d'autre part; il représente la résistance à l'écoulement (Achour, 2015). Pour cette raison, l'écoulement des oueds et des canaux ouverts est retardé par la résistance de frottement du lit et des berges (Hosseini et Hajibabaei, 2020). L'augmentation de la résistance au frottement entraîne un écoulement plus profond et plus lent, quelle que soit la géométrie, la pente et le débit. Cela a des conséquences graves représentées par les risques d'inondation (Powell, 2014).

La protection des sites urbains contre les inondations est considérée comme étant une nécessité indispensable afin de réduire les dégâts humains, matériels et économiques (Bennis, 2009). L'aménagement de la zone sensible subissant le risque d'inondation repose sur plusieurs critères, la topographie du terrain, la surface de bassin versant, le débit d'eau à évacuer et le type de sol. La conception de cette protection est faite par la simulation de ces crues sur les tronçons traversant ces villes. Ces simulations sont réalisées par des calculs hydrauliques de l'hydrogramme des crues fréquentielles. Le facteur de dissipation d'énergie ou les pertes de charge est incontournable dans ces calculs, il joue un rôle déterminant dans le dimensionnement des ouvrages de protection (Gérard 2006).

L'Algérie, de sa part, est confrontée aux phénomènes de crues et d'inondations qui sont plus fréquents que les séismes (Toufik, H. et Mahmoud, H., 2022). Ces phénomènes provoquent des catastrophes plus destructrices et occasionnent d'importants dégâts humains et matériels. Les exemples de Bab El Oued (Alger) en 2001, Sidi Bel Abbes en 2006, Ghardaïa en 2008 et El Bayadh en 2011, illustrent clairement ce danger.

Plusieurs oueds traversent la ville de Bordj Bou Arreridj, ces oueds sont: oued Slib à l'ouest, oued Arraridj et Merdj El Wast au centre, oued Boumergued à l'est. Cette agglomération est à forte concentration de population (plus de 200 000 habitants), et sous l'effet d'une urbanisation pseudo-anarchique et non réglementée sur sa périphérie, elle présente des grands risques. L'examen des événements tragiques survenus dans cette zone, notamment celui de 1994 montre clairement la nécessité de se prémunir contre ce fléau naturel qui nécessite de rebondir à chaque événement pluvieux exceptionnel.

Ce travail s'inscrit dans une optique visant à entreprendre un projet d'étude qui permet d'établir un système de protection de la ville du Bordj Bou Arreridj. En effet, ce travail

## Introduction

---

consiste en la réalisation d'un système d'évacuation des eaux pluviales provenant du bassin versant, qui débouche dans un exutoire à la périphérie de la ville de Bordj Bou Arreridj côté Sud-Est, cette zone d'étude se situe au centre des plaines de la Medjana, avec les montagnes de Mourissan au nord, les Maadhid au sud, les hauts plateaux à l'Est et les monts Tafartast et Djbel Mansoura à l'Ouest (**DRE BBA, 2011**). La zone d'étude est la partie qui représente la future extension de la partie sud-est de la ville de Bordj Bou Arreridj (POS 06). C'est la région par la quelle passe oued Boumergued. L'intérêt de cette étude réside dans le fait que la région concernée se situe dans une zone basse. C'est aussi la jonction de deux oueds, à savoir oued Akhrouf en haut et oued Mardj Al Wasat en bas. De plus, deux chaabas sont drainées dans le même oued, ce qui rend la zone très vulnérable au risque d'inondation.

Pour atteindre notre objectif, nous l'avons organisé en trois chapitres: le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique sur la définition, le risque d'inondation et les principaux critères qui caractérisent ce risque. Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude et à l'analyse des données utilisées. Ensuite, ils' agit de proposer et de valider le nouveau modèle pour estimer le débit maximal pouvant être transporté lors de fortes pluies au niveau d'oued Boumergued. Le troisième chapitre de mémoire comprend une analyse et une discussion des résultats de la recherche avec une solution appropriée contre les risques d'inondation, à travers les approches utilisées dans le monde, en tenant compte des aspects techniques et économiques, ce qui reflète le cas de la majorité des oueds en Algérie.

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns in black and white, framing the page. The border is composed of repeating motifs of leaves, scrolls, and circular elements, creating a classic and elegant frame.

# CHAPITRE I

## *Recherche bibliographique*

# CHAPITRE I-

## *Recherche bibliographique*

### **I.1- Introduction**

La résistance à l'écoulement est un problème fondamental dans l'ingénierie hydraulique. Les travaux dans le domaine lié aux effets de la rugosité sur le facteur de frottement dans les écoulements ont été lancés par Antoine Chezy, Henry Darcy, Julius Weisbach et Robert Manning (Hager et Liiv 2008). Il a été constaté que la vitesse moyenne d'écoulement  $V$  dépend de la pente du canal  $I$ , du rayon hydraulique  $R_h$  et de la hauteur de rugosité. Après la célèbre expérience de Reynolds en 1883, les chercheurs connaissaient l'existence d'écoulements laminaires et turbulents (Moody, 1944). Nikuradse et Prandtl, Colebrook et White, et Moody ont constaté que le facteur de frottement dépend du nombre de Reynolds et de la rugosité relative (Yang, et al., 2011).

Les écoulements dans les cours d'eau naturels (rivières, oueds...) et les canaux artificiels sont, dans la plupart des cas, des écoulements à surface libre.

On appelle les canaux naturels, les cours d'eau qui se sont formés par des processus naturelles comme les oueds, les torrents, les fleuves et les rivières, leurs propriétés géométriques et hydrauliques sont généralement assez irrégulières. Les canaux artificiels sont les cours d'eau construits par l'homme, avec des propriétés hydrauliques généralement assez régulières.

Le frottement est un terme dominant dans le calcul des écoulements dans les canaux ouverts, l'écoulement est retardé par la résistance du frottement à la fois du lit et des berges. Dans les canaux naturels, la détermination de la vitesse moyenne d'écoulement est un challenge incontournable dans tous les travaux d'engineering, en particulier pendant la période des crues; toutefois, il est nécessaire de calculer la vitesse d'écoulement et le débit en modélisant l'écoulement avec un prédicteur de la résistance à l'écoulement.

### **I.2- Phénomène d'inondation**

L'augmentation de la résistance à l'écoulement, dans les cours d'eau, se traduit par un écoulement plus profond et plus lent, quels que soit la géométrie, la pente et le débit existant. Cette augmentation entraîne une forte possibilité d'inondation dans les périodes de crues (Ferguson, 2010). La résistance à l'écoulement dans les cours d'eau à lit de gravier est largement influencée par la taille des particules du matériau du lit, les configurations du lit, la

géométrie du canal (courbures, irrégularités et obstructions), la pente longitudinale et la profondeur de l'écoulement. La prédiction de la résistance à l'écoulement dans les canaux naturels, en particulier les cours d'eau à régressions sévères, est essentielle pour la conception efficace des projets liés aux aménagements des cours d'eau contre le risque d'inondation (Namaee et Whitcombe, 2017). L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans les servitudes pour y implanter toutes sortes de construction, d'équipements et d'activités. Au sens large les inondations comprennent les débordements d'un cours d'eau, les remontées de nappes, les ruissellements résultant de fortes pluies d'orages, les inondations par rupture d'ouvrages de protection (brèche dans les digues), les inondations estuariennes résultant de la conjonction de fortes marées, de situations dépressionnaires et de la crue des fleuves (Salomon, 1997).

### **I.3- Caractéristique d'écoulement à surface libre dans les cours d'eau**

L'écoulement à surface libre dans un canal se définit comme une masse d'eau en mouvement concentrée dans une géométrie quelconque, à une forme bien définie (figure I.1). Le lit d'un cours d'eau naturel prend des formes complexes avec des niveaux d'eau très variable. Dans la plupart du temps, l'écoulement se fait dans le lit mineur (Piégay, 2018), ce dernier est limité par deux talus topographiques (les berges) bien marqués. Un lit plus petit se définit comme le lit d'étiage, il véhicule les plus basses eaux, dans le cas des berges abruptes, il se confond avec le lit mineur.

En période des crues, le cours d'eau déborde dans un lit plus large, il est défini comme un lit majeur d'une fréquence donnée (100 ou 200 ans, parfois plus), ou lit d'inondation dont les limites externes sont définies arbitrairement comme étant celles des plus hautes eaux connues.

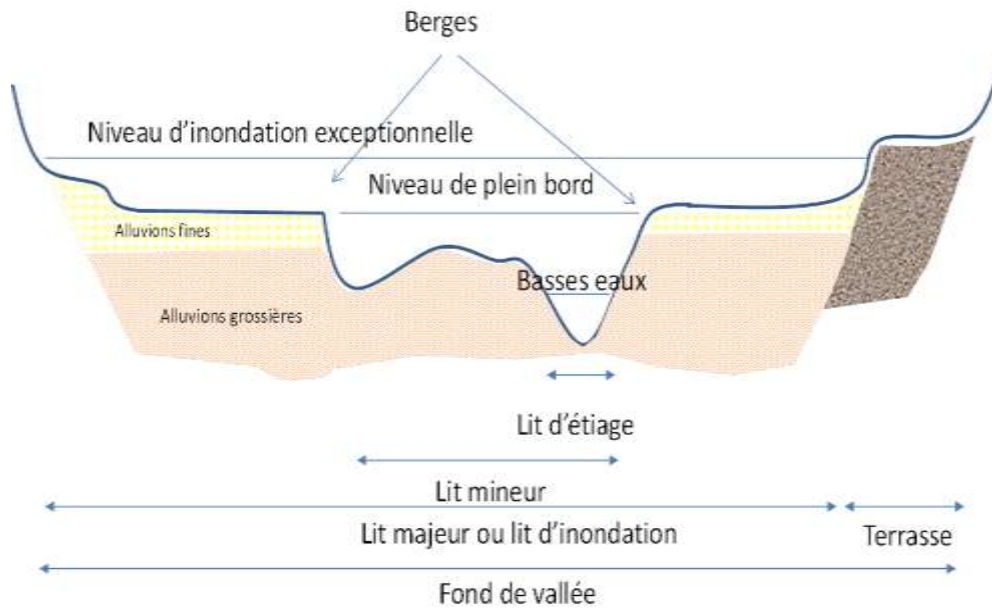


Figure I.1- Niveaux d'eau relative aux lits d'un cours d'eau (Piégay, 2018)

#### I.4- Les régimes d'écoulement à surfaces libres

La caractérisation d'un régime d'écoulement dans un canal à surface libre est fonction de la fluctuation temporelle des vitesses et des hauteurs du courant liquide. Ce régime peut être distingué par deux nombres adimensionnels de Froude ( $F_r$ ) et de Reynolds ( $R_e$ ).

##### I.4.1- Régimes d'écoulement suivant le nombre de Froude

Le nombre de Froude  $F_r$ , est un rapport qui permet de distinguer le régime fluvial, torrentiel ou critique, en utilisant la vitesse moyenne d'écoulement, sous la forme suivante:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g h_m}} \quad \text{(I- 1)}$$

Où  $V$  est la vitesse moyenne d'écoulement,  $g$  est l'accélération due à la gravité,  $h_m$  est la profondeur moyenne hydraulique (l'aire d'écoulement divisée par la largeur à la surface libre d'écoulement).

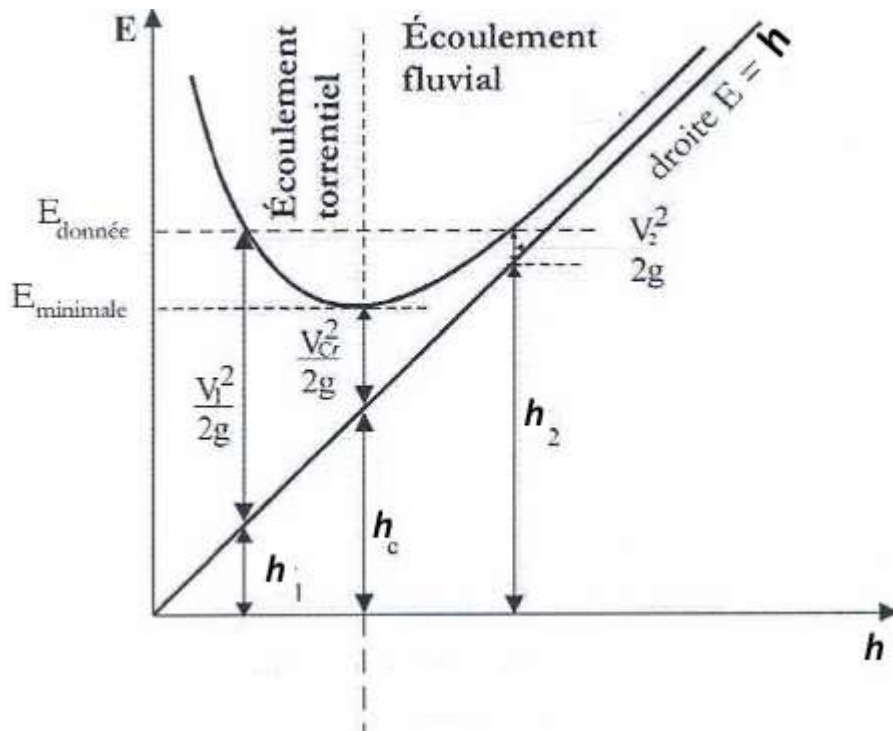


Figure I.2 Régimes d'écoulement à surface libre dans les cours d'eau (Bennis, 2009)

L'énergie spécifique  $E$  est définie comme étant la somme de la profondeur  $h$  et la hauteur dynamique de la manière suivante:

$$E = h + \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(I- 2)$$

A partir de la figure I.2, on voit que la profondeur critique  $h_c$  et la vitesse critique  $V_{cr}$  correspond à une énergie spécifique minimale  $E_{mini}$ , équivalente à :

$$\frac{dE}{dh} = 0 \dots\dots\dots(I- 3)$$

Les régimes d'écoulement à surface libre peuvent être classés selon le nombre de Froude comme suit:

- **Régime d'écoulement fluvial:** Dans ce cas  $F_r < 1$  et  $h_n > h_c$ , où  $h_n$  est la profondeur qui correspond à l'écoulement uniforme, l'effet de la gravité est plus prononcé, ce qui entraîne une diminution de la vitesse de l'écoulement,
- **Régime d'écoulement Critique:** Dans ce cas  $F_r = 1$ ,
- **Régime d'écoulement Torrentiel:** Dans ce cas  $F_r > 1$ , les forces d'inertie prévalent, entraînant une vitesse d'écoulement élevée.

### I.4.2 - Régimes d'écoulement suivant le nombre de Reynolds $R_e$

Le nombre de Reynolds  $R_e$ , qui est sans dimension, représente le rapport des forces d'inertie aux forces de frottement visqueux, selon la formule suivante:

$$R_e = \frac{V D_h}{\nu} \quad (I- 4)$$

où-  $D_h$  est le diamètre hydraulique,  $\nu$  est la viscosité cinématique du liquide en écoulement.

Dans un écoulement à surface libre, nous pouvons distinguer trois types du régime (Giles et al., 1995), à savoir:

- **Régime laminaire:** Ce régime est caractérisé par une vitesse très faible et une valeur de  $R_e \leq 2000$ , en plus du fait que l'état de la surface de la paroi n'affecte pas beaucoup le calcul du coefficient de frottement  $f$ ,
- **Régime en Transition:** Ce régime présente l'état intermédiaire entre le régime laminaire et le régime turbulent, dont lequel  $2000 < R_e < 4000$ ,
- **Régime turbulent:** Dans le cas de ce régime la rugosité joue un rôle très important, pour calculer le coefficient de frottement, dans ce type d'écoulement il faut tenir compte les deux paramètres de nombre de Reynolds (dans ce cas  $R_e > 4000$ ) et la rugosité des parois.

### I.5- Classification des écoulements à surface libre

Les écoulements à surface libre peuvent être classés comme étant des écoulements permanents ou non permanents en fonction de temps, uniforme ou non uniforme suivant la géométrie de la section d'écoulement.

#### I.5.1- Ecoulement permanent ou non permanent

L'écoulement permanent est défini comme un écoulement dont la vitesse  $V$  et la profondeur

d'eau  $h$  sont constantes, sur une période de temps  $t$  ( $\frac{dV}{dt}=0, \frac{dh}{dt}=0$ ), dans ce cas le débit  $Q$  est constant.

