

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique**



*Université de Ghardaïa*

N° d'ordre :  
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies  
Département Génie civile et Hydraulique

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

## **MASTER**

**Domaine :** *Sciences et Technologies*

**Filière :** Hydraulique

**Spécialité :** Hydraulique urbaine

**Par :** ABAZA Omar ELfarouk, HAYOUDOUDOU Omar

## **Thème**

**Etude hydraulique de système traditionnel de  
partage des eaux superficielles dans la palmeraie  
de Ghardaïa (zone de El GHaba)**

**Soutenu publiquement le 25 /06/2019**

**Devant le jury :**

<b>Mr. BOULEMAIZ Tayeb</b>	<b>MAA</b>	<b>Université Ghardaïa</b>	<b>Président</b>
<b>Mr. CHOUIREB Mostapha</b>	<b>MAA</b>	<b>Université Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>
<b>Me. AMIEUR Roukia</b>	<b>MAA</b>	<b>Université Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr. OULED BELKHIR Cheikh.</b>	<b>MAA</b>	<b>Université Ghardaïa</b>	<b>Encadreur</b>

**Année universitaire 2018/2019**

---

## ملخص

إن عملنا هذا يتمثل في محاكاة سيلان المياه في واحة غرداية الهدف منه هو حساب كميات المياه التي تمر عبر نظام تجميع وتصريف المياه الفيضانية إلى واحة غرداية ، و اخذ نظرة عامة حول النظام التقليدي لتقسيم المياه فيها من الجانب الآخر نتطرق في هذه الدراسة الى تأثير عامل الإنسان خصوصا و انجاز السدود الكبرى في ضاية بن ضحوة و تأثيره على العمل الجيد للنظام التقليدي لتقسيم المياه . يرجع الأمر من تحقيق هذه المحاكاة , إلى شفرة الحساب الرقمي الذي يتمثل في برنامج هيكراس و اركجيس

محاكاة الفيضان تعتبر سببا من أجل معرفة منسوب وتدفقات المياه خلال مختلف الأزمنة وفي مختلف نقاط نظام تجميع وتصريف المياه للواحة .

**كلمات مفتاحية :** تيسمباد , بوشمجان, تجميع المياه, فيضان, ميزاب, واد, محاكاة, هيكراس, اركجيس.

---

---

## Résumé

Notre travail consiste à simuler le ruissellement de l'eau de l'oasis de Ghardaïa, dans le but de calculer la quantité d'eau qui passe par le système de collecte et de drainage des eaux de crue jusqu'à l'oasis de Ghardaïa et de donner un aperçu du système de distribution d'eau traditionnel .Ainsi que d'étudier l'impact humaine notamment l'installation des ouvrages de protection amont sur fonctionnement des système de partage des eaux.

Cette simulation est due au code de compte numérique, qui correspond aux programmes Hec-RAS et ArcGIS.

La simulation d'inondation est une raison pour connaître le niveau et le débit de l'eau à différents moments et à différents points de la collecte de l'eau et du système de drainage de l'oasis.

**Mots clés:** Tissambad, collecte des eaux, Bouchemdjene, Bouchène, crue, M'Zab, Oued, simulation, ArcGIS, Hec-RAS.

---

---

## Abstract

Our work consists of simulating water runoff from the Ghardaïa oasis, in order to calculate the quantity of water that passes through the floodwater collection and drainage system to the Ghardaïa oasis and to give an overview of the traditional water distribution system... As well as to study the human impact, in particular the installation of upstream protection works on the functioning of water sharing systems.

This simulation is due to the numerical account code, which corresponds to the Hec-RAS and ArcGIS programs.

Flood simulation is a reason to know the water level and flow at different times and at different points in the water collection and drainage system of the oasis.

**Key words:** Tissambad, collect water, Bouchemdjene, Bouchène, flood, M'Zab, Oued, simulation, ArcGIS, Hec-RAS.

---

*Je dédie mon travail*

*A mes chers parents qui m'ont toujours soutenu  
et encouragé tout au long de ma vie.*

*A mes grands parents*

*A ma femme*

*A ma fille*

*A mes très chers frères*

*A toute la famille*

*A mon collègue pour ce travail*

*A tous mes professeurs du département ST*

*A tous mes amis de association de irniwan*

*A tous mes amis de IOM*

*A tous mes amis de l'université, et particulièrement ceux de  
la promotion.*

**ABAZA Omar ELfarouk**

*Je dédie mon travail*

*A mes chers parents qui m'ont toujours soutenu  
et encouragé tout au long de ma vie.*

*A mes grands parents*

*A mes très chers frères*

*A ma fiancée*

*A toute la famille*

*A mon collègue pour ce travail*

*A tous mes professeurs du département ST*

*A tous mes collègues de l'université, et particulièrement  
ceux de la promotion*

*A tous mes amis de la résidence universitaire*

*Merci à vous tous*

**HAYOUDOUDOU Omar**

## REMERCIEMENT

Merci à notre bon Dieu, notre guide, notre force, notre bonheur, et la raison de notre existance. C'est lui qui nous a fait comprendre le but de cette vie, et qui nous a donné le pouvoir d'aimer les gens et d'apprécier les choses. Merci d'être là dans les moments les plus difficiles.

Mr. OULED BELKHIR Cheikh notre encadreur de mémoire de fin d'étude pour ses précieux conseil et son orientation ficelée tout au long de notre recherche.

Mr. CHOUIREB Mostapha et Mr.GUENDAFI Messaoud, Mr . NACER Bakir qui nous a fourni les outils nécessaires à la réussite de notre mémoire.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

Je tiens à remercier le bureau d'étude SNC NACER ENGINIRIQUE qui a mit à ma donner le levé topographique.

Nos familles et nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles

A nos professeurs tout au long de notre cursus universitaire, dont nous avons appris tant de chose, et nous apprenant encor plus dans chaque jour que dieu fait.

Toute personne qui a participé de près ou de loin à l'exécution de ce travail.

On vous remercie tous comme un signe de gratitude car notre prophète Mohamed (qu'Allah le bénisse et le salue) Dit « ceux qui ne remercient pas les gens ne remercient pas Dieu ».

## TABLE DES MATIERES

Résumé	
Dédicace	
Remerciement	
Liste Des Figures	
Liste Des Tableaux	
Liste Des Photos	
Terminologie	
Notations Générales	
I.    INTRODUCTION GENERALE.....	1

### Chapitre I

#### SYNTHETISE BIBLIOGRAPHIE

I.    Définition.....	3
II.   Paramètres géométriques et hydrauliques .....	3
II.1    Parameters géométriques .....	3
II.2    Paramètres hydrauliques .....	4
III.  Régime uniforme .....	6
III.1    Formule générale de l'écoulement .....	6
III.2    Formules usuelles pour les canaux artificiels.....	7
III.3    Formule de l'écoulement dans les cours d'eau naturels.....	9
IV.   Régime permanent varie.....	10
IV.1    Ecoulement critique .....	10
IV.2    Calcul de la hauteur normale.....	12
IV.3    Courbes de remous.....	12
V.    Définitions et classification : .....	16
V.1    Définitions :.....	16
V.2    Classification des déversoirs : .....	17
VI.   Principaux types de nappes deversante : .....	18
VII.  Déversoir à mince paroi: .....	20
VIII.  Déversoirs rectangulaires a paroi mince vertical : .....	21
VIII.1  Déversoir rectangulaire sans contraction latérale: .....	23

VIII.2	Déversoir rectangulaire avec contraction latérale : .....	24
VIII.3	Valeurs usuelles du coefficient de débit.....	25

## Chapitre II

### PRESENTATION GENERALE DE LA PALMERAIE DE GHARDAÏA

I.	Description de la wilaya de Ghardaïa.....	26
I.1	Situation géographique.....	26
I.2	Caractéristiques de la région .....	27
I.3	Oueds de Ghardaïa .....	27
II.	Description générale de la vallée du M'zab .....	28
II.1	Présentation de la vallée de M'zab.....	28
II.2	Description générale de l'Oued M'Zab.....	29
III.	Présentation générale de la palmeraie de Ghardaïa .....	30
III.1	Situation géographique de la palmeraie de Ghardaïa.....	31
III.2	Description et fonctionnement du système hydraulique de partage des eaux de la palmeraie.....	31
III.2.1	Description et fonctionnement de la partie collecte des eaux.....	32
III.2.2	Description et fonctionnement de la partie partage des eaux collectées.....	37
IV.	Conclusion.....	42

## Chapitre III

### Cadre hydroclimatique

I.	Introduction .....	43
II.	Station météorologique de Noumeratte .....	43
III.	Climatologie .....	44
IV.	Etude des factures climatiques .....	44
IV.1	Etat de l'atmosphère .....	44
IV.2	Température .....	45
IV.3	Ensoleillement.....	45
IV.4	Les Vents.....	46
IV.4.1	Les vents d'origine Nord .....	46
IV.4.2	Les vents d'origine est .....	47
IV.4.3	Les vents d'origine ouest .....	47
IV.4.4	La direction des vents .....	48



IV.5	L'humidité relative.....	49
IV.6	L'évaporation et l'évapotranspiration.....	50
IV.7	Pluviométrie.....	50
V.	Régime pluviométrique de la région du M'Zab.....	51
V.1	Origine des précipitations dans la vallée du M'Zab.....	51
V.2	Précipitation moyenne annuelle.....	52
V.3	Précipitation moyenne mensuelle.....	54
V.4	Les précipitations maximales journalières.....	54
V.5	Étude statistique de précipitations maximales journalières.....	55
V.6	Caractéristiques statistiques de l'échantillon analysé.....	56
VI.	Conclusion.....	58

## Chapitre IV

### Cadre hydrologique

I.	Introduction.....	59
II.	Le bassin versant d'oued M'Zab.....	59
III.	Caractéristiques géométriques :.....	62
III.1	Données préliminaires :.....	62
III.2	L'indice de compacité $K_c$ de Gravelius :.....	63
III.3	Le rectangle équivalent :.....	63
IV.	Caractéristique topographique :.....	64
IV.1	Le relief :.....	64
IV.2	Les pentes :.....	66
V.	Caractéristiques du réseau hydrographique :.....	68
V.1	La classification de Strahler :.....	68
V.2	La densité de Drainage :.....	69
VI.	Régime des crues :.....	69
VI.1	Coefficient d'abattement $K_a$ :.....	69
VI.2	Coefficient de ruissellement $K_r$ :.....	70
VI.3	Coefficient de pointe $\alpha$ :.....	70
VI.4	Les temps caractéristiques :.....	71
VI.5	Les débits $Q$ et Volume des crues :.....	72
VII.	Hydrogrammes de crue.....	75
VII.1	L'hydrogramme de crue des sous bassin versant :.....	75

VII.2	Hydrogramme des déversoirs de crue : .....	75
VIII.	Conclusion .....	78

## Chapitre V

### Simulation des écoulement

I.	Introduction .....	79
II.	Définitions des SIG .....	79
III.	Structure d'un SIG.....	79
IV.	Les étape de travaille sur ArcGIS.....	80
V.	Mode raster.....	80
VI.	Aperçu sur le logiciel HEC-RAS : .....	83
VII.	Les solutions que propose HEC-RAS : .....	83
VIII.	Interface de HEC-RAS : .....	84
IX.	Avantage et inconvénient de HEC-RAS : .....	85
X.	Procédure de simulation via HEC-RAS : .....	86
X.1	Choix des paramètres : .....	86
X.2	Donnée géométrique : .....	86
X.3	Les berges de l'oued : .....	86
X.4	Exportation vers ArcGIS :.....	86
X.5	Importation de HEC-RAS .....	87
X.6	Les profils en travers (Cross Section) :.....	88
X.7	Paramètres hydrauliques .....	88
X.8	Régime hydraulique .....	88
X.9	Les débits : .....	89
XI.	Visualisation des résultats : .....	89
XI.1	L'inondation :.....	90
XII.	Conclusion :.....	90

CONCLUSION GENIRALE

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE

## LISTE DES FIGURES

<b>Chapitre I : SYNTHETISE BIBLIOGRAPHIE</b>		
<b>Figure I-1</b>	Tirant d'eau, largeur au miroir et section mouillée	3
<b>Figure I-2</b>	Diagramme d'énergie spécifique	11
<b>Figure I-3</b>	Courbes $M$	13
<b>Figure I-4</b>	Courbes $S$	14
<b>Figure I-5</b>	Courbes $C$	15
<b>Figure I-6</b>	Différent types de déversoirs	16
<b>Figure I-7</b>	Classification des déversoirs	17
<b>Figure I-8</b>	Nappe adhérente à faible charge	18
<b>Figure I-9</b>	Nappe libre	18
<b>Figure I-10</b>	Nappe déprimée	19
<b>Figure I-11</b>	Nappe noyée	19
<b>Figure I-12</b>	Déversoir noyé à nappe ondulée	20
<b>Figure I-13</b>	Coupe longitudinale d'un déversoir à crête mince en écoulement dénoyé	21
<b>Figure I-14</b>	Débit du déversoir rectangulaire à crête mince et à nappe libre	22
<b>Figure I-15</b>	Vue en perspective d'un déversoir rectangulaire sans contraction latérale	24
<b>Figure I-16</b>	Déversoir rectangulaire à paroi mince et à contraction latérale. Schéma de définition	24

<b>Chapitre II : Présentation générale de la palmeraie de Ghardaïa</b>		
<b>Figure II-1</b>	Limites administrative de la wilaya de Ghardaïa	26
<b>Figure II-2</b>	Bassin versant des oueds de la région	28
<b>Figure II-3</b>	Délimitation de la vallée du M'Zab	29
<b>Figure II-4</b>	Localisation de l'Oued M'Zab dans la vallée	30
<b>Figure II-5</b>	Photo satellitaire de la palmeraie	31
<b>Figure II-6</b>	Figure schématique de la partie collecte des eaux	32
<b>Figure II-7</b>	Canaux souterrains	38
<b>Chapitre III : Cadre hydroclimatique</b>		
<b>Figure III -1</b>	Situation de l'O.N.M	43
<b>Figure III -2</b>	température mensuelle l'année 2015	45
<b>Figure III -3</b>	ensoleillement moyenne mensuelles	46
<b>Figure III -4</b>	Vitesse Maximum du Vents en l'année 2015	47
<b>Figure III -5</b>	Humidité moyenne mensuelle et annuelle de station de Ghardaïa	49
<b>Figure III -6</b>	Evaporation et insolation mensuelles	50
<b>Figure III -7</b>	hydrogramme de pluie de 1970 jusqu'à 2018	50
<b>Figure III -8</b>	Le front Polaire et la dépression soudano sahélienne, l'origine des précipitations	52
<b>Figure III -9</b>	Carte des isohyètes de la pluie moyenne annuelle du Sahara	53
<b>Figure III -10</b>	Histogramme des cumules annuelles et pluies journalières maximales 1970-2015	54
<b>Figure III -11</b>	Répartition des mois les plus pluvieux de l'année	54

<b>Figure III -12</b>	Ajustement de la série pluviométrique a la loi Galton et Gumbel par Hydrolab logiciel	56
<b>Chapitre IV : Cadre hydrologique</b>		
<b>Figure IV -1</b>	Carte des sous bassin versant de Oued M'Zab	60
<b>Figure IV -2</b>	Organigramme des étapes adoptées pour l'étude physiographique sous ArcGIS	61
<b>Figure IV -3</b>	Courbe hypsométrique d'Oued M'Zab	65
<b>Figure IV -4</b>	Utilisation d'ArcGIS pour la classification de Strahler	68
<b>Figure IV -5</b>	Méthode des rectangles	75
<b>Figure IV -6</b>	Hydrogramme de crue du laminage du déversoir de Labiod	77
<b>Figure IV -7</b>	Hydrogramme de crue du laminage du déversoir de Haimer	77
<b>Chapitre V : Simulation des écoulement</b>		
<b>Figure V.1</b>	Définition de SIG	80
<b>Figure V.2</b>	Point topographier	81
<b>Figure V.3</b>	carte raster	82
<b>Figure V.4</b>	Convertir raster to Tin	82
<b>Figure V.5</b>	HEC-Geo-RAS	83
<b>Figure V.6</b>	Représentation le travaille a ArcGIS	83
<b>Figure V.7</b>	Fenêtres du logiciel HEC-RAS	84
<b>Figure V.8</b>	Interface de HEC-RAS 5.0.0	85
<b>Figure V.9</b>	Geometric data sur HECRAS	85
<b>Figure V.10</b>	L'extension HEC-GeoRAS sur ArcGIS	87

<b>Figure V.11</b>	Fichier géométriques de bouchen	88
<b>Figure V.12</b>	introduction des débits sur HEC-RAS	90
<b>Figure V.13</b>	Représentation de l'inondation	91

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Chapitre I : SYNTHETISE BIBLIOGRAPHIE</b>		
<b>Tableau I-1</b>	Valeurs de $\gamma$ en fonction de la nature des parois	8
<b>Tableau I-2</b>	Coefficients $\mu$ et $\nu$ en fonction de différents catégories	9
<b>Tableau I-3</b>	Coefficient de débit $\mu$ pour un déversoir rectangulaire avec ou sans contraction latérale (adapté de NF X 10-311(1983))	23
<b>Tableau I-4</b>	valeurs de coefficient de débit suivant le rapport $L/L_1$ pour un déversoir rectangulaire avec contraction latérale	25
<b>Chapitre III : Cadre hydroclimatique</b>		
<b>Tableau III -1</b>	l'état de l'atmosphère dans la région de Ghardaïa	44
<b>Tableau III -2</b>	Données brute sur la direction des vents en degré à Ghardaïa de 2013 à 2016	48
<b>Tableau III -3</b>	La Rose des Vents en tableaux	48
<b>Tableau III -4</b>	Direction des vents à Ghardaïa de 2013 à 2016	49
<b>Tableau III -5</b>	Pluies journalières maximales observées à Ghardaïa (1970-2018)	55
<b>Tableau III -6</b>	Caractéristiques statistiques de la série	56
<b>Tableau III -7</b>	Test de Khi 2 appliqué à la série des $P_{jmax}$	57
<b>Tableau III -8</b>	Estimation de la période de retour sur la Station de Ghardaïa 1970-2018	57
<b>CHAPITRE IV: Cadre hydrologique</b>		
<b>Tableau IV-1</b>	Caractéristiques du bassin versant de Oued M'Zab	59
<b>Tableau IV-2</b>	Données préliminaires sur les sous bassin versant	62
<b>Tableau IV-3</b>	l'indice de compacité de Gravelius de chaque sous bassin versant	63
<b>Tableau IV-4</b>	la longueur et la largeur du rectangle équivalent des sous bassin versants	64
<b>Tableau IV-5</b>	répartition altimétrique du bassin versant de Oued M'Zab	65

<b>Tableau IV-6</b>	Indice de pente moyenne $I_m$ des sous bassin versants	66
<b>Tableau IV-7</b>	Indice de pente globale des sous bassin versant	67
<b>Tableau IV-8</b>	la classification des reliefs d'après O.R.S.T.O.M	67
<b>Tableau IV-9</b>	La densité de drainage $D_d$ des sous bassin versant	69
<b>Tableau IV-10</b>	Coefficient d'abattement $K_a$ des sous bassin versants	70
<b>Tableau IV-11</b>	Coefficient de ruissellement des sous bassin versants	70
<b>Tableau IV-12</b>	Coefficient de pointe des sous bassin versants	71
<b>Tableau IV-13</b>	Récapitulatif des temps caractéristiques	72
<b>Tableau IV-14</b>	Récapitulatif des débits et volumes des sous bassin versant de Oued M'Zab	74



## LISTE DES PHOTOS

## Chapitre III : Présentation générale de la palmeraie de Ghardaïa

<b>Photo III-1</b>	Ouvertures de régularisation de canal de <i>Bouchemdjene</i>	<b>33</b>
<b>Photo III-2</b>	Vannes métallique de régularisation de débit	<b>33</b>
<b>Photo III-3</b>	Déversoir de canal de <i>Bouchemdjene</i> vers le barrage de <i>Bouchène</i>	<b>34</b>
<b>Photo III-4</b>	Déversoir de canal de <i>Bouchém djene</i> vers le canal de <i>Bouchène</i>	<b>34</b>
<b>Photo III-5</b>	Digue d' <i>Inerez</i>	<b>35</b>
<b>Photo III-6</b>	Retenue de barrage <i>Bouchène</i>	<b>35</b>
<b>Photo III-7</b>	Puits capteur dans la retenue de barrage <i>Bouchène</i>	<b>36</b>
<b>Photo III-8</b>	<i>Tissambadsde</i> partage de <i>Bouchemdjene</i> vers les jardins de la palmeraie	<b>37</b>
<b>Photo III-9</b>	Puits d'aération	<b>38</b>
<b>Photo III-10</b>	Sorties des différents canaux souterrains	<b>39</b>
<b>Photo III-11</b>	Canal à ciel ouvert	<b>39</b>
<b>Photo III-12</b>	Système de partage au niveau des jardins ( <i>Koua, Rasfa</i> )	<b>40</b>
<b>Photo III-13</b>	Trop-plein d'un jardin	<b>41</b>
<b>Photo III-14</b>	Digue de « <i>Ahbas Ajdid</i> »	<b>41</b>
<b>Photo III-15</b>	Système de puisage	<b>42</b>
<b>Photo III-16</b>	<i>Seguia</i> du jardin	<b>42</b>

## TERMINOLOGIE

<b>Ahbas</b>	Un barrage
<b>Amlaga</b>	Point de confluence
<b>Assefy</b>	Premier bassin pour récupérer les eaux de puisage
<b>Bouchemdjene</b>	Esclave
<b>Koua</b>	Orifice qui alimente le jardin en eau
<b>Madjel</b>	Bassin secondaire pour récupérer les eaux du premier bassin et irriguer le jardin
<b>Mnafes</b>	Les puits d'aération
<b>Rasfa</b>	Seuil
<b>Seguia</b>	Canal a ciel ouvert
<b>Tachrif</b>	Déversoir
<b>Takdhite</b>	Grand orifice
<b>Tardja</b>	Ruelle qui sert comme canal
<b>Tissambad</b>	Orifice
<b>ANRH</b>	Agence Nationale des Ressources Hydraulique
<b>F.N.D</b>	Fréquence au Non Dépassement
<b>HEC-RAS</b>	Hydrologic Enginiring Center's-River Analysis Système
<b>Kml</b>	Keyhole Markup Language
<b>MNT</b>	Modèle Numérique de Terrain
<b>O.N.M</b>	Office National de Météorologie
<b>ORSTOM</b>	Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer)
<b>SIG</b>	Système d'Information Géographique

**NOTATIONS PRINCIPALES**

- b** : Largeur au miroir (en m) ;
- C** : Coefficient de Chézy (-) ;
- D<sub>h</sub>** : Diamètre hydraulique (en m) ;
- e** : Hauteur du pertuis (en m) ;
- F<sub>r</sub>** : Nombre de Froude (-) ;
- g** : Accélération de la pesanteur (en  $m/s^2$ ) ;
- H<sub>e</sub>** : Hauteur du plan d'eau (en m) ;
- h** : Tirant d'eau (en m) ;
- h<sub>a</sub>** : Charge mesurée au milieu de l'échancrure (en m) ;
- h<sub>c</sub>** : Hauteur critique (en m) ;
- h<sub>n</sub>** : Hauteur normale (en m) ;
- I** : Pente de surface libre (m/m) ;
- I<sub>c</sub>** : Pente critique (en m/m) ;
- i** : Pente du fond de canal (m/m) ;
- J** : Pente hydraulique (en m/m) ;
- K** : Coefficient de Manning-Strickler (-) ;
- k** : Débitance (en  $m^3/s$ ) ;
- L<sub>cr</sub>** : Longueur du cours d'eau principal (en Km) ;
- L<sub>d</sub>** : Largeur du déversoir (en m) ;
- L<sub>e</sub>** : Largeur du pertuis (en m) ;
- L<sub>o</sub>** : Largeur de l'orifice (en m) ;
- L<sub>re</sub>** : Longueur du rectangle équivalent (en Km) ;
- m** : Coefficient du débit (-) ;
- n** : Coefficient de Manning (-) ;
- P** : Pression ( $N/m^2$ ) ;
- P<sub>m</sub>** : Périmètre Mouillé (en m) ;
- Q** : Débit (en  $m^3/s$ ) ;
- R<sub>h</sub>** : Rayon Hydraulique (m) ;

$R_e$  : Nombre de Reynolds (-) ;

$S_m$  : Section mouillée (en  $m^2$ ) ;

$V$  : Vitesse moyenne (en m) ;

$v$  : Vitesse de l'écoulement (en m/s) ;

$\alpha$  : Angle qui fait le fond du canal avec l'horizontal (en  $^\circ$ ) ;

$\gamma$  : Coefficient du Bazin (-) ;

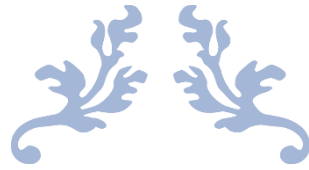
$\gamma_w$  : Poids volumique de l'eau (en  $N/m^3$ ) ;

$\rho_w$  : Masse volumique de l'eau (en  $Kg/m^3$ ) ;

$\nu$  : Viscosité cinématique ( $m^2/s$ ) ;

$\mu$  : Viscosité dynamique ( $Kg/ms$ ) ;

$\tau_o$  : Force de frottement ( $N/m^2$ ).



---

# INTRODUCTION GENERALE

---



## I. INTRODUCTION GENERALE

La vallée du M'Zab, à laquelle se rattache cette étude, abrite la célèbre palmeraie et les anciennes agglomérations (Ksour) qui remontent au XI<sup>e</sup> siècle. La science hydraulique des Mozabites peut encore être appréciée à travers les ouvrages réalisés par le passé pour utiliser avec parcimonie les eaux trop rares des oueds. C'est ainsi que les vallées sont fréquemment barrées par des levées en terre souvent revêtues de maçonnerie ou par des barrages entièrement en maçonnerie afin que l'eau qui circule rarement soit ralentie, stockée et infiltrée dans le sous-sol. Le fameux fondateur « Hammou Ou ElHadj » a pensé à créer en 1306, un système hydraulique très complexe qui permet d'exploiter les crues aux profits de l'irrigation. Grâce à ces ouvrages un réseau complexe de canaux, conduites et répartiteurs permet de conduire l'eau aux parcelles et de réalimenter la nappe, qui est exploitée par de nombreux puits à l'architecture caractéristique. Jusqu'à cette époque, les palmeraies ont été suffisamment irriguées par des eaux de la nappe phréatique rechargé lui-même par le passage des crues de la vallée (Ouled Belkhir, 2018).

La vallée du M'Zab est caractérisée par un régime hydrologique irrégulier et dramatique. Nous citons les crues catastrophiques de juin 1991 et celle d'octobre 2008 (le jour de l'Aïd El Fitr). Cette dernière est survenue suite à une averse de 48 mm à Ghardaïa (ONM de Noumeratte) et 70 mm à la station de Hassi Rmel, un important écoulement ravageur se produisant sur l'Oued M'Zab et les autres oueds dans les environs. Il a débordé les berges, provoquant un tsunami fluvial et inondant ainsi tout ce qui est avoisinant comme constructions, ponts et palmeraies. La hauteur d'eau dans l'oued au centre de la ville de Ghardaïa a atteint 9 mètres et plusieurs endroits qui se trouvent au bas lit d'oued ont été submergés, les raisons sont pour lesquelles il a été enregistré plusieurs pertes humaines (150 morts). Les principaux oueds de la région (Nsa, Metlili) ont fonctionné à plein régime. Selon Mr Ouled Belkhir, le débit à Ghardaïa et à Metlili atteint respectivement 1200 m<sup>3</sup>/s et 900. Selon les sources locales, c'est une crue exceptionnelle puisque la première fois depuis 50 ans que les trois oueds affluents atteints la Sebkhia Séfiouane à 200 km en aval, on peut considérer que celle-ci est cinquantenaire (Ouled Belkhir, 2018). Cet événement a entraîné l'effondrement de deux retenues collinaires : Laadhira et Touzouz, situées en amont de la ville de Ghardaïa.

Cependant, et pour maîtriser le risque lié aux crues d'Oued M'Zab et ces affluents, les autorités locales et les services techniques depuis l'année 2008 ont proposé de mettre en place

des grandes ouvrages de rétention à Dayat Ben Dahoua en amont de la vallée, et des ouvrages de petits et moyens dimensions sur les affluents les plus potentiels de la vallée. D'autres travaux d'aménagement ont été proposés notamment le calibrage du lit d'oued afin de lui permettre de faire transiter la crue laminée.

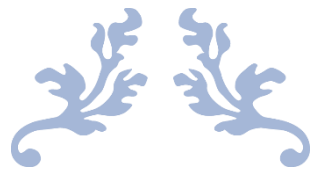
Maintenant que les travaux sont terminés, peut-on dire que la vallée de M'Zab est vraiment protégée des crues et des inondations ? D'une autre façon est-ce que ce système de partage historique (Bouchène et Bouchemdjene) est capable de fonctionner naturellement et de supporter des crues de fréquence très rare ?

Notre objectif à travers ce mémoire, est d'essayer d'affirmer cette hypothèse, et d'étudier l'impact des ouvrages amont sur le régime hydrologique du M'Zab, ainsi que sur ce système de partage. Cependant nous allons étudier le comportement hydrologique des sous bassins versants à l'amont du système (Labiouadh, Laadira et Touzouz), on se servira de l'outil informatique spécialisée notamment du logiciel Arc Gis, HEC-RAS, Autocad et Google earth.

Les résultats de modélisations et simulations numériques seront illustrés sous forme de cartes de (inondabilité), là où on peut visualiser les niveaux d'eau atteints pour chaque fréquence d'événement.

Les données des crues exploitées sont celles des fréquences décennale, centennale, millénaire et décennales sur les exutoires les plus connues du M'Zab. Les données climatiques disponibles notamment la pluviométrie sont celles de la station de Noumeratte sur la période 1975-2018.

En effet l'étude s'articule comme suit : Un premier chapitre bibliographique englobe un premier chapitre qui rappelle les règles générales sur les écoulements à surface libre, et un deuxième chapitre qui présente d'une façon générale les différentes caractéristiques des déversoirs. La deuxième partie pratique englobe quatre chapitres dont, le troisième est consacré à la présentation générale de la palmeraie du M'Zab, Les caractéristiques climatiques de la région sont présentées dans le chapitre 4. Le chapitre 5 expose le cadre hydrologique de la région. La synthèse de simulation et l'utilisation du logiciel HEC-RAS sont présentées au chapitre 6. Nous finalisons notre étude par une conclusion générale et quelques recommandations et perspectives nécessaires pour la valorisation de ce travail.



---

SYNTHETISE  
BIBLIOGRAPHIE

---





## I. Définition

Les écoulements à surface libre présentent par définition la particularité de comporter une surface libre en contact avec l'air, généralement soumise à la pression atmosphérique et dont la forme peut varier, ce qui implique une variation possible de la forme et des dimensions de la section transversale de la masse liquide.

Les écoulements à surface libre en régime permanent peuvent présenter deux aspects :

- ❖ Si la pente longitudinale (dans le sens de l'écoulement) et la section transversale sont constantes tout le long de la masse liquide, le régime est uniforme
- ❖ Dans le cas contraire, le régime est varié.

## II. Paramètres géométriques et hydrauliques

### II.1 Paramètres géométriques

Les paramètres géométriques sont relatifs à une section de canal dans un plan perpendiculaire à son axe, dont la position est définie par une abscisse  $x$ . Les paramètres essentiels sont le tirant d'eau  $h$ , la section mouillée  $S_m$ , la largeur au miroir  $b$  ou la largeur de la section mouillée et le périmètre mouillé  $P_m$  (figure (I-1)).

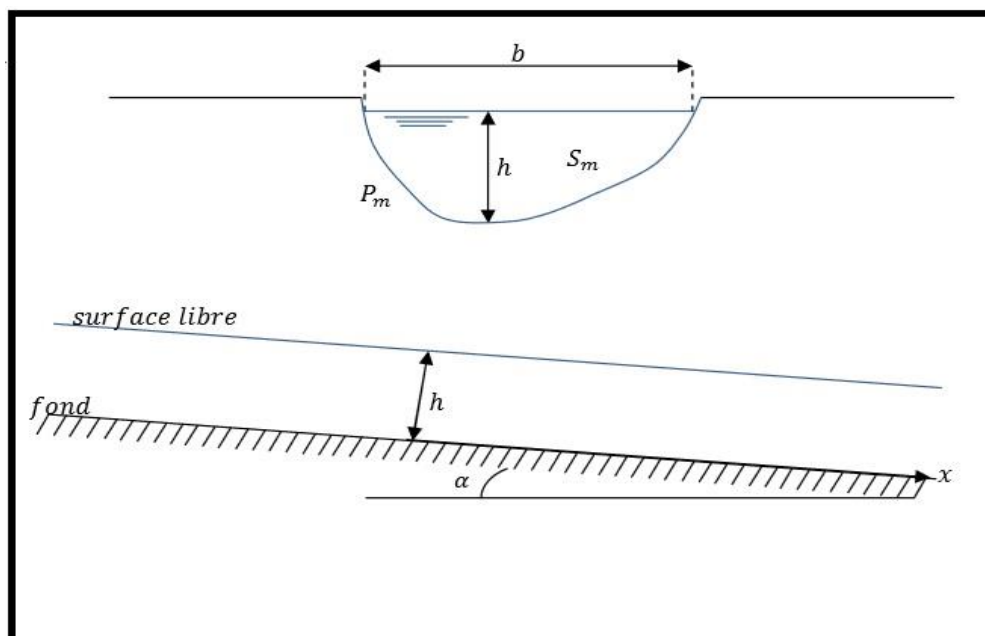


Figure I-1. Tirant d'eau, largeur au miroir et section mouillée (Graf, 1993)

Par définition, le rayon hydraulique est le rapport entre la section mouillée et le périmètre

mouillé :

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} \quad (I.1)$$

La pente du canal, notée  $i$ , est la pente de son fond, mesurée tout le long de son axe, et comptée positivement si le canal est descendant. Si  $\alpha$ , désigne la côte du fond mesurée positivement vers le haut, alors :

$$I = i = \frac{dz_f}{dx} = \sin \alpha \quad (I.2)$$

Tous les paramètres  $b$ ,  $h$ ,  $R_h$ ,  $S_m$ ,  $P_m$  dépendent du débit et ne sont donc pas des constantes géométriques.

## II.2 Paramètres hydrauliques

### II.2.1 Masse volumique

La masse volumique de l'eau est notée  $\rho_w$  et vaut  $1000 \text{Kg/m}^3$  dans le cas de l'eau sans matières en suspension.

### II.2.2 Poids volumique

Le poids volumique de l'eau est noté  $\gamma_w = g \cdot \rho_w$  et vaut  $9,81 \text{KN/m}^3$  pour de l'eau sans matières en suspension.

$g$ , désigne l'accélération de la pesanteur et vaut  $9,81 \text{m/s}^2$ . Le poids volumique ne doit pas être confondu avec la masse volumique définie plus haut ou avec la densité qui est un nombre sans dimension.

### II.2.3 Débit

Le débit  $Q$  est le volume d'eau qui traverse une section perpendiculaire à l'axe du canal par unité de temps.

### II.2.4 Débitance

Elle représente la mesure de la capacité du transport d'eau dans une section transversale,

elle est donnée par :  $K = \frac{Q}{\sqrt{J}}$  où,  $J$ , représente la pente hydraulique.

### II.2.5 Vitesse en un point de l'écoulement

Par définition, la vitesse  $v$  en un point de l'écoulement est celle de la particule qui passe en ce point au moment considéré.

### II.2.6 Vitesse moyenne

La vitesse moyenne est par définition :  $V = \frac{Q}{S_m}$ , c'est-à-dire  $V = \frac{\iint v \cdot dS}{S_m}$ , ds désignant un élément de surface ( $S = \iint dS$ ).

### II.2.7 Nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds est le rapport entre les forces de frottement et celles d'inertie :

$$Re = \frac{VD_H}{\nu} \quad \text{ou} \quad Re' = \frac{VR_H}{\nu} \quad (\text{I.3})$$

avec,

$D_H$  : diamètre hydraulique égal à  $D_H = 4R_H$  où,  $R_H$  : rayon hydraulique

$\nu$  : viscosité cinématique de l'eau, donnée par :  $\nu = \mu/\rho = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{S}$

Où,  $\mu$  est la viscosité dynamique de l'eau égale à :  $\mu = 10^{-3} \text{ Kg/mS}$

Les régimes d'écoulements sont classés suivant le nombre de Reynolds,  $Re'$ , comme suit :

- ❖  $Re' < 500$  : Ecoulement laminaire.
- ❖  $500 < Re' < 2000$  : Ecoulement transitoire.
- ❖  $Re' > 2000$  : Ecoulement turbulent.

L'écoulement est turbulent dès que le nombre de Reynolds,  $Re'$ , atteint des valeurs 2000.

Dans la pratique, on ne rencontre en général que des écoulements turbulents, souvent rugueux .

### II.2.8 Nombre de Froude

Le nombre de Froude est le rapport entre les forces d'inerties et les forces de pesanteurs, il est donné par :

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (\text{I.4})$$

On peut classer les écoulements selon la valeur du nombre de Froude comme suit:

- ❖  $F_r > 1$  : Ecoulement torrentiel.
- ❖  $F_r = 1$  : Ecoulement critique.
- ❖  $F_r < 1$  : Ecoulement fluvial.

### II.2.9 Ligne de courant

Une ligne de courant est une courbe tangente en chacun de ses points  $\mathbf{p}$  au vecteur vitesse en ce point. En écoulement non permanent, la vitesse  $\mathbf{v}$  au point  $\mathbf{p}$  évolue dans le temps et les lignes de courant se déforment avec le temps. En écoulement permanent, les lignes de courant ne se déforment pas et constituent des trajectoires de particules d'eau. Le profil de la surface libre est une ligne de courant particulière.

### II.2.10 Pression hydrostatique en un point

Dans un liquide au repos,  $z_p = \frac{P}{\gamma_w}$  est constant en tout point de la masse liquide.

$z_p$  désigne la cote du point  $\mathbf{p}$ ,  $P$  désigne la pression appliquée à une facette passant par ce point et ne dépend pas de l'orientation de cette facette. Elle s'exprime en Pascal ou  $N/m^2$ .

### II.2.11 Frottement sur une paroi du canal

L'eau étant en mouvement, exerce aussi sur un élément de paroi de section  $ds$ , une force de frottement habituellement notée  $dF = \tau_0 \cdot ds$

$\tau_0$  est la force de frottement par unité de surface ou contrainte tangentielle à la paroi. Par la suite, nous l'appellerons contrainte tractrice.

## III. Régime uniforme

Si la pente et la section transversale restent constantes, une section transversale ne diffère en rien des autres, la vitesse reste constante tout le long d'un filet liquide et le mouvement permanent est uniforme (permanent dans le temps et uniforme dans l'espace). Le débit et la vitesse moyenne étant constants, la surface libre est un plan parallèle au fond du canal. Surface libre et fond ont donc même pente.

### III.1 Formule générale de l'écoulement

La formule générale de l'écoulement prend la forme suivante :

$$V = C\sqrt{R_h J} \quad (I.5)$$

avec,  $R_h$  : le rayon hydraulique moyen et  $i$  : la pente de la surface libre.

Cette formule a été établie pour la première fois en 1775 par Chézy, à la suite des expériences auxquelles il avait procédé dans le but de déterminer les caractéristiques du canal nécessaire pour dériver les eaux de l'Yvette jusqu'à Paris (Carlier, 1980).

C'est appelé parfois « coefficient de Chézy » ; il a pour dimensions  $L^{1/2} T^{-1}$ , c'est-à-dire la racine carrée d'une accélération. On en donne généralement la valeur en prenant pour unités le mètre et la seconde.

### III.2 Formules usuelles pour les canaux artificiels

De nombreux hydrauliciens ont proposé des expressions du coefficient  $C$  de la formule générale.

A priori ce coefficient doit dépendre :

- ❖ De la forme de la section transversale ;
- ❖ De la nature des parois ;
- ❖ De la vitesse ou de la pente.

Nous citerons les formules les plus usuelles.

#### III.2.1 Formule de Bazin Bazin

a présenté d'abord une première formule :

$$b = \frac{1}{C^2} = \alpha' + \frac{\beta'}{R} \quad (I.6)$$

Analogue à la formule de Darcy pour les canalisations, les coefficients  $\alpha'$  et  $\beta'$  ayant des valeurs différentes suivant la nature et l'état des parois du canal ; cette formule avait l'inconvénient d'avoir deux coefficients variables aussi, après de nombreuses expériences, Bazin présentera une deuxième formule :

Ce qui donne :

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \quad (I.7)$$

$$V = \frac{87\sqrt{RI}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \quad (I.8)$$

Avec, pour  $\gamma$ , les valeurs suivantes correspondant à six catégories de parois :

**Tableau I-1** : Valeurs de  $\gamma$  en fonction de la nature des parois (Carlier, 1980)

N° des catégories	Nature des parois	$\gamma$
1	Parois très unies (ciment, bois raboté)	0,06
2	Parois unies (planches, briques, pierres de taille)	0,16
3	Parois en maçonnerie de moellons	0,46
4	Parois de nature mixte (sections en terre régulières)	0,85
5	Canaux en terre dans les conditions ordinaires	1,3
6	Canaux en terre avec fonds de galets, parois herbée	1,75

La principale difficulté de l'application de la formule de Bazin concerne le choix judicieux de la valeur à attribuer au coefficient  $\gamma$ .

### III.2.2 Formule de Manning

Manning a proposé la formule suivante : 
$$C = \frac{1}{n} R_h^{\frac{1}{6}} \tag{I.9}$$

Soit : 
$$V = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \tag{I.10}$$

Le coefficient est variable suivant la nature des parois du canal.

La formule de Manning présente l'avantage d'avoir une forme monôme ce qui permet des calculs plus simples (Carlier, 1980).

### III.2.3 Formule de Strickler

Strickler a cherché à déterminer la valeur du coefficient de la formule de Manning, en fonction de la dimension des matériaux constitutifs des parois du canal.

Pour des parois (fond et berges) en matériaux non cohérents (terre non revêtue), il propose la formule suivante :

$$K = \frac{1}{n} = 26 \left( \frac{R}{d_{35}} \right)^{\frac{1}{6}} \tag{I.11}$$

avec,  $R_h$  (rayon hydraulique moyen en m),  $d_{35}$  c'est le diamètre (en m) auquel correspond 35% (en poids) de matériaux de diamètre supérieur (abscisse de la courbe granulométrique correspondant à l'ordonnée 0.35).

La formule de **Manning-Strickler** s'écrit alors  $V = K R_h^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$  (I.12)

avec,  $K=1/n$  Coefficient de Strickler, il est en fonction de la nature du lit.

### III.3 Formule de l'écoulement dans les cours d'eau naturels

En définitive, pour les cours d'eau naturels on utilisera les formules de Bazin ou de Manning-Strickler en adoptant les coefficients du tableau (I-2).

Ajoutons enfin que le coefficient à utiliser dans les formules est susceptible de varier dans une même section du cours d'eau.

**Tableau I-2** : Coefficients , et en fonction de différents catégories (**Carlier, 1980**)

Catégories-types de rivières au point de vue de rugosité	C de chézy	$K = \frac{1}{n}$ de Manning -Strickler	$\gamma$ de Bazin
Petits cours d'eau de montagne à fond très irrégulier, largeur de l'ordre de 10 à 30 mètres.	25 à 32	23 à 26	2,20 à 3
Cours d'eau de montagnes larges de 30 à 50 mètres, avec pente supérieures à 0,002 et fond de gros graviers.	33 à 38	27 à 29	2 à 2,70
Rivières de largeur comparable ou supérieure, à pente comprise entre 0,0008 et 0,002, avec fond de graviers dont le diamètre extrême en générale ne dépasse pas 8 à 10 centimètres	39 à 42	30 à 33	1,80 à 2,50
Pente comprise entre 0,0006 et 0,0008, graviers de 4 à 8 centimètre	43 à 45	34 à 37	1,75 à 2
Même pente mais cailloux plus petits	46 à 48	38 à 40	1,50 à 1,80

Pente inférieure à 0,0006 et supérieur à 0,00025, cailloux très petits ou sable	49 à 52	41 à 42	1,40 à 1,50
Cours d'eau peu turbulents, avec pentes de 0,00012 à 0,00025, fond de sable et de boue.	50 à 55	43 à 45	1,20 à 1,50
Très gros cours d'eau à très faible pente.	56 à 65	46 à 50	1 à 1,50

#### IV. Régime permanent varie

Lorsque les trajectoires des différents filets liquides s'écoulant dans un canal ne sont plus parallèles entre elles on a affaire à un mouvement (ou régime) varié ; la surface libre et le fond du canal ne sont plus parallèles.

Le régime varié se produit nécessairement dans un canal dont la section transversale varie, tel un cour d'eau naturel ; il se rencontre même dans un canal uniforme ou cylindrique mais seulement au voisinage de ses extrémités.

Si la vitesse croit dans le sens de l'écoulement, le mouvement varié est dit **accélééré**. Il est retardé dans le cas contraire.

On peut classer les mouvements variés en deux grandes catégories :

- ❖ *Les mouvements graduellement variés* dans lesquels les paramètres hydrauliques varient très progressivement d'une section à l'autre.
- ❖ *Les mouvements brusquement variés* caractérisés par une variation plus rapide et parfois même discontinue des phénomènes (chutes, rapides et ressaut).

##### IV.1 Ecoulement critique

L'écoulement critique apparaît lorsque l'énergie spécifique de l'écoulement est minimale.

L'énergie spécifique E est définie comme la somme de la hauteur d'écoulement et de la hauteur de l'énergie cinétique, soit :

$$E = h + \frac{v^2}{2g} = h + \frac{Q^2}{2gS_m^2} \quad (I.13)$$



En observant la figure (I-2), on constate que l'énergie spécifique est minimale lorsque la hauteur d'écoulement est égale à la hauteur critique. Cette valeur peut être obtenue par annulation de la dérivée de l'énergie spécifique par rapport à  $h$ .

$$\frac{dE}{dh} = 1 - \frac{Q^2}{gS_m^3} \cdot \frac{ds}{dh} = 0 \quad (\text{I.14})$$

Sachant que  $ds=b(h)dh$ , l'équation (I.14) devient :

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{S_m^3}{b} \quad \text{ou encore} \quad \frac{V^2}{2g} = \frac{S_m}{2b} \quad (\text{I.15})$$

Finalement on trouve :

$$\frac{Q^2 b}{g S_m^3} = 1 = F_r^2 \quad (\text{I.16})$$

Ce qui signifie bien, que pour un régime critique le nombre de Froude est égal à 1. Au delà de cette valeur, l'écoulement est en régime torrentiel et en deçà, il est en régime fluvial.

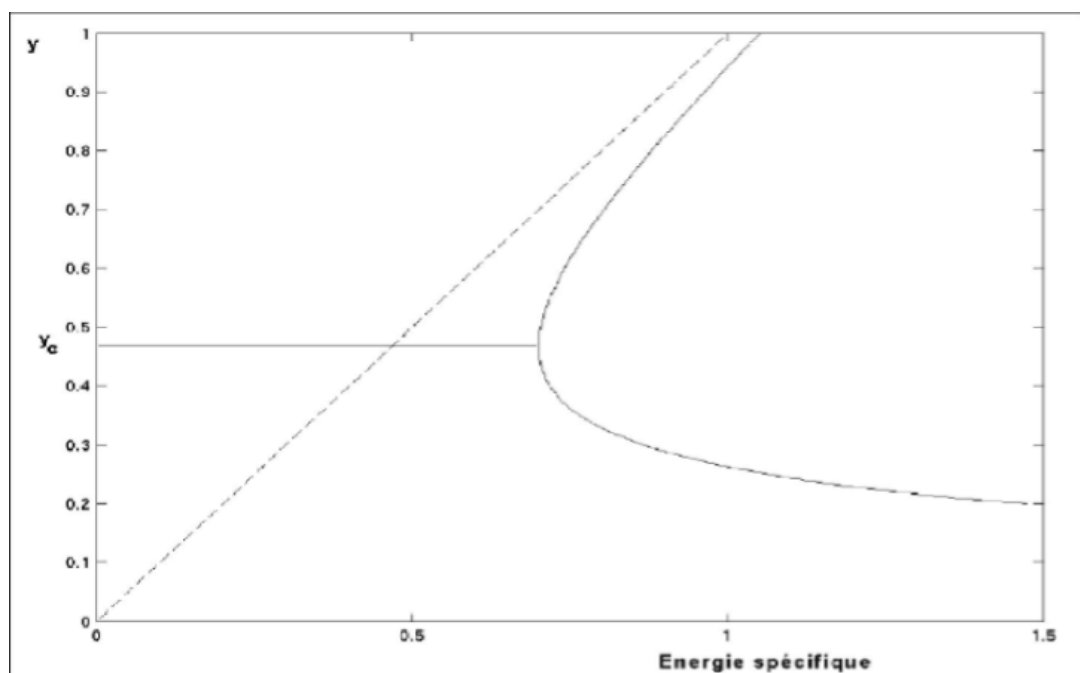


Figure I-2 : Diagramme d'énergie spécifique (Carlier, 1980)

#### IV.1.1 Hauteur critique

Pour un débit, il existe indépendamment de la pente du canal une hauteur critique  $h_c$  que l'on peut calculer à partir de l'équation (I.15). La difficulté de calcul dépend de l'expression  $S_m$  de pour un canal à section rectangulaire :  $S_m = b \cdot h_c$

$$\text{d'où : } \quad \frac{Q^2}{g} = \frac{b^3 h_c^3}{b} \quad \text{donc} \quad h_c = \left( \frac{Q^2}{g b^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{I.17})$$

#### IV.1.2 Pente critique

Une fois la profondeur critique déterminée, on peut aussi calculer la pente l'écoulement pour laquelle un débit donné coulera à la hauteur critique. Avec cette dernière ( $h_c$ ), on calcule  $S_m$ , et l'on tire de l'équation de Manning la pente correspondante :

$$I_C = \frac{n^2 Q^2}{\alpha^2 S_m^2 R_h^{\frac{4}{3}}} \quad (\text{I.18})$$

### IV.2 Calcul de la hauteur normale

Pour un débit donné et une pente de canal fixée, l'écoulement s'effectue avec une certaine hauteur d'eau. Cette hauteur d'eau est ce que l'on appelle la hauteur normale. En comparant cette hauteur d'eau avec la hauteur critique, qui n'est pas fonction de la pente du canal, on est en mesure de déterminer si l'écoulement est fluvial, critique ou torrentiel. Cette information sera très utile lorsque l'on voudra évaluer les écoulements variés.

Le principe de base du calcul de la hauteur normale consiste à résoudre une équation de l'écoulement en termes de débit (Chézy, Manning ou autre) de telle sorte que seule la profondeur soit inconnue.

### IV.3 Courbes de remous

Les courbes de remous peuvent se classer selon la pente du canal. Il existe pour un débit donné une pente de canal pour laquelle l'écoulement se fait à la hauteur critique. Les pentes de canal inférieures à cette pente critique seront considérées comme faibles. Cela formera le groupe M (pour mild slope en anglais). Les pentes supérieures à la pente critique formeront le groupe S (pour steep slope en anglais), On notera par C le groupe des courbes pour les canaux à pente critique puis par H les courbes sur des canaux horizontaux et enfin A (pour adverse slope en anglais) pour les canaux en contrepente.

### IV.3.1 Courbes M

Ces courbes ont en commun  $I_0 < I_c$  et  $h_n > h_c$ , on a donc un écoulement de type fluvial.

#### ❖ Courbe M<sub>1</sub>

La hauteur d'écoulement  $h$  connue est plus grande que la hauteur normale  $h_n$ . En amont, la courbe tend vers la pente de la profondeur normale. En aval, la courbe tend vers l'horizontale. Le calcul progresse de l'aval vers l'amont. La courbe représente l'entrée d'un écoulement permanent uniforme dans un réservoir.

#### ❖ Courbe M<sub>2</sub>

La hauteur d'écoulement  $h$  connue est comprise entre la hauteur critique  $h_c$  et la hauteur normale  $h_n$ . En amont, la courbe tend vers la pente de la profondeur normale. En aval, la courbe chute brusquement vers la hauteur critique. Le calcul progresse de l'aval vers l'amont. La courbe représente le passage d'un écoulement permanent uniforme vers une section critique comme une chute ou encore une augmentation forte de la pente d'écoulement.

#### ❖ Courbe M<sub>3</sub>

La hauteur d'écoulement  $h$  connue est inférieure à la hauteur critique  $h_c$ . En amont, la pente de la courbe commence à remonter rapidement. En aval, la courbe remonte brusquement vers la hauteur critique. Le calcul progresse de l'amont vers l'aval. La courbe représente le passage d'un écoulement permanent uniforme torrentiel vers un ressaut hydraulique comme au pied d'un déversoir ou d'un orifice.

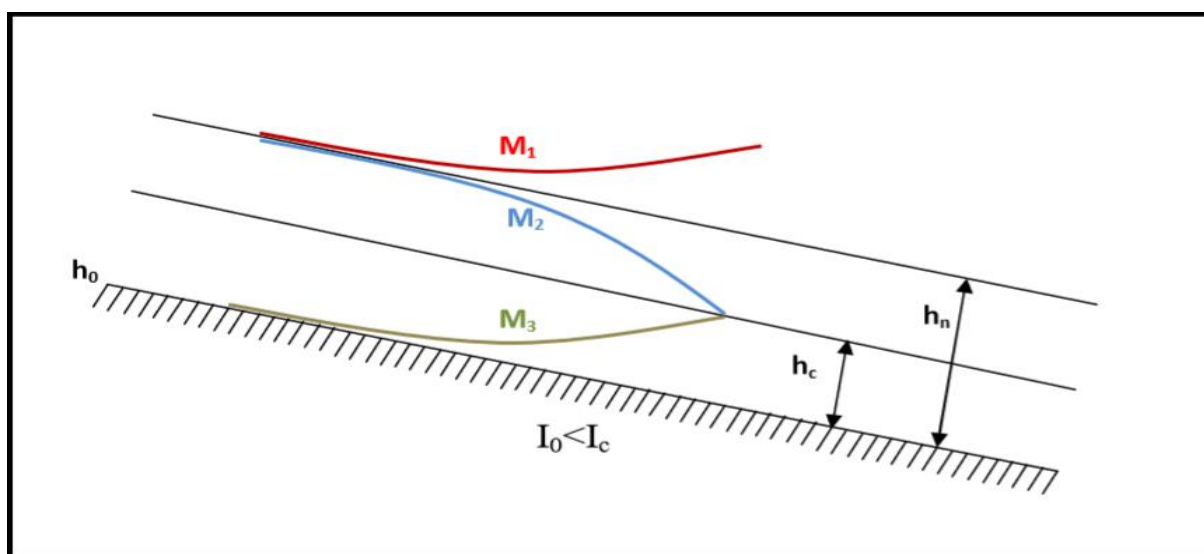


Figure I-3: Courbes M (Berkani, 2010)

**IV.3.2 Courbes S**

Ces courbes ont en commun  $I_0 > I_c$  et  $h_n < h_c$ , on a donc un écoulement de type torrentiel.