Dans le cas contraire, l'écoulement est dit non permanent.

### I.5.2- Ecoulement uniforme ou non uniforme

L'écoulement uniforme répond à deux conditions: la permanence et l'uniformité, pour la première condition on peut écrire : ( $\frac{dV}{dt}=0, \frac{dh}{dt}=0$ ). L'écoulement est uniforme si les paramètres hydrauliques comme le débit, la vitesse, la pente et la profondeur d'eau restent constants sur une longueur  $L$  donnée du canal ( $\frac{dV}{dL}=0, \frac{dh}{dL}=0 \dots$ etc.). La pente de la canalisation, celle de l'énergie et la surface de l'eau sont alors toutes parallèles (Giles et al. 1995). La profondeur d'eau correspondant à un écoulement uniforme est dite profondeur normale  $h_n$ .

L'écoulement est non uniforme si la profondeur d'écoulement  $h$  varie le long du canal ouvert  $\frac{dh}{dL} \neq 0$ . Dans ce cas, l'écoulement peut être graduellement ou rapidement varié, suivant la rapidité avec laquelle le changement se fait.

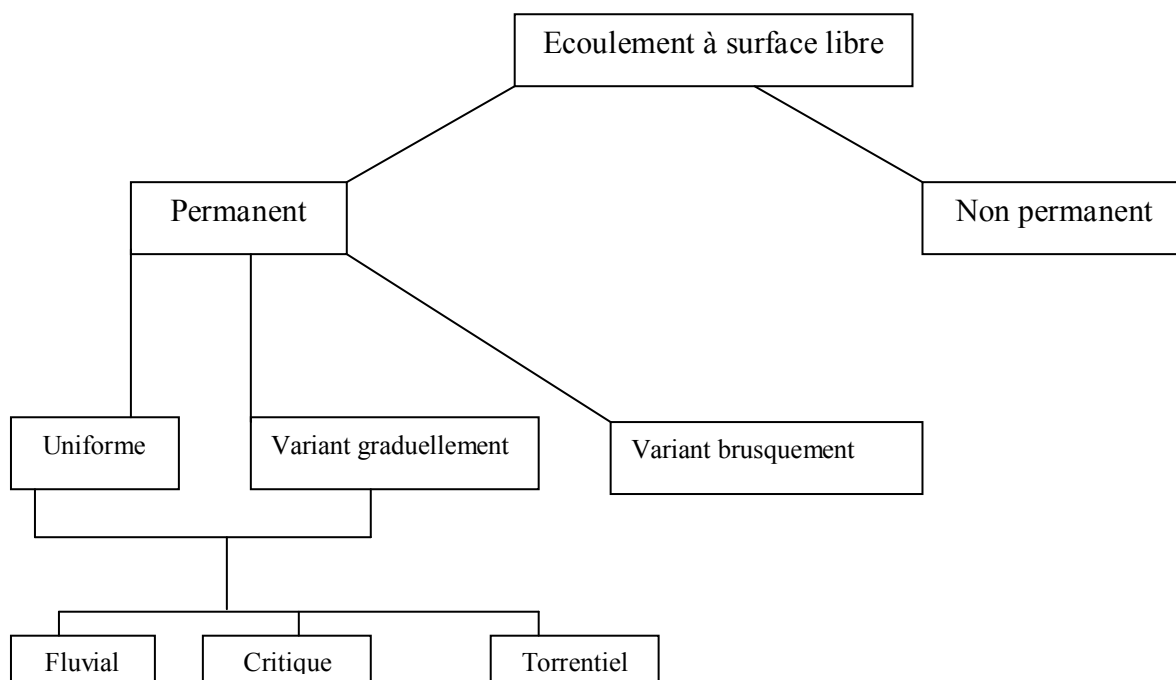


Figure I.3- Classifications des écoulements dans les cours d'eau.

### I.6- Principaux paramètres caractérisant l'aléa d'inondation

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

### **a) Période de retour**

Un phénomène ayant une période de retour de cent ans (phénomène centennal) a une chance sur cent de se produire ou d'être dépassé chaque année. Cela est vérifié à condition de considérer une très longue période. Mais elle peut aussi, sur de courtes périodes (quelques années), se répéter plusieurs fois. Autrement dit, en vingt ans, un individu a une chance sur cinq de vivre la crue centennale.

### **b) Hauteur et durée de submersion**

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

### **c) Vitesse du courant**

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

### **d) Volume de matière transportée**

Ce volume est communément appelé "transport solide". Il s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, galets, blocs, etc.) se trouvant dans les cours d'eau et dont le transport peut s'effectuer soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement sur le fond du lit, du fait des forces liées au courant. L'aléa inondation d'une rivière torrentielle sera essentiellement caractérisé par une vitesse du courant élevée et un fort transport solide (Revet, 2007).

## **I.7- Type d'inondations**

Il existe au moins six types d'inondations:

### **I.7.1- Les inondations des plaines**

Les crues de plaine (on parle aussi de crues fluviales) surviennent à la suite d'épisode pluvieux océaniques prolongés mais d'intensités modérée, s'abattant sur des sols où le ruissellement est long à déclencher, le cours d'eau sort de son lit ordinaire pour occuper.

Son lit majeur et l'inondation est caractérisée par une montée lente des eaux, le débordement du cours d'eau peut parfois être précédé de remontées des nappes phréatiques. La durée de submersion peut atteindre plusieurs jours à quelques semaines.

### **I.7.2- Les inondations par crues torrentielles**

Les crues torrentielles sont des phénomènes brusques et violents résultant d'épisodes pluvieux intenses et localisés, du type d'orages convectifs. Si la vitesse de montée des eaux est extrêmement rapide, la décrue l'est également. On parle aussi de crues éclairs pour désigner des crues torrentielles survenant de très petits bassins versants et se formant en quelques heures.

De manière un peu conventionnelle, on parle de crues torrentielles lorsque la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau tombant sur le point "hydrologiquement" le plus éloigné atteigne l'exutoire est inférieure à 12 heures (ou 24h pour certaines hauteurs). Ces crues touchent principalement les zones de montagne, les cours d'eau du pourtour méditerranéen, mais aucun petit bassin au relief accentué, à forte capacité de ruissellement, n'est à l'abri.

### **I.7.3- Les inondations par ruissellement en secteur urbain**

Les inondations par ruissellement recouvrent des phénomènes physiques différents Selon lesquelles se produisent en milieu rural ou urbain. Mais ces phénomènes se caractérisent par leur soudaineté et leur courte durée, ce qui les rend peu prévisibles et difficilement maîtrisables en période de crise.

Les inondations par ruissellement concernent principalement les milieux urbanisés. Les pluies qui ne peuvent s'infiltrer et s'évacuer par les réseaux artificiels d'écoulement (Réseau d'assainissement superficiels et/ou souterrains) s'accumulent dans les points bas.

Le ruissellement pluvial urbain peut provoquer d'importantes inondations lorsque les chenaux d'écoulement ensuite urbain sont devenus insuffisamment dimensionnés après urbanisation et imperméabilisation des sols (Ledoux, 2006).

### **I.7.4- Inondations par remontées des nappes phréatiques**

Elles correspondent à des inondations par débordement indirect qui se manifestent par la remontée de la nappe phréatique qui affleure en surface et/ou par l'intrusion d'eau dans les différents réseaux d'assainissement (Merabet, 2006).

Les désordres liés à ce type d'inondation se traduisent par des remontées sous Bâtisses, l'ennoyage des ouvrages souterrains, la déstabilisation Tassements de remblai, des glissements

de terrain, des perturbations sur les réseaux Publiques, des pressions sous les constructions, etc. (Boubchir, 2007).

### **I.7.5- Inondation par rupture d'une protection**

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

### **I.7.6- Inondations marines**

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques (fortes dépressions et vents de mer) et forts coefficients de marée.

Elles se traduisent par l'invasion par des eaux salées particulièrement agressives. Elles se manifestent soit lors d'un raz de marée ou de tsunami (occurrence très faible, mais phénomène dévastateur), soit lors d'une tempête (surcote marine, vents et précipitations importants) ou en cas de rupture des défenses contre la mer (dans ce cas, les risques se concentrent le long du boulevard de littoral dans les secteurs dépressionnaires) (Sppi, 2004).

### **I.8- Le risque d'inondation**

Le risque d'inondation reste aujourd'hui le risque le plus répandu, faisant le plus de victimes et de dégâts. Il contribue pour 58% dans le nombre des victimes des catastrophes naturelles et pour 31% dans le montant des pertes économiques. La réaction face à ce risque d'inondation a consisté pendant plusieurs décennies à lutter contre les crues qui signifiait d'abord que l'on cherchait à agir sur le phénomène naturel la crue – et uniquement sur lui, c'est -à-dire sur une seule composante du risque “ l'aléa ” et non sur les enjeux ou leur vulnérabilité (Ledoux, 2006).

#### **I.8.1- Risques majeurs – inondations**

Les types de risques auxquels chacun de nous peut être exposé sont regroupés en cinq familles:

- **Risques naturels**: avalanche, feu de forêt, inondation, mouvement de terrain, cyclone, tempête, séisme et éruption volcanique.
- **Risques technologiques**: d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriels, nucléaire, biologique, rupture de barrage...

- *Risques de transports collectifs (personnes, matières dangereuses):* sont des risques technologiques, on en fait un cas particulier car les enjeux varient en fonction de l'endroit où se développe l'accident.

### **I.8.2- Risques liés aux conflits**

L'un des meilleurs moyens de prévention contre les risques d'inondation est d'éviter d'urbaniser les zones exposées à ce risque. Le PERI (Les plans d'exposition aux risques des inondations) est parmi les anciens documents définissant les zones inconstructibles et des zones constructibles sous réserves de respecter certaines prescriptions (Bravard, 1991).

### **I.9- Utilisation des modèles hydrologiques pour la prédétermination des valeurs de crues**

A priori, les méthodes de calcul des crues de projet ne diffèrent ni selon la taille des ouvrages, ni même selon celle des bassins versants, du moins en dessous de quelques centaines de km<sup>2</sup>.

Il est maintenant clairement admis que l'étude de la crue, qui sert au dimensionnement des ouvrages (cas d'aménagement des oueds contre l'aléa d'inondation par exemple), ne peut reposer sur la seule observation des débits. Les méthodes sont de type hydrométéorologique et associent la connaissance des pluies à celle des débits. Ces méthodes peuvent reposer simplement sur des concepts statistiques (méthode du Gradex, modèle de Giandotti) ou proposer une approche déterministe de la transformation de la pluie en débit.

La modélisation statistique de l'écoulement et les modes de prédéterminations de crues, c'est une méthode définit un débit maximum probable pour le bassin versant considéré, qui est le plus fort débit raisonnablement imaginable. Le risque d'occurrence d'un tel débit est en principe infiniment faible, en tout cas non chiffrable.

Dans d'autres pays, dont la France, on calcule un débit de projet assorti d'un risque d'apparition. En fonction de la vulnérabilité à l'aval: pertes en vies humaines, considérations économiques, submersibilité ou non de l'ouvrage. En terme fréquentiel, cela signifie par exemple, qu'un ouvrage conçu pour évacuer la crue d'être soumis à la crue de projet, sur une durée d'exploitation de 100 ans. Le risque est de l'ordre de 1 % si l'ouvrage est susceptible d'évacuer la crue de fréquence décennale (durée d'exploitation de 100 ans). Il faut donc être conscient que l'ouvrage a un risque non négligeable d'être confronté à la crue de projet ainsi déterminée, tout en considérant que l'ouvrage est susceptible de résister à une crue supérieure grâce à la revanche. Bien qu'a priori toutes les méthodes ne soient applicables que sur des sites pour lesquels des chroniques d'observation sont disponibles, des considérations pratiques conduisent par fois à des applications en mode dégradé. C'est souvent le cas pour

les petits bassins versants, qui disposent rarement de chroniques de débits. La fiabilité de l'étude hydrologique reste toutefois extrêmement tributaire de la qualité de l'information hydroclima-tologique disponible.

Les modèles d'inondation typiques ne tiennent pas compte de la structure spatiale des événements d'inondation, ce qui peut entraîner des erreurs dans l'estimation du risque d'inondation à l'échelle régionale à continentale. Les modèles d'inondation stochastiques à grande échelle peuvent simuler des événements d'inondation synthétiques avec une structure spatiale réaliste, bien que cette méthode soit limitée par la disponibilité des données. Le débit simulé à partir de modèles hydrologiques mondiaux a été utilisé avec succès pour piloter la modélisation stochastique dans des environnements riches en données.

Des recherches sont élaborées pour l'évaluation et l'utilisation des simulations rétrospectives de débit à partir de modèles hydrologiques mondiaux dans la construction de modèles stochastiques d'inondations fluviales à l'échelle mondiale: des événements d'inondation synthétiques dans différentes régions du monde (Australie, Afrique du Sud, Amérique du Sud, Malaisie, Thaïlande et Europe) sont simulés à l'aide de données mesurées et décharge modélisée. Sur la base des analyses, on peut comprendre comment une approche basée sur un modèle peut simuler la dépendance spatiale dans la modélisation des inondations à grande échelle. Les résultats montrent une performance prometteuse de l'approche basée sur les modèles, avec des erreurs comparables à celles obtenues sur les sites riches en données: une approche basée sur les modèles simule l'occurrence conjointe de dépassements de débit relatif à deux emplacements donnés de la même manière que lorsqu'un modèle statistique basé sur la jauge est utilisé. Cela suggère qu'un réseau de données de jauge synthétiques dérivées de modèles hydrologiques mondiaux permettrait le développement d'un modèle d'inondation stochastique avec une dépendance spatiale détaillée, générant des ensembles d'événements réalistes dans les régions où les données sont rares et des courbes de dépassement des pertes lorsque des données d'exposition sont disponibles.

Alors que différentes centres de recherche reconnaissent de plus en plus l'importance de la modélisation des inondations pour la planification et la gestion des urgences (Brody et al., 2007 ; Hall et al., 2003 ; Küpferle et al., 2009 ; Sayers et al., 2002), le domaine de la modélisation des inondations à grande échelle a connu des développements majeurs au cours des dernières années. De nombreux modèles d'inondations fluviales ont été développés, non seulement au niveau national mais aussi à l'échelle continentale et mondiale (Dottori et al.

2016; Pappenberger et al., 2012; Sampson et al., 2015; Winsemius et al., 2013; Yamazaki et al., 2011). Les modèles d'inondation traditionnels à l'échelle de l'ingénierie ne tiennent généralement pas compte de la dépendance spatiale lors de la simulation d'événements d'inondation et produisent des cartes d'inondation avec une période de retour constante dans l'espace. L'hypothèse selon laquelle chaque emplacement du réseau fluvial connaîtra un écoulement avec la même période de retour est parfaitement acceptable pour les modèles de crue à petite échelle, où la rivière atteint des longueurs ne dépassant pas quelques dizaines de kilomètres, cependant, elle se décompose à des échelles plus grandes. Aux confluences fluviales (Neal et al., 2012). Les premiers modèles d'inondation à grande échelle ont suivi la même approche, mais ce n'est pas une représentation précise d'événements d'inondation à l'échelle régionale à continentale. Les inondations à grande échelle sont souvent causées par des systèmes météorologiques organisés et les fréquences des flux qui en résultent sont caractérisées par une dépendance spatiale (Quinn et al. 2019) ; cela signifie que le schéma de la période de retour de l'inondation résultante aura également une structure spatiale.

Un modèle d'inondation stochastique peut simuler des événements d'inondation réalistes où la période de retour varie dans l'espace en dérivant la dépendance spatiale entre différents jaugeages de rivière à partir d'enregistrements historiques, puis en l'utilisant pour simuler un grand nombre d'événements synthétiques avec une distribution spatiale plausible. Cela a un impact substantiel, en particulier sur les calculs des pertes monétaires. Dans le domaine de l'estimation des risques d'inondation, il existe deux résultats principaux que les décideurs et les scientifiques examinent généralement: la perte moyenne annuelle et la courbe de dépassement des pertes (Hsu et al., 2011; Keef et al., 2012).

Alors que la valeur moyenne annuelle des pertes fait référence aux pertes annuelles attendues à long terme, la courbe de dépassement des pertes fournit des informations sur la distribution de probabilité des pertes au cours d'une année donnée et peut être très importante pour les compagnies d'assurance. Ces entreprises doivent pouvoir garantir les paiements même en cas d'événements très rares (ou de succession d'événements). Alors que les méthodes traditionnelles d'estimation des risques d'inondation peuvent fournir des informations sur la perte moyenne annuelle, il n'est pas possible de produire une courbe précise de dépassement des pertes, car il n'y a pas de données sur la gamme d'événements possibles qui pourraient se produire dans une année (Wing et al., 2018; Quinn et al., 2019). Les cartes d'inondation statiques peuvent également conduire à une sous-estimation des pertes pour les événements fréquents et à une surestimation pour les périodes de retour plus élevées, comme l'ont montré

Metin et al. (2020) et Wing et al. (2020). L'utilisation d'un modèle d'inondation stochastique permet de calculer les pertes pour chaque événement simulé et fournit une distribution des pertes annuelles à partir de laquelle une courbe de perte-dépassement peut être formée.

Dans le développement d'un modèle d'inondation stochastique, la caractérisation de la dépendance spatiale entre les débits peut soit être dérivée des enregistrements historiques des jaugeages fluviaux (Diederer et al., 2019; Ghizzoni et al., 2012; Keef et al., 2009, 2013 ; Neal et al., 2012 ; Quinn et al., 2019) ou peut être déterminée à l'aide d'une simulation hydrologique continue (Falter et al., 2014, 2015; Haberlandt & Radtke, 2014). Quinn et al. (2019) ont utilisé un modèle statistique multi varié conditionnel (Heffernan et Tawn, 2004) pour caractériser la dépendance spatiale entre 2400 essais aux États-Unis contigus et l'ont utilisé pour simuler 1000 ans de modèles d'inondation réalistes, en calculant la probabilité que différentes valeurs de U.S. les pertes économiques totales annuelles dues aux inondations sont dépassées. Quinn et al. (2019) montrent comment la modélisation stochastique peut offrir une analyse détaillée des inondations à plus grande échelle: grâce à la simulation d'un large catalogue d'événements synthétiques, il est possible de simuler des événements très rares et les pertes qui pourraient survenir lors d'années particulièrement extrêmes. L'utilisation de catalogues d'événements synthétiques est très courante dans le secteur de l'assurance à plus grande échelle. Lorsque la dépendance spatiale devient un enjeu important. Cette approche de modélisation du risque de catastrophe peut être extrêmement utile pour calculer les pertes agrégées sur de vastes zones.

Wing et al. (2020) fournit une preuve de concept aux États-Unis, prouvant que cette méthodologie basée sur un modèle fournit de bons résultats dans une seule région riche en données (les États-Unis) où les modèles hydrologiques mondiaux ont été calibrés et testés et où le forçage météorologique est plus précis. Les résultats positifs de cette recherche suggèrent la possibilité d'application à d'autres régions hydro climatiques compte tenu de la couverture spatiale complète des modèles hydrologiques mondiaux (MHM) modernes, mais la transférabilité de ces résultats à d'autres régions n'est pas du tout évidente.

### **I.10- Conclusion**

Les inondations des oueds sont l'une des catastrophes naturelles les plus courantes et les plus dévastatrices, avec des impacts sur la vie humaine, les activités économiques, les infrastructures et l'environnement. L'impact des inondations peut être exacerbé par les effets sur les infrastructures de transport, qui peuvent entraver les activités de secours en cas de

catastrophe, souvent là où elles sont le plus nécessaires .Dans le contexte du changement climatique, ces problèmes devraient s'aggraver, d'où la nécessité de comprendre, de modéliser et d'évaluer l'ampleur de ces événements afin de les atténuer ou de les prévenir.

A travers ce chapitre nous avons évoqué le phénomène d'inondation, et en même temps expliqué les caractéristiques des écoulements dans les cours d'eau, qui sont, dans la plupart des cas, des écoulements à surface libre .On peut distinguer les régimes d'écoulement par les deux nombres adimensionnels de Froude et de Reynolds. Nous avons également décrit les caractéristiques d'écoulement à surface libre dans les cours d'eau et aussi les différents types d'inondation. Ensuite, une description détaillée des principaux paramètres caractérisant le risque d'inondation. Les inondations peuvent être prédites à l'aide de modèles hydrologiques dans le but d'évaluer les valeurs de crues. L'efficacité de la modélisation hydrologique dépend de son adéquation avec la réalité en termes de focalisation sur la saisie des données de terrain.

La crue de projet est celle de plus faible fréquence entrant dans le cours d'eau. Elle est prise en compte pour dimensionner notre ouvrage de telle sorte que le risque est presque nul. Souvent la crue de projet considérée est la crue de débit de pointe maximale. Il n'est pas toujours certain que cette crue soit la plus défavorable pour notre ouvrage d'aménagement contre l'inondation. Une crue moins pointue, mais plus étalée, pourrait être plus défavorable. La période de retour minimale préconisée pour cette crue est comprise supérieur à 100 ans. Le choix de la période de retour dépend du risque induit par l'aléa d'inondation.

A decorative border with intricate black floral and scrollwork patterns on a white background, framing the central text. The border consists of a top and bottom horizontal section and two vertical side sections, all connected by small corner motifs.

## **Chapitre II**

### **Présentation de la zone d'étude et analyse des données utilisées**

## Chapitre II- Présentation de la zone d'étude et analyse des données utilisées

### II.1- Introduction

Ce chapitre consiste à présenter la zone d'étude (la situation géographique, la situation climatique). Après cela, l'analyse statistique est nécessaire pour le travail effectué. La protection des zones urbaines ou rurales contre les risques d'inondation nécessite la satisfaction de trois conditions fondamentales: la disponibilité de la ressource financière, le cours d'eau et le suivi technique du projet pour une enquête appropriée dans les règles de l'art. La collecte et l'analyse des données pluviométriques et hydrométriques sont essentielles pour une estimation correcte des ressources en eau. Le traitement des données topographiques et hydrométriques cumulées permet de choisir le débit maximum à utiliser pour les dimensions de l'ouvrage, assurant une protection optimale. En l'absence d'observations des débits sur nos oueds (surtout dans l'oued de Boumergad), une corrélation est recherchée entre les précipitations journalières maximales dans le bassin versant de Boumergad et les débits des cours d'eau voisins, dans le but d'estimer le  $Q_{\max}$  avec deux méthodes.

La collecte de données est une étape importante pour toute étude de protection, en particulier lorsque ces données sont limitées ou totalement absentes. La collecte de données hydrométriques s'est limitée à la saisie des principales données de précipitations du bassin versant, puis à la conversion de ces données en conditions d'écoulement à utiliser dans la conception de la structure.

### II.2- Présentation de la zone d'étude

#### II.2.1- La situation géographique:

La wilaya de Bordj Bou Arreridj occupe une place stratégique au sein de l'Est algérien.

Elle se trouve à mi-parcours du trajet séparant Alger de Constantine.

Le Chef-lieu de la wilaya est située à 220 km à l'est de la capitale, Alger. La wilaya de Bordj Bou Arreridj s'étend sur une superficie de 3 921 km<sup>2</sup>.

La ville de BBA est limitée administrativement comme suit :

- Au Nord : Medjana, Hasnoaua;
- Au Sud : El Hammadia;
- Au l'Ouest : El Achir;
- A l'Est : Sidi Embarek, El Anasser.



Figure II.1- Situation géographique de la zone d'étude (en blanche)

## II.2.2-Situation climatique

Les conditions climatiques au niveau du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Les facteurs qui déterminent le climat sont:

Les précipitations avec sa distribution dans le temps et dans l'espace, l'évaporation, et la température.

Les données climatiques de la wilaya sont issues de la station du météo de Bordj Bou Arreridj de coordonnées 3604Nord 0440Est et 955 m d'altitude. Au site considéré, le bassin versant est dominé par un climat de type aride avec des hivers froids et des étés relativement chauds et secs.

### II.2.2.1. Température

Les données concernant les températures relèvent toujours de la station de Bordj Bou Arreridj, les tableaux en annexes montrent des minimum moyen mensuels oscillant entre  $-5.3^{\circ}\text{C}$  en hiver (Février) et  $18.5^{\circ}\text{C}$  au mois de juillet, les maximums moyens sont de  $14^{\circ}\text{C}$  en hiver  $40.2^{\circ}\text{C}$  en été, l'amplitude est  $26^{\circ}\text{C}$  environ.

Tableau II.1- Températures moyennes mensuelles et annuelles

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
$T_{\min}$	-2.2	-5.3	0.3	-0.9	6.3	13.5	18.5	15.8	12.4	0.8	3.8	-2.9	5.01
$T_{\max}$	19.7	14	22.2	31	31.8	38.6	40.2	38.2	36.1	34.2	20	15.2	28.43

T <sub>moy</sub>	8.75	4.35	11.25	15.05	19.05	26.05	29.35	27	24.25	17.5	11.9	6.15	16.72
------------------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	----	-------	------	------	------	-------

L'analyse du tableau Ci –dessus nous renseigne sur:

- Une période chaude s'étalant du mois de juin au mois de septembre,
- Le mois le plus chaud étant le mois de juillet,
- Une période de froid s'étalant du mois d'octobre au mois d'avril,
- Le mois le plus froid étant le mois de février.

### II.2.2.2- Évaporation

On remarque que la valeur moyenne mensuelle maximale de l'évaporation est de 60mm; tandis que la valeur moyenne mensuelle minimale de l'évaporation est de 12.4mm.

**Tableau II.2-** Les valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Totale
Evap (mm)	36.6	28.4	22.5	12.4	12.5	14.0	22.3	30.5	40.7	49.3	60	51.3	380.5

### II.2.2.3-Les vents:

Les vents les plus dominants sont ceux provenant du NORD – OUEST et du SUD – EST la zone connaît le SIROCCO pendant les mois de JUILLET et AOUT avec une moyenne annuelle de 15 jours.

Le tableau suivant indique les variations concernant les moyennes mensuelles et annuelles.

**Tableau II.3-** Les variations concernant les moyennes mensuelles et annuelles

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
<b>VIM</b>	6.0	7.1	6.6	6.7	6.9	6.5	5.9	5.5	3.7	5.3	5.2	7.0	6.2
<b>DIV</b>	SN	SN	SN	SN	ESW	SN	SN	SN	SN	SN	ESW	SN	SN
<b>FRQ</b> (%)	39	32	33	30	27	27	29	38	38	37	45	38	35.1

**VIM-** Vitesse du vent moyen en m/s,

**DIV-** Direction du vent,

**FREQU-** Fréquence moyenne mensuelle %,

### II.2.2.4- Pluviométrie

Les moyennes mensuelles et totales annuel des précipitations en mm sont données par le tableau suivant :

**Tableau II.4-** Répartition des stations météorologiques à travers la ville de B.B.A

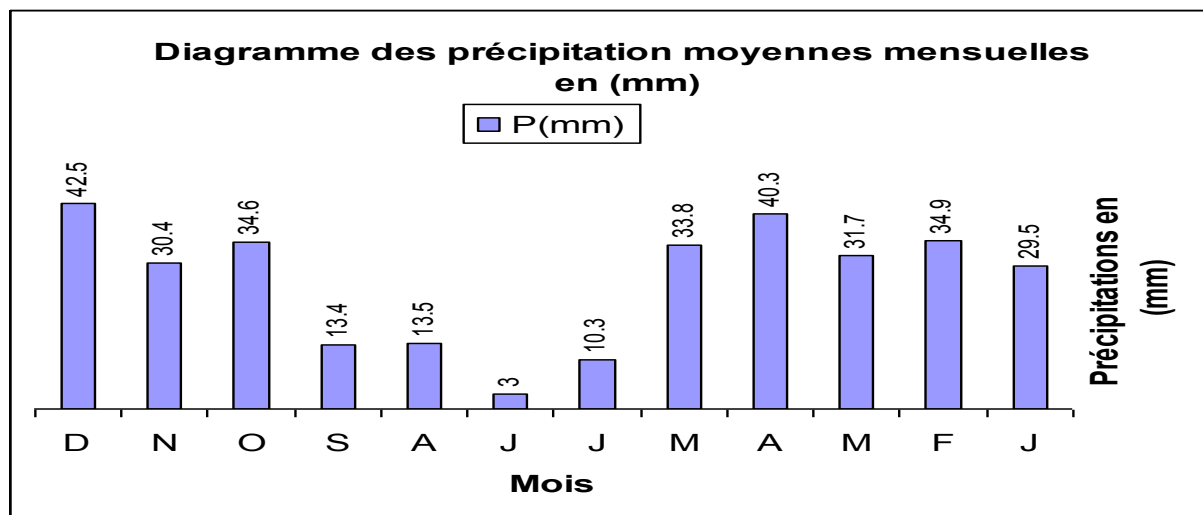
Type d'infrastructures	Nombre	Localisation
Station de météorologie	01	Forêt de BOUMERGUED
Station de météorologie	01	BBA, route de Medjana

Le régime pluviométrique est irrégulier en quantité et intensité, les pluies mensuelles moyennes sont observées par la station météorologique la plus proche de coordonnées:

- Longitude : 04,67 E
- Latitude : 36,07 N
- Altitude : 928 m

**Tableau II.5-** les moyennes mensuelles et totales annuel des précipitations

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total Année
P(mm)	29.5	34.9	31.7	40.3	33.8	10.3	3.0	13.5	13.4	34.6	30.4	42.5	317.9



**Figure II.2-** Diagramme des précipitations moyennes mensuelles

D'après le diagramme la période pluvieuse est enregistrée entre le mois d'Octobre et le mois de Mai, la période estivale est caractérisée par une faible précipitation 03 mm au mois de Juillet.

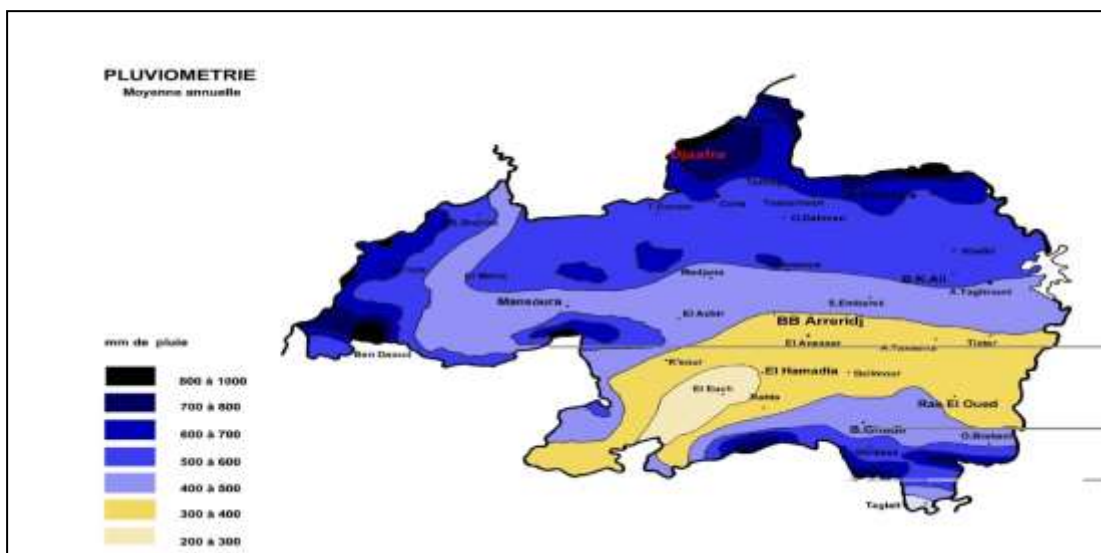


Figure II.3- Répartitions spatiale de la précipitation au niveau de la wilaya de Bordj Bou Arreridj

### II.2.3- Démographie

Pour l'estimation de la population à l'horizon futur nous utiliserons l'expression des intérêts composées :

$$P_n = P_o (1+T)^n \dots\dots\dots(1)$$

d'où :

$P_n$ - Population future;

$P_o$ - Population actuel pour l'année 2008 ;

T - Taux d'accroissement (1.3%) ;

N - Nombre d'années séparant l'année de futur et l'année de référence.

Tableau II.6- Estimation de la population à l'horizon futur

Localité	NOMBRED'HABITANTS						
	Horizon 2008	Horizon 2014	Horizon 2020	Horizon 2025	Horizon 2030	Horizon 2035	Horizon 2040
BBA Est	43500	47620	50790	54180	57800	61650	65760

### II.2.4- Description de la zone d'étude

L'ancien aménagement (ancienne protection) de l'oued Boumergued se faisait par un canal à ciel ouvert, ce qui est désormais impraticable étant donné que cette zone connaît actuellement une forte urbanisation (POS 6 par exemple) (Voir la figure Fig II.6).D'un point de vue sécurité, ce type de protection (à ciel ouvert qui existe actuellement) est déconseillé en milieu urbain.