❖ **Courbe S<sub>1</sub>**

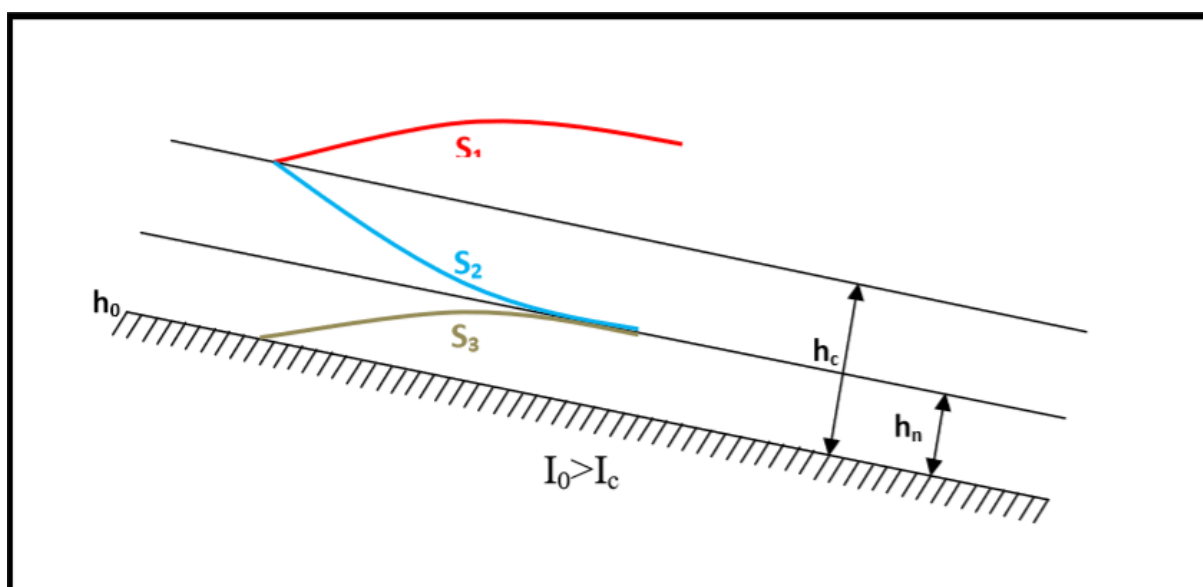
La hauteur d'écoulement  $h$  connue est plus grande que la hauteur normale  $h_n$ . En amont, la courbe coupe perpendiculairement la ligne de hauteur critique (ressaut). En aval, la courbe tend vers l'horizontale. Le calcul progresse de l'aval vers l'amont. La courbe représente l'entrée d'un écoulement après ressaut dans un réservoir.

❖ **Courbe S<sub>2</sub>**

La hauteur d'écoulement  $h$  connue est comprise entre la hauteur critique  $h_c$  et la hauteur normale  $h_n$ . En amont, la courbe naît brusquement de la hauteur critique. En aval, la courbe tend vers la hauteur normale. Le calcul progresse de l'amont vers l'aval. La courbe représente le passage rapide d'un écoulement permanent uniforme torrentiel lors d'une augmentation de pente.

❖ **Courbe S<sub>3</sub>**

La hauteur d'écoulement  $h$  connue est inférieure à la hauteur normale  $h_n$ . En amont, la pente de la courbe commence à remonter rapidement. En aval, la courbe remonte brusquement vers la hauteur critique. Le calcul progresse de l'amont vers l'aval. La courbe représente le passage d'un écoulement du pied d'un déversoir ou d'un orifice vers un canal rapide.



**Figure I-4:** Courbes S (*Berkani, 2010*)

### IV.3.3 Courbes C

Les courbes C sont intermédiaires entre les courbes M et les courbes S.

❖ Courbe C<sub>1</sub>

La courbe C<sub>1</sub> représente le passage entre M<sub>1</sub> concave et S<sub>1</sub> convexe, elle est donc droite et horizontale.

❖ Courbe C<sub>2</sub>

La courbe C<sub>2</sub> n'existe pas car les hauteurs normales et critiques sont confondues.

❖ Courbe C<sub>3</sub>

La courbe C<sub>3</sub> représente le passage entre M<sub>3</sub> convexe et S<sub>3</sub> concave, elle est donc droite et horizontale.

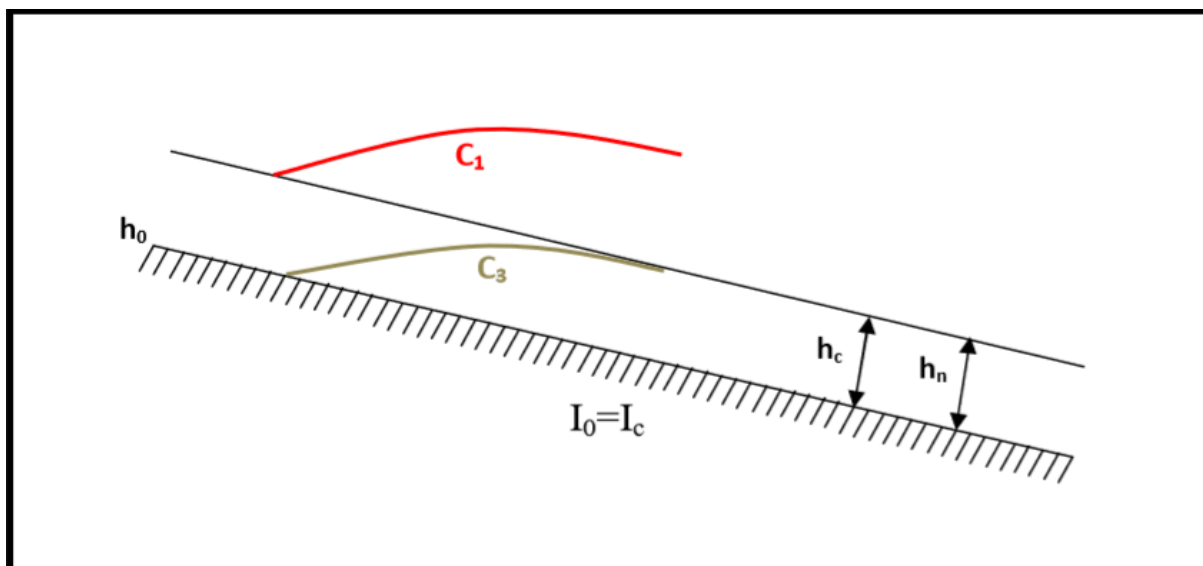


Figure I-5: Courbes C (*Berkani, 2010*)

### IV.3.4 Courbes H et A

Les courbes H et A sont des cas particuliers des courbes M pour lesquelles on ne peut pas définir le régime uniforme donc la hauteur normale n'existe pas puisqu'elle devient infinie. Seules subsistent les courbes H<sub>2</sub>, H<sub>3</sub>, A<sub>2</sub> et A<sub>3</sub> qui ressemblent aux courbes M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub>.

Un déversoir est un orifice superficiel ouvert à sa partie supérieure et généralement pratiqué dans une paroi verticale. C'est un ouvrage hydraulique permettant de réguler ou de mesurer le débit s'écoulant au-dessus de l'ouvrage.

Parmi les écoulements se déversant par une paroi ou par un seuil il faut bien distinguer deux cas :

Déversement par les parois minces, l'écoulement est accéléré pendant tout le déversement. Le schéma de calcul est celui d'un grand orifice.

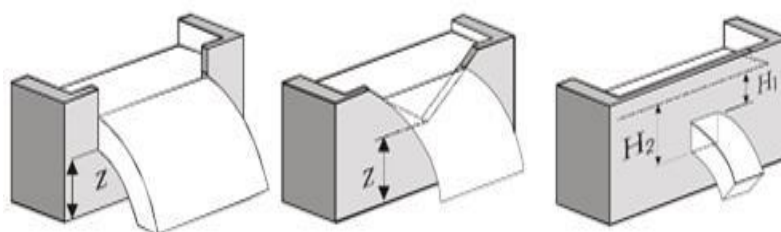
Déversement par les seuils épais, il existe au-dessus du seuil un tronçon d'écoulement uniforme. Les calculs se rapprochent de ceux des canaux découverts.

Ce chapitre a pour but de décrire le fonctionnement hydraulique des déversoirs à paroi mince et de recenser l'ensemble des formules de débit notamment, afin de faciliter la compréhension de l'utilisation de ces ouvrages et de leur dimensionnement.

## V. Définitions et classification :

### V.1 Définitions :

Le déversoir est constitué d'une paroi mince ou paroi épaisse disposé verticalement et munie d'une ouverture sur sa partie supérieure. Cette ouverture est souvent rectangulaire ou triangulaire mais peut aussi être trapézoïdale, parabolique,.....voir figure II-1 (SAAD Bennis, 2007):



**Figure I-6 :** Différent types de déversoirs (SAAD Bennis, 2007) .

Le niveau le plus bas de l'ouverture est situé à une hauteur de crête minimale ( $Z$ ) par rapport au fond et assure un écoulement critique par-dessus le déversoir.

Les déversoirs ont d'autres usages que la mesure de débit. En milieu rural, le barrage-déversoir est utilisé pour la gestion des eaux et laminage des crues. Le déversoir de sécurité permet d'évacuer le surplus de débit lorsqu'on craint pour la sécurité des digues

En milieu urbain, les déversoirs d'orage permettant le déversement dans la rivière des surplus des eaux usées mélangées avec les eaux pluviales. Ces surplus sont causés soit par la limitation

de transport dans le réseau soit par une limitation dans la capacité de la station de l'épuration (SAAD Bennis, 2007) .

V.2 Classification des déversoirs :

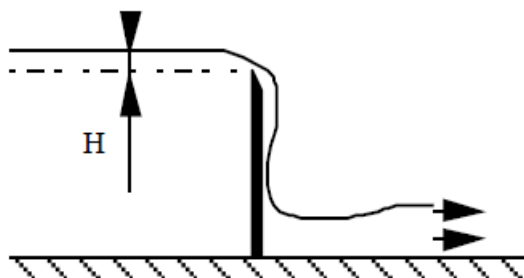
En général un déversoir peut être classé en fonction de ses dimensions, de sa forme, de l'orientation de sa crête, de son profil en plan et fonction des conditions amont et aval du courant. Le détail de cette classification est synthétisé par la figure II.2 suivante :

CLASSIFICATION GENERALE DES DEVERSOIRS	
CRITERE	TYPE DE DEVERSOIRS
FORME DE LA PAROI	<p><i>paroi mince</i> <math>\frac{d}{h}</math> petit</p> <p><i>crête arrondie</i> forte courbure <math>r &lt; h</math> faible courbure <math>r \gg h</math></p> <p><i>seuil épais</i> <math>3h &lt; l &lt; 8h</math></p>
CONTRACTION LATÉRALE	<p>Type de contraction</p> <p>① pas de contraction <math>b = B</math></p> <p>② contraction incomplète <math>b &gt; \frac{B}{3}</math></p> <p>③ contraction complète <math>b &lt; \frac{B}{3}</math></p> <p>④ contraction partielle</p> <p>disposition symétrique (①, ②, ③) disposition asymétrique (④)</p>
FORME EN PLAN	<p>frontal latéraux polygonaux courbes</p>
FORME EN ELEVATION	<p>rectangulaire trapézoïdal triangulaire circulaire hyperbolique composé</p>
FORME DE LA NAPPE DEVERSANTE	<p>adhérente stable instable <math>p &lt; p_{at}</math></p> <p>déprimée libre <math>p = p_{at}</math></p> <p>ondulée</p>
POSITION DU NIVEAU AVAL	<p>au-dessous de la crête déversement parfait - déversoir dénuyé</p> <p>au-dessus de la crête déversement imparfait - déversoir nuyé</p>

Figure I-7: Classification des déversoirs (BONVIN J., 2005) .

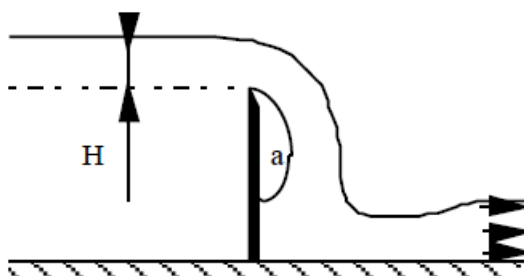
## VI. Principaux types de nappes deversante :

Les différents types de nappes dépendent de la charge et du niveau aval. Pour de très faibles charges, la nappe est adhérente à la paroi car la vitesse horizontale de l'eau n'est pas suffisante pour éloigner la nappe. On parle alors de nappe adhérente, voir figure II-3(LABORDE J.P., 2007):



**Figure I-8** : Nappe adhérente à faible charge (LABORDE J.P., 2007) .

Lorsque la charge augmente, la vitesse croît et la nappe se décolle de la paroi. On parlera alors de nappe libre si l'aération de la zone « a » est possible, voir figure II-4 (LABORDE J.P., 2007) :



**Figure I-9** : Nappe libre (LABORDE J.P., 2007) .

Dans le cas où la zone « a » n'est pas facilement aérée, il se produit une dépression et on a alors affaire à une nappe déprimée, voir figure II -5 (LABORDE J.P., 2007) :



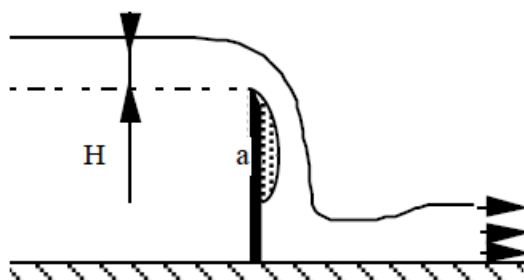


Figure I-10 : Nappe déprimée (LABORDE J.P., 2007) .

Si le niveau aval augmente, il arrive un moment où il n'y a plus d'air en a ; on parle alors d'une nappe noyée en dessous à ressaut éloigné, voir figure II-6 (LABORDE J.P., 2007) :

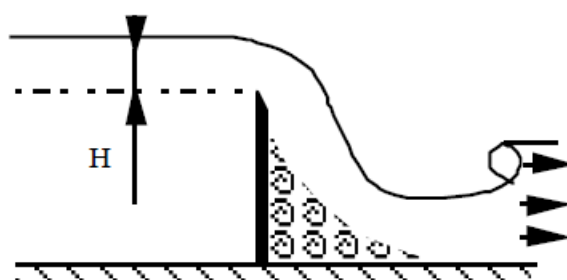


Figure I-11: Nappe noyée (LABORDE J.P., 2007) .

Le niveau aval augmentant encore, le ressaut se rapproche de la nappe déversant jusqu'à recouvrir le pied de la nappe. A ce moment, le débit du déversoir est influencé par le niveau aval. Le niveau augmentant encore jusqu'à être supérieur à celui du seuil, on parlera alors de déversoir noyé à nappe ondulée, voir figure II-7 (LABORDE J.P., 2007) :

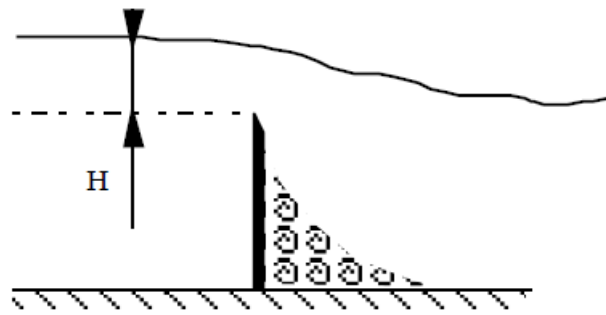


Figure I-12: Déversoir noyé à nappe ondulée (LABORDE J.P., 2007) .

## VII. Déversoir à mince paroi:

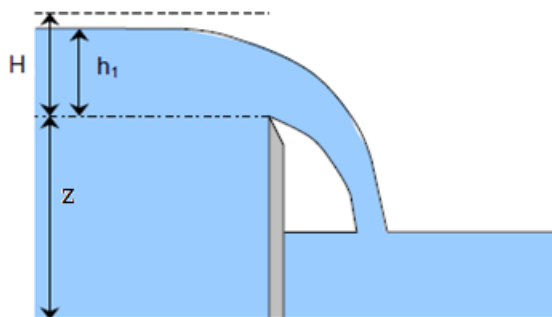
Le déversoir est dit à mince paroi ou à crête mince si l'épaisseur de la crête est inférieure à la moitié ou même quelquefois aux deux tiers de la charge.

La limite est indéfinie comme nous le verrons plus loin pour les barrages à poutrelles (CARLIER.M., 1998) .

En écoulement dénoyé, la formule générale utilisée pour les déversoirs rectangulaires en paroi mince est la suivante :

$$Q = C_V \mu_1 L h_1^{\frac{3}{2}} \sqrt{2g} \quad (\text{II.1})$$

Le débit  $Q$  s'exprime donc en fonction de la largeur d'écoulement  $L$ , de la hauteur d'eau  $H$  en amont au-dessus de la crête, du seuil  $h_1$ , d'un coefficient de débit  $\mu_1$  et d'un coefficient  $C_V$  prenant en compte le terme de vitesse à l'amont du déversoir (figure II-8). Pour certains cas particuliers, notamment de part la forme du déversoir (triangulaire, circulaire,...), d'autres paramètres entrent en compte, tels que l'angle d'ouverture de l'échancrure du déversoir triangulaire ou le diamètre du déversoir circulaire par exemple 15.



**Figure I-13:** Coupe longitudinale d'un déversoir à crête mince en écoulement dénoyé (15).

Dans ce qui suit nous passons en revue seules les formules pour les déversoirs rectangulaires exercés sur une paroi mince verticale avec une nappe libre .

### VIII. Déversoirs rectangulaires a paroi mince vertical :

Ce type de déversoir est le plus classique et celui qui a été le mieux étudié par mainte chercheurs.

La théorie exacte est délicate à établir en raison de la difficulté à définir une section transversale perpendiculaire à tous les filets. En voici une approchée (CARLIER.M., 1998) :

Considérons (voir figure II-9) dans le plan vertical de l'échancrure rectangulaire de largeur  $L$ , une tranche de la nappe de hauteur  $dh$  située à une profondeur  $h$  par rapport au niveau constant d'amont (CARLIER.M., 1998) .

Le théorème de Bernoulli appliqué entre un point de vitesse négligeable situé sur la surface libre à l'amont, origine du filet liquide passant par la tranche de nappe considérée et le point de vitesse  $V$  situé dans cette tranche et en négligeant la perte de charge entre ces deux points, permet d'écrire (CARLIER.M., 1998) :

$$V = \sqrt{2gh} \quad (\text{II.2})$$

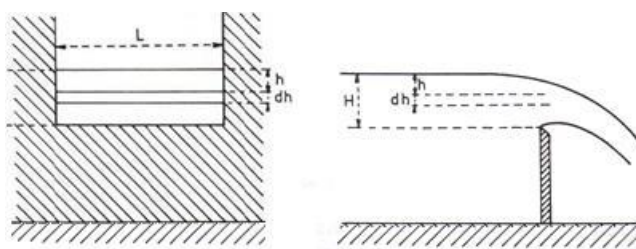
Le débit élémentaire de la tranche de nappe considérée est égal à la vitesse commune  $V$  de ses divers points multipliée par la section  $L dh$  que nous affecterons d'un coefficient  $m$  pour

tenir compte de la contraction de la nappe à son passage dans l'échancrure pratiquée dans une paroi mince, soit (CARLIER.M., 1998) :

$$dQ = mL\sqrt{2gh} dh$$

Le débit du déversoir sera donc :

$$Q = \int_0^H mL\sqrt{2gh} dh$$



**figure I-14** : Débit du déversoir rectangulaire à crête mince et à nappe libre (CARLIER.M., 1998) .

Où, en supposant  $m$  constant avec  $h$  :

$$Q = \frac{2}{3} mLH\sqrt{2gh} \quad (\text{II.3})$$

La formule (2.3) a été établie par Poleni au 18<sup>ème</sup> siècle. On lui donne généralement la forme simplifiée suivante

$$Q = \mu LH \sqrt{2gh} \quad (\text{II.4})$$

Qui rappelle la formule du débit à travers les orifices et ajutages.

Les coefficients  $m$  et  $\mu = 2/3 m$  devront tenir compte non seulement de la contraction proprement dite mais généralement des diverses approximations faites, en particulier de la vitesse à l'amont qui peut prendre des valeurs appréciables si la hauteur de pelle  $z$  est faible par rapport à  $H$  (CARLIER.M., 1998) .

Par ailleurs, et les expériences l'ont confirmé, de même que pour les orifices  $m$  varie avec les caractéristiques locales de l'écoulement, de même  $\mu$  variera avec la charge  $H$ , avec la largeur  $L$  du déversoir, avec la hauteur de pelle  $z$  et, s'il y a contraction latérale, avec la largeur relative des joues par rapport à la largeur du canal (CARLIER.M., 1998) .

On fait plusieurs études expérimentale ont démontré que les facteurs qui influencent le plus la valeur de coefficient  $\mu$  sont le rapport  $H/Z$  et le degré de contraction de la section d'écoulement  $L/L1$  ( $L1$  étant la largeur en du canal en amont du déversoir) voir le tableau II-1 fournit le coefficient de débit  $\mu$  en fonction de ces deux paramètres (SAAD Bennis, 2007).

**Tableau I-3:** Coefficient de débit  $\mu$  pour un déversoir rectangulaire avec ou sans contraction latérale (adapté de NF X 10-311(1983) (SAAD Bennis, 2007) .

L/L1	$\mu$	L/L1	$\mu$
1	$0.401+0.05 H/Z$	0.5	$0.395+0.007 H/Z$
0.9	$0.399+0.042 H/Z$	0.4	$0.394+0.004 H/Z$
0.8	$0.398+0.030 H/Z$	0.3	$0.393+0.001 H/Z$
0.7	$0.397+0.020 H/Z$	0.2	$0.393+0.001 H/Z$
0.6	$0.395+0.012 H/Z$	0.1	$0.390+0.001 H/Z$
		0	$0.390+0.001 H/Z$

Nous examinerons successivement, dans les sections suivantes, le cas d'un déversoir rectangulaire sans contraction latérale et avec contraction latérale.

### VIII.1 Déversoir rectangulaire sans contraction latérale:

Un déversoir rectangulaire est dit « sans contraction latérale » lorsque la largeur d'écoulement sur le déversoir ( $L$ ) est égale à la largeur d'écoulement ( $L1$ ) en amont du déversoir (figure II-10) (15) . Dans ce qui suit on va donner les principales expressions du coefficient de débit pour ce type de déversoirs.

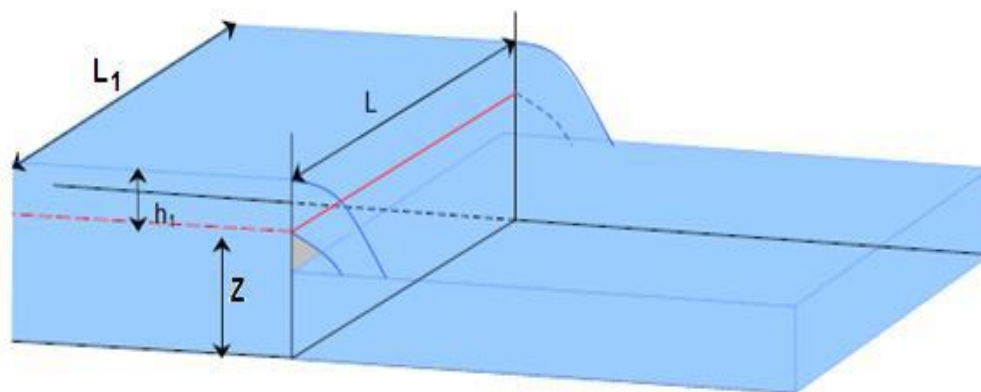


Figure I-15: Vue en perspective d'un déversoir rectangulaire sans contraction latérale (15) .

### VIII.2 Déversoir rectangulaire avec contraction latérale :

Le cas le plus général rencontré en pratique est le déversoir en mince paroi à contraction latérale schématiquement représenté sur la figure II-15 (ACHOUR B., T. BOUZIANE T., NEBBAR K., 2003) :

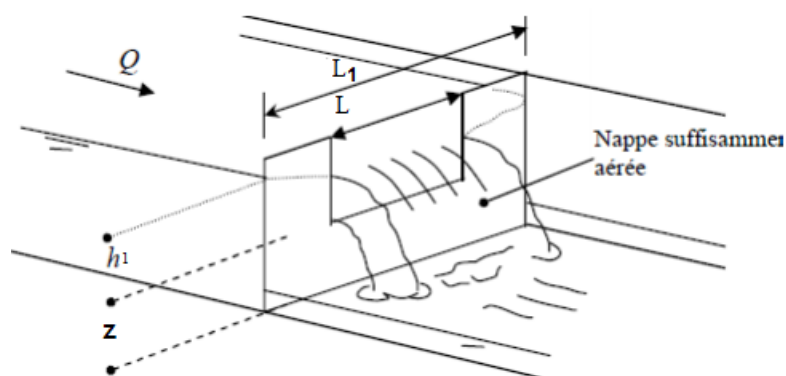


Figure I-16: Déversoir rectangulaire à paroi mince et à contraction latérale. Schéma de définition (ACHOUR B., T. BOUZIANE T., NEBBAR K., 2003) .

La largeur  $L$  de l'échancrure du déversoir est inférieure à la largeur  $L_1$  du canal d'amenée de forme rectangulaire. Ces deux paramètres géométriques définissent par leur rapport  $\beta = L / L_1$  la valeur du taux de contraction (ACHOUR B., T. BOUZIANE T., NEBBAR K., 2003).

Ci-dessous, dans le tableau II-2, figurent quelques expressions du coefficient de débit suivant le rapport entre la largeur à l'amont du déversoir ( $L_1$ ) et la largeur d'écoulement sur le déversoir (b) (ACHOUR B., T. BOUZIANE T., NEBBAR K., 2003) :

**Tableau I-4** : valeurs de coefficient de débit suivant le rapport L/ L1 pour un déversoir rectangulaire avec contraction latérale (15) .