**Figure II.4-** Image d'ancienne protection pour l'oued Boumergued (existants actuellement)

La zone d'étude était représentée par l'étendue de l'Oued Boumergued. À la partie haute un affluent, s'appelle oued Akhrouf, se jette dans l'oued, point de rencontre à l'entrée est de la ville, près du centre commercial de son propriétaire, Mr. Amara. Alors que, chaque fois que l'on se dirige vers le sud pour suivre le chemin de l'oued, on voit clairement un autre point de liaison entre ce cours d'eau avec la vallée centrale de Marj El Wassat venant du centre-ville (en passant près du quartier Al-Jabbas), comme le montre l'image suivante. Les dimensions d'oued Merdj El Wassat sont de 2 m de la hauteur avec 4 m de largeur.



**Figure II.5-** Point de raccordement entre oued Boumergued (trapézoïdal à ciel ouvert) et oued Mardj El

Wassat

Un autre point de raccordement est important aussi, représenté par le raccordement entre l'oued Boumergued avec une grande Chaaba venant de forêt de Boumergued. Ce raccordement est illustré dans la figure suivante, dont les dimensions de cette Chaaba sont 2m de profondeur sur 3 m de largeur. On peut remarquer aussi que la pente commence à s'affaiblir à partir de cette section, dont nous parlerons plus tard.



**Figure II.6** Point de raccordement avec Chaaba de forêt Boumergued

Au fur et à mesure que nous allons plus au sud, le chemin de la vallée commence à se rapprocher des centres de population, et sa largeur commence à s'élargir en raison de la faiblesse de la valeur de la pente, et ici nous voyons la gravité de la situation. Si nous allons un peu plus loin, nous verrons un autre obstacle représenté par les chemins de fer, d'autant plus que l'ouvrage construit sous ces lignes est étroit et ne suffit pas au passage de l'eau en cas de crue importante. C'est un autre problème qui s'ajoute au problème de faible pente (Voir la figure Fig II.7).



**Figure II.7-** Situation d'oued Boumergued vis-à-vis le centre urbain

### II.2.5- Situation du réseau d'assainissement:

L'agglomération dans cette zone dispose de deux réseaux d'assainissement, l'un de diamètre 700 mm représentant l'ancien réseau et l'autre de diamètre 1000 mm. Le dernier réseau a été mis en place en 2019 pour renforcer cette zone et l'évacuation des déchets urbains qui continue à augmenter dans le temps par l'expansion urbaine de cette partie de la ville de Bordj Bou Arreridj.

### II.3- Analyse des données utilisées

L'analyse fréquentielle, de l'écoulement des oueds et des pluies, consiste à déterminer les principaux paramètres statistiques de chaque station pluviométriques ou hydrométriques, en utilisant les méthodes adéquates appliquées en hydrologie de l'ingénieur.

Les phénomènes hydrologiques sont les résultats de divers facteurs qui varient continuellement dans le temps et dans l'espace, c'est-à-dire qu'ils ont un caractère probabiliste. Ceci ne contredit pas leur déterminisme physique. L'aspect aléatoire est dû au grand nombre de causes, dont chacune ne peut être considérée que d'une position probabiliste.

D'après Rojdestvensky et Tchebotariov (Rojdestvensky, 1974), l'emploi des méthodes statistiques en hydrologie est confronté à certaines particularités, conditionnées par la spécificité de ces phénomènes hydrologiques examinés:

- On dispose d'un volume réduit d'informations, qu'on ne peut pas augmenter assez, pour rallonger la série hydrologique courte et estimer ses paramètres statistiques, permettant ainsi l'extrapolation de la courbe de fréquence en dehors des données d'observation.

- Les séries de l'écoulement fluvial mesuré peuvent être non homogènes comme dans le temps comme dans l'espace. Le plus souvent, la violation de l'homogénéité des séries des caractéristiques de l'écoulement est liée à influence entropique.

- L'existence de l'auto-corrélation entre les éléments de la même série qui gêne le principe aléatoire, d'où on a le volume d'information indépendante se réduit.

Les méthodes statistiques sont largement utilisées en hydrologie, surtout pour les calculs des différentes caractéristiques de l'écoulement fluvial. Mais les lois de la théorie des probabilités sont obtenues par abstraction des lois statistiques réelles, propres aux phénomènes aléatoire de masse. L'existence de ces lois est liée justement avec l'immensité dans le temps du phénomène; c'est-à-dire le grand nombre des expériences homogènes exécutées ou avec le grand nombre des influences aléatoires ajoutées, qui provoquent dans l'ensemble une valeur aléatoire, qui vérifie bien la loi déterministe.

Dans la pratique des calculs hydrologiques, pour estimer les paramètres statistiques de l'écoulement fluvial, l'hypothèse concernant la nature aléatoire des séries hydrologiques a été vérifiée et elle a bien confirmé une meilleure conformité des données expérimentale.

Les caractéristiques numériques, qui déterminent la position de la variable aléatoire sur l'axe des abscisses sont:

- L'espérance mathématique de la variable aléatoire  $m_x$ , en considérant que la valeur aléatoire apparaît une seule fois dans l'expérience, est remplacée par son équivalent empirique- la moyenne arithmétique  $\bar{x}$ . On par conséquent :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots (II.1)$$

Le coefficient de variation  $C_v$ , le coefficient d'asymétrie  $C_s$  et l'excès  $E_s$  montrent les propriétés de la courbe de fréquence. Ils peuvent être déterminés par la méthode des moments. On distingue le moment initial, le moment central et le moment absolu.

Le moment initial  $\alpha_s$ , de l'ordre  $s$  de la variable discrète aléatoire  $X$ , est la somme

$$\alpha_s = \sum_{i=1}^n x_i^s p_i \dots\dots\dots (II.2)$$

Pour l'ordre  $s = 1$ , on a  $\alpha_1 = m_x = \sum_{i=1}^n x_i p_i$ . Il correspond à la valeur moyenne  $\bar{x}$ .

Le moment central  $\beta_s$ , de l'ordre  $s$  des variables discrètes aléatoires est appelé espérance mathématique

$$\beta_s = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^s p_i \dots\dots\dots (II.3)$$

Pour les distributions empiriques, à la place de  $m_x$  on utilise la valeur moyenne  $\bar{x}$ , soit

$$\beta_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^s \dots\dots\dots (II.4)$$

Pour l'ordre  $s = 1$ , on a  $\beta_1 = 0$ . Et pour l'ordre  $s = 2$ , on a :

$$\beta_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \dots\dots\dots (II.5)$$

Le second moment central est la dispersion de la valeur aléatoire par rapport à la valeur moyenne  $D_x$ . La racine carrée de la dispersion est appelée écart quadratique type :

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} \dots\dots\dots (II.6)$$

Mais strictement parlant, cette expression correspond à une série infiniment grande. Alors que souvent en hydrologie les échantillons quelques dizaines d'années pour qui le deuxième moment central est biaisé négativement. Pour remédier cette expression on introduit la correction suivante:

$$\delta = \sqrt{n/n-1} \dots\dots\dots (II.7)$$

On obtient ainsi une expression générale:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (II.8)$$

Pour comparer la variation des différentes variables aléatoires, utilise un paramètre adimensionnel  $\sigma_x/\bar{x}$ , appelé coefficient de variation:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (II.9)$$

où:

$k_i = x_i/\bar{x}$  - coefficient modulaire.

$n$  - taille de l'échantillon.

L'estimation du paramètre de distribution d'une variable aléatoire quelconque  $X$ , obtenue sur la base d'un échantillon par une méthode donnée, est aussi une variable aléatoire, possédant un écart donné. Ce qui signifie, qu'on peut obtenir n'importe quel nombre d'échantillon de taille  $n$ , d'un même population, et ils donneront différentes valeurs du paramètre estimé. Par conséquent, l'estimation ponctuelle du paramètre  $G$  en tant que valeur concrète  $G^*$  ne donne pas une représentation complète du paramètre cherché, sans l'estimation de son erreur de calcul. L'écart type  $\sigma_G$  peut servir comme mesure de l'erreur aléatoire pour les paramètres de l'échantillon (erreur absolue) ou écart-type relatif  $\varepsilon_G = \frac{\sigma_G}{G} 100\%$ .

Les formules de calcul de l'erreur dépendent de la méthode utilisée pour l'estimation des paramètres. Avant de commencé le calcul de débit max il faut tout d'abord vérifier l'homogénéité de la série des pluies représentée dans le tableau ci-dessous:

**Tableau II.7- série des pluies journalières maximales ( $P_{j\max}$ ) station de BBA**

n°	Année	$P_{j\max}$ en mm	n°	Année	$P_{j\max}$ en mm	n°	Année	$P_{j\max}$ en mm
1	1982	33,1	12	1993	30	23	2004	39,4
2	1983	27	13	1994	110,9	24	2005	24,2
3	1984	23,7	14	1995	32,4	25	2006	34,7
4	1985	52,4	15	1996	52,9	26	2007	29,6
5	1986	56,6	16	1997	21,4	27	2008	24,6
6	1987	27	17	1998	29,2	28	2009	27,9
7	1988	21,7	18	1999	48,3	29	2010	38,1
8	1989	27,3	19	2000	26,2	30	2011	35,3
9	1990	38,6	20	2001	37	31	2012	30
10	1991	32,9	21	2002	25,4	32	2013	28,8
11	1992	30,8	22	2003	26,7	33	2014	18,1

### II.3.1- Test d'homogénéisation

#### II.3.1.1- Définition

Pour bien saisir le besoin réel d'avoir accès à des séries climatiques homogènes, il faut comprendre la définition de l'homogénéité. Une série climatique est homogène par rapport à une série voisine lorsque le ratio ou la différence entre les deux séries est distribué aléatoirement autour d'une ligne horizontale sans sauts ni tendances. Dans le cas contraire, la série comprend une ou plusieurs inhomogénéités. Le terme 'inhomogénéités' définit les variations non naturelles qui sont causées par des modifications dans les réseaux d'observations. La plupart des enregistrements climatiques contiennent différents types d'inhomogénéités.

#### II.3.1.2- Test de Wilcoxon

C'est le test le plus puissant des tests non paramétriques (Manuel Pratique d'Hydrologie B.TOUAIBIA).

##### Test de Wilcoxon ou Test des rangs

Avant de faire l'extension, il convient de tester si la série corrigée appartient à la même population que la série de référence. Le test de Wilcoxon est le plus puissant des tests non paramétriques.

*Rappel* : Soient 2 variables aléatoires  $Y$  et  $X$ , représentant respectivement 2 séries de précipitations annuelles de taille  $N_1$  et  $N_2$ .  $Y$  étant la série à étudier et  $X$  étant la série de base avec  $N_2 > N_1$ . Si l'échantillon  $Y$  est issu de la même population que l'échantillon  $X$ , l'échantillon nouveau  $Y \cup X$  est également issu de la même population. De ce fait, on classe les éléments de ce nouvel échantillon  $Y \cup X$  par ordre croissant et on attribue à chacune des valeurs le rang qu'elle occupe dans cette nouvelle série. (Si une valeur se répète plusieurs fois, il faut lui associer le rang moyen qu'elle détermine).

On calcule les quantités  $W_Y$  et  $W_X$ :

$W_Y$  représente la somme des rangs de Y et c'est celle qui nous intéresse et est égale à:

$$W_Y = \sum_{i=1}^n rang_Y = 1+3+4+ \dots +13+17+ \dots +n$$

La condition c'est que:  $N_1 \leq N_2$

L'hypothèse nulle est vérifiée si:

$$W_{\min} < W_x < W_{\max}$$

Avec-

$$W_X = \sum_{i=1}^{n-1} rang_X = 2+5+ \dots +12+14+15+16+ \dots +n-1$$

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1).N_1 - 1}{2} - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}}$$

$$W_{\max} = (N_1 + N_2 + 1) N_1 - W_{\min}$$

Avec-

$u_{1-\frac{\alpha}{2}}$  - représente la valeur de la variable centrée réduite de Gauss correspondant à une probabilité de

$$1 - \frac{\alpha}{2}$$

L'hypothèse d'homogénéité est acceptée si l'égalité suivante est vérifiée:  $W_{\min} < W_x < W_{\max}$ .

**Tableau II.8:** Les résultats de calcul sont résumés dans le tableau suivant :

$N_1$	17
$N_2$	16
$W_y$	/
$W_x$	244
$W_{\min}$	217.09
$W_{\max}$	326.91
$W_{\min} < W_x < W_{\max}$	

Comme conclusion, on peut dire que la série est homogène.

### II.3.2- Calcul des paramètres statistiques de la série par la méthode des moments

Ces calculs sont indiqués dans le tableau II.8.

**Tableau II.9-** paramètres statistiques de pluie journalière maximale estimée par la méthode des moments.

n°	Station	Méthode des moments		
		$P_{J_{max,moy}}$ , mm	$C_v$	$\delta$
01	B.B.A	34,61	0,47	16,26

$P_{J_{max,moy}}$  - pluie journalière maximale moyenne en mm,

$C_v$  - coefficient de variation de la série pluviométrique,

$\delta$  - écart type.

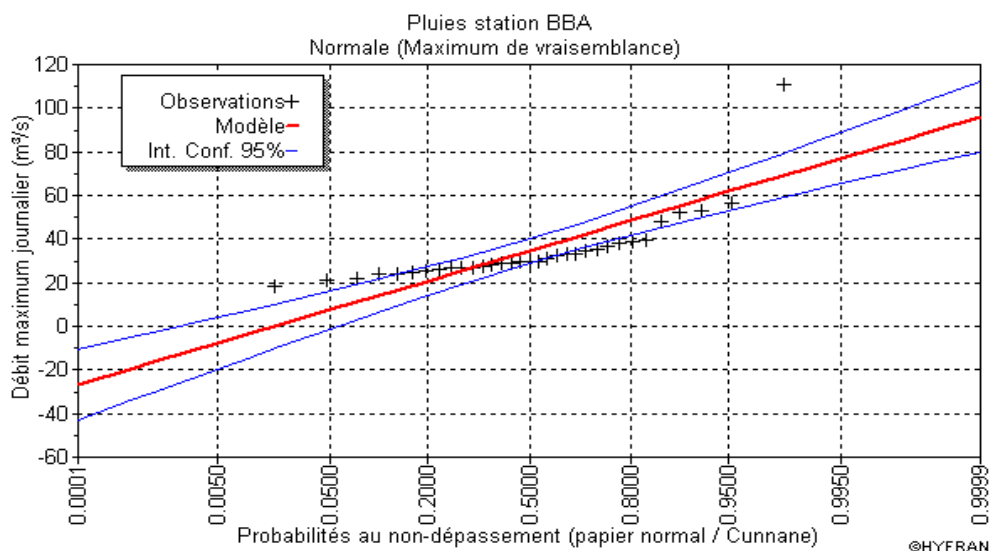
### II.3.3- Ajustement des pluies maximales journalières:

La deuxième étape est de faire l'ajustement des pluies maximales journalières par les lois :

Normale – Log normale - Gumbel, représentant les résultats sous forme tableau:

#### II.3.3.1- Ajustement à la loi Normale

Cette loi est appelé aussi la loi de Gauss, les phénomènes que nous avons étudié sont de type aléatoires, demande un ajustement par une telle loi pour maîtriser et comprendre le baisement de cette mouvement dans l'espace. L'ajustement notre pluie à la loi de Gauss est représentée sur l'image suivante.



**Figure II.8-** Ajustement de la série de pluie à la loi Normale

On peut remarquer qu'il y a des points d'observation hors l'intervalle de confiance, la précision présentation est médiocre, il faut mieux de changer cette loi (presque 5 pts hors l'intervalle de confiance)

### II.3.3.2- Ajustement à la loi Log-Normale

La loi Log-Normale dite aussi la loi de Galton. Il est venu après la loi de Gauss, utilisant la fonction logarithme, qui permet de trouver une bonne corrélation en minimisant les grandeurs et les valeurs de la série d'observation et en élevant le degré de coefficient de corrélation, où les valeurs d'une série sont soumises à cette fonction, puis la loi de Gauss est appliquée à la série extraite. L'ajustement par cette loi est représenté dans l'image suivante.