L/L <sub>1</sub>	1	0,9	0,8	0,7
μ	$\frac{2}{3}\left(0,602+0,075\frac{h_1}{z}\right)$	$\frac{2}{3}\left(0,599+0,064\frac{h_1}{z}\right)$	$\frac{2}{3}\left(0,597+0,045\frac{h_1}{z}\right)$	$\frac{2}{3}\left(0,595+0,030\frac{h_1}{z}\right)$
L/L <sub>1</sub>	0,6	0,5	0,4	0,3
μ	$\frac{2}{3}\left(0,593+0,018\frac{h_1}{z}\right)$	$\frac{2}{3}\left(0,592+0,011\frac{h_1}{z}\right)$	$\frac{2}{3}\left(0,591+0,0058\frac{h_1}{z}\right)$	$\frac{2}{3}\left(0,590+0,0020\frac{h_1}{z}\right)$
L/L <sub>1</sub>	0,2	0,1	0 (à titre indicatif)	
μ	$\frac{2}{3}\left(0,588-0,0018\frac{h_1}{z}\right)$	$\frac{2}{3}\left(0,588-0,0021\frac{h_1}{z}\right)$	$\frac{2}{3}\left(0,587-0,0023\frac{h_1}{z}\right)$	

Où μ, h<sub>1</sub> et z sont respectivement le coefficient de débit, la charge en amont et la hauteur de pelle

### VIII.3 Valeurs usuelles du coefficient de débit

Des valeurs usuelles du coefficient de débit μ de la formule générale (II.4) prises en pratique courante pour une première approximation, dans le cas d'un déversoir en mince parois vertical à nappe libre, rectangulaire, sont:

Sans contraction latérale μ=0.43

Avec contraction latérale μ=0.40

Ceci revient à négliger dans les formules données précédemment le terme en z ce qui est acceptable dès que Z > 4H et à arrondir le premier terme de l'expression de μ en lui donnant une valeur moyenne (CARLIER.M., 1998).



---

PRESENTATION  
GENERALE DE LA  
PALMERAIE DE  
GHARDAÏA

---



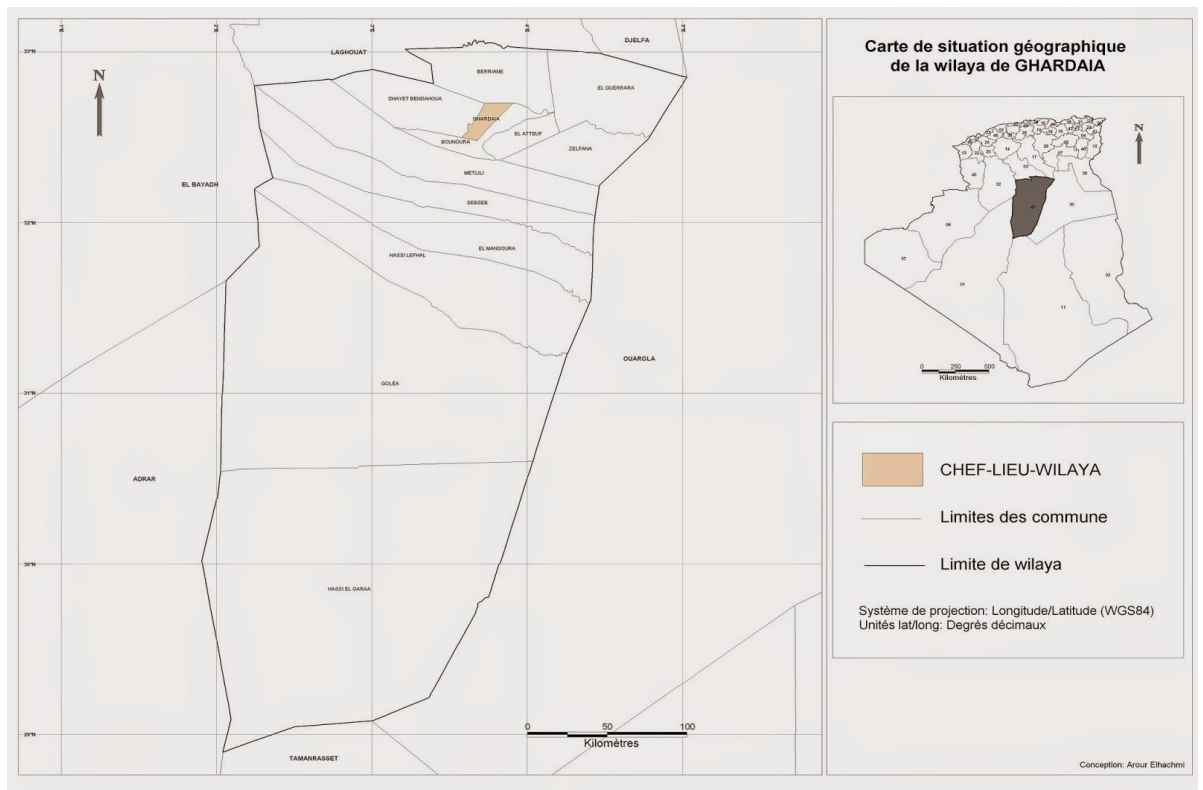


## I. Description de la wilaya de Ghardaïa

### I.1 Situation géographique

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord du Sahara. Elle se trouve exactement sur la porte du Sahara Algérien à 600 kilomètres au sud d'Alger. Elle est issue du découpage administratif du territoire de 1984. L'ensemble de la nouvelle Wilaya (1984) dépendait de l'ancienne Wilaya de Laghouat. La Wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 86560 km<sup>2</sup>.

La Wilaya est limitée administrativement comme le montre la figure (III-1):



**Figure III-1** : Limites administrative de la wilaya de Ghardaïa (*Projet DELTA, 2004*)

- ❖ Au Nord par la Wilaya de Laghouat ;
- ❖ Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa ;
- ❖ A l'Est par la Wilaya de Ouargla ;
- ❖ Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset ;
- ❖ Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar ;
- ❖ A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh .

Elle est caractérisée par des plaines dans le Continental Terminal, des régions ensablées, la Chebka et l'ensemble de la région centrale et s'étend du Nord au Sud sur environ 450 km et d'Est en Ouest sur environ 200 km.

## I.2 Caractéristiques de la région

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

L'appartenance au milieu saharien et aride contrait fortement l'occupation de l'espace. L'implantation des villes s'est faite par rapport aux grands axes de circulation et aux oasis et leur développement a été étroitement lié aux conditions naturelles (eau, climat, relief ...).

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

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

## I.3 Oueds de Ghardaïa

Nous englobons sous cette dénomination les quatre grands Oueds qui traversent la région (figure (III-2)), à savoir : l'Oued de Zegrir, l'Oued Nsa, avec ses deux affluents l'Oued Ballouh et l'Oued de Soudan, l'Oued de Mzab, avec ses affluents et l'Oued de Metlili (*Dubief, 1953*).

L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab. Ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement est sporadique, il se manifeste à la suite des averses orageuses que connaît la région

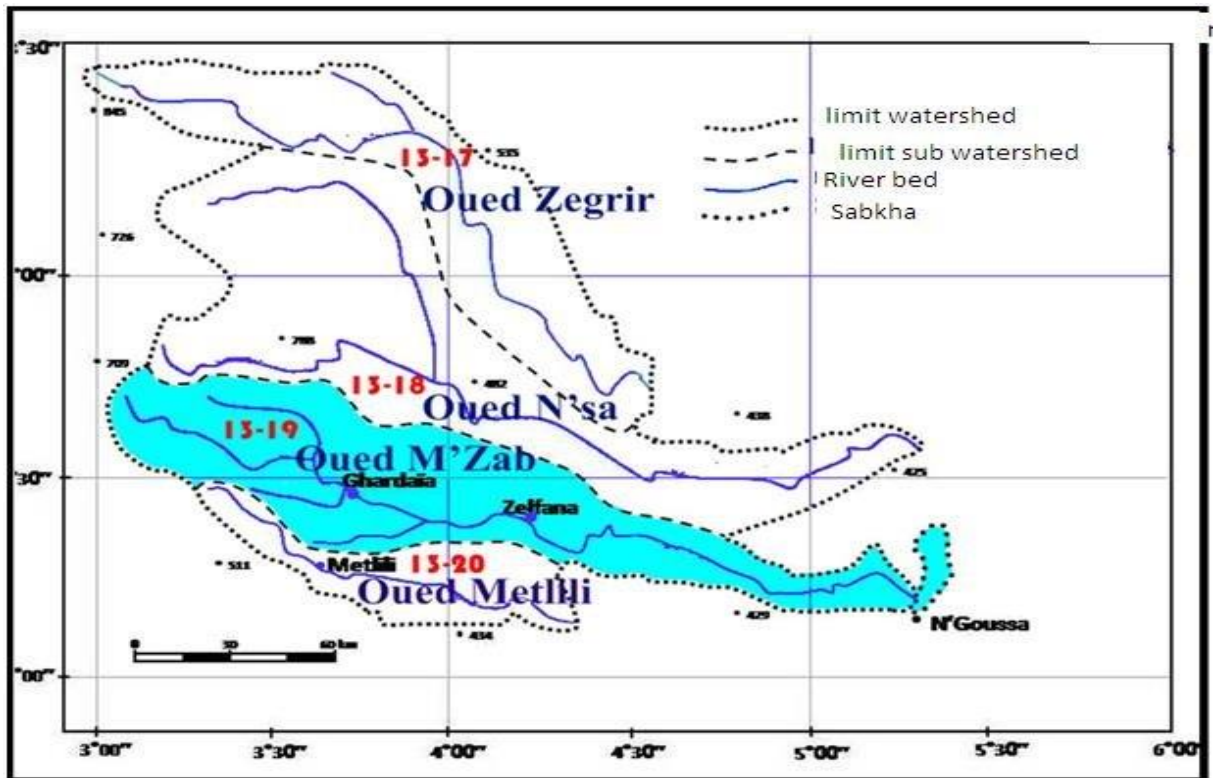


Figure III-2 : Bassin versant des oueds de la région (ANRH Ouargla, 2003)

## II. Description générale de la vallée du M'zab

### II.1 Présentation de la vallée de M'zab

La vallée du M'Zab (figure (III -3)), entaillée dans les massifs calcaires du Turonien, fut occupée à partir du 11<sup>ème</sup> siècle par une population d'un rite religieux particulier de l'Islam « le culte Ibadite ». En fonction du rythme de sédentarisation et du mouvement migratoire, cinq (05) villes fortifiées (Ksours) furent créés par cette communauté Ibadite. Ces sites édifiés sur des éminences rocheuses, composèrent ainsi la pentapole de la vallée du M'Zab (Bensaha, Achour M).

De l'amont vers l'aval, on retrouve :

- ❖ La ville de Ghardaïa
- ❖ La ville de Beni Izguen
- ❖ La ville de Melika
- ❖ La ville de Bounoura
- ❖ La ville d'El Atteuf

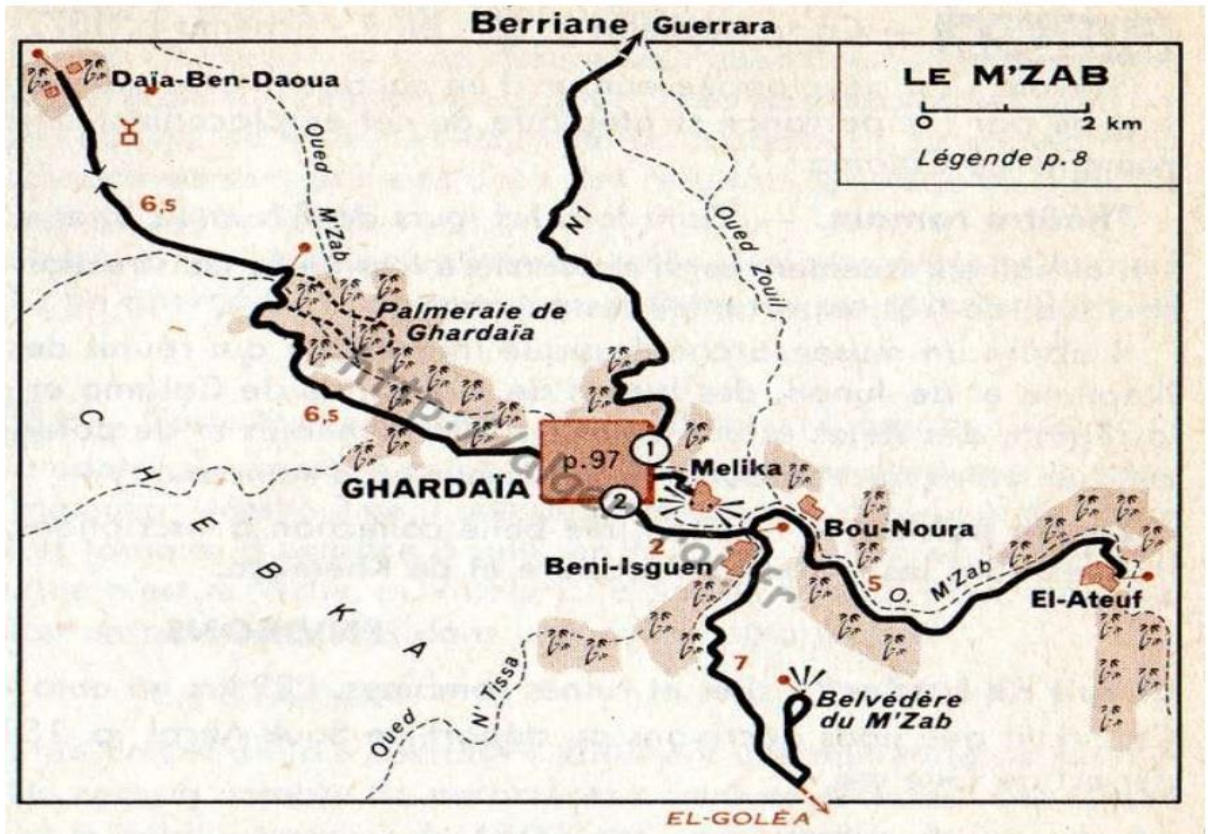


Figure III -3 : Délimitation de la vallée du M'Zab (Guide vert Michelin, 1956)

Sous l'effet de la croissance démographique et des activités économiques et industrielles, la vallée du M'Zab a connu, depuis les années 70 un mouvement très fort et accéléré d'urbanisation. Il n'a fallu que très peu de temps pour voir l'espace entre les villes (les oasis) s'urbaniser et devenir une agglomération géante le long de la vallée. La consommation de l'eau courante quant-a-elle, a augmenté entraînant une multiplication des volumes évacués et leur non maîtrise dans un système très sensible et fragile (Bensaha, Achour M) .

## II.2 Description générale de l'Oued M'Zab

L'Oued M'Zab (figure (III -4)) coule sensiblement de l'Ouest vers l'Est sur un parcours de 320 Km environ, de la région de Botma Rouila, à 750 m d'altitude (où il prend sa source sous le nom d'Oued El Abiod), à la Sebket Safioune qui est à la cote de 107 m (Dubief, 1953).

Les principaux affluents d'Oued M'Zab : Oued El Abiod, est en amont de Gharđaia, l'Oued El Haimour qui conflue à la Daïa Ben Dahoua et l'Oued Touzouz qui rejoint le M'Zab immédiatement en amont de la palmeraie de Gharđaia. En aval de ce centre, on rencontre à droite au niveau de Ben Izguen, l'Oued Ntissa qui traverse la palmeraie de cette ville, à gauche

et à quelques centaines de mètres en aval du précédent, l'Oued Zouil dans le lit duquel sont situés les jardins de Bounoura (Dubief, 1953).



Figure III -4 : Localisation de l'Oued M'Zab dans la vallée (Google earth, 2019)

### III. Présentation générale de la palmeraie de Ghardaïa

Le premier soin des habitants de la wilaya de Ghardaïa fut de séduire, chercher et capter l'eau par tout les moyens possibles, puisque nulle part elle n'affleurait naturellement, contrairement à certaines \*Dayas\* du Sahara où se sont fixés les principaux établissements humains; les Oasis du M'Zab sont les seules oasis artificielles du Sahara.

Pendant dix siècles, les mozabites ont réussi le miracle non seulement de créer de toutes pièces des oasis totalement artificielles, mais surtout de maintenir les fruits de cette victoire sur l'impossible au prix d'un labeur acharné, et de créer un système de captage, de stockage et de répartition de l'eau de pluie (bien que très rare) d'une façon très ingénieuse défrayant la chronique, quand on sait les moyens rudimentaires qu'ils avaient ils y a de cela un millier d'année .

### III.1 Situation géographique de la palmeraie de Ghardaïa

La palmeraie de Ghardaïa occupe le fond de la vallée du M'Zab à une distance de 5 Km au Nord-Ouest de la commune de Ghardaïa.

D'autre part la palmeraie est située dans le lit de l'Oued M'Zab, entre « Amlaga », (le point de confluence de Laadirah, El-Abiod) et « Ahbas Ajdid », (le barrage qui limite la palmeraie du coté Sud).

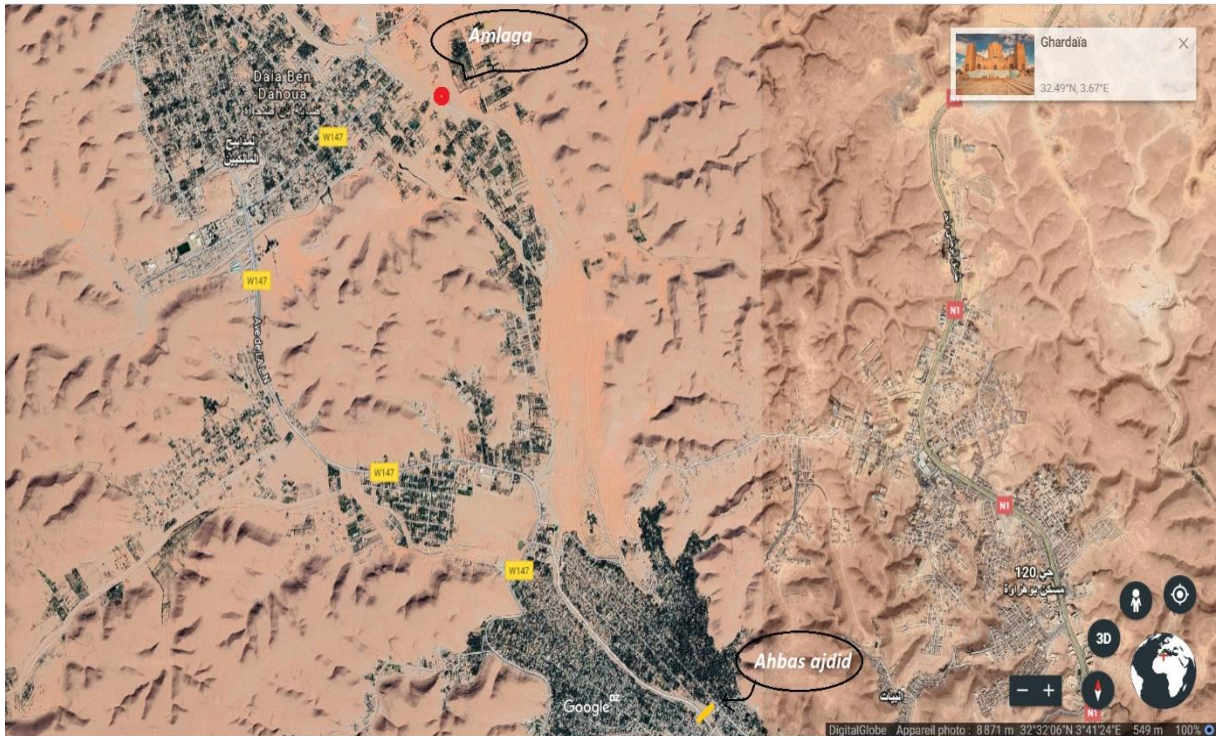


Figure III -5 : Photo satellitaire de la palmeraie (Google earth, 2019)

### III.2 Description et fonctionnement du système hydraulique de partage des eaux de la palmeraie

Le système consiste à détourner, à la partie amont de la palmeraie, les eaux des crues dans des canaux, qui vont par la suite les acheminer vers l'ouvrage de partage, pour l'irrigation des jardins et le remplissage de la nappe phréatique.

Ainsi, nous pouvons subdiviser ce système en deux :

- ❖ Une partie qui collecte et canalise les eaux de pluies orageuses vers le partage (c'est la partie qui nous intéresse dans notre étude) ;
- ❖ Et une partie qui partage les eaux collectées au niveau de la palmeraie.

### III.2.1 Description et fonctionnement de la partie collecte des eaux

#### III.2.1.1 Description (Figure III -6)

- ❖ Deux Canaux parallèles de collecte (canal Bouchemdjene, canal Bouchène) ;
- ❖ Des ouvrages de régulation appelé "Tissambads de régulation" ;
- ❖ Des déversoirs à côté de chaque "Tissambads de régulation" ;
- ❖ Une digue appelée (Digue Inerez); et
- ❖ Un barrage collinaire (barrage de Bouchène).



Figure III -6 : Figure schématique de la partie collecte des eaux (Google earth, 2011)

#### a. Canaux de la collecte des eaux

Les canaux de collecte des eaux de *Bouchemdjene* et *Bouchène* sont des cours d'eau artificiels, dont leurs parois sont conçues en pierres.

#### b. Ouvrages de régularisation « Tissambads »

L'ouvrage de régulation est constitué de plusieurs orifices appelés « *Tissambads* » qui se trouvent en série, comme montre la photo (III-1). Ces orifices permettent la régulation du niveau d'eau aval dans le canal à l'aide de vannes métalliques.



**Photo III-1** : Ouvertures de régularisation de canal de *Bouchemdjene*

#### *c. Vanne*

Une vanne est un organe mobile, permettant de modifier localement la section d'écoulement de la fermeture à l'ouverture complète. Un tel organe permet de régler la hauteur d'eau niveau désiré, voire la photo (III-2) (*Sinniger et Hager, 1988*).



**Photo III-2** : Vannes métallique de régularisation de débit

#### *d. Déversoirs*

Un déversoir est un orifice superficiel ouvert à sa partie supérieure et pratiqué dans une paroi généralement verticale (*Carlier, 1980*).

Pour éviter la surverse au dessus des ouvrages de régulation (et leurs rupture quasi certaine) lors des crues, les Mozabites ont aménagé deux types de déversoirs.

- ❖ Des déversoirs qui permettent, à partir d'un certain niveau, d'évacuer le surplus du canal (photo (III-3)).





**Photo III-3** : Déversoir de canal de *Bouchémdjene* vers le canal de *Bouchène*

- ❖ Et un déversoir qui permet, à partir d'un certain niveau, d'évacuer le surplus de l'ouvrage *Tissambads* de partage vers le barrage de *Bouchène*, comme montre la photo ( III-4) suivante :



**Photo III-4** : Déversoir de canal de *Bouchemdjene* vers le barrage de *Bouchène*

#### ***e. Digue d'Inerez***

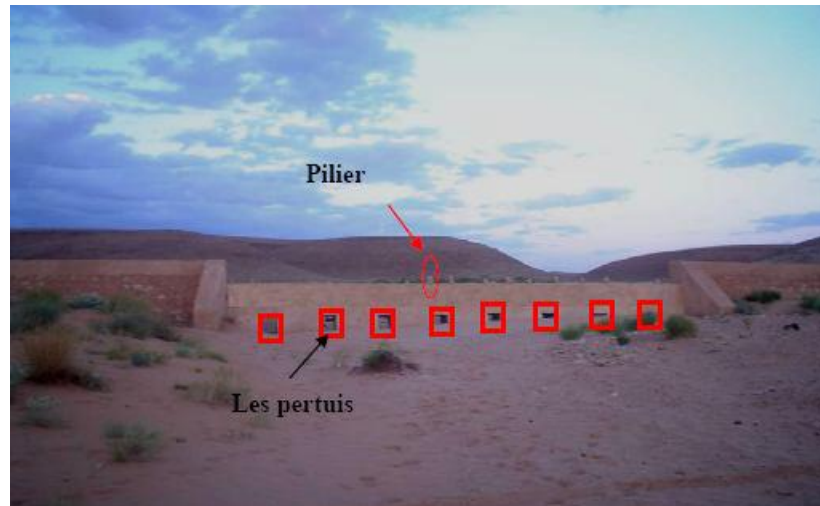
La digue se situe à l'exutoire de l'un des affluents de l'Oued M'Zab qui est « *Inerez* ».

Elle est conçue pour réguler le débit pendant les crues. Cet ouvrage est donc toujours vide, elle fonctionne que pendant les crues (photo (III-5)).

Le déversoir de cette digue est subdivisé par des piliers de différentes formes et tailles.

Ces piliers servent à imposer à l'écoulement une direction déterminée, pour que le débit soit distribué uniformément tout au long du déversoir (*Sinniger et Hager, 1988*).

Les huit pertuis sont placés au point bas de la digue et sont équipés par des vannes métalliques. Lors des crues, ces vannes sont manoeuvrées par les *Oumanas*\*.



**Photo III-5** : Digue d'*Inerez*

#### *f. Barrage de Bouchène*

Le barrage de *Bouchène* est constitué d'une digue en terre consolidée de pierre et d'un déversoir latéral (photo (III-4)).

Il permet le stockage des eaux de crue dans un lac momentané, pour faciliter leurs infiltrations vers la nappe phréatique. Il reçoit l'eau excédentaire du canal de Bouchemdjene, voire la photo (III-6) ci-dessous.



**Photo III-6** : Retenue de barrage *Bouchène*

Des puits capteurs de diamètre de 2 mètre (photo (III-7)) sont également forés dans la retenue de barrage, permettant aussi l'alimentation de la nappe.



**Photo III-7 :** Puits capteur dans la retenue de barrage *Bouchène*

### III.2.1.2 *Fonctionnement*

Le principe général de fonctionnement est le suivant (*voir la figure (III-8)*) :

Le canal principal *Bouchemdjene*, est alimenté par la confluence de *El Abiod* et *Laadirah*, ainsi que par *Inerez*. A l'entrée du canal, un système composé des *Tissambads* de régulation et un déversoir latéral chargé de réguler les arrivées d'eau en évacuant les surplus vers le canal *Bouchène*.

Au niveau d'*Inerez*, un système semblable est mis en place.

Enfin, à l'aval de ce canal, l'ouvrage *Tissembads* de partage accompagné d'un déversoir (photo (III-4)) permet de réguler les eaux vers les jardins, et évacuer le surplus vers le barrage de *Bouchène*.

Le canal *Bouchène* permet d'alimenter le canal souterrain de *Takdhite* et le barrage de *Bouchène*, par les eaux de surplus du canal *Bouchemdjene*.

Ce canal achemine les eaux jusqu'au système de transfert de ces eaux vers le canal souterrain de *Takdhite*. A l'amont de ce système, deux déversoirs de trop pleins sont situés respectivement : juste à l'aval du premier déversoir de canal de *Bouchemdjene* et au niveau de la confluence d'*Inerez* et canal *Bouchemdjene*. Ces déversoirs évacuent les surplus vers Oued M'Zab.