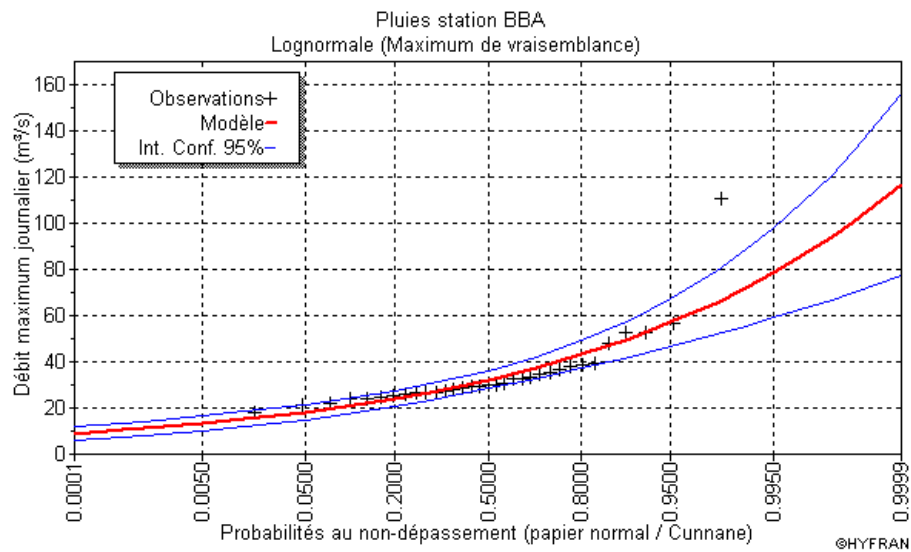


Figure II.9- Ajustement de la série de pluie à la loi Log-Normale

Encore une fois on peut remarquer qu'il y a des point d'observation presque hors l'intervalle de confiance mais mieux que la première loi (Gauss), il faut mieux de chercher une loi plus adéquate que cette loi. Utilisant la loi de Gumbel.

### II.3.3.3- Ajustement à la loi Gumbel

La fonction de répartition de la loi de Gumbel est donnée par la formule suivante:

$$F(x) = e^{-e^{-y}}$$

Avec-

$$y = \alpha (x - x_o)$$

y - variable réduite de Gumbel,

x - précipitation maximale journalière (y),

$\alpha$  paramètre d'ajustement (gradex).

L'ajustement de notre série de pluie, station de Bordj Bou Arreridj, cette loi donne des résultats très acceptables (Voir la figure II.10).

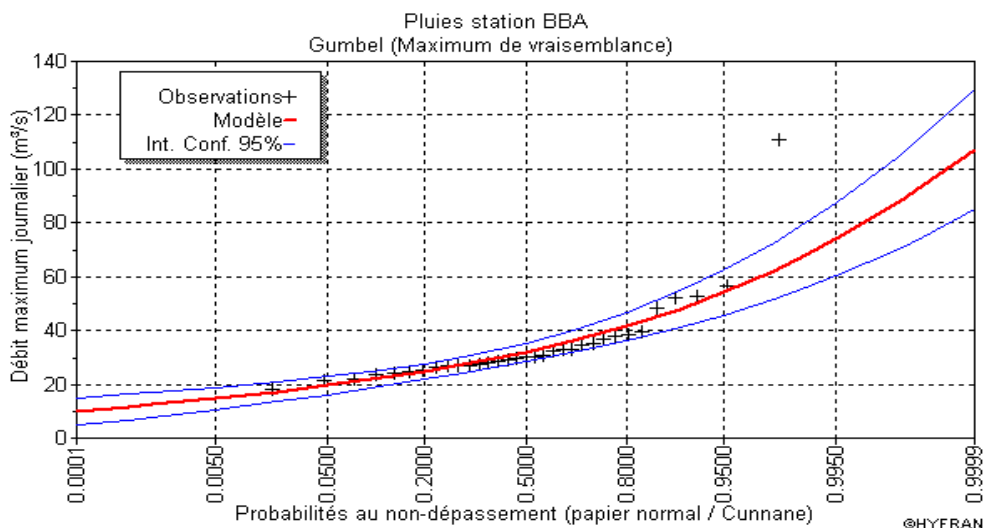


Figure II.10- Ajustement de la série de pluie à la loi Gumbel

Comme conclusion et par simple vérification on peut dire que cette loi s'ajuste bien avec notre série de pluie de la station de Bordj Bou Arreridj que les deux lois précédentes, vu que la majorité des points située dans la zone intervalle de confiance.

On peut choisir cette loi pour déterminer la pluie journalière maximale  $P_{jmaxp\%}$

Tableau II.10- Détermination de la pluie journalière maximale par les trois lois

N°	Loi	$P_{jmax p\%}$ (T = 50 ans)	$P_{jmax p\%}$ (T = 100 ans)	$P_{jmax p\%}$ (T = 1000 ans)
1	Normale	68,5	73	85,7
2	Log-Normale	67,5	72,1	93,9
3	Gumbel	62,1	68	87,7

### II.3.4- Estimation du débit maximal $Q_{max}$ dans l'oued Boumergued

Les données de bassins versant (BV) Boumergued, sont mentionnées dans le tableau suivant:

**Tableau II.11-** Les valeurs de  $S$ ,  $L$ ,  $H_{moy}$  et  $H_{min}$ , BV Boumergued

<i>Non de sous Bassins</i>	<i>S en km<sup>2</sup></i>	<i>L en km</i>	<i>H<sub>moy</sub> en m</i>	<i>H<sub>max</sub> en m</i>	<i>H<sub>min</sub> en m</i>
BV Oued Boumergued	20,85	9,776	1060,5	1185	936

Comme nous l'avons déjà mentionné les données hydrométriques de notre bassin versant sont représentées par la pluie journalière maximale de station Bordj Bou Arreridj situé à la forêt de Boumergued. En absence total des débits mesurés au niveau de ce cours d'eau.

Pour atteindre notre objectif, calcul de  $Q_{max}$  dans l'oued Boumergued, on utilise des modèles de transformations pluie-débit. Dans ce cas, il existe plusieurs modèles de conversion, les suivants sont cités à titre d'exemple: Méthodes de Giandotti, Mallet-Gautier, Turazza, Sokolovsky et TAIBI-ANRH. On appelle l'utilisation de ces modèles par l'approche classique (des anciens modèles). L'utilisation de ces méthodes soumis aux étapes suivantes:

Calcule des paramètres statiques de cette série (déjà fait), utilisation d'une loi choisie pour l'adéquation (loi de Gumbel pour notre cas), par la suite decalculé les paramètres statiques de notre série (la moyenne et l'écart type, voir le Tableau II.8), pour passer à l'étape suivante il faut trouver la pluie journalière maximale qui a été déjà calculé aussi (Voir le Tableau II.9).

Pour permettre d'utilisation dès l'une de ces modèles, il faut calculer obligatoirement le temps de concertation par cette formule (formule de Giandotti):

$$T_C = \frac{4\sqrt{S} + 1,5 L}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \dots\dots\dots (II.10)$$

ou :

$S$  : Surface du bassin versant, Km<sup>2</sup>,

$L$  : Longueur du thalweg principal, km,

$H_{moy}$  : Altitude moyenne, m NGA,

$H_{min}$  : Altitude à l'exutoire, m NGA.

L'étape suivante avant de déduire le débit maximal de notre oued est de trouvé la pluie de courte durée de fréquentielle en mm, par la formule type Montana:

$$P_{tc} = P_{J_{max}} \left( \frac{T_c}{24} \right)^b \dots\dots\dots ( II.11)$$

ou:

$P_{tc}$  : pluie de courte durée de fréquence donnée en mm,

$P_{J_{max}}$  : Pluie max journalière de même fréquence, mm,

$T_c$  : Temps de concentration, heure,

$b$  : Exposant climatique = 0,32.

**Tableau II.12-** valeurs de  $P_{j \max}$ ,  $T_c$  et  $P_{tc}$

Bassin versant	$P_{j \max}$ en mm	$T_c$ en heure	$P_{tc}$ en mm
Oued Boumergued	68	7,23	46,32

Pour déduire le débit maximum de crue en  $m^3/s$  de même fréquence que celle de la pluie de courte durée, utilisant directement les méthodes suivantes (l'approche classique):

### II.3.4.1- Formule de Giandotti

La méthode de Giandotti s'inspire des lois de ruissellement basées sur les caractéristiques morphométriques du bassin versant ainsi que le temps de concentration. Cette formule donnée de résultats satisfaisants, particulièrement pour les bassins typiquement montagneux (Bennis, 2004).

$$Q_{\max \%} = \frac{170.S.(H_{moy} - H_{min})^{1/2}}{4(S)^{1/2} + 1.5L} . P_{tc} \dots\dots\dots(II.10)$$

$Q_{\max (\%)}$ : débit maximum de crue en  $m^3/s$  de même fréquence que celle de la pluie de courte durée.

$S$ : superficie du bassin versant ( $km^2$ ).

$L$ : longueur du talweg principal (km).

$H_{moy}, H_{min}$ : altitudes moyennes et minimales (en m).

$P_{tc}$ : pluies de courte durée (m).

### II.3.4.2- Formule de Mallet – Gauthier

Dans leur étude sur les problèmes de l'eau en Algérie, ils ont établi une formule exprimant le débit maximum en crue en fonction des précipitations, de la surface du bassin versant et d'un coefficient K caractéristiques géographique et climatique du bassin versant.

$$Q_{\max \%} = 2k \text{Log}(1 + AP) . \frac{S}{\sqrt{L_p}} . \sqrt{1 + 4\text{Log}T - \text{Log}S} \dots\dots\dots(II.11)$$

$S$ : superficie du bassin versant ( $Km^2$ ).

$L_p$ : longueur du talweg principal (Km).

$A$ : coefficient régional pris égal à 20.

$k$ : constante qui dépend des caractéristiques du bassin versant pris égal à 2.

$P$ : précipitation moyenne interannuelle en mm.

T: période de retour en années.

### II.3.4.3- Formule de Turazza

La formule de Turazza tient compte des pluies maximales de courte durée par conséquent de l'intensité des pluies, également de la superficie et du temps de concentration :

$$Q_{\max} = \frac{C P_{tc} S}{3,6 T_C} \dots\dots\dots(II.12)$$

ou :

$P_{tc}$  : Pluie de courte durée pour un temps de concentration  $t = T_C$  ,

S : Superficie de bassins versant,  $km^2$ ,

$T_C$  : Temps de concentration, heure,

C : Coefficient de ruissellement en grande crue,  $C = 0,9$ .

### II.3.4.4- Formule de Sokolovsky

Selon cet auteur, la crue est considérée comme un débit max généré par une averse (une pluie) de courte durée correspondant au temps de concentration. Le temps de montée de la crue est donc pris égal au temps de concentration (Bennis, 2004). Cette méthode est d'un usage très courant dans les services d'hydrologie de états indépendants de l'ex URSS ainsi qu' 'en Alegria.

$$Q_{\max.p\%} = \frac{0,28(P_{ct} - H_o) \alpha_p F S}{T_C} \dots\dots\dots(II.13)$$

Avec:

F: Coefficient de forme de la crue :  $F = 12 / (4+3.\gamma)$

**Tableau II.13-** Valeur de  $\gamma$  en fonction de bassin versant

Pour $1 < S < 50 \text{ Km}^2$	$\gamma = 2$
Pour un bassin boisé avec un sol peu perméable	$2 \leq \gamma \leq 2.5$
Pour un bassin boisé	$3 \leq \gamma \leq 4$

ou-

S : Superficie du bassin [ $Km^2$ ].

$T_C$  : temps de concentration[h]

$P_{ct}$ : pluie fréquentielle de courte durée correspondant au temps de concentration en mm.

$H_o$ : C'est la perte d'eau initiale. Au nord de l'Algérie  $H_o = 7 \text{ mm}$ .

$\alpha_p$  : Coefficient de ruissellement de la crue pour une période donnée.

La valeur de  $\alpha_p$  est donnée par cette relation: 
$$\alpha_p = \frac{\sqrt{X_p} - \sqrt{H_o}}{\sqrt{X_p} + \sqrt{H_o}}$$

Avec:

$X_p$  : précipitation de fréquence donnée qui correspond au temps de concentration,

0,28 coefficient de changement d'unité.

### II.3.4.5- Méthode fréquentielle TAIBI-ANRH

Elle a été établie par Taibi R. (ANRH) pour les cours d'eau d'Algérie. Cette méthode est donnée par la relation suivante:

$$Q_{pt} = e^{0.95u} Q_p \dots\dots\dots(II.14)$$

$Q_{pt}$ : Débit de pointe fréquentiel ( $m^3/s$ ).

$u$ : Variable réduite de Gauss.

$Q_p$ : Débit de pointe annuel ( $m^3/s$ ).

Le débit de pointe moyen annuel est calculé par la relation de Bennie/Athkins:

$$Q_p = 0.000781.S^{0.688} .P^{1.275} \dots\dots\dots(II.15)$$

P: Pluie moyenne annuelle reçue par le bassin versant (mm),

S: Surface du bassin versant en  $Km^2$ .

Les résultats de calcul de débit maximal dans l'oued de Boumergued sont illustrés dans le Tableau II.11, on prend un débit max d'une période de retour égale à 100 ans ( $T = 100$  ans), vu que cette période et le plus couramment utilisé dans les aménagements des zone urbaine et rurale contre le risque d'inondation.

Le choix de la période de retour est une étape cruciale, pour un ouvrage dimensionné sans le risque de sous-estimation ou surestimation des couts de réalisation, d'un autre terme c'est que la période de retour permet de minimisé le cout de réalisation pendant l'élaboration d'une fiche technique et le devis quantitatif et estimatif de projet a réalisé.

**Tableau II.14-** valeurs de débit maximal estimées par l'approche classique

n°	Méthode	$Q_{50}$ (T = 50 ans) $m^3/s$	$Q_{100}$ (T = 100 ans) $m^3/s$	$Q_{1000}$ (T = 1000 ans) $m^3/s$
1	Giandotti	50,80	55,63	71,75
2	Mallet – Gauthier	61,68	67,17	82,83
3	Turazza	30,50	33,39	43,07

4	Sokolovsky	14,42	16,06	21,55
5	TAIBI-ANRH	3,87	5,15	10,01

On peut remarquer que les résultats de Tableau II.11 variant d'une méthode à une autre. Il y a une divergence dans les résultats qui rend difficile pour le technicien de justifier la méthode utilisée pour réaliser la protection contre les inondations.

### II.4- Conclusion

Ce chapitre comprend une analyse des principales caractéristiques hydrologiques qui ont implicitement interféré dans la mise en évidence des aménagements proposés pour protéger la région sud-est de la ville de Bordj Bou Arreridj contre les pluies torrentielles. La série de précipitations maximales journalière a été ajustée par différentes lois de probabilité, et la loi de Gumbel s'est avérée la plus pertinente pour notre série de précipitations. L'utilisation de modèles de transformation pluie-débit a donné des résultats considérables, et la question dans ce cas était de savoir quelle méthode je pourrais choisir d'utiliser plus tard pour concevoir notre structure dans la vallée de Boumergued. Sachant que la différence de débit double quasiment d'une méthode à l'autre. Pour choisir la méthode appropriée, nous proposons une approche qui sera détaillée dans le chapitre analyse et discussions des résultats obtenus par ces modèles classiques.

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns in black and white, framing the page. The border is composed of repeating motifs of leaves, scrolls, and circular elements, creating a classic and elegant frame.

## Chapitre III

*Analyse et discussion des résultats obtenus  
et proposition d'un nouveau modèle*

## Chapitre III-*Analyse et discussion des résultats obtenus et proposition d'un nouveau modèle*

### III .1- Introduction

Le développement des civilisations humaines, dès les temps les plus anciens, est strictement lié à l'utilisation des réserves superficielles d'eau, qui ont exceptionnellement une grande influence sur le développement continu de la société humaine. Cette influence est pratiquement toujours ambiguë. D'une part, les inondations, l'assèchement des rivières, des lacs, des mers sont accompagnées par les pertes essentielles économiques, et parfois par les pertes humaines. D'autre part, les réserves objets d'eau favorisent le développement de l'irrigation agricole, les relations commerciales et toutes les industries. En s'adaptant aux conditions initiales du régime naturel, les gens, au fil du temps constituent une influence active sur le régime d'écoulement, en changeant ses caractéristiques conformément dans le sens des besoins exprimés. Les changements les plus importants sont associés à la surexploitation des réservoirs d'eau. Parfois en empiétant sur les servitudes affectées aux cours d'eau et au hasard des constructions chaotiques au bord des oueds et des rivières, ou la pratique de l'activité agricole dans ces servitudes, ce qui crée de véritables dangers représentés dans les torrents torrentiels. Pour éviter les problèmes posés par les débits de crue, on recourt à l'utilisation ou à la création de modèles hydrauliques ou hydrologiques pour prédire les valeurs maximales de l'écoulement dans les oueds et les rivières.