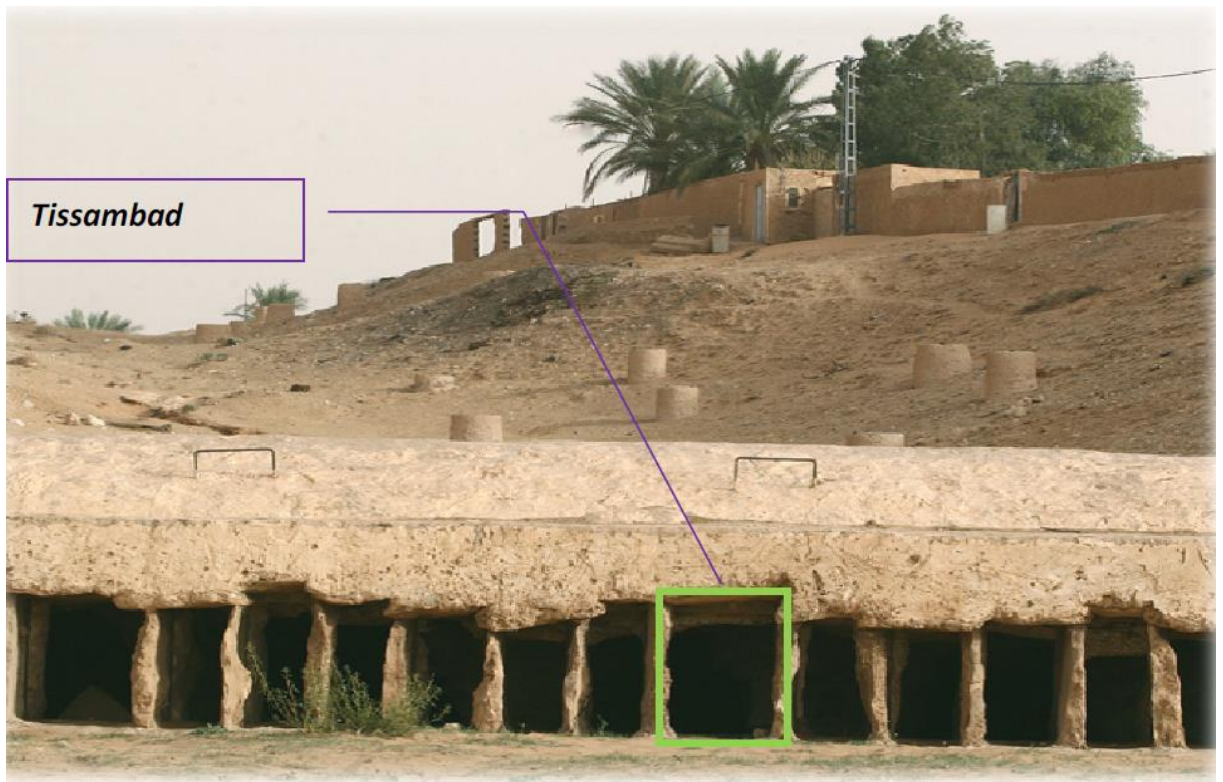
Ces eaux acheminées par le canal *Bouchène* vont permettre, d'une part de réalimenter la nappe phréatique par infiltration au niveau du barrage de *Bouchène*, et d'autre part d'alimenter en eau les jardins de *Takdhite*.

Ce système complexe de captage permet, grâce aux deux canaux principaux (*Bouchemdjene* et *Bouchène*) d'optimiser les volumes d'eaux recueillis

### III.2.2 Description et fonctionnement de la partie partage des eaux collectées

#### III.2.2.1 Le partage des eaux au niveau de l'Ouvrage « Tissambads de partage »

L'eau de crue qui arrive du canal de *Bouchemdjene* vers « Tissambads de partage de *Bouchemdjene* » (photo (III-8)), est drainé par des canaux souterrains, dont les ouvertures maçonnées en pierre plates « Madun » sont soumises à de minutieux calculs, afin de permettre une répartition équitable. Ces canaux souterrains s'étendent sur des centaines de mètres, ils sont percés par des puits d'aération (photo (III-9)), pour ne pas avoir de refoulement vers les «Tissambads »



**Photo III-8 :** Tissambads de partage de *Bouchemdjene* vers les jardins de la palmeraie



Photo III-9: Puits d'aération

Chaque nombre de « *Tissambads* » alimente un canal souterrain, la répartition des *Tissambads* est donnée en fonction des canaux souterrains (*voir annexe*).

Certain de ces canaux souterrains présentent des embranchements secondaires, voire la figure (III-7).

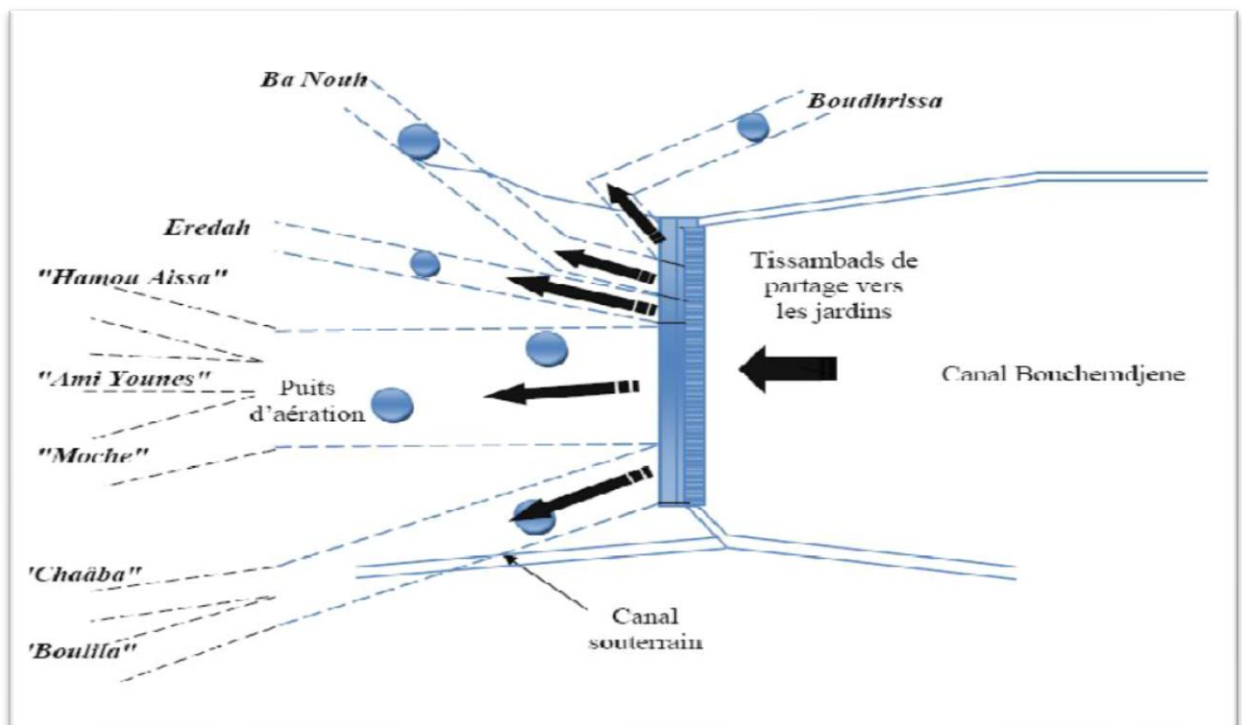


Figure III-7: Canaux souterrains (*Djouidi et Rafa, 2009*)



**Photo III-10 :** Sorties des différents canaux souterrains

**a. Canaux à ciel ouvert « Tardja »**

Les canalisations d'eau à l'intérieur de la palmeraie (photo (III-11)), pavées et boisées par les murs des jardins servent en temps ordinaire de chemins pour la circulation des habitants dans la palmeraie. En temps de crue, ils sont les artères principales du système d'irrigation et de partage des eaux.

« Toul't » ou bien « Mena » est une voie de secours plus élevée que le canal, elle permet la circulation des habitants en temps de crue (Bensalah, 2007).



**Photo III-11 :** Canal à ciel ouvert

*1- cours d'eau*

*2- vois de secours en période de crue*

### ***b. Irrigation des jardins en temps de crue***

En temps de crue tous les chemins se transforment en ruisseaux. Ils sont barrés d'une série de petits endiguements aux extrémités desquels se trouvent des ouvertures (*El Koua*) plus ou moins fines.

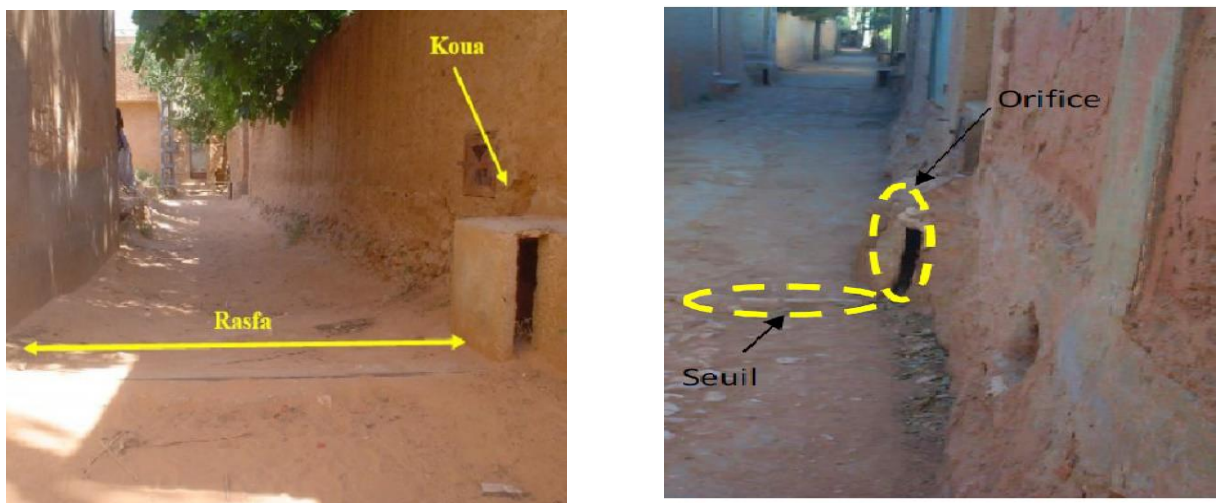
#### ❖ « *El Koua* » : *Orifice*

Des ouvertures appelées « *Koua* » sont aménagées sur la partie inférieure du mur de chaque jardin, dimensionnées en fonction du nombre de palmier et du volume de l'activité de jardinier (à la conception et l'entretien du système de partage), afin que chaque jardin reçoive la quantité d'eau qui lui revient de droit, comme le montre la figure (III-12).

Pour dimensionner ces ouvertures les mozabites ont utilisé les noyaux des dattes d'un palmier nommée «*Akerbouche*» car leurs dimensions sont presque les mêmes, et ces noyaux sont posés comme les poutres, de largeur moyenne de 1,1 centimètres.

#### ❖ « *El Rasfa* » : *Seuil*

Au niveau de chaque ouverture, on trouve des pierres plantées dans le sol appelées «*Rasfa*» pour ralentir l'eau afin d'élever le plan d'eau, l'illustration est dans la photo (III-12).



**Photo III-12 :** Système de partage au niveau des jardins (*Koua*, *Rasfa*)

#### ❖ *Trop plein d'un jardin*

Une fois l'irrigation de tous les jardins est terminée, l'eau excédentaire est évacuée par le trop-plein (photo (III-13)). Cette eau sert à irriguer d'autres jardins (jardin étagé), ou bien poursuit son chemin jusqu'à rejoindre l'Oued M'Zab au niveau du « *Ahbas Ajdid* », comme montre la photo (III-14) ci-dessous.



**Photo III-13 :** Trop-plein d'un jardin



**Photo III-14 :** Digue de « *Ahbas Ajdid* »

***c. Système de puisage et irrigation***

En temps ordinaire, l'irrigation dans la palmeraie se fait par le système de puisage qui est composé de : voire les photos (III-15, III-16) présentées ci-dessous.

- ❖ Un puits « *Tirest* » de puisage ;
- ❖ Premier bassin de récupération d'eau de puisage « *Assefy* » ;
- ❖ Deuxième bassin de récupération d'eau de puisage « *Madjel* » ;
- ❖ La *segua* du jardin.





**Photo III-15 : Système de puisage**



**Photo III-16 : Seguia du jardin**

#### **IV. Conclusion**

Depuis près de 10 siècles, la civilisation mozabite a réussi une prouesse architecturale, celle de créer des oasis artificiels, ainsi que la mise en place d'un système hydraulique des, plus ingénieux, constitué d'ouvrages à but multiples qui assure l'irrigation et la protection de ces oasis. Aussi, Les mozabites ont mit tout leur génie et leur savoir faire pour préserver ce monument ancestral, et ce à travers toutes les générations.



---

# CADRE HYDROCLIMATIQUE

---



### I. Introduction

La climatologie est une science qui étudie le changement de différents paramètres telle que la température, les précipitations et autres ; la climatologie consiste à analyser l'évolution des paramètres climatiques afin d'en comprendre d'une part les mécanismes et l'ampleur, et d'autre part d'évaluer leurs conséquences pour différents domaines.

### II. Station météorologique de Noumeratte

La station météorologique la plus proche de la vallée du M'Zab c'est celle de l'O.N.M (Office National de Météorologie) à l'aérodrome de Noumeratte. Elle est repérée par les coordonnées suivantes :

• Latitude :  $32.386706^{\circ}$  N • Longitude :  $3.783386^{\circ}$  E • Altitude : 450 m Les données disponibles sur la station qu'on peut les exploiter sont :

De la période 1990-2016 pour les paramètres : Température, Humidité, Vent, Evaporation.

De la période 1970-2016 pour la pluviométrie.



Figure IV-1 Situation de l'O.N.M (Office Nationale de Météorologie)

### III. Climatologie

Le climat de la région de Ghardaïa est typiquement Désertique, il se caractérise par deux saisons : une saison chaude et sèche (d’Avril à Septembre) et une autre tempérée (d’Octobre à Mars) et une grande différence entre les températures de l’été et de l’hiver.

**Tableau IV-1** l’état de l’atmosphère dans la région de Ghardaïa (**Etude d’impact, BG-NHPC**)

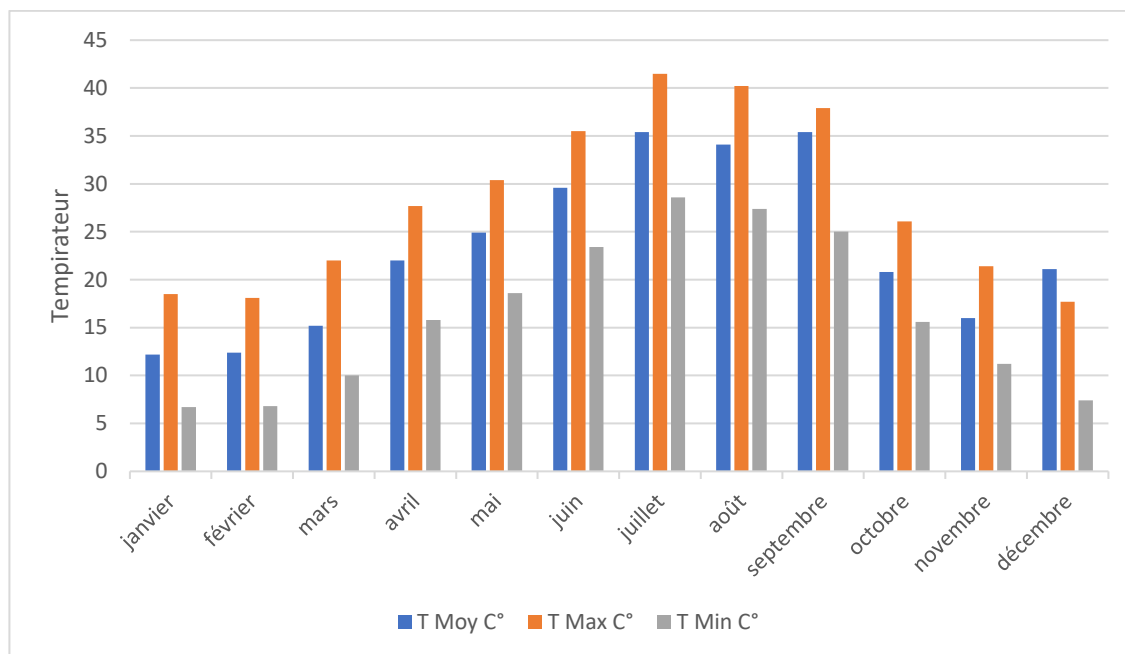
Paramètres atmosphériques		Nombre de jours
Pluie		31 à 32
Orages		6 à 7
Brume ou brouillard		12 à 13
Jours complets sans insolation		3 à 4
Vents soulevant la poussière	À faible hauteur	49
	Avec troubles de visibilité	3 à 4
	En tempête	3 à 4

### IV. Etude des factures climatiques

#### IV.1 Etat de l’atmosphère

Ce tableau représente le totale des jours que se produit un phénomène naturelle repartie tout au long de l’année, on remarque que les temps de pluie sont assez nombreux par contre les temps d’orage sont rares ce qui nous donne une idée sur les fortes pluies et leur rareté aux cours de l’année.

## IV.2 Température



**Figure IV-2** température mensuelle l'année 2015

La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre.

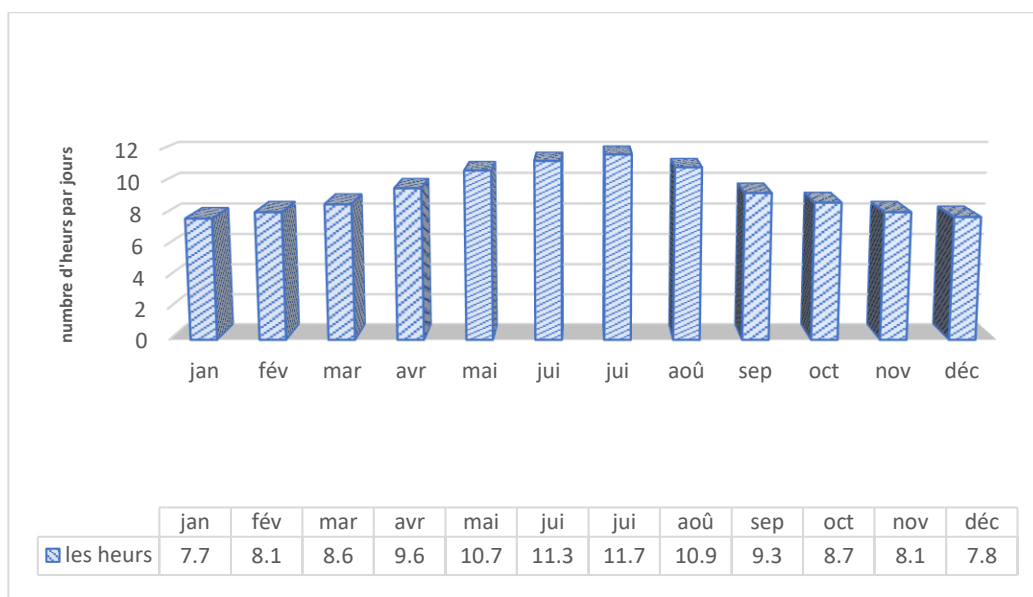
La température moyenne enregistrée au mois de Juillet est de 35°C, le maximum absolu de cette période a atteint 41 °C. Pour la période hivernale, la température moyenne enregistrée au mois de Janvier ne dépasse pas 12°C, le minimum absolu de cette période a atteint 2.5°C.

En hiver les température d'air minimales sont enregistrée en décembre avec 12° C et en janvier avec 11.01° C, elles peuvent aussi chuter jusqu'à 0°C.

En été la température moyenne est de 36° C peut être atteinte en juillet. En valeur absolue, en été nous pouvons enregistrer des températures d'air moyennes maximales de 40°C et 42°C, avec des pic occasionnels de 46°C

## IV.3 Ensoleillement

Les valeurs moyennes mensuel les de l'ensoleillement au niveau de la station de mesure de Ghardaïa sont les suivantes



**Figure IV-3 : ensoleillement moyenne mensuelles**

En termes d’ensoleillement Ghardaïa est une région très prometteuse ce qui a pousser l’état à lancer des projets de centre photovoltaïques comme celui Oued Nechou sur la route national Nord

#### IV.4 Les Vents

Le vent est un des facteurs caractéristiques du climat. Il se caractérise par sa vitesse et sa direction. La région de Ghardaïa est régie d’une part, par les circulations des masses d’air propres à la méditerranée occidentale amenant l’humidité de l’Atlantique nord, et d’autre part, à l’ouverture des vents sahariens chauds (Sirocco).

- ❖ Au Sud du Sahara : ce sont les vents du Nord à Nord/ Est.
- ❖ Au Nord/Est du Sahara : ce sont les vents Alésiens saisonniers Nord à Nord/Est.
- ❖ Au Nord du Sahara : ce sont les vents du Sud très brûlants .

##### IV.4.1 Les vents d’origine Nord

Les vents du Nord sont les plus fréquents pendant les mois de Janvier à Mars , Octobre et Décembre. Ils sont à l’origine d’importantes précipitations quant les perturbations qui se forment sur la Méditerranée progressent vers le Sud Algérien.

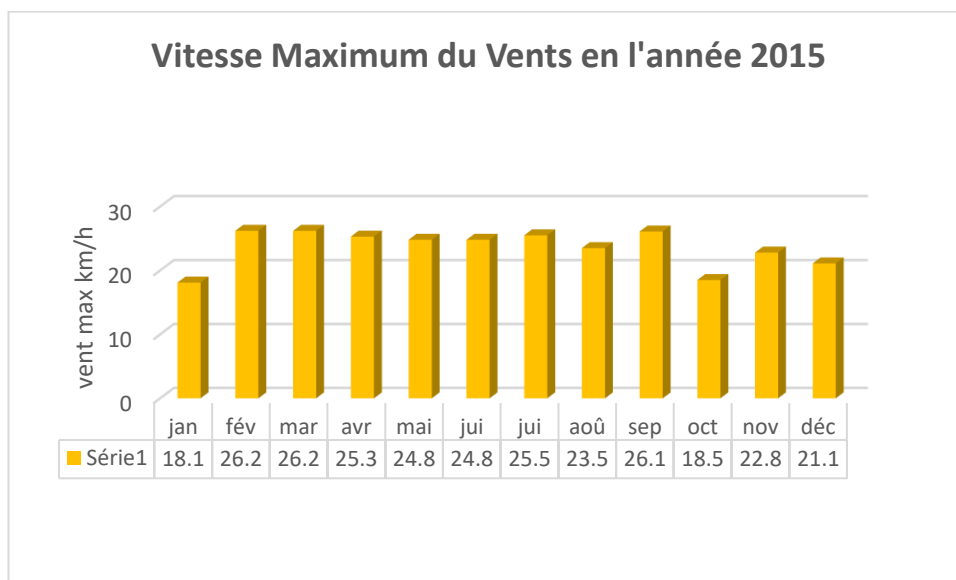
**IV.4.2 Les vents d'origine est**

Cette direction prédomine au cours des mois d'Avril jusqu'à Septembre avec des fois des vents soufflant du Nord au Sud . Les vents du Sud sont à l'origine du sirocco qui atteint les côtes méditerranéennes. Ils sont fréquents pendant l'été ( Juillet– Août ) et rares en hiver mais peuvent se manifester au mois de Septembre.

**IV.4.3 Les vents d'origine ouest**

Ces vents sont présents pendant toute l'année avec cependant une certaine force remarquable au cours de l'hiver et du printemps. Les averses qu'on observe pendant ces deux saisons sont dues à ces vents qui circulent d'Ouest en Est.

Nous résumons dans le figure suivant les vitesses des vents observés entre 1988 - 2006 de la station de Noumérat :



**Figure IV-4:**Vitesse Maximum du Vents en l'année 2015

L'analyse de la figure, montre que la vitesse maximale du vent, mise à part les mois d'janvier et octobre, elle dépasse les 20 km/h, avec des piques qui peuvent atteindre 30 Km/h enregistrés en Février et mars et Septembre.

Ces vents de différentes directions sont caractérisés par une circulation importante de grandes masses mouvantes de sable .

Cette mouvance du sable augmente d'avantage en se déplaçant vers le Sud de la zone étudiée.

## CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATIQUE

Ceci Implique la formation des bancs de sable et des dunes , au niveau des obstacles ou lors d'une diminution de la vitesse du vent.

### IV.4.4 La direction des vents

**Tableau IV-2** Données brute sur la direction des vents en degré à Ghardaïa de 2013 à 2016  
(ONM, Ghardaïa)

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aut	Sép	Oct	Nov	Déc
2013	/	/	320°	170°	230°	/	340°	270°	300°	340°	180°	50°
2014	220°	270°	300°	330°	60°	210°	310°	280°	240°	340°	210°	10°
2015	/	360°	300°	300°	260°	180°	50°	350°	240°	330°	110°	70°
2016	350°	260°	300°	310°	330°	200°	270°	40°	240°	210°	240°	40°

Ci-dessus sont des données brutes de la direction des vents fournit par l'ONM pour avoir une lecture avec les directions cardinales on n'aura besoin du tableau suivant :

**Tableau IV-3** La Rose des Vents en tableaux ([derivoile.fr](http://derivoile.fr))

Degrés	Direction	Degré	Direction
0°	N (Nord)	180°	S (Sud)
22.5°	NNE (Nord-nord-est)	202.5°	SSO (Sud-Sud-Ouest)
45°	NE (Nord-Est)	225°	SO (Sud-Ouest)
67.5°	ENE (Est-Nord-Est)	247.5°	OSO (Ouest-Sud-Ouest)
90°	E (Est)	270°	O (Ouest)
112.5°	ESE (Est-Sud-Est)	292.5°	ONO (Ouest-Nord-Ouest)
135°	SE (Sud-Est)	315°	NO (Nord-Ouest)
157.5°	SSE (Sud-Sud-Est)	337.5°	NNO (Nord-Nord-Ouest)

On se servant des deux tableaux on peut donc interpréter la direction des vents comme suite :



**Tableau IV-4** Direction des vents à Ghardaïa de 2013 à 2016 (ONM, Ghardaïa)

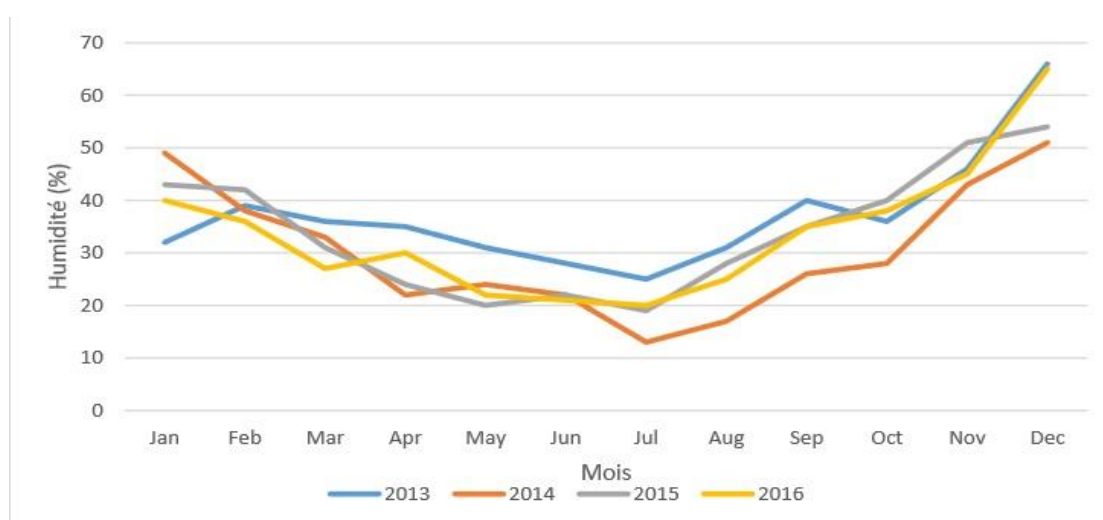
	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aut	Sép	Oct	Nov	Déc
2013	/	/	NO	SSE	SO	/	NNO	O	ONO	NNO	S	NE
2014	SSO	O	ONO	ONO	NE	SSO	O	O	SO	NNO	S	N
2015	/	N	ONO	ONO	SSO	S	NE	NNO	SO	NO	E	ENE
2016	NNO	OSO	ONO	ONO	NO	S	O	NE	SO	S	SO	NNE

**N.B** : la première chose qu’il faut comprendre, c’est à quoi correspond la direction du vent : c’est la direction d’où il vient, et non pas vers où il souffle, ainsi, un vent du nord est un vent qui arrive du nord et souffle en direction du sud, par exemple (dérivoile.fr)

Les vents dominants soufflent du Ouest-Nord-Ouest. Les vents d’hiver sont froids sec humides de direction NNO et ONO, les vents d’été sont sec et chauds de direction Ouest et Sud-Est, les siroccos soufflent en moyenne 11 jours par an pendant la période qui va du mois de mai au mois septembre. Avec un pourcentage de vents calmes.