### III .2- L'utilisation des méthodes classiques pour l'évaluation de débit maximal dans les oueds

Vu que les méthodes utilisées dans les calculs des débits maximums sont de types empiriques, ce que signifie que les résultats sont des débits fréquentiels de P% (débits calculés et non mesurés). Le manque flagrant de données mesurées, sur l'écoulement dans l'oued Boumergued est justifié, d'asile à une nouvelle approche qui est basée sur, la recherche d'une corrélation entre les données des pluies de la station de Bordj Bou Arreridj et les données des oueds adjacents.

Après avoir examiné les données de débit pour les stations des oueds suivants:Sidi Aiche (Béjaia),Farmatou (Sétif) et Maghraoua (Ain Taghrout). Nous avons remarqué qu'il existe une corrélation acceptable entre la série qui représente les précipitations de notre station et les débits de l'oued Bousselam à la station Maghrawa à Ain Taghrout, ce qui nous a permis de trouver une relation pour calculer le débit max de l'oued Boumergued. Cette nouvelle relation

représente une deuxième approche, qui permet de trouver un autre résultat pour le comparer avec celles trouvées dans la première approche (approche classique).

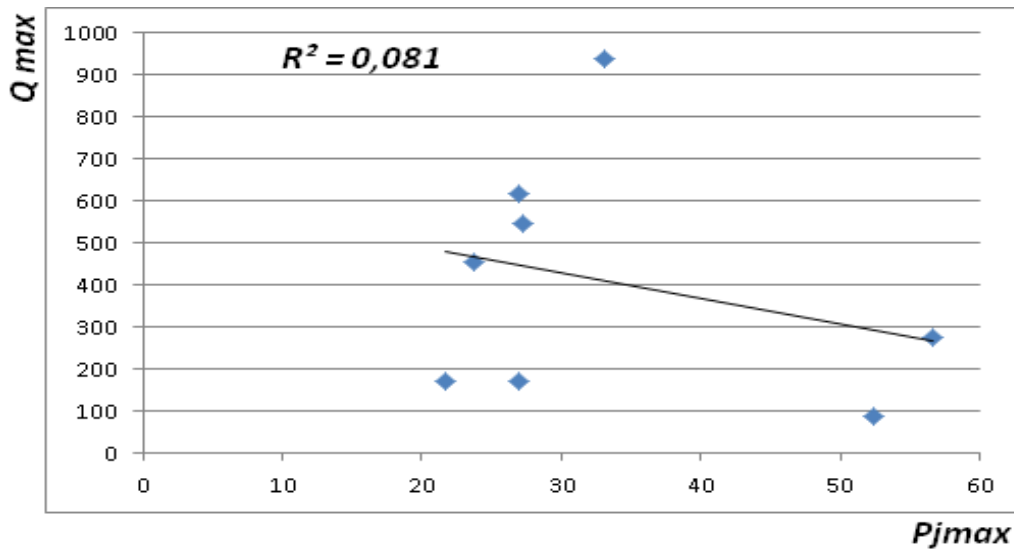
D'autre côté, si l'on remarque les résultats obtenus à l'aide de méthodes empiriques (voir le tableau... du deuxième chapitre), on peut enregistrer un écart important dans la valeur du débit calculé par cette approche classique d'une méthode à une autre. La question que nous nous posons est: quelle est la méthode appropriée, à utiliser dans un projet important qui consiste à évaluer un débit, pour dimensionner un ouvrage, qui sert à la protection d'une zone contre le risque d'inondation?

D'après les services de Contrôle Technique des ouvrages Hydrauliques (C.T.H), la méthode de Giandotti est la meilleure pour l'estimation de débit max de point de vue expérience seulement, mais des autres services insistent sur la méthode Mallet-Gauthier (les directions des ressources en eau) de point de vue que cette dernière donne un débit plus grand que ce de Giandotti, des autres services travaillent sur la valeur moyenne estimée par ces méthodes. Finalement, il n'y a pas d'arguments cruciaux pour utiliser telle ou telle méthode. Pour répondre à ce dilemme, nous avons adopté la méthode suivante dans cette partie de la discussion par la proposition d'un nouveau modèle.

#### III .3- Analyse de corrélation

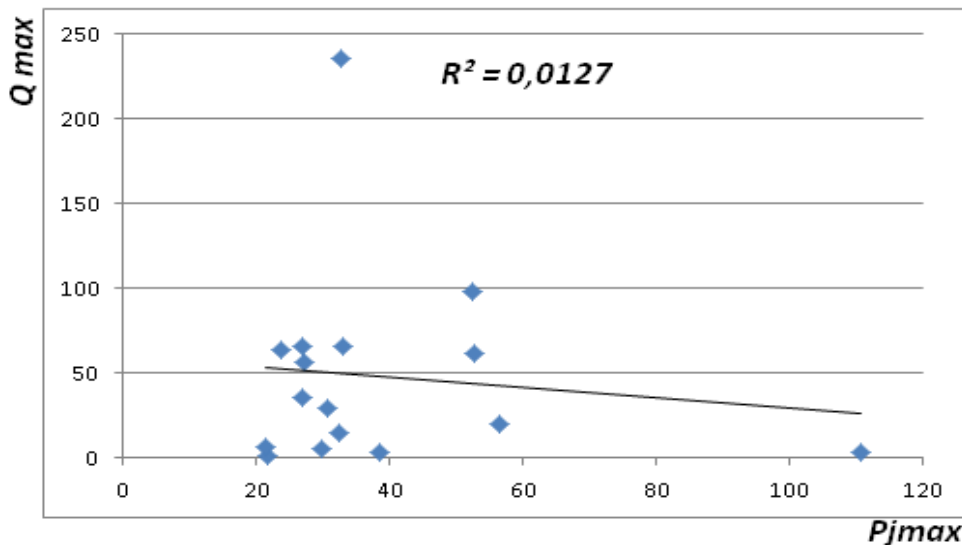
Les tentatives suivantes visent à trouver une corrélation entre les débits maximaux des oueds et les séries de précipitations dont nous disposons. En effet, toutes les études bibliographiques, actuelles ou antérieures, indiquent une forte corrélation entre ces deux paramètres. Surtout la pluie de temps de concentration  $P_{tc}$ , qui joue un rôle primordial dans le risque d'inondation, sur la base que la pluie journalière maximale tombante dans un temps de concentration très limité, chose qui cause les pluies torrentielles dans les zones adjacentes de nos oueds. L'analyse de corrélation est faite comme suit:

Pour déduire une valeur de débit maximal  $Q_{max}$ , nous avons fait une tentative de corrélation entre la pluie journalière maximale de notre station  $P_{jmax}$  est celle des oueds plus proche à cette station (série des débits max de ces oueds). Pour cela, dans le but d'exprimer la valeur de débit en terme pluie, nous avons fait une corrélation débit =  $f$ (pluies) pour la station d'oued Sidi Aiche (Béjaia). Après la collecte des données des débits max de cette station on obtient une mauvaise corrélation comme le montre la figure suivante:



**Figure III .1-** Corrélation entre  $Pjmax$  et le debit max oued Sidi Aich (Bejaia)

Pour une deuxième tentative, après la collection des données d'oued Bousselam à la station Farnatou (Sétif) pour une corrélation débit =  $f$ (pluies), les résultats sont aussi de mauvaise corrélation comme le montre la figure (III .2) :



**Figure III.2-** Corrélation entre  $Pjmax$  et le debit max station Farnatou (Sétif)

Pour un bien essayé avec une zone plus proche que celle de la région d'étude, une troisième tentative a été élaborée, entre la station des débits max à Maghrawa (Ain Taghrout) et la série de pluies journalières maximale de notre série à Boumergued. La série des débits max de la station de Maghrawa est représentée dans le tableau suivant:

Tableau III .1- Valeurs des débits max station Maghrawa

n°	Année	Q <sub>max</sub> en m <sup>3</sup> /s	n°	Année	Q <sub>max</sub> en m <sup>3</sup> /s	n°	Année	Q <sub>max</sub> en m <sup>3</sup> /s
1	1982	41,9	12	1993	40,3	23	2004	48,5
2	1983	35,5	13	1994	126,2	24	2005	32,5
3	1984	32,0	14	1995	41,1	25	2006	43,6
4	1985	50,1	15	1996	62,7	26	2007	38,2
5	1986	87,0	16	1997	29,6	27	2008	32,9
6	1987	30,6	17	1998	37,8	28	2009	36,4
7	1988	37,0	18	1999	57,9	29	2010	47,1
8	1989	91,0	19	2000	34,6	30	2011	44,2
9	1990	22,8	20	2001	46,0	31	2012	38,6
10	1991	25,9	21	2002	33,8	32	2013	37,3
11	1992	10,0	22	2003	35,1	33	2014	26,1

Après la vérification d'homogénéité par le test d'homogénéisation de Wilcoxon, le résultat final de ce texte indique que, cette série de débits max de station de Maghrawa est homogène. La corrélation effectuée, entre les deux séries, montre que cette dernière donne un coefficient de corrélation  $R$  supérieur à 0,8 (une bonne corrélation). La bonne corrélation entre les deux stations nous a permis d'exprimer le débit maximal de l'oued en termes de valeurs de précipitations ( $P_{jmax}$  et  $P_{tc}$  par la suite). Cette relation entre le débit max de la station Maghrawa et la pluie journalière maximale est donnée par la formule suivante, nous remplissant le terme  $P_{jmax}$  par  $P_{tc}$  :

$$Q_{max} = 1,0515 \times P_{tc} + 7,0646 \dots \dots \dots (III .1)$$

Nous exploitons cette nouvelle expression pour exprimer directement le débit maximum à Oued Boumergued. Le remplacement de l'expression de précipitations maximales journalières ( $P_{jmax}$ ) par l'expression de pluie au moment de la concentration ( $P_{tc}$ ), est justifié part du principe, que l'intensité de la pluie a un temps limité pendant lequel elle est à son maximum, et c'est ce qu'on appelle le temps de concentration  $T_c$ , qui en est la cause directe de la survenance du risque d'inondation.

On peut remarquer que notre modèle représenté par la formule III .1, est plus simple que les autres méthodes. La formule de Giandotti, par exemple, prise en compte les paramètres de surface de bassin versant ( $S$ ), la hauteur des reliefs ( $H_{min}$ ,  $H_{moy}$ ) et la longueur du cours d'eau principal ( $L$ ) deux fois : 1- dans les calculs de  $T_c$  pour la première fois, 2- dans le calcul de débit max ( $Q_{max}$ ) en deuxième fois, c'est quelque chose d'incompréhensible et il n'y a aucune justification dans la recherche bibliographique pour cette répétition. Par contre la formule

proposée dans cette nouvelle approche prise en compte ces paramètres une seule fois lors de calcul de la pluie de temps de concentration  $P_{tc}$ .

Pour une bien clarté en représente la dépendance entre les deux stations par une illustration graphique dans la figure (III .3) :

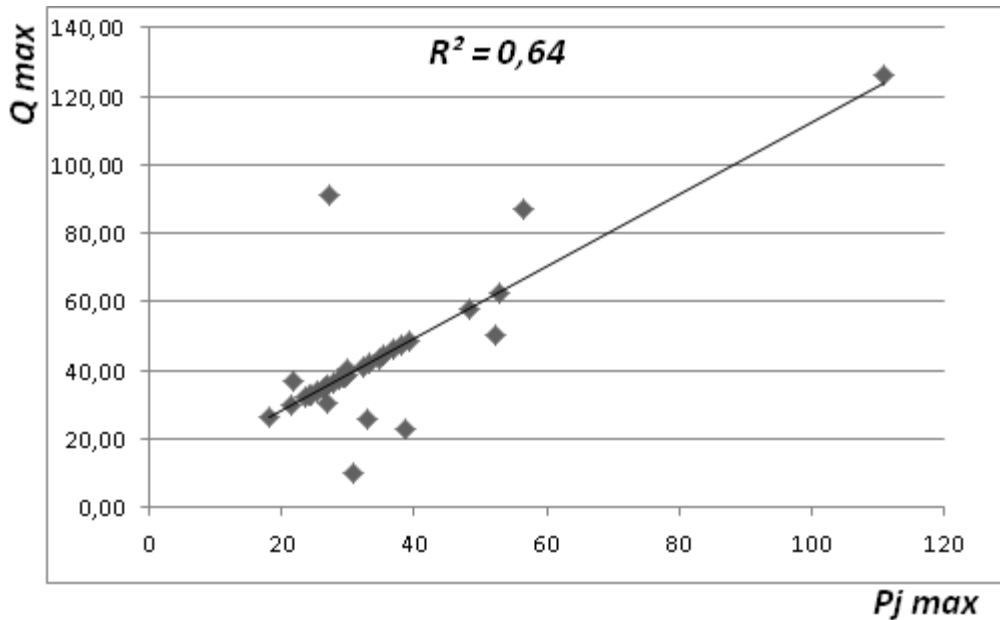


Figure III .3- Illustration graphique de la dépendance débit (Maghrawa) – pluie (Boumergued)

Pour permettre l'utilisation de cette relation il faut calculer la pluie de temps de concentration  $P_{tc}$  qui est en fonction de temps de concentration  $T_c$  (Voir le chapitre 2, formule II.11):

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \dots\dots\dots(III .2)$$

Pour la pluie de temps de concentration nous avons déjà évoqué sa formule (Voir chapitre 2, formule II.10). D'un autre terme, l'étape suivante est de trouvé la pluie de courte durée  $P_{tc}$  de qui corresponde la période de retour de 100 ans ( $T = 100$  ans) en mm, par la formule de type Montana avant de déduire le débit maximal de notre oued:

$$P_{tc} = P_{J_{max}} \left(\frac{T_c}{24}\right)^b \dots\dots\dots(III .3)$$

Cette nouvelle approche prend en considération la surface de bassin versant, la longueur de cours d'eau, la hauteur et en fin le temps de concentration. Alors que nous ne pouvons pas

utiliser la pluie journalière maximale directement dans la formule (III.1) parce que tout simplement la pluie responsable de phénomène d'inondation est bien la pluie de temps de concentration  $P_{tc}$ .

#### III .4- Comparaison des deux approches

Pour faire la comparaison entre la nouvelle approche et l'approche classique, on représente les valeurs de  $P_{jmax}$ ,  $T_c$ ,  $P_{tc}$  et  $Q_{max}$  de chaque approche dans le tableau III.2 :

**Tableau III.2-** valeurs de  $P_{jmax}$ ,  $T_c$ ,  $P_{tc}$  et  $Q_{max}$  de chaque approche pour T = 100ans

Méthode utilisée	$P_{jmax}$ en mm	$T_c$ en heure	$P_{tc}$ en mm	$Q_{max}$ en m <sup>3</sup> /s
Nouvelle approche	68	7,23	46,32	55,76
Giandotti	68	7,23	46,32	55,63
Mallet – Gauthier	68	7,23	46,32	67,17
Turazza	68	7,23	46,32	33,39
Sokolovsky	68	7,23	46,32	16,06
TAIBI-ANRH	68	7,23	46,32	5,15

On peut remarquer dans le tableau III.2 que notre approche est presque similaire au résultat fournit par la méthode deGiandotti. Donc on opte par la valeur de 55,76 m<sup>3</sup>/s comme une valeur optimale de débit max à l'oued Boumergued pour le dimensionnement de l'ouvrage de protection contre le risque d'inondation.

#### III .5- Dimensionnement de l'ouvrage de protection

Nous utilisons dans le calcul hydraulique de l'ouvrage la formule **de Manning-Strickler**, dans ce cas on calcule les dimensions de l'ouvrage de protection sur la base d'un débit maximum d'une crue centennale (T = 100 ans), estimé par notre approche  $Q_{max} = 55,76$  m<sup>3</sup>/s.