#### IV.5 L’humidité relative

L’humidité relative représente le rapport de la tension de vapeur à la tension maximum correspondant à la même température. Station de Ghardaïa donnent Les moyennes mensuelles qui varient de 51 à 60% en hiver et de 19 à 27% en été.

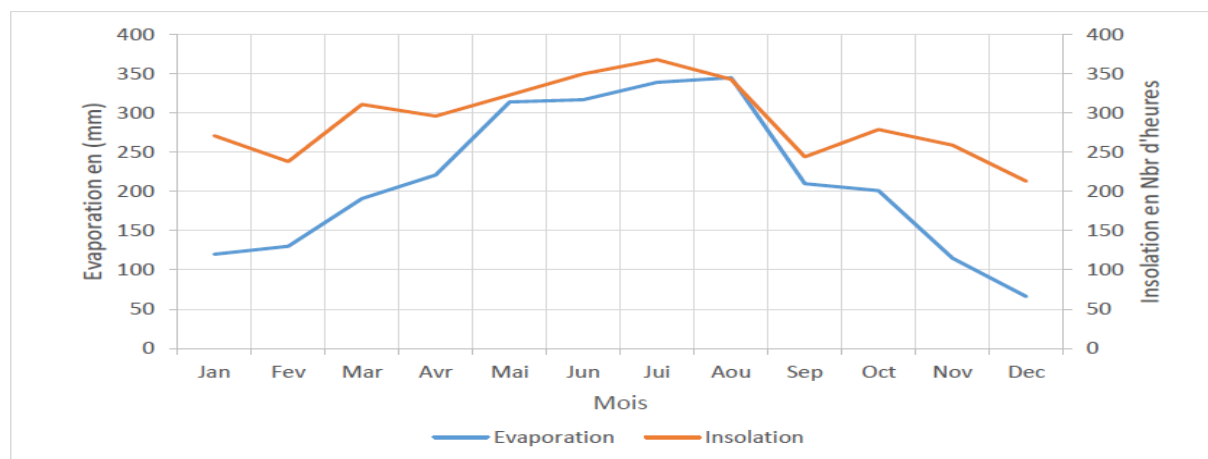


**Figure IV-5** Humidité moyenne mensuelle et annuelle de station de Ghardaïa (ONM Ghardaïa 2016)

On constate que les valeurs de l'humidité mensuelle sont inversement proportionnelles à la température moyenne mensuelle.

### IV.6 L'évaporation et l'évapotranspiration

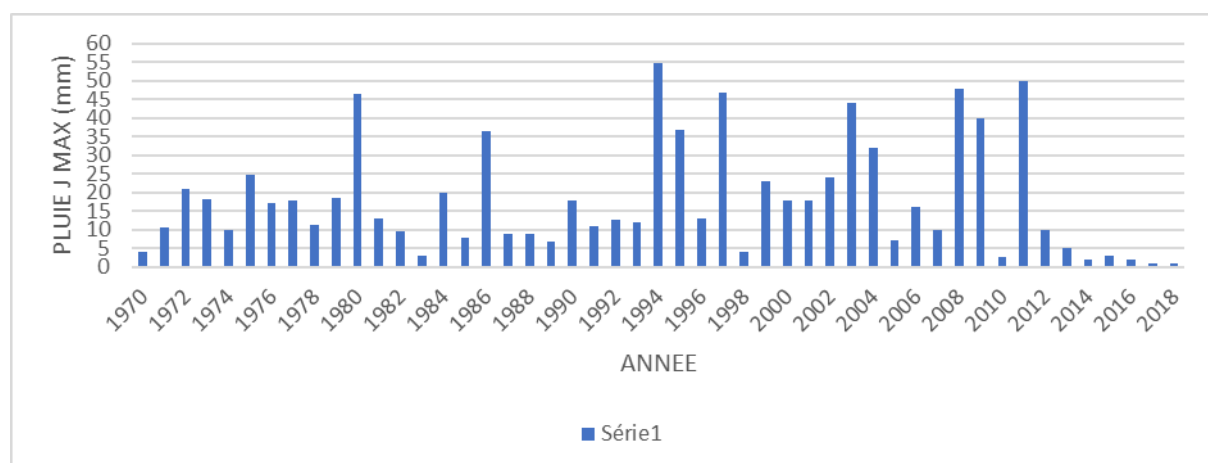
Les données de l'évaporation et l'insolation de la période 2016 sont mentionnées sur le tableau suivant :



**Figure IV-6** Evaporation et insolation mensuelles (ONM Ghardaïa 2016)

On constate généralement des valeurs élevées de l'évaporation (**317-345 mm**) pendant les périodes chaudes (juin- août). Les valeurs les moins élevées sont enregistrées au cours du mois de janvier. L'évaporation annuelle à la station de Ghardaïa est de l'ordre de **2569 mm**

### IV.7 Pluviométrie



**Figure IV-7** hydrogramme de pluie de 1970 jusqu'à 2018 (ONM Ghardaïa 2018)

On n'a ci-dessus un hydrogramme de pluie de 1970 jusqu'à 2018, on n'a remarqué que 1994 représente le pic des précipitations mais aussi qu'elle est une forme d'axe de changement dans la répartition Des précipitations, on déduit que les pluies rares (de plus de 30mm) sont de plus en plus fréquentes ce qui constitue un vrai danger pour la vallée lors des crues, et c'est dans ce cas qu'en trouve toute l'importance de notre étude.

### **V. Régime pluviométrique de la région du M'Zab**

Les différentes caractéristiques des précipitations à Ghardaïa sont d'origine de la station de Noumeratte à 19.5 km vers le sud de la vallée. Car aucune autre station pluviométrique n'a été observée sur les bassins versants du M'Zab situés en amont de cette ville. L'extrémité la plus éloignée des bassins se situe en ligne droite à 60 km à l'ouest de Ghardaïa et à 120 km de Laghouat, pour laquelle se trouve la station de Hassi Rmel (peu de données sont disponibles). Les autres stations météorologiques de la région sont relativement plus éloignées de Ghardaïa. C'est ainsi que Ouargla est à 160 km au sud-ouest, Laghouat à 170 km au nord-nord-ouest, El Goléa à 230 km, Touggourt à 245 km à l'est-nord-est, et El Oued à 330 km à l'est-nord-est.

#### **V.1 Origine des précipitations dans la vallée du M'Zab**

Trois grands types de situations météorologiques sont à l'origine de précipitations importantes et intenses sur le bassin du M'Zab (figure 9). Ce sont les passages de fronts polaires venus directement du secteur nord ou nord-ouest, et les orages parfois violents qui se déplacent selon une composante orientée sud-est. D'autre part, ce sont les fronts polaires venus de l'ouest et associés avec une dépression circulaire dont le centre se déplace de l'Ouest du Maroc vers l'est, ou vers le nord. Ces fronts s'accompagnent d'un appel d'air chaud et humide depuis le Sénégal ou la Mauritanie. Ce sont les dépressions soudano-sahélienne de Dubief. Ces systèmes s'accompagnent parfois de violentes convections, à l'origine de précipitation et de crues rares (Dubief, 1959 ; Michel A.R., 1996).

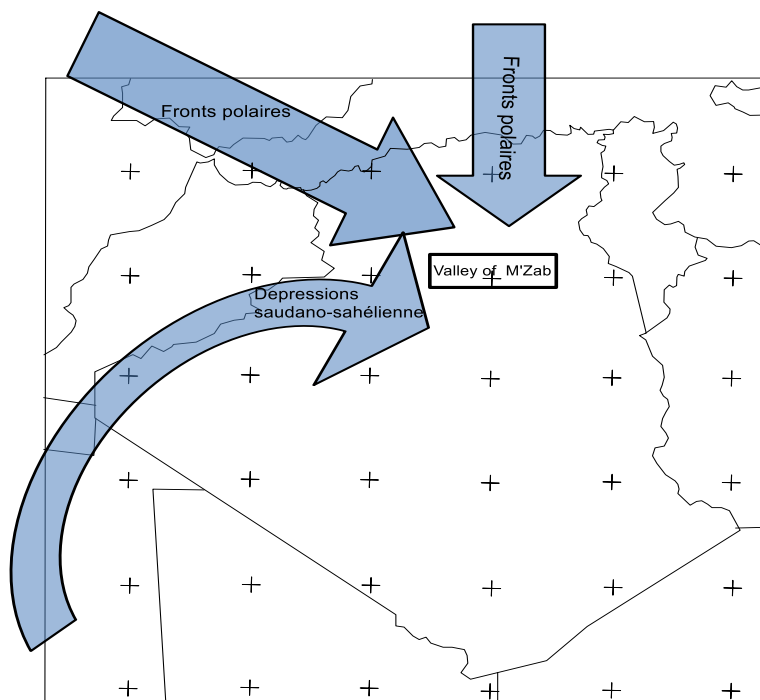
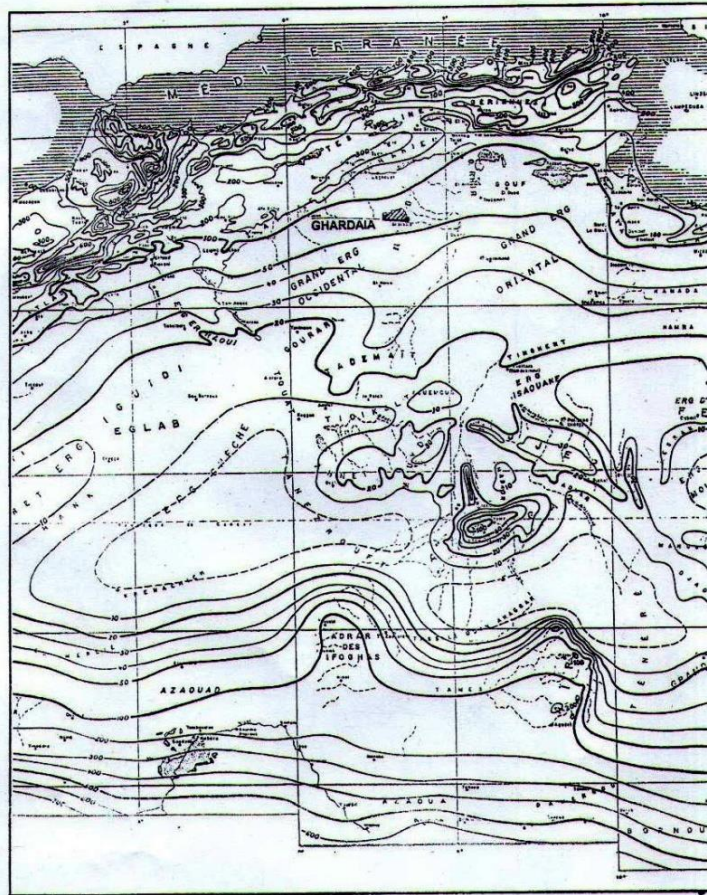


Figure IV-8 Le front Polaire et la dépression soudano sahélienne, l'origine des précipitations

## V.2 Précipitation moyenne annuelle

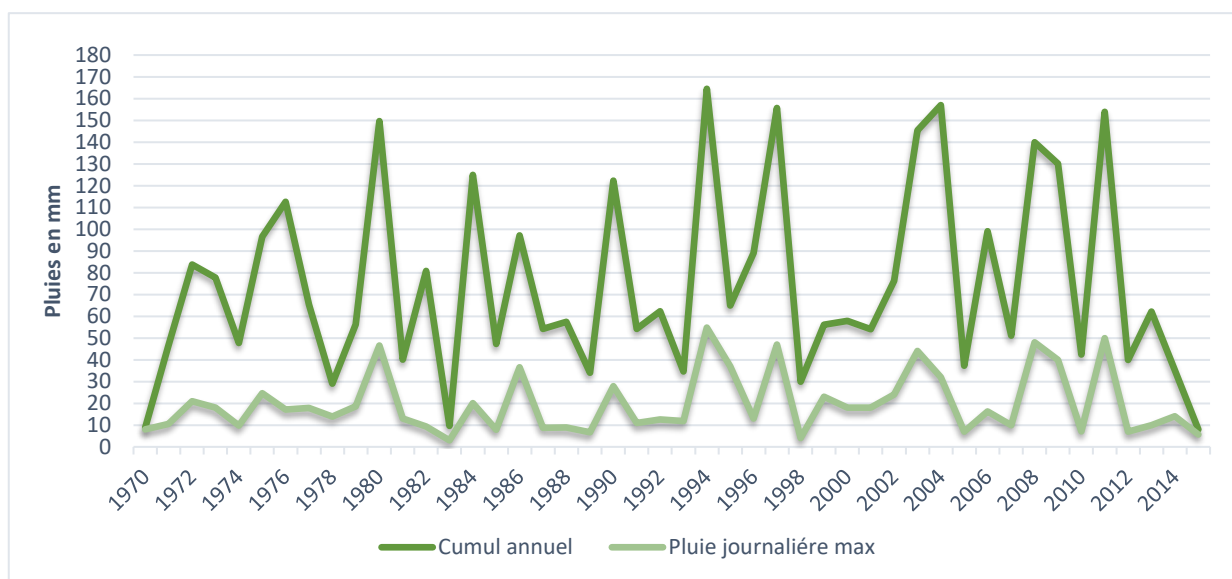
Les systèmes perturbants entraînant des précipitations sur la région sont liés, généralement, aux déplacements des fronts polaires, méditerranéens et des alizés méridionaux. Les précipitations engendrées peuvent être des importantes averses orageuses. Jean Dubief (1953) a localisé la vallée du M'Zab entre l'isohyète 100 et 50 mm (Figure 10). Conventionnellement, l'isohyète 100 mm est pris comme limite nord du domaine du désert. Le trait essentiel qui s'en dégage, une évolution latitudinale des précipitations avec une diminution du Nord vers Sud.



**Figure IV.9 :** Carte des isohyètes de la pluie moyenne annuelle du Sahara (Dubief, 1953).

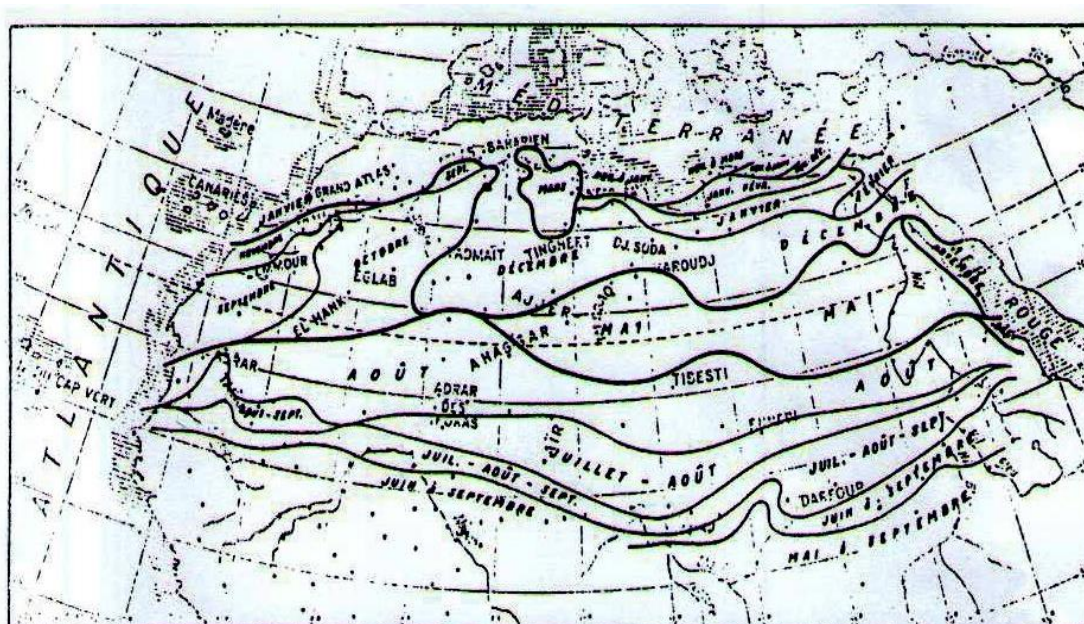
La moyenne annuelle calculée durant la période 1970-2015 est de 66 mm. Les pics les plus remarquables sont ceux de 1994 représentant l'année la plus pluvieuse de la série, et celui de 1983 qui représente l'année la plus sec (moins pluvieuse), les pics du graphique sont plutôt, hétérogènes à l'exception de certaines années présentant des volumes de précipitations annuels proches les uns des autres. Nous remarquons que les années allant de 1981 à 1991 reçoivent le même cumul annuel. La Figure II.8 représente l'Histogramme de pluies journalières maximales dans les années de notre étude avec sans cumule annuel portent sur une période de 44 ans.

### V.3 Précipitation moyenne mensuelle



**Figure IV-10** Histogramme des cumules annuelles et pluies journalières maximales 1970-2015

Sur la (figure II-12) Dubief nous-a-présenté les mois les plus pluvieux de l’année d’après les recensements de 1953. Ghardaia se situe dans les envrant du mois de Mars.



**Figure IV-11** Répartition des mois les plus pluvieux de l’année (Dubief. 1963)

### V.4 Les précipitations maximales journalières

Dans les régions arides le caractère exceptionnel de certaines pluies tombées en 24h est très important à considérer puisqu'elles peuvent être à l'origine du ruissellement des Oueds (Pierre

Michel A.R., 1996). Il s'agit des hauteurs de pluie tombées en 24 heures, de 6 heures du matin le jour jusqu'à 6 heures le lendemain  $j + 1$ , la hauteur étant portée au jour  $j$ . Elles peuvent être assimilées à une intensité de pluie en 24h. Plusieurs méthodes d'évaluation des crues utilisent ces hauteurs de pluie journalières qui sont donc une caractéristique importante. Ces données sont généralement plus disponibles que les intensités par intervalles de temps plus petits.

### V.5 Étude statistique de précipitations maximales journalières

Selon Dubief (1953), les précipitations sur le Sahara Septentrionale ont pratiquement toujours lieu sous forme de pluies. Ces dernières sont caractérisées par leur faible importance quantitative, et les pluies torrentielles sont rares. Elles sont liées aux perturbations soudano-sahariennes ou sahariennes. Cette insuffisance de pluies sahariennes est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité interannuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse. C'est le cas de Ghardaïa (Dubief, 1953).

**Tableau IV-5** Pluies journalières maximales observées à Ghardaïa (1970-2018)

Année	Pluie j maximale (mm)	Année	Pluie j maximale (mm)	Année	Pluie j maximale (mm)	Année	Pluie j maximale (mm)
1970	4	1982	9,4	1994	54,8	2006	16,2
1971	10,5	1983	3	1995	37	2007	10
1972	21	1984	20,07	1996	13	2008	48
1973	18,1	1985	7,87	1997	47	2009	40
1974	9,8	1986	36,6	1998	4	2010	2,8
1975	24,7	1987	8,8	1999	23	2011	50
1976	17,2	1988	8,9	2000	18	2012	10
1977	17,9	1989	6,7	2001	18	2013	5
1978	11,3	1990	27,9	2002	24	2014	2
1979	18,6	1991	10,9	2003	44	2015	3
1980	46,5	1992	12,6	2004	32	2016	2
1981	13	1993	11,9	2005	7	2017	1
						2018	1

La série d'observation enregistrée entre 1970 jusqu'à 2018 nous a permis de déduire la pluviométrie maximale journalière qui est de **54.8 mm**.

**V.6 Caractéristiques statistiques de l'échantillon analysée**

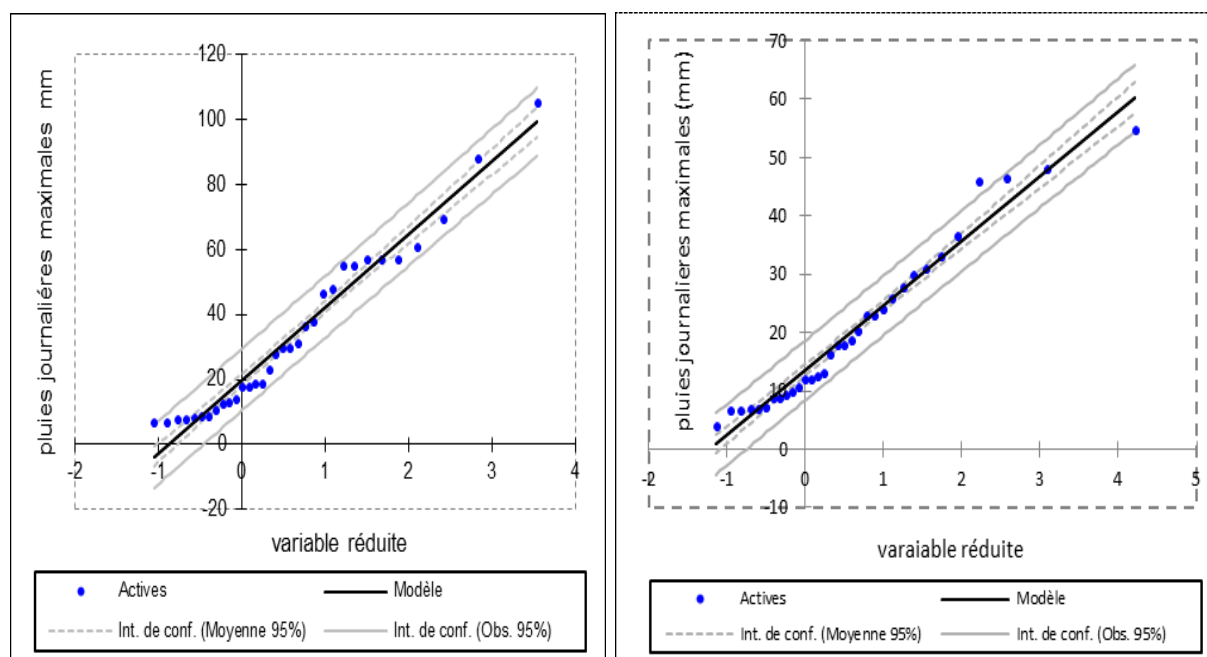
Des pluies maximales journalières de la période 1970-2018 on déduit le tableau suivant :

**Tableau IV-6** Caractéristiques statistiques de la série

<i>Paramètres</i>	<i>Valeur</i>
<b>Taille de la série</b>	<b>44</b>
<b>Moyenne arithmétique</b>	<b>19,59</b>
<b>L'écart type</b>	<b>12,70</b>
<b>Coefficient de variation</b>	<b>0,65</b>
<b>L'exposant climatique</b>	<b>0.15</b>
<b>Moyenne log(P) 4,193</b>	<b>2,79</b>
<b>L'écart type log(P) 0,635</b>	<b>0,60</b>

La répartition de ces séries présente un coefficient de variation supérieur à 0.50 qui indiquent une nette dissymétrie. Celle-ci nous a permis de tester la loi de Galton et de Gumbel, afin de déterminer l'ajustement adéquat à ces lois.

**• Ajustement de la série pluviométrique à la loi Log-Normal (Galton) et la loi de Gumbel**



**Gumbel**

**Galton**

**Figure IV-12** Ajustement de la série pluviométrique a la loi Galton et Gumbel par Hydrolab logiciel (Station de Ghardaïa 1970-2015)



• Test de  $\text{Khi}^2$

**Tableau IV-7** Test de  $\text{Khi}^2$  appliqué à la série des  $P_{j\max}$

Lois	Galton	Gumbel
$\text{Khi}^2$ (Valeur calculé)	3,27	21,10
$\text{Khi}^2$ (Valeur théorique)	9,49	9,49
DDL	4	4
P-value	<0,070	<0,070
A	0,05	0,05

D'après le test de  $\text{Khi}^2$  appliqué à la série des  $P_{j\max}$  de la station de Ghardaïa (1970-2018), cette dernière s'ajuste mieux à la loi de Galton. Pour des fréquences choisies, nous avons déterminé à partir du graphique d'ajustement les valeurs des pluies journalières pour chaque pas de temps. Sur le Tableau II-8, nous avons représenté les valeurs des pluies obtenues.

**Tableau IV-8:** Estimation de la période de retour sur la Station de Ghardaïa 1970-2018

Temps de retour (an)	FND	$P_{j\max}$ fréquentielle (mm) 2 0,5
2	0.5	18
5	0.8	30
10	0.9	40
50	0.98	49
100	0.99	73
500	0.998	96
1000	0.999	128
10000	0.9999	201

### VI. Conclusion

Le climat de la région du M'Zab est de type saharien caractérisé par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver, en constate aussi qu'il y'a un changement qui s'est produit entre 2013 et 2016 et c'est la chute des températures maximal.

Les vents dominants sont Ouest-Nord-Ouest en hiver et Sud -Ouest au printemps qui sont souvent chargés de particules de sable et le Siroco. Le vent du Sud très chaud souffle durant une bonne partie de l'été.

L'évaporation annuelle à la station de Ghardaïa est de l'ordre de **2569mm** Les valeurs élevées d'évaporation sont enregistrées en périodes juin- août. Les valeurs les moins élevées sont enregistrées au cours du mois de janvier.



---

# CADRE HYDROLOGIQUE

---



### I. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude hydrologique des sous bassin versant d'oued M'Zab, car pour se protéger du risque il faut tout d'abord connaître le risque et ses origines, en se servant du logiciel ArcGIS on a pu traiter des cartes MNT (Modèle Numérique de Terrain) et obtenir les données essentielles d'on on n'a eu besoin pour le calcul de différents paramètres et coefficients.

### II. Le bassin versant d'oued M'Zab

Notre étude sur le bassin versant de Ghardaïa et ses sous bassins versants, a pour but d' voir une vue plus détailler mais aussi pour localiser les problèmes et risques qu'engendre chaque sous bassin.

Une carte raster a été primordiale pour notre traitement sur ArcGIS , nous avons pu on obtenir une sur le site « [www .USGS .com](http://www.USGS.com) » Notre traitement de l'image MNT du bassin versant nous a donner quelques informations préliminaires sur le bassin versant de M'Zab.

**Tableau V-1 : Caractéristiques du bassin versant de Oued M'Zab**

**Surface du bassin versant : 2006.77 Km<sup>2</sup>**

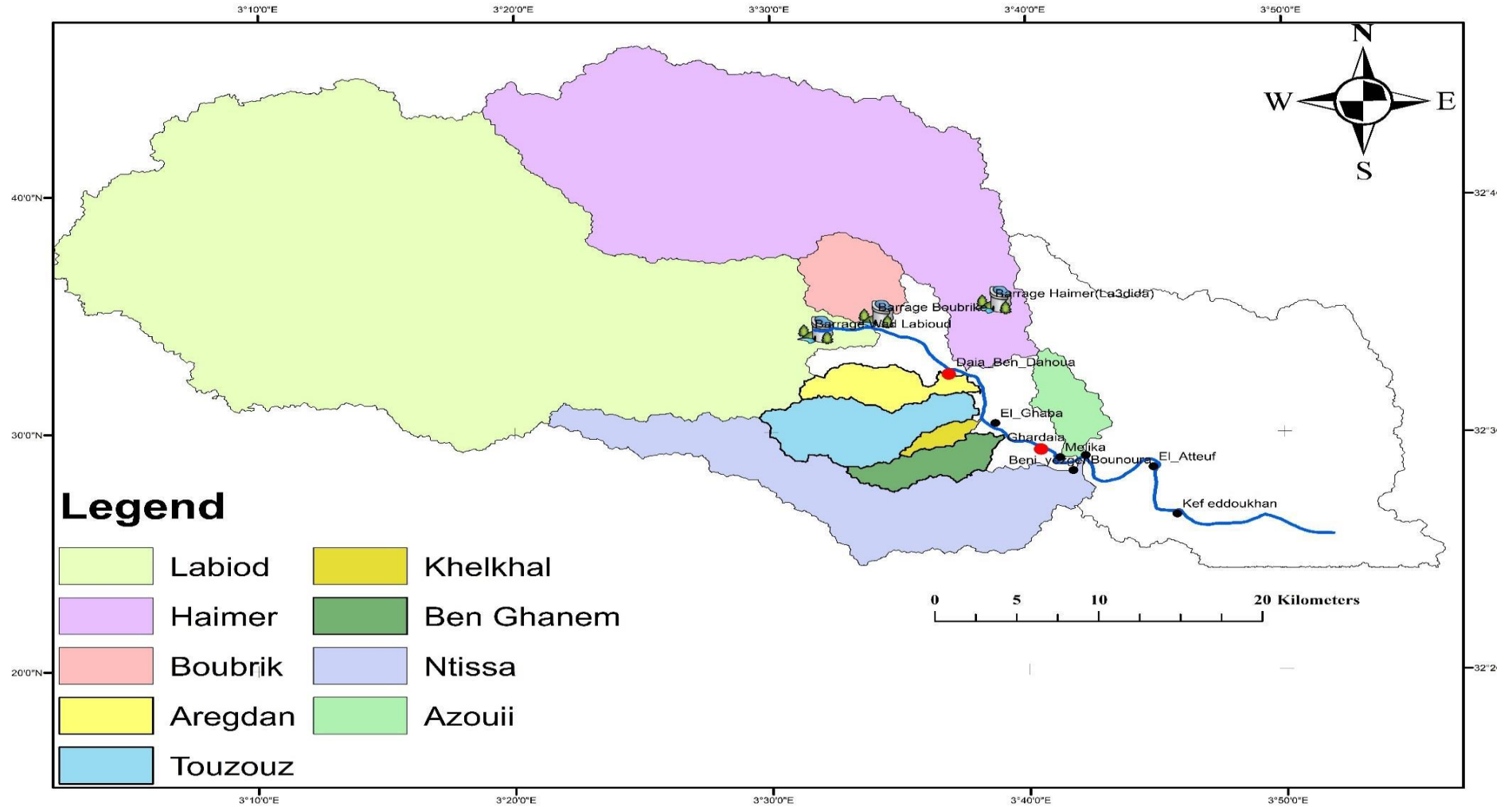
**Périmètre du bassin versant : 297.203 Km**

**Le plus long talweg : 106.14**

**L'altitude max et min : 776 - 392 (m)**

**Les sous bassin versants les plus influent : Labiod, Boubrik, Haimer, Aregdan, Touzouz, BenGhanem, Ntissa, Azouil.**

## CHAPITRE IV : CADRE HYDROLOGIQUE



**Figure V-1 : Carte des sous bassin versant de Oued M'Zab Ouled belkhir c,2015**

Voici l'organigramme suivit pour le traitement des carte sur le logiciel ArcGIS :

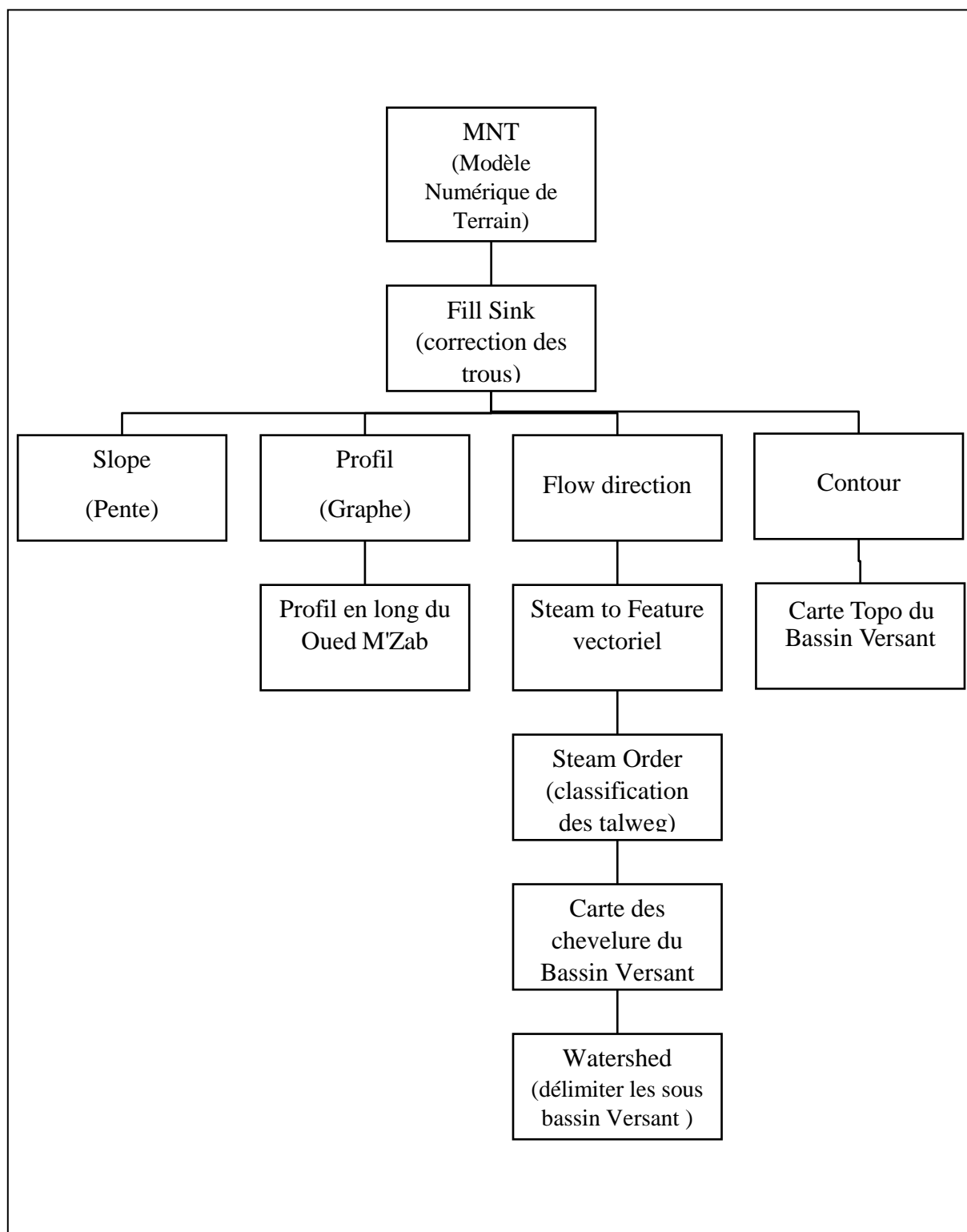


Figure V-2 : Organigramme des étapes adoptées pour l'étude physiographique sous ArcGIS

### III. Caractéristiques géométriques :

#### III.1 Données préliminaires :

Le traitement nous a permis d'obtenir des données de base qui nous serviront pour le calcul d'autres paramètres et coefficients.

la compréhension des résultats on n'a divisé nos sous bassins versants en trois zones :

**Tableau V-2 : Données préliminaires sur les sous bassins versants**

		Labiod	Haimer	Bobrik	Aregdan
	Surface (Km)	833.35	410.11	33.43	22.83
	Périmètre (Km)	176.25	123.43	26.41	30.53
	Pente Im(m/m)	0.004	0.005	0.026	0.015
	Long max (Km)	61	52.7	10	13.36
P <sub>jmax</sub> (mm)	10 ans	54.8	54.8	54.8	54.8
	100 ans	70	70	70	70
	1000 ans	120	120	120	120
	10,000 ans	202	202	202	202
	H <sub>max</sub> (m)	776	776	750	700
	H <sub>moy</sub> (m)	638	638	600	600
	H <sub>min</sub> (m)	500	500	500	500

### III.2 L'indice de compacité $K_G$ de Gravelius :

Il caractérise la morphologie d'un bassin versant, ce coefficient est défini comme le rapport du périmètre du bassin réel (P) au périmètre d'un bassin circulaire ayant la même surface. il

s'obtient en appliquant la formule :

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0,28 \cdot \frac{P}{A} \quad (V.1)$$

Avec :

$K_G$  : Indice de compacité de Gravelius

A : Surface du B.V (Km<sup>2</sup>)

P : Périmètre du B.V (Km)

**Tableau V-3** : l'indice de compacité de Gravelius de chaque sous bassin versant

	<b>Kg</b>
Labiod	1.7
Haimer	1.7
Boubrik	1.27
Aregdan	1.78

D'après les résultats on déduit que tous les sous bassin versant ont un  $K_G > 1.3$ , donc ils ont tous une forme allonger, ce qui nous donne une idée sur leur temps d'acheminement vers l'exutoire qui est long, et sur leur débit de pointe qui est faible. Sauf pour le sous bassin de Boubrik qui a un  $K_G < 1.3$  donc il est Compact ce qui en déduit tout le contraire de l'allonger.

### III.3 Le rectangle équivalent :

Le principe est de transformer notre bassin versant en rectangle de même surface et de même périmètre avec une longueur **Lr** (Km) et une Largeur **Ir** (Km) avec les équations suivantes :



$$Lr = K_G \frac{\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \quad (V.2)$$

$$Ir = K_G \frac{\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \quad (V.3)$$

**Tableau V-4 :** la longueur et la largeur du rectangle équivalent des sous bassin versants

	<i>Lr</i>	<i>Ir</i>
Labiod	77.35	10.77
Haimer	54.14	7.57
Bobrik	9.79	3.41
Aregdan	13.59	1.68

## IV. Caractéristique topographique :

### IV.1 Le relief :

Le relief d'un bassin versant est caractérisé par sa courbe hypsométrique qui représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude.

Dans notre cas nous allons faire une démonstration sur le Bassin Versant de Oued M'Zab, et pour les sous Bassin ils seront en (Annexe).

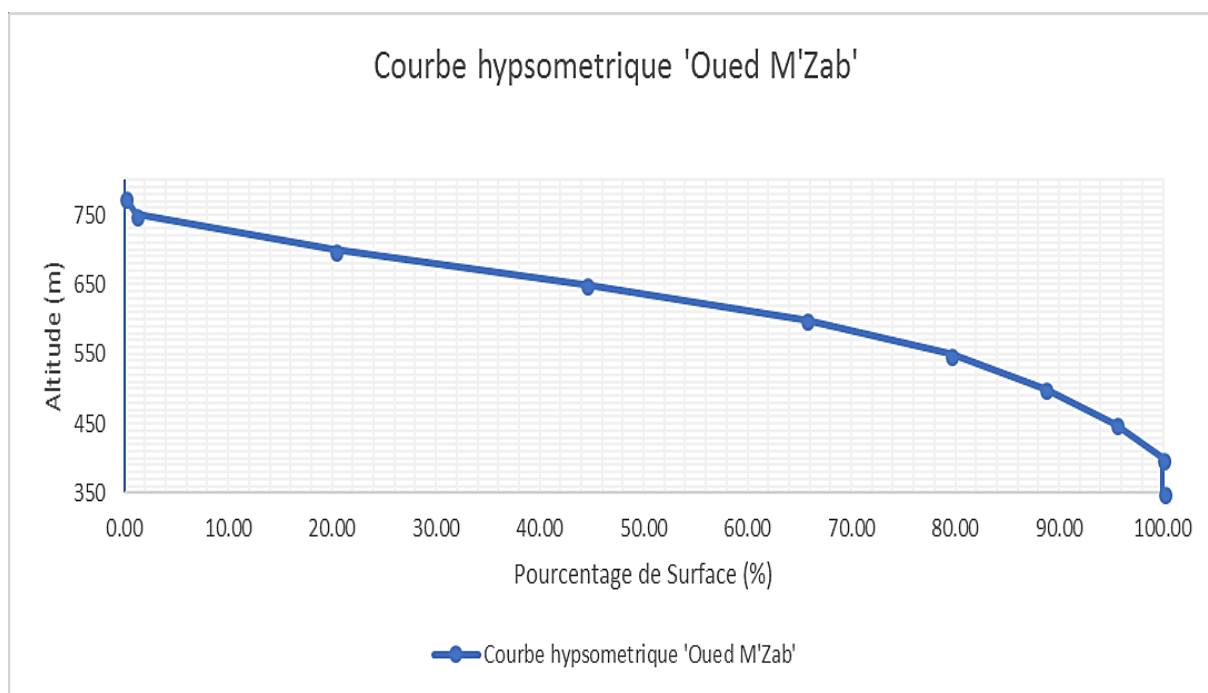


Figure V-3 : Courbe hypsométrique d'Oued M'Za Ouled belkhir c,2015

Tableau V-5 : répartition altimétrique du bassin versant de Oued M'Zab

Courbe de niveau (m)	Surface entre les courbes	Pourcentage du total (%)
	(Km)	
<b>350-400</b>	0.36	0.01794
<b>400-450</b>	91.27	4.548218
<b>450-500</b>	136.83	6.81859
<b>500-550</b>	182.46	9.092449
<b>550-600</b>	279.33	13.91973
<b>600-650</b>	425.02	21.17984
<b>650-700</b>	485.45	24.19122
<b>700-750</b>	383.69	19.12026
<b>750-776</b>	22.31	1.111764
<b>Total</b>	<b>2006.72</b>	<b>100</b>

## IV.2 Les pentes :

### IV.2.1 Indice de Pente Moyenne $I_m$ :

$$I_m = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_r} \quad (V.4)$$

Avec :

$I_m$  : indice de pente moyenne (m/Km)

$H_{max}$  : Altitude maximal du bassin versant (m)

$H_{min}$  : Altitude maximal du bassin versant (m)

$L_r$  : longueur du rectangle équivalent (Km)

Pour nos sous bassin versant, le calcul que l'on a effectué a donné les résultats suivants :

**Tableau V-6 : Indice de pente moyenne  $I_m$  des sous bassin versants**

la zone	$I_m(m/Km)$
Labiody	3.56
Haimer	5.09
Bobrik	25.53
Aregdan	14.71

### IV.2.2 Indice de pente Globale $I_g$ :

L'indice de pente globale nous permet de classer le relief de notre bassin versant d'après le classement de O.R.S.T.O.M. Il s'obtient à partir de la dénivelée utile  $D_u = (H_{5\%} - H_{95\%})$  déterminé de la courbe hypsométrique du bassin versant.

$$I_G = \frac{Du}{Lr} = \frac{(H_{5\%} - H_{95\%})}{Lr} \quad (V.5)$$

Avec :

IG : indice de pente globale

(m/Km) Du : dénivelée utile (m)

H<sub>5%</sub> : Altitude a laquelle la surface soit égale à 5% de la surface totale du bassin versant (m)

H<sub>95%</sub> : Altitude a laquelle la surface soit égale à 95% de la surface totale du bassin versant (m)

Le tableau suivant contient les valeurs de H<sub>5%</sub> et H<sub>95%</sub> obtenue des courbes hypsométriques, et aussi celle de l'indice de pente et sa classe de relief.

**Tableau V-7 : Indice de pente globale des sous bassin versant**

	<b>H5%</b>	<b>H95%</b>	<b>sIg</b>	<b>Class</b>
Labiody	745	600	1.9	<b>R1</b>
Haimier	742	569	3.2	<b>R2</b>
Bobrik	658	551	10.9	<b>R4</b>
Aregdan	645.8	515	9.6	<b>R3</b>

Le classement a été fait suivant le tableau d'O.R.S.T.O.M.

**Tableau V-8 : la classification des reliefs d'après O.R.S.T.O.M**

<b>Classe</b>	<b>Relief</b>	<b>I<sub>G</sub></b>
<b>R1</b>	Relief très faible	$I_G < 2$
<b>R2</b>	Relief faible	$2 < I_G < 5$
<b>R3</b>	Relief assez faible	$5 < I_G < 10$
<b>R4</b>	Relief modéré	$10 < I_G < 20$
<b>R5</b>	Relief assez modéré	$20 < I_G < 50$
<b>R6</b>	Relief fort	$50 < I_G < 100$
<b>R7</b>	Relief très fort	$100 < I_G$

NB : une carte des pentes sera en (Annexe)

## V. Caractéristiques du réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant.

### V.1 La classification de Strahler :

L'ordre des cours d'eau est une classification qui reflète la ramification du réseau de drainage<sup>1</sup>. Il existe plusieurs classifications : Gravelius (1914), Horton (1945), Strahler (1957), Shreve (1966).

Pour des résultats efficaces dans cette étude on utilise la classification de Strahler, car c'est la plus utilisée et la plus adaptée à cette étude, son principe de classification est que : tout drain qui n'a pas d'influent est de l'ordre de 1. Le calcul des autres drains se fait selon la méthode suivante : un drain de l'ordre 1+n et issu de la confluence de deux drains d'ordre n et ainsi de suite. L'ordre de Strahler d'un bassin versant est l'ordre du drain principal à l'exutoire.

Notre traitement du MNT sur ArcGIS nous a permis de classer les influents des sous-bassins versants par la classification de Strahler

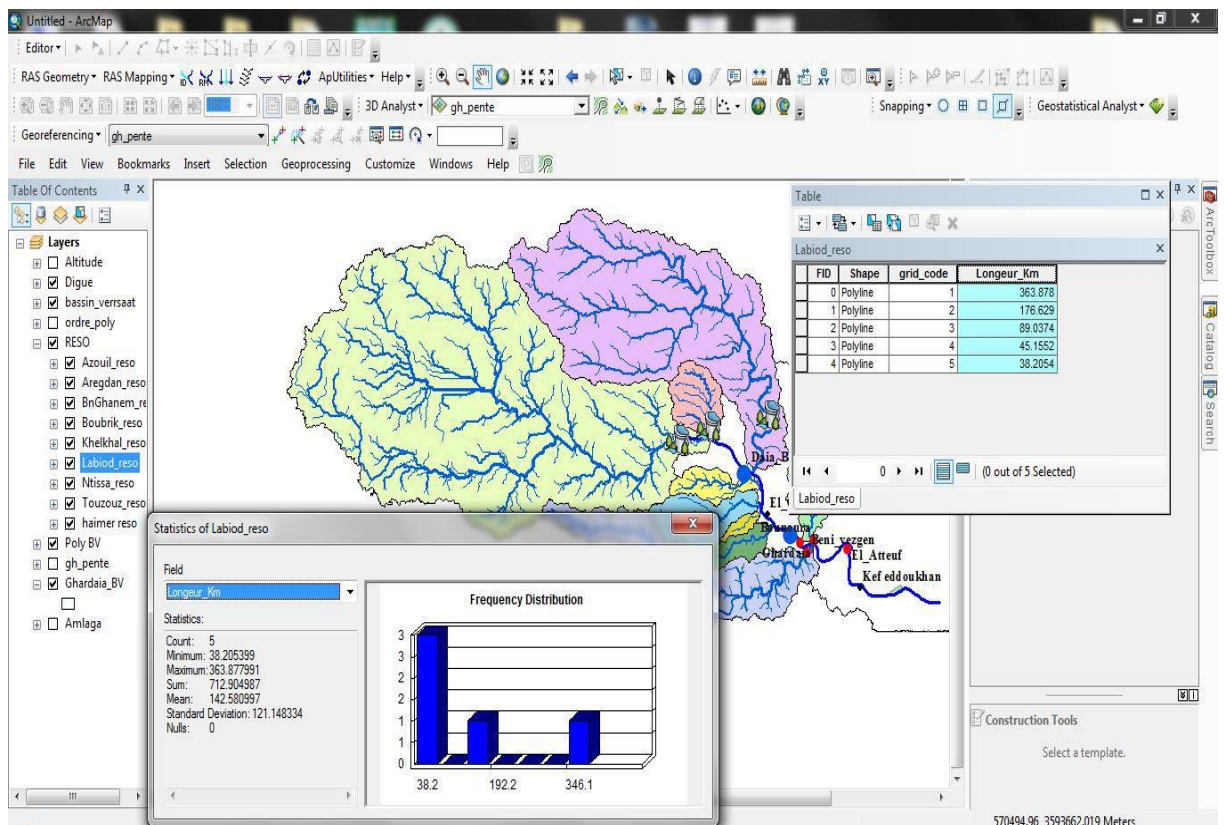


Figure V-4 : Utilisation d'ArcGIS pour la classification de Strahler

## V.2 La densité de Drainage :

La densité de drainage est le rapport de la longueur totale des canaux d'écoulement sur la superficie du bassin versant. Elle reflète la dynamique du bassin.

$$D_d = \sum \frac{L_{tot}}{A} \quad (V.6)$$

Avec :

$D_d$  : la densité de drainage ( $Km^{-1}$ )

$L_{tot}$  : Longueur totale des cours d'eau du bassin versant (Km)

**Tableau V-9** : La densité de drainage  $D_d$  des sous bassin versant

	$\Sigma L$	$D_d$
Labiody	712.9	0.86
Haimery	300.37	0.73
Bobrik	39.79	1.19
Aregdan	27.4	1.2

En déduit que les plus grands sous bassin versant (Labiody et Haimery) ont une densité très faible par rapport aux autres.

## VI. Régime des crues :

### VI.1 Coefficient d'abattement $K_a$ :

Le Coefficient d'abattement est la diminution spatiale moyenne de la pluie par rapport à La pluie ponctuelle à la station de référence quand la superficie du bassin versant s'accroît. Nous avons utilisé l'équation :

Pour  $A > 50 \text{ Km}^2$

$$K_a = 1.1943 - (0.0604 \cdot \ln(A)) \quad (V.7)$$

Pour  $A < 50 \text{ Km}^2$

$$K_a = 1.2771 \cdot A^{-0.0718} \quad (V.8)$$

Avec :

$K_a$  : Coefficient d'abattement.

**Tableau V-10** : Coefficient d'abattement  $K_a$  des sous bassin versants

	$K_a$
Labiod	0.79
Haimer	0.83
Bobrik	0.99
Aregdan	1.02

### VI.2 Coefficient de ruissellement $K_r$ :

Le coefficient de ruissellement  $K_r$  est le rapport entre la lame d'eau moyenne ayant ruisselé sur la surface du bassin et la lame d'eau moyenne apportée par la pluie. Elle se calcul par l'équation :

$$K_r = 1.097 \cdot A - 0.1856 \quad (V.9)$$

Avec :

$K_r$  : Coefficient de ruissèlement.

**Tableau V-11** : Coefficient de ruissellement des sous bassin versants

	$K_r$
Labiod	0.31
Haimer	0.36
Bobrik	0.57
Aregdan	0.61

### VI.3 Coefficient de pointe $\alpha$ :

Le coefficient de pointe est le rapport du débit maximum  $Q_{max}$  ruisselé et du débit moyen  $Q_{moy}$  ruisselé. Dans notre cas nous allons le calculé par l'équation :

$$\alpha = 0.24 \ln(A) + 2 \quad (V.10)$$

Avec :

$\alpha$  : Coefficient de pointe.

**Tableau V-12** : Coefficient de pointe des sous bassin versants

	$\alpha$
Labioud	3.61
Haimer	3.44
Bobrik	2.84
Aregdan	2.75

#### VI.4 Les temps caractéristiques :

##### VI.4.1 Le temps de Base $T_b$ :

Le temps de base  $T_b$  est la durée pendant laquelle la partie ruisselée de l'averse s'écoule jusqu'à l'exutoire. Il est donné par :

$$T_b = 2.146 \cdot A \cdot 0.368 \quad (V.11)$$

Avec :

$T_b$  : temps de base (heure)

##### VI.4.2 Le temps de monté $T_m$ :

Le temps de montée est la durée entre le début de l'écoulement et le maximum de hauteur de la crue. Il est donné par :

$$T_m = 0.395 \cdot A \cdot 0.409 \quad (V.12)$$

Avec :

$T_m$  : temps de monté (heure)



**VI.4.3 Le temps de concentration Tc :**

Le temps de concentration est le temps que met une goutte d'eau pour traverser tout le bassin versant de l'amont jusqu'à l'exutoire. On utilise la formule de GIANDOTTI :

$$T_C = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8 * \sqrt{(H_{moy} - H_{min})}} \quad (V.13)$$

Avec :

T<sub>c</sub> : Temps de concentration (h)

H<sub>moy</sub> : l'altitude moyenne (m)

H<sub>min</sub> : l'altitude minimum (m)

**Tableau V-13** : Récapitulatif des temps caractéristiques

	<b>Tb</b>	<b>Tm</b>	<b>Tc</b>
Labiod	25.43	6.18	22.02
Haimer	19.59	4.63	17.03
Bobrik	7.79	1.66	4.77
Aregdan	6.77	1.42	4.89

**VI.5 Les débits Q et Volume des crues :**

Dans cette partie nous allons calculer le débit que génère chaque sous bassin versant dans différente période de retour (10 ans, 100 ans, 1000 ans et 10,000 ans), en utilisant la formule de RODIER – AUVRAY car par rapport à l'autre formule il met en considération plusieurs paramètres et peut être appliqué pour chaque période de retour :

**a) Calcule du volume total :**

$$V_t = P_{if} \times K_a \times A \quad (V.14)$$

Avec :

P<sub>if</sub> : précipitation sur le bassin (m)

K<sub>a</sub> : Coefficient d'abattement

A : Surface (m)

**b) Calcul du volume ruisseler :**

$$V_r = K_r \times V_t \quad (V.15)$$

Avec :

$V_r$  : Volume ruisseler

$K_r$  : Coefficient de ruissèlement (%)

**c) Le débit moyen :**

$$Q_{moy} = \frac{V_v}{t_b} \quad (V.16)$$

Avec :

$t_b$  : Temps de base (s)

**d) Le débit max :**

$$Q_{max} = Q_{moy} \cdot \alpha \quad (V.17)$$

$\alpha$  : Coefficient de pointe.

Ce-si-dit dans notre étude nous devons prendre en considération les Troie digues des sous bassin versant Labiod, Haimer et Boubrik, dans ce cas les débits de leur pertuis seront respectivement de 20,20 et 5 m<sup>3</sup>/s de fréquence 1/10 ans jusqu'à 1/1000 ans, mais pour 1/10,000 ans le déversoir commence à évacuer les eaux avec un débit de :

- Labiod : 200 m<sup>3</sup>/s
- Haimer : 220 m<sup>3</sup>/s
- Boubrik : 75 m<sup>3</sup>/s

En se servant des données précédentes et en tenant compte des pertuis des trois digues et de leur déversoir on obtient le tableau suivant :

## CHAPITRE IV : CADRE HYDROLOGIQUE

**Tableau V-14 : Récapitulatif des débits et volumes des sous bassin versant de Oued M'Zab**

	10 ans				100 ans				1000 ans				10,000 ans			
	Vr m <sup>3</sup>	Qmoy	Qmax	Qdigue	Vr m <sup>3</sup>	Qmoy	Qmax	Qdigue	Vr m <sup>3</sup>	Qmoy	Qmax	Qdigue	Vr m <sup>3</sup>	Qmoy	Qmax	Qdigue
<b>Labiod</b>	11.33	123.79	447.40	20	14.47	158.13	571.50	20	24.81	271.08	979.72	20	41.77	456.32	1649.19	220.00
<b>Haimer</b>	7.46	105.93	423.73	20	9.54	135.32	541.26	20	16.35	231.97	927.88	20	27.53	390.48	1561.93	240.00
<b>Bobrik</b>	1.04	37.11	105.46	5	1.32	47.40	134.72	5	2.28	81.25	230.94	5	3.83	136.78	388.75	80.00
<b>Aregdan</b>	0.78	32.17	88.49	88.49	0.10	41.09	113.03	113.03	1.72	70.44	193.77	193.77	2.89	118.58	326.18	326.18
<b>Amlaga</b>	<b>20.61</b>	<b>149.5</b>	<b>532.55</b>	<b>66.75</b>	<b>25.43</b>	<b>190.75</b>	<b>680.5</b>	<b>79</b>	<b>45.15</b>	<b>325.38</b>	<b>1166.2</b>	<b>119.38</b>	<b>76.02</b>	<b>551</b>	<b>1963.02</b>	<b>433.1</b>

Avec :

$V_r$  : Volume ruisseler ( $m^3 \cdot 10^6$ )

$Q_{max}$  : Débit maximal

$Q_{moy}$  : Débit moyen ( $m^3/s$ )

$Q_{digue}$  : Débit max en tenant compte les trois digues

## VII. Hydrogrammes de crue

### VII.1 L'hydrogramme de crue des sous bassin versant :

L'hydrogramme de crue est caractérisé par deux parties : la montée et la décroissance, ils sont définis par deux équations :

$$\text{La montée :} \quad Q(t) = Q_{max} \left( \frac{t_i}{T_m} \right)^2 \quad (\text{V.18})$$

$$\text{La décroissance :} \quad Q(t) = Q_{max} \left( \frac{(t_d - t')}{t_d} \right)^3 \quad (\text{V.19})$$

Avec :

$$t' = t - t_m$$

$$T_d = \gamma * t_m$$

$\gamma$  le bassin versant de Oued M'Zab a été estimé à 2.5 (OULED BELKHIR C, 2012). En appliquant ces équations sur nos sous bassins, nous avons obtenu des hydrogrammes de crue pour chacun d'eux qui sont présentés en Annexe : Les hydrogrammes des sous bassins versants de Oued M'Zab.

### VII.2 Hydrogramme des déversoirs de crue :

D'après (SARI, 2002), on peut déduire le volume d'une crue en sachant la surface sous la courbe de l'hydrogramme.

En plus des données qu'on n'a sur le volume des retenus, on peut dans ce cas déduire à quel heure le déversoir commence à déverser.

Pour calculer la surface sous la courbe on n'a utilisé la méthode des rectangles (Figure V -5).

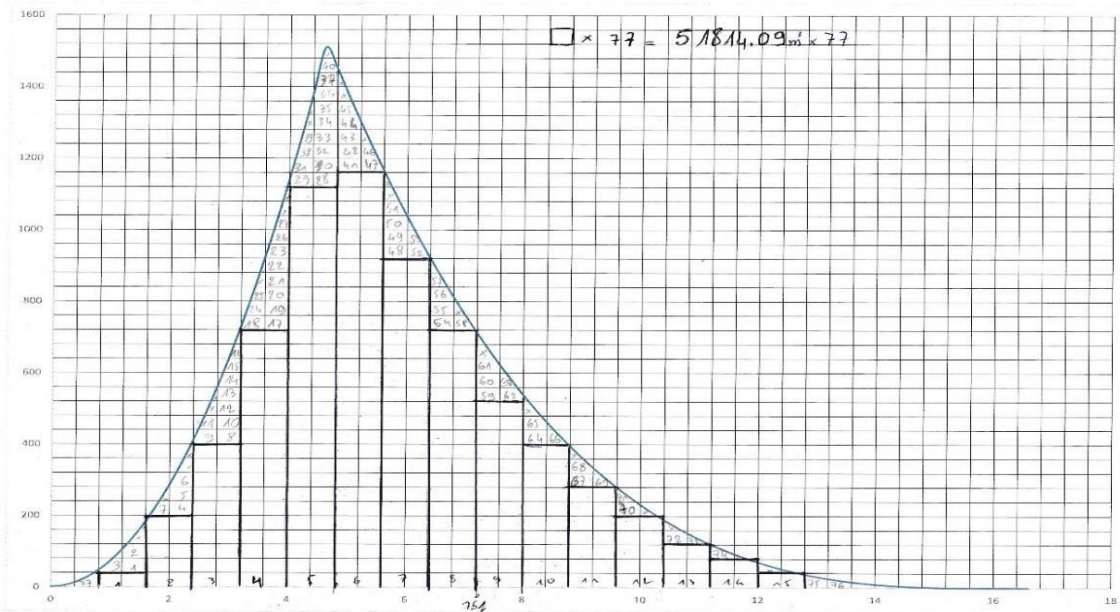


Figure V-5 : Méthode des rectangles Ouled belkhir c,2015

En appliquant cette technique en à remarquer que le volume déduit de la courbe de Haimer était trop sous-estimé donc nous avon augmentait le coefficient de ruissèlement car le sous bassin versant de Haimer est moins sableux que celui de Labiod tandis qu'il on presque la même valeur.

**Les résultats :**

- Pour **Labiod** on n'a estimé à 10 h depuis le déclanchement de la crue de Fréquence 1/10,000
- Pour **Haimer** on n'a estimé à 7.6 h depuis le déclanchement de la crue de fréquence 1/10,000

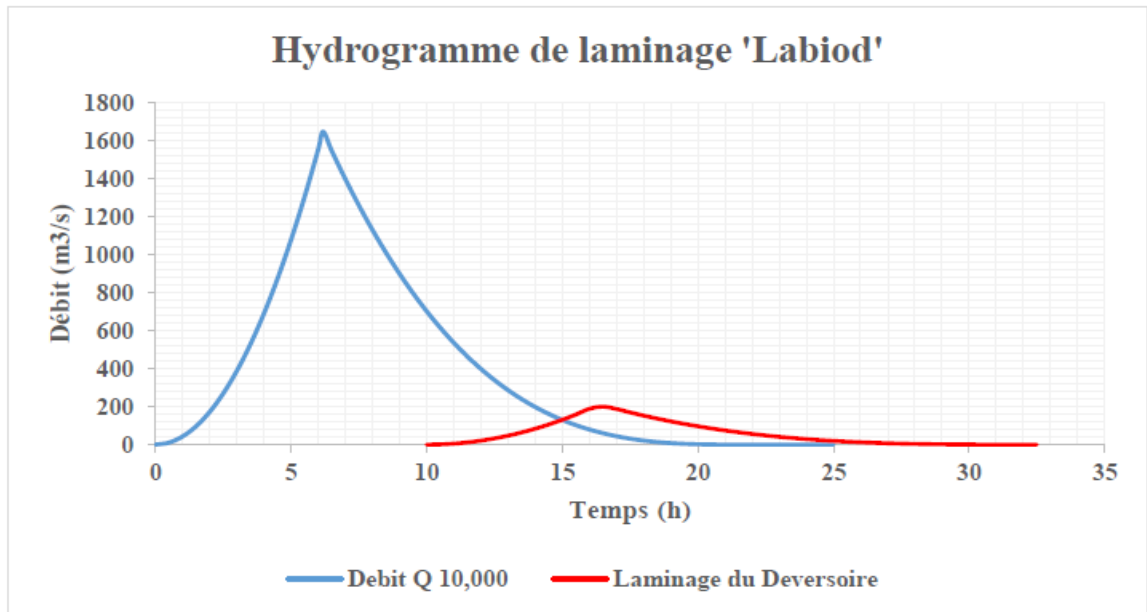


Figure V-6 : Hydrogramme de crue du laminage du déversoir de Labiod Ouled belkhir c,2015

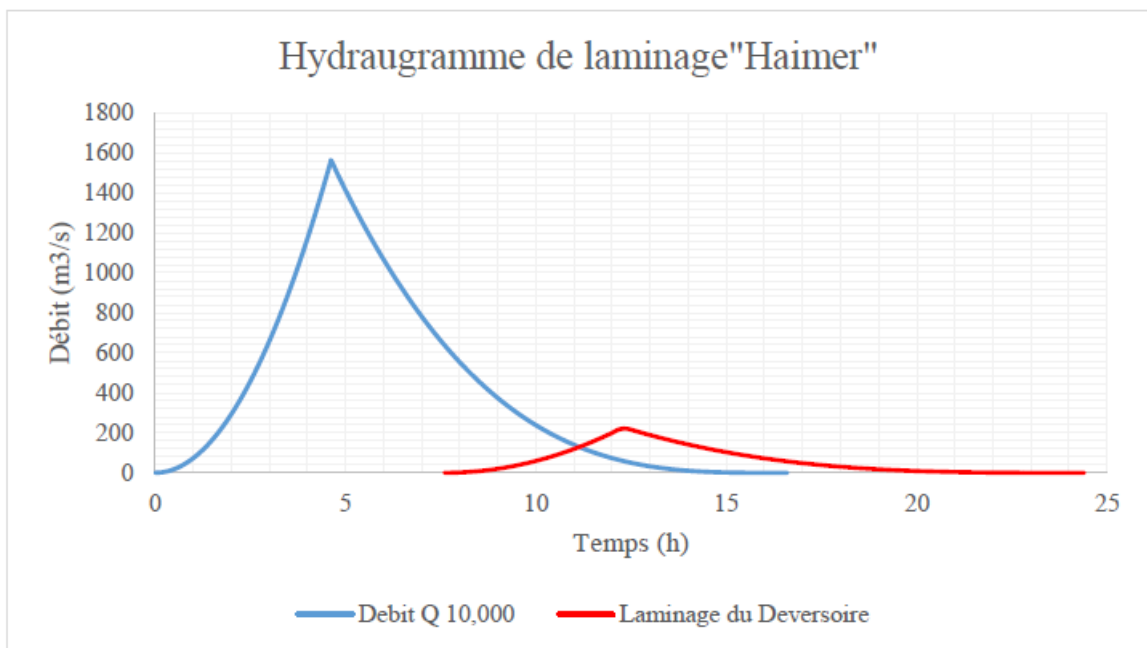
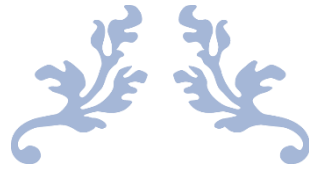


Figure V-7 : Hydrogramme de crue du laminage du déversoir de Haimer Ouled belkhir c,2015

Si on suppose que  $T_d$  est le temps ou le déversoir commence à être actif, donc la durée du déversement est de  $T_d + t_b$  (temps de base)

### **VIII. Conclusion**

A la fin du chapitre nous avons accumuler assez de données et d'information sur les sous bassin versant tel que leur forme leur comportement vis-à-vis des crue leur débit, volume...etc., qu'en peut enfin passer au dernier chapitre qui consiste à la numérisation et a la modélisation de ces données sur ArcGIS et HEC-Ras.



---

# SIMULATION DES ECOULEMENT

---





## I. Introduction

Les besoins en cartographie dans le quotidien des décideurs ont fait apparaître les systèmes d'information géographique (SIG). L'objectif du SIG est de produire des données géographiques dans le but d'effectuer des traitements sur les informations géolocalisées pour visualiser des cartes et prendre des décisions. C'est une des missions fondamentales du SIG que de fournir aux décideurs l'information pertinente à la prise de décision (Bourrier R., 2008).

## II. Définitions des SIG

Un SIG a pour but d'informer sur la géographie d'un espace donné. Il s'appuie donc sur un certain nombre de bases de données géographiques, qu'il permet d'intégrer, de gérer, de traiter et de représenter sous forme de cartes. Plusieurs définitions des SIG existent mais toutes incluent l'ensemble de ces différentes fonctions (Figure II.1)(GUICHARD J. / GLMR., 1992).

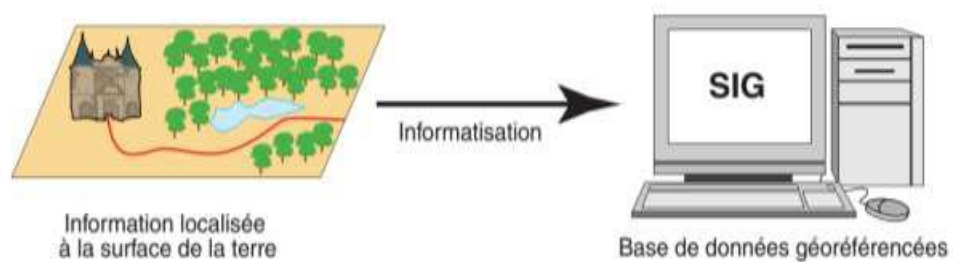


Figure VI.1 : Définition de SIG (FICCDC, 1988)

## III. Structure d'un SIG

les couches d'applications : l'acquisition des données géographiques d'origines diverses, la gestion pour le stockage et la recherche des données, l'analyse spatiale pour le traitement et l'exploitation et enfin la présentation des résultats sous forme cartographique.

#### IV. Les étape de travaille sur ArcGIS

Dans la pratique, les données géographiques proviennent de sources différentes, ont des modes d'acquisition différents, sont sus des médias différents, on dit qu'elles sont multi sources. Certaines données sont directement mesurées sur le terrain (levés topographiques)(Zerouali M., 2005)

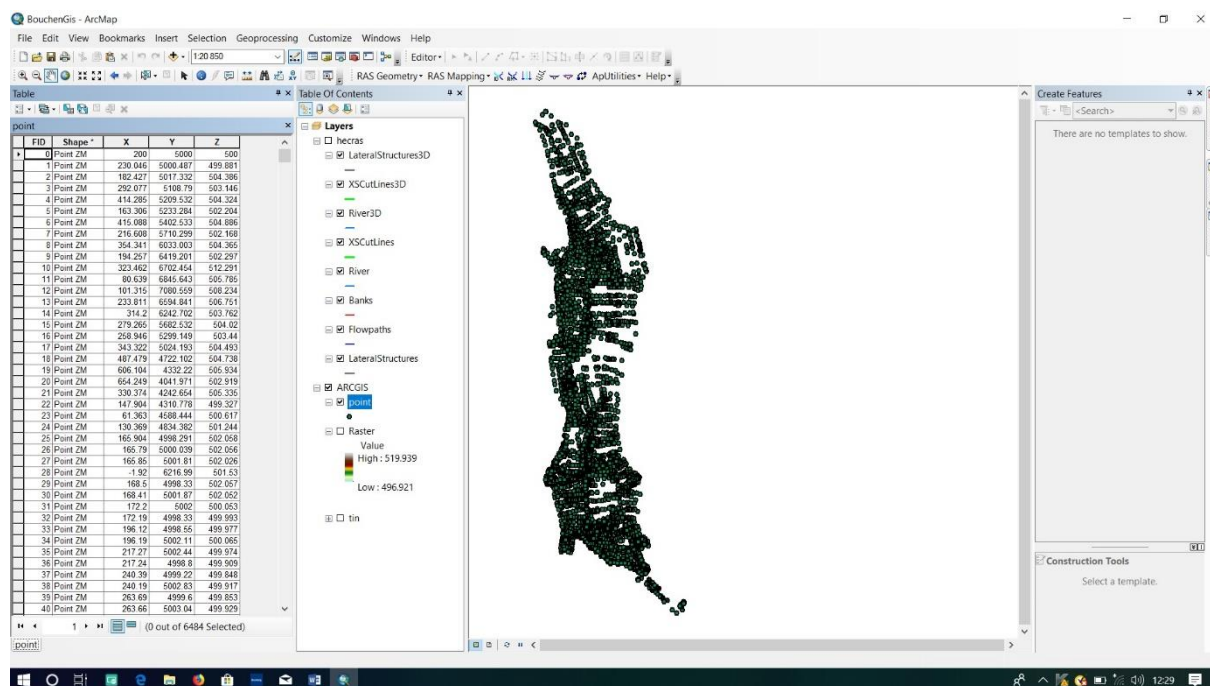


Figure VI.2 : Point topographier

#### V. Mode raster

Le format raster des données représente la réalité par des cellules de grille uniformes d'une résolution spécifique. Chaque carré (ou cellule de grille) couvre une aire géographique donnée et une valeur d'attribut est assignée à la cellule. La cellule de grille est la plus petite unité géographique dans un SIG raster, elle est connue comme 'l'unité cartographique minimale'. La résolution dépend de la taille de la cellule de la grille, Plus la cellule est grande, moins l'information est précise, plus la grille est petite, plus la résolution est grande et plus la base de données est grande parce qu'il y a plus de détails.

Visuellement, les formes et objets géographiques sont représentés par la combinaison de cellule de grille. Ceci signifie que les formes complexes (limites administratives) ou les objets linéaires (traits de côtes) peuvent apparaître non naturel. La plupart des données de télédétection

sont collectées dans le format raster, ce qui veut dire qu'on n'a pas besoin de les convertir avant de les utiliser dans un SIG en format raster. (Souaker K&Djedidi A., 2015)

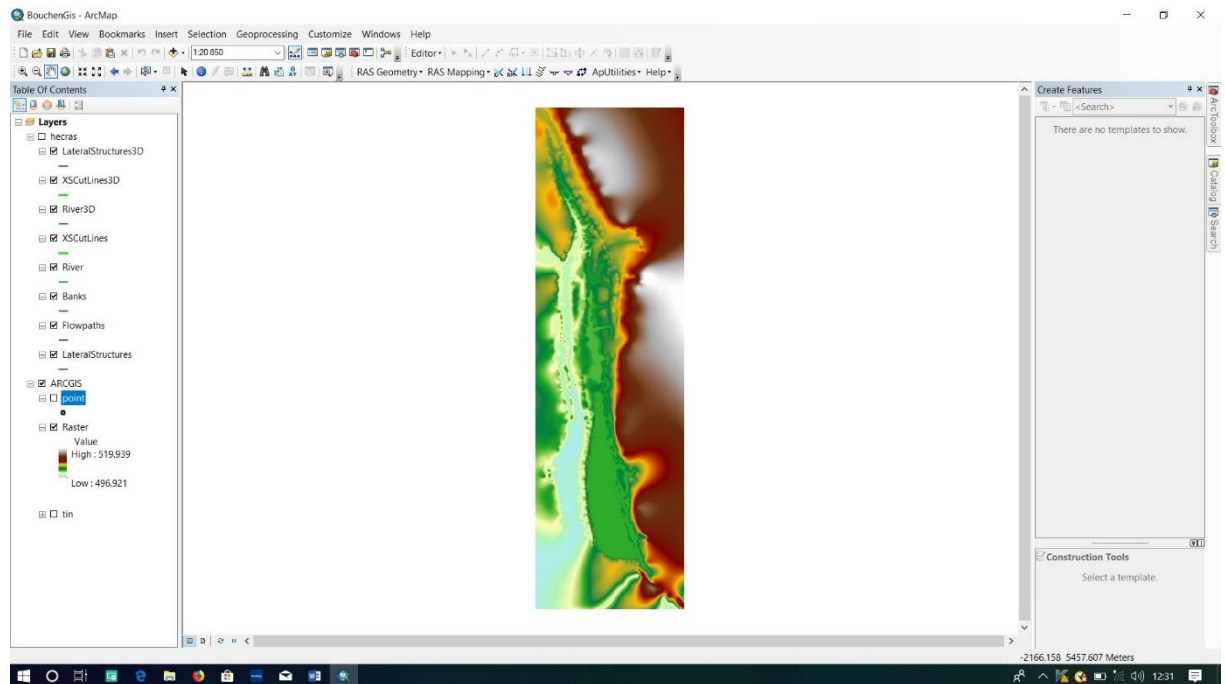


Figure VI.3 : carte raster

Converti a raster to « triangulated irregular network » (TIN)

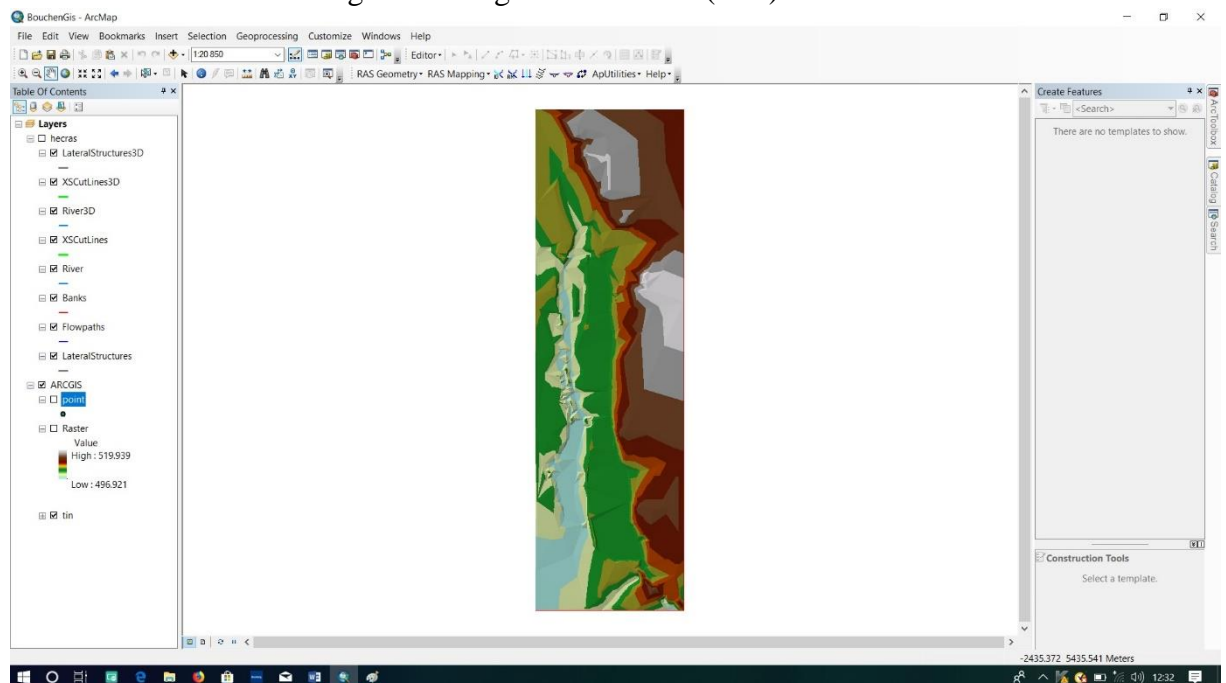


Figure VI.4 : Converter raster to Tin

HEC-GeoRAS nous permet de créer des sections en travers manuel et de faire un traitement préliminaire des données introduit sur notre carte

- (1)- XSCutlines « les profil »
- (2)- Flowpaths « limite du crue »
- (3)- River
- (4)- Banks « limite de oued » ...ext

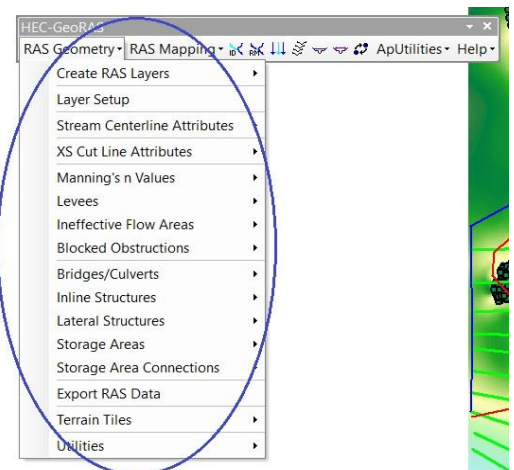


Figure VI-5 HEC-Geo-RAS

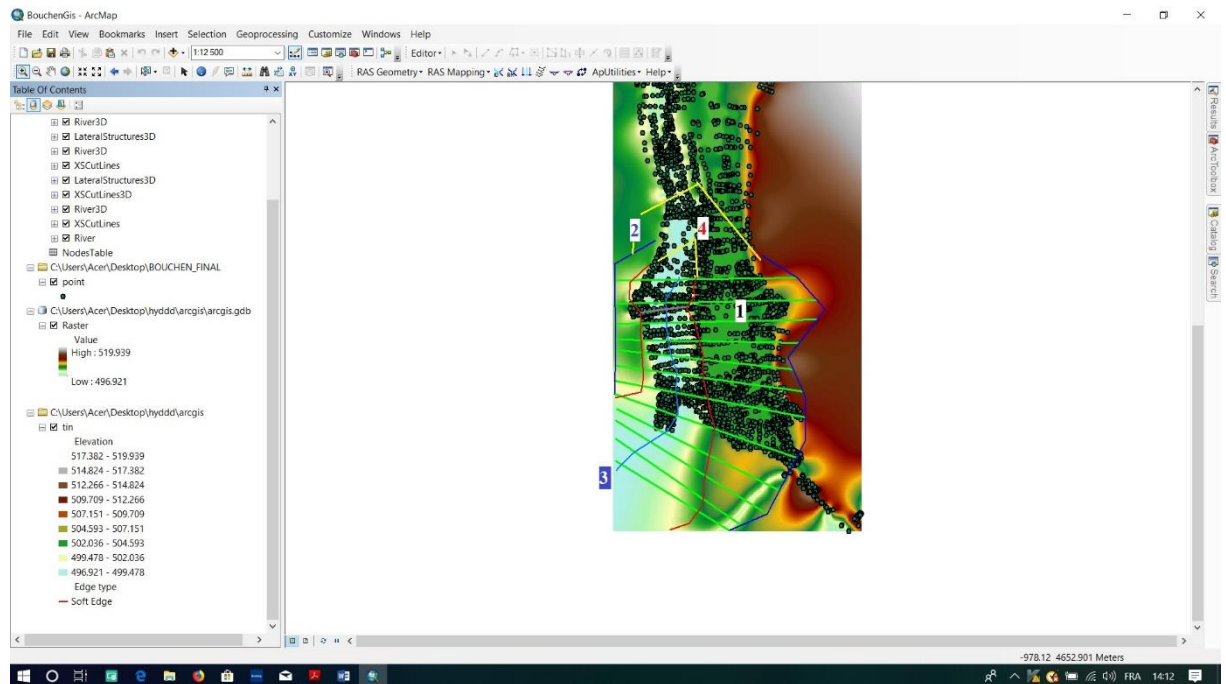