La **formule de Manning-Strickler** est également connue sous le nom de formule de Gauckler-Manning et de Gauckler-Manning-Strickler parfois abrégée sous la forme formule. La formule de Manning est une formule empirique d'estimation de la vitesse moyenne d'un liquide s'écoulant en surface libre c'est à dire dans un conduit ou le fluide ne remplit pas complètement la section ou dans un canal ouvert. Les écoulements à surface libre sont gouvernés par la gravité. Cette formule a été tout d'abord développée par l'ingénieur français Philippe Gauckler en 1867 (Gauckler, Ph, 1867), pour être plus tard redéveloppé par Hedidane Z. Protection des zones urbaines et rurales contre l'alea d'inondation. Cas d'oued boumergued – Bordj Bou Arreridj

l'ingénieur irlandais Robert Manning en 1890 (Manning, R.1891). La formule de Manning-Strickler s'écrit de la forme suivante:

$$Q = K_s S_m I^{\frac{1}{2}} R_h^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (III .4)$$

où:

$Q$  - débit de projet en  $m^3/s$   $Q = 36 m^3/s$ ,

$K_s$  - coefficient de Strickler  $K_s = 70$ ,

$S_m$  - section mouillée en  $m^2$ ,

$I$  - pente hydraulique (0.01 m/m),

$R_h$  - rayon hydraulique en m.

Le coefficient de Strickler  $K_s$  dépend des propriétés de la surface du lit du cours d'eau, de la végétation et de la géométrie de la section. Il se modifie avec la hauteur du niveau d'eau dans le cours d'eau puisque les berges ont des propriétés généralement différentes du lit.

**Tableau III .3** - valeur de  $K_s$  pour différents types du lit.

Surface	$K_s$ en $m^{\frac{1}{3}} / s$
Béton lisse	100
Cours d'eau rectiligne	30-40
Cours d'eau avec méandres et végétation	20-30
Torrent avec graviers	10-20
Torrent avec broussailles	<10

Dans notre cas d'étude, la variante adoptée pour le système de protection contre l'inondation consiste à projeter un canal sous forme rectangulaire (zone urbaine). Étant donné que la réalisation d'un canal trapézoïdal de type ouvert à l'air libre présente un grand danger pour la sécurité des citoyens. En plus des odeurs qui s'en dégagent et qui provoquent des nuisances, et les exemples sont nombreux (par exemple, l'Oued Belbabouch, qui se situe au centre de la population de Belbabouch dans la ville de Bordj Bou Arreridj). Sur le plan technique, la réalisation d'un canal de forme trapézoïdale et fermé en forme de galerie nécessite un bon sol pour la stabilité des deux versants du canal, ce qui est coûteux, d'autant plus que les berges des oueds sont composées de terre accumulée, ce qui nécessite des solutions techniques très coûteuses. Sur la base des raisons évoquées ci-dessus, nous avons choisi une forme

rectangulaire pour réaliser la protection contre les inondations à L'oued Boumergued (forme de galerie), ce type de forme est largement utilisé dans les canaux non ouverts.

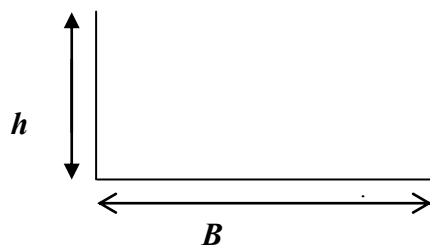
L'utilisation des logiciels et outils informatiques, qui sont basé sur la formule de **Manning-Strickler** dans notre cas, simplifier les calculs. Il faut connaitre très bien que, à l'heure actuelle, l'outil informatique permet de faire des calculs numériques les plus complexes, surtout quand il s'agit des calculs répétitifs. La grande capacité de la mémoire permet des centaines voire des milliers d'opérations en un temps record. Le logiciel **Canal21** est l'un des outils informatiques utilisé pour le dimensionnement des ouvrages de protection. C'est un logiciel de calculs d'hydraulique à surface libre en régime d'écoulement permanent et en géométrie paramétrée. Il n'est pas possible, en hydraulique à surface libre, de concevoir des logiciels "presse bouton" qui nous dispenseraient de réfléchir (si tant est que cela puisse être le cas dans d'autres domaines). Un "simple" calcul de ligne d'eau sur un tronçon de rivière suppose de la part de l'utilisateur, toute une série de choix "stratégiques": sur les débits à modéliser, sur la représentation de la topographie et des pertes de charge. Et c'est de la pertinence de ces choix que dépendront essentiellement la pertinence et la qualité des résultats. Il est donc indispensable que l'utilisateur du logiciel ait une bonne compréhension des phénomènes hydrauliques et de la manière dont ils sont modélisés (ou pas) dans CANAL 21. Construire un modèle simplifié du réel pour les besoins du calcul, n'implique absolument pas qu'il faille, réciproquement, réduire le réel à ce modèle simplifié. En clair, le fait qu'on puisse être amené, pour utiliser CANAL 21, à représenter un tronçon de cours d'eau naturel sous forme d'un canal trapézoïdal ou autre forme, ne saurait légitimer la transformation effective de ce cours d'eau en canal de telle forme. Un logiciel n'est pas autre chose qu'un outil de calcul. A l'utilisateur d'en faire le meilleur usage.

A travers notre observation de la zone d'étude, nous pouvons constater qu'en raison de la faible pente dans cet endroit, la largeur de l'oued s'élargit excessivement, surtout que la pente dans la zone amont possède une valeur considérable. Ce qui a poussé les riverains à construire des buttes de terre pour empêcher les pluies torrentielles d'atteindre leurs habitations, comme le montre l'image tirée du site après la visite de terrain que nous avons effectué (Voir la Figure III .4).Il faut noter encore une fois que la zone cible de l'étude est la région sud-est de la ville de Bordj Bou Arreridj, car elle contient un nombre considérable de plans d'occupation des sols, en plus des centres de population tels que le quartier de 17 octobre, lotissement Oueled Seliman, et d'autres localités, avec son emplacement dans une dépression dans laquelle la pente est presque nulle.



**Figure III .4-** Elargissement brusque de lit d'oued dans la partie basse de la zone étudiée

D'après nos calculs, par l'utilisation de logiciel Canal21, nous optons pour une section de largeur  $B= 6$  m et une hauteur  $h = 2$  m, sur toute la longueur  $L$  existante. L'élargissement de la largeur de l'ouvrage et la diminution de la hauteur causé par la faible pente dans cette zone étudiée. Sachant que la zone haute de cette étude est caractérisée par une pente supérieure à 1%. Cela fait des zones basses adjacentes à la population une cuvette, en plus de l'existence d'un obstacle représenté par les voies ferrées, car cette zone s'est transformée en lac d'eau au cours des années pluvieuses (actuellement une période de sécheresse).



**Figure III .4-** la section projetée pour l'ouvrage de protection.

La vitesse maximale d'écoulement est calculée par la formule universelle suivante:

$$v = \frac{Q_{\max}}{S_c} \dots\dots\dots (III.5)$$

ou-

$v$ - vitesse qui correspond un débit max,

$Q_{\max}$ - le débit max calculé par la nouvelle approche,

$S_c$ - la section de canal donnée par logiciel Canal21.

Le régime d'écoulement est donné par le nombre de Froude  $F_r$ , dont la formule est:

$$F_r = \sqrt{\frac{v^2}{g h}} \dots\dots\dots(III.6)$$

ou-

$F_r$ - nombre de Froude,

$v$ - vitesse qui correspond un débit max en m/s,

$h$ - hauteur adoptée pour l'ouvrage de protection en m.

Dans le tableau III .4 suivant nous représentons les caractéristiques géométriques et hydrauliques de canal de protection à l'oued Boumergued:

**Tableau III.4-** Les caractéristiques géométriques et hydrauliques de canal de protection à l'oued Boumergued

<i>Oued</i>	$Q_{max}m^3/s$	$v$ m/s	$F_r$	$Bm$	$hm$	<i>Régime d'écoulement</i>
Boumergued	55,8 m <sup>3</sup> /s	6,2	1,6	6,0	2,0	Torrentiel

Les valeurs illustrées dans le tableau III .4 montrent que l'écoulement est de régime torrentiel et que ces valeurs calculées sur une période de retour de 100 ans (une fois au moins tous les cent ans).

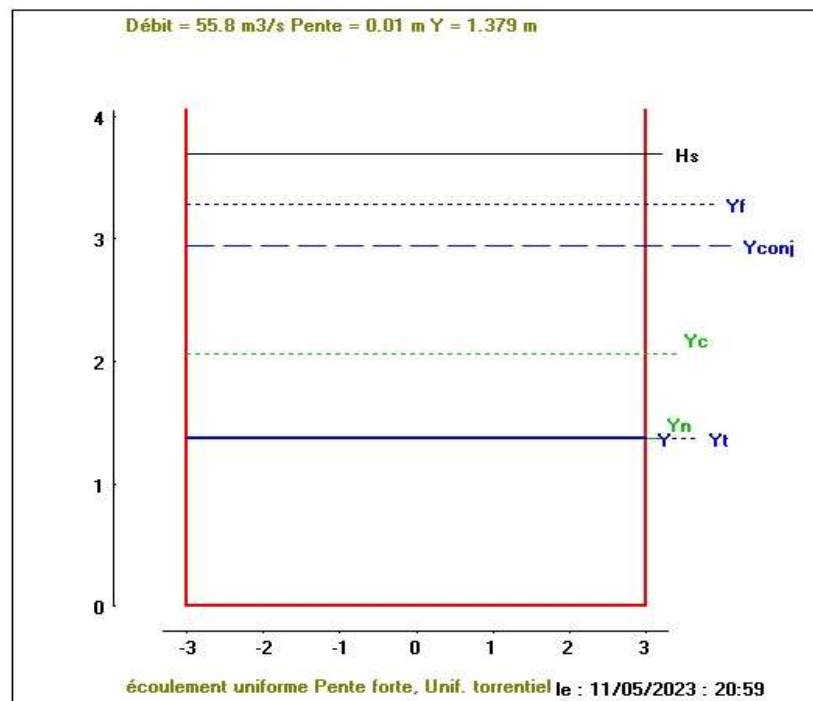
Pour l'utilisation de canal 21. L'aide en ligne comporte des informations pratiques. Chaque écran du logiciel donne accès à l'aide en ligne au moyen du bouton "Aide". Cette aide est contextuelle, c'est à dire qu'on accède spécifiquement au chapitre consacré à l'écran sur lequel on travaille. Néanmoins, comme pour tout logiciel Windows il est possible de consulter l'aide dans son intégralité (onglet "Rubriques d'aide" de l'aide en ligne).

Vous avez ici accès à une "feuille de calcul" concernant des sections en travers.

On peut voir les formes de calcul: rectangulaire, triangulaire, trapézoïdale, parabolique, semi-circulaire et circulaire appartenant à un bief de géométrie uniforme (nous choisissons la forme adéquate pour notre cas d'étude).

Pour découvrir la hauteur schématiquement et voir le point de fonctionnement de notre ouvrage, dans le logiciel Canal 21, il suffit de presse le bouton calcul/dessin qui lance le

calcul et ouvre la fenêtre "Graphique" du profil en travers (dans notre cas nous choisissons une forme rectangulaire). C'est un croquis très schématique, comme le montre la figure suivante:



**Figure III .5-** Profil en travers de la section de notre ouvrage

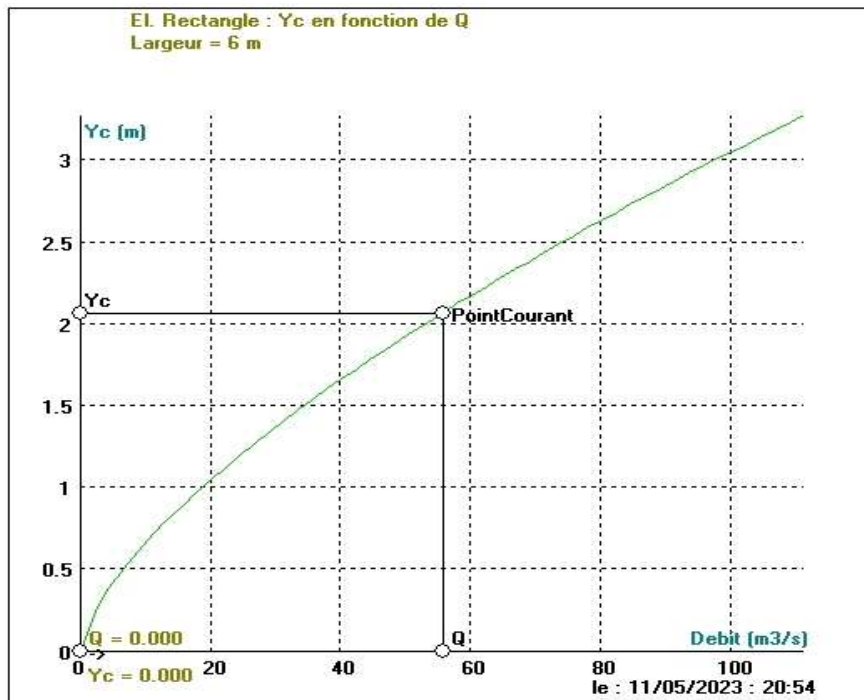
Le logiciel CANAL 21 est un logiciel de calcul d'hydraulique à surface libre, à géométrie paramétrée, à double objectif d'utilisation:

Pédagogique, pour assimiler les concepts de base de l'hydraulique, en manipulant aisément les calculs et en visualisant les résultats,

Professionnelle, pour dimensionner ou vérifier sommairement des ouvrages et des écoulements dans des rivières ou des canaux en effectuant des calculs simples et rapides.

CANAL 21 constitue l'évolution de son prédécesseur en adoptant l'environnement de travail WINDOWS à iso-fonctions. Ainsi, l'ergonomie du logiciel et la gestion des imprimantes se trouvent améliorées et Canal 21 fonctionne ainsi sur toutes les plates-formes WINDOWS.

On peut demander le dessin d'une série de courbes permettant d'étudier la variation des principaux paramètres hydrauliques en fonction des conditions d'écoulement ( $Q$ ,  $y$ ) dans la section:  $y_c(Q)$ ,  $y_n(Q)$ . Nous Choisissons le type de courbe dans la liste déroulante et nous cliquons sur le bouton "courbes". La courbe qui représente notre cas dans l'oued de Boumergued est schématisée dans la figure suivante:



**Figure III .6-** Variation des principaux paramètres hydrauliques en fonction des conditions d'écoulement

En trouvant les dimensions appropriées de l'ouvrage de protection par le sélectionnent consciemment le débit maximum, nous avons évité un problème de sous-estimation ou surestimation de l'ouvrage selon une étude technico-économique.

### III .6- Conclusion

Ce chapitre représente le cœur de l'effort présenté dans ce mémoire car il répond à de nombreuses questions qui se posent constamment lors de l'étude de la protection des zones rurales et urbaines contre les risques d'inondation. La principale question est de savoir quelle est la valeur maximale de débit que l'on utilise pour réaliser l'ouvrage de protection en l'absence de mesures de débit dans la zone étudiée. Cette question a été répondue de deux manières: la première a été expliquée dans le deuxième chapitre sous le nom de l'approche classique, qui donnaient des valeurs variables pour le débit calculé, ce qui approfondissait le problème au lieu de le résoudre. Quant à la deuxième méthode, à laquelle nous nous sommes référés en approfondissant et en étudiant dans le troisième chapitre, elle concerne la recherche d'une formule locale basée sur la liaison directe du débit à la quantité de précipitations. Nous avons nommé le nouveau modèle par notre approche, qui a donné une valeur de débit

appropriée similaire à celle de la formule de Giandotti. Le modèle proposé dans cette étude est simple et peu compliqué et combine avec précision toutes les caractéristiques du bassin versant étudié.



**Conclusion**

## Conclusion générale

Dans cette étude, nous avons atteint notre objectif de trouver des dimensions appropriées pour une protection garantie contre les inondations. Cet objectif a été atteint grâce à la recherche bibliographique approfondie sur le phénomène, ses causes et ses types, qui nous a permis d'identifier les méthodes et les mesures à prendre pour éviter ce phénomène grâce aux méthodes techniques existantes par l'utilisation des modèles hydrologiques, dont le but est de prédéterminer les valeurs de crue maximale.

Dans le deuxième chapitre, après analyse des données des pluies journalières maximales  $P_{jmax}$ , de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (A. N. R. H.) Bir Mourad Rais– Alger, nous avons abordé les aspects pratiques que nous avons poursuivis pour cette protection à l'aide des méthodes classiques existantes. Notre utilisation de l'approche classique a beaucoup approfondi le problème posé en Algérie, qui est la question qui se pose comme suit: quelle est la meilleure méthode utilisée (parmi plusieurs) pour estimer le débit maximal. Sachant que nous souffrons en Algérie du chaos dans les méthodes utilisées dans ce domaine. L'utilisation des méthodes empiriques a causé par l'absence de mesures de débits maximaux dans les oueds et les zones concernées par l'étude. Cependant, le problème actuel, qui a été mentionné précédemment, est que ces méthodes sont différentes dans l'estimation du débit maximal, et leur utilisation n'est pas soumise à des normes ou à des preuves décisives, mais plutôt à la suite d'expériences qui peuvent être vraies ou fausses, ce qui signifie qu'il s'agit de jugements individuels. De plus, la majorité de ces formules, si non toutes, ne sont pas Algériennes. Penser à trouver une formule pour déterminer les flux maximaux en Algérie qui prend les données à l'intérieur du pays est devenu extrêmement important.

Pour le dernier chapitre, le nouveau modèle représente une approche d'emprise pour la détermination du débit maximal grâce à l'utilisation de la pluie de temps de concentration  $P_{tc}$ . Cette nouvelle approche représente une contribution à la recherche du débit maximal des oueds en Algérie. Elle concerne d'une formule locale basée sur la liaison directe du débit à la quantité de précipitations. Nous avons nommé cette formule par **notre approche**, qui a donné une valeur de débit appropriée similaire à celle de la formule de Giandotti. Le modèle proposé dans cette étude est simple et peu compliqué et combine avec précision toutes les caractéristiques du bassin versant étudié. En fin, nous pouvons dire que cette recherche sérieuse a répondu comment sécuriser la région Sud-Est de la ville de Bordj Bou Arreridj contre le risque d'inondations en adoptant un nouveau modèle qui peut être considéré à

## Conclusion

---

l'avenir comme une solution définitive pour déterminer hydrologiquement le débit maximum en Algérie, en cas d'absence de données des terrains, sur l'ensemble du territoire. La condition de trouver des données sur les bassins versants en Algérie pour déterminer l'efficacité de ce modèle.



## **Les références bibliographiques**

## Les références bibliographiques

- Achour B (2015) Chezy's Resistance Coefficient in a Circular Conduit. The Open Civil Engineering Journal, 9(1), pp.187-195,DOI: 10.2174/1874149501509010187
- Bennis, S., 2009. Hydraulique Et Hydrologie. Montréal: Université du Québec, Ecole Supérieure de Technologie.
- Boubchir A., 2007, Risques d'inondation et occupation des sols dans le thore (région De Labruguière et de Mazamet), Mémoire de Master de Géographie et Aménagement, Université de Toulouse.
- Bravard. J.P., 1991, Les crues et inondations du Rhône, la dynamique fluviale à l'épreuve des changements environnementaux quels enseignements applicables à l'aménagement des rivières la houille blanche.
- Brody, S.D., Zahran, S., Maghelal, P., Grover, H. et Highfield, W.E. (2007). Les coûts croissants des inondations: examen de l'impact des décisions de planification et de développement sur les dommages matériels en Floride. Journal de l'Association américaine de planification. Association américaine de planification, 73(3), 330–345. <https://doi.org/10.1080/01944360708977981>
- Diederer, D., Liu, Y., Gouldby, B., Diermanse, F. et Vorogushyn, S. (2019). Génération stochastique de pics de débit fluvial spatialement cohérents pour l'évaluation des risques d'inondation basée sur les événements continentaux. Risques naturels et sciences du système terrestre, 19(5), 1041 –1053. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-1041-2019>
- Dottori, F., Salamon, P., Bianchi, A., Alfieri, L., Hirpa, F. A. et Feyen, L. (2016). Élaboration et évaluation d'un cadre pour la cartographie mondiale des risques d'inondation. Progrès des ressources en eau, 94, 87–102.
- DRE BBA, 2011 Etude de protection de la ville de BordjBouArreridj contre les inondations
- Falter, D., Dung, N.V., Vorogushyn, S., Schröter, K., Hundecha, Y., Kreibich et al. (2014). Modèle de simulation continue à grande échelle pour l'évaluation des risques d'inondation : preuve de concept. Journal de gestion des risques d'inondation, 9(1), 3–21. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12105>
- Ferguson, R., 2010. Il est temps d'abandonner l'équation de Manning?. Processus et reliefs de la surface terrestre, 35(15), pp.1873-1876.
- Gauckler, Ph, « *Études Théoriques et Pratiques sur l'Écoulement et le Mouvement des Eaux* », Comptes Rendues de l'Académie des Sciences, Paris, vol. 64, 1867, p. 818-822.
- Gérard Degoutte 2006, Cours d'hydraulique, dynamique et morphologie fluviale p39, Paris Tech Grand Ecoles D'ingénieurs de Paris.
- Ghizzoni, T., Roth, G., & Rudari, R. (2012). Évaluation multisite des risques d'inondation dans le cours supérieur du Mississippi. Journal d'hydrologie, 412-413, 101-113. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.06.004>
- Giles, R., Evett, J., Cheng, L. and Lobenberg, M., 1995. mécanique des fluides et hydraulique. Paris: New York.

- Haberlandt, U., &Radtke, I. (2014). Étalonage du modèle hydrologique pour l'analyse dérivée de la fréquence des crues à l'aide des précipitations stochastiques et des distributions de probabilité des débits de pointe. *Hydrologie et sciences du système terrestre*, 18(1), 353 – 365. <https://doi.org/10.5194/hess-18-353-2014>
- Hager, W. et Liiv, U., 2008. Johann Nikuradse – expérimentateur hydraulique. *Journal of Hydraulic Research*, 46(4), pp.435-444.
- Hall, J.W., Meadowcroft, I.C., Sayers, P.B. et Bramley, M.E. (2003). Gestion intégrée des risques d'inondation en England et au Pays de Galles. Examen des risques naturels, 4(3), 126–135. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1527-6988\(2003\)4:3\(126\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1527-6988(2003)4:3(126))
- Heffernan, J.E., &Tawn, J.A. (2004). Une approche conditionnelle pour les valeurs extrêmes multi variées (avec discussion). *Journal de la Royal Statistical Society, Série B: Méthodologie statistique*, 66(3), 497–546. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2004.02050>
- Hosseini, S. and Hajibabaei, E., 2020. The effect of grain roughness and bed-load transport on the friction resistance of erodible beds in steep slopes. *Environmental Earth Sciences*, 79(8).
- Hsu, W.-K., Huang, P.-C., Chang, C.-C., Chen, C.-W., Hung, D.-M. et Chiang, W.-L. (2011). Un modèle intégré d'évaluation des risques d'inondation pour le secteur de l'assurance des biens à Taïwan. *Risques naturels*, 58(3), 1295–1309. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9732-9>
- Keef, C., Tawn, J.A. et Lamb, R. (2012). Estimation de la probabilité d'inondations généralisées. *Environmetrics*, 24(1), 13–21. <https://doi.org/10.1002/env.2190>
- Küpferle, C., Kräßig, S., &Hirschhäuser, T. (2009). Développement d'une méthode intégrée pour déterminer, présenter et gérer le risque d'inondation dans les plaines inondables. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 120, 943 -952.
- Ledoux. B : « La gestion du risque inondation » Edition TEC et DOC 11 rue La vorisier
- Manning, R., « On the flow of water in open channels and pipes », *Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland*, vol. 20, 1891, p. 161-207.
- Merabet, A., 2006, Etude de la protection de la ville de Sidi Bel Abbés contre les inondations, Mémoire de Magister, Université de Djilali Liabes-Sidi Bel Abbés
- Metin, A.D., Dung, N.V., Schröter, K., Vorogushyn, S., Guse, B., Kreibich, H. et al. (2020). Le rôle de la dépendance spatiale pour l'estimation du risque d'inondation à grande échelle. *Risques naturels et sciences du système terrestre*, 20(4), 967–979.
- Moody, LF, 1944. Coefficients de frottement pour l'écoulement des tuyaux. *Trans. Suis. Soc. Méca. Ing.* 66, 671-684.
- Namaee, M., Sui, J. et Whitcombe, T., 2017. Une révision de différents modèles de résistance à l'écoulement dans les rivières à lit de gravier et les canaux hydrauliques. *International Journal of River Basin Management*, 15(3), pp.277-286., DOI : 10.1080/15715124.2017.1287710
- Neal, J., Keef, C., Bates, P., Beven, K. et Leedal, D. (2012). Cartographie probabiliste des risques d'inondation incluant la dépendance spatiale. *Processus hydrologiques*, 27(9), 1349–1363. <https://doi.org/10.1002/hyp.9572>

- Pappenberger, F., Dutra, E., Wetterhall, F. et Cloke, H.L. (2012). Dérivation de cartes mondiales des risques d'inondation des écoulements fluviales grâce à une cascade de modèles physiques. *Hydrologie et sciences du système terrestre*, 16(11), 4143–4156. <https://doi.org/10.5194/hess-16-4143-2012>
- Piégay, H., 2018. Le Rhône, France : appliqué les sciences intégratives à la gestion durable. *E3S Web des Conférences*, 40, p.01003.
- Powell, D., 2014. Flow resistance in gravel-bed rivers: Progress in research. *Earth-Science Reviews*, 136, pp.301-338.
- Quinn, N., Bates, P.D., Neal, J., Smith, A., Wing, O., Sampson, C. et al. (2019). La dépendance spatiale des risques d'inondation aux États-Unis. *Recherche sur les ressources en eau*, 55(3), 1890–1911.
- Revet.,S, anthropologie d'une catastrophe, les coulées de boue de 1999 au Venezuela, Sorbonne nouvelle (2007).
- Rojdestvensky A. V. et Tchebotariou A. I –Méthodes statistiques en hydrologie, HYDROMETEO IZDAT, Leningrad, 1974.
- Saad Bennis, 2009, *Hydraulique et hydrologie 2<sup>ème</sup> édition*. Université du Québec, Ecole de Technologie supérieure p35, 36, 16.
- Salomon, J.N., 1997 : « L'homme face aux crues et aux inondations », Presses
- Sampson, C.C., Smith, A.M., Bates, P.D., Neal, J.C., Alfieri, L. et Freer, J.E. (2015). Un modèle mondial de risque d'inondation à haute résolution. *Recherche sur les ressources en eau*, 51(9), 7358–7381. <https://doi.org/10.1002/2015wr016954>
- Sayers, P.B., Hall, J.W. et Meadowcroft, I.C. (2002). Vers une gestion des risques d'inondation basée sur les risques au Royaume-Uni. *Actes de l'Institution des ingénieurs civils. Génie civil*, 150(5), 36–42. Universitaire de Bordeaux, Université Michel de Montaigne - Bordeaux. p69-80
- Sppi., 2004, *Prise en compte du risque inondation dans les études de dangers des installations classées Cahier technique N°8*, DRIRE Haute-Normandie - 21, avenue de la Porte des champs - 76037 ROUEN CEDEX Tél. 02 35 52 32 00.
- Toufik, H. et Mahmoud, H. (2022) « Pertinence et comparaison des équations des facteurs de frottement pour le lit de gravier en régime de charriage », *Int. J. Science et technologie de l'hydrologie*, vol. 13, n° 3, pp.280–297.
- Wing, O.E.J., Quinn, N., Bates, P.D., Neal, J.C., Smith, A.M., Sampson et al. (2020). Vers une modélisation stochastique globale des crues fluviales. *Recherche sur les ressources en eau*, 56(8). <https://doi.org/10.1029/2020wr027692>
- Winsemius, H.C., Van Beek, L.P.H., Jongman, B., Ward, P.J. et Bouwman, A. (2013). Un cadre pour les évaluations mondiales des risques d'inondation des rivières. *Hydrologie et sciences du système terrestre*, 17(5), 1871–1892. <https://doi.org/10.5194/hess-17-1871-2013>
- Yamazaki, D., Kanai, S., Kim, H. et Oki, T. (2011). Une description physique de la dynamique des inondations dans les plaines inondables dans un modèle global de routage fluvial. *Recherche sur les ressources en eau*, 47(4). <https://doi.org/10.1029/2010wr009726>

- Yang, S., Han, Y. et Dharmasiri, N., 2011. Résistance à l'écoulement sur des éléments de rugosité fixes. Journal of Hydraulic Research, 49(2), pp.257-262.

**Remarque :**

Les données hydrométriques (pluies et débits des cours d'eau) sont des données de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (A. N. R. H.) Bir Mourad Rais– Alger .

## Résumé

L'Algérie connaît une forte extension d'urbanisation, en particulier dans les grandes villes, Cette extension est associée avec des constructions chaotiques et le non-respect des servitudes des oueds, cette situation pose des risques majeurs d'inondation surtout en période des crues. Suite aux inondations enregistrées dans plusieurs villes algériennes ces dernières années (Alger, Ghardaia, M'sila....), l'état algérien a programmé beaucoup des projets de protection des villes contre les inondations. La cartographie des zones inondables présente toujours un défi pour une meilleure prévision des inondations. Dans ce travail on présente un cas type qui consiste à protéger le Sud-Est de la ville de Bordj Bou Arreridj contre les inondations. Cette ville est chef-lieu de wilaya, située à l'Est d'Alger à 240 km environ, elle compte une population de 200 000 habitants. Plusieurs oueds traversent cette la ville. Dans cette étude on s'intéresse à la zone traversée par l'oued Boumergued. La protection contre le débordement de la crue centennale ( $Q = 55,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) nécessite la réalisation d'un canal en béton armé sous forme rectangulaire sur toute la longueur existée.

**Keywords:** energy dissipation, oued, flood, inundation, protection.

## Abstract

Algeria is experiencing a strong extension of urbanization, especially in large cities, this extension is associated with chaotic constructions and non-compliance with easements of wadis, this situation poses major risks of flooding especially during floods. . Following the floods recorded in several Algerian cities in recent years (Algiers, Ghardaia, M'sila ....), the Algerian state has programmed many projects to protect cities against floods. Mapping flood zones always presents a challenge for better flood forecasting. In this work we present a typical case which consists in protecting the South-East of the city of Bordj Bou Arreridj against floods. This city is the capital of the wilaya, located east of Algiers about 240 km, it has a population of 200,000 inhabitants. Several wadis cross this city. In this study we are interested in the area crossed by the Boumergued wadi. Protection against the overflow of the 100-year flood ( $Q = 55.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) requires the construction of a reinforced concrete channel in a rectangular shape over the entire existing length.

**Keywords:** energy dissipation, oued, flood, inundation, protection.

## المخلص

تشهد الجزائر توسعاً قوياً في التوسع العمراني، خاصة في المدن الكبيرة، ويرتبط هذا الامتداد بالبناء الفوضوي وعدم الامتثال لارتفاع الوديان، وهذا الوضع يشكل خطر كبير للفيضانات خاصة أثناء حدوثها. بعد فيضانات عدة بمدن جزائرية في السنوات الأخيرة (الجزائر ، غرداية ، المسيلة ....)، برمجت الدولة الجزائرية العديد من المشاريع لحماية المدن من الفيضانات. دائما ما يشكل رسم خرائط مناطق الفيضانات تحدياً لتحسين التنبؤ بالفيضانات. نقدم في هذا العمل حالة نموذجية تتمثل في حماية الجنوب الشرقي لمدينة برج بوعريريج من الفيضانات. هذه المدينة هي عاصمة الولاية، وتقع شرق الجزائر العاصمة بحوالي 240 كلم، ويبلغ عدد سكانها 200 ألف نسمة. العديد من الوديان تعبر هذه المدينة. نحن مهتمون في هذه الدراسة بالمنطقة التي يعبرها وادي بومرجد. تتطلب الحماية ضد الفيضان لمدة 100 عام ( $Q = 55.8 \text{ م}^3/\text{ثانية}$ ) بناء قناة خرسانية مسلحة في شكل مستطيل على كامل الطول الحالي.

**الكلمات المفتاحية:** تبديد الطاقة ، الوادي ، الفيضانات ، الفيضانات ، الحماية.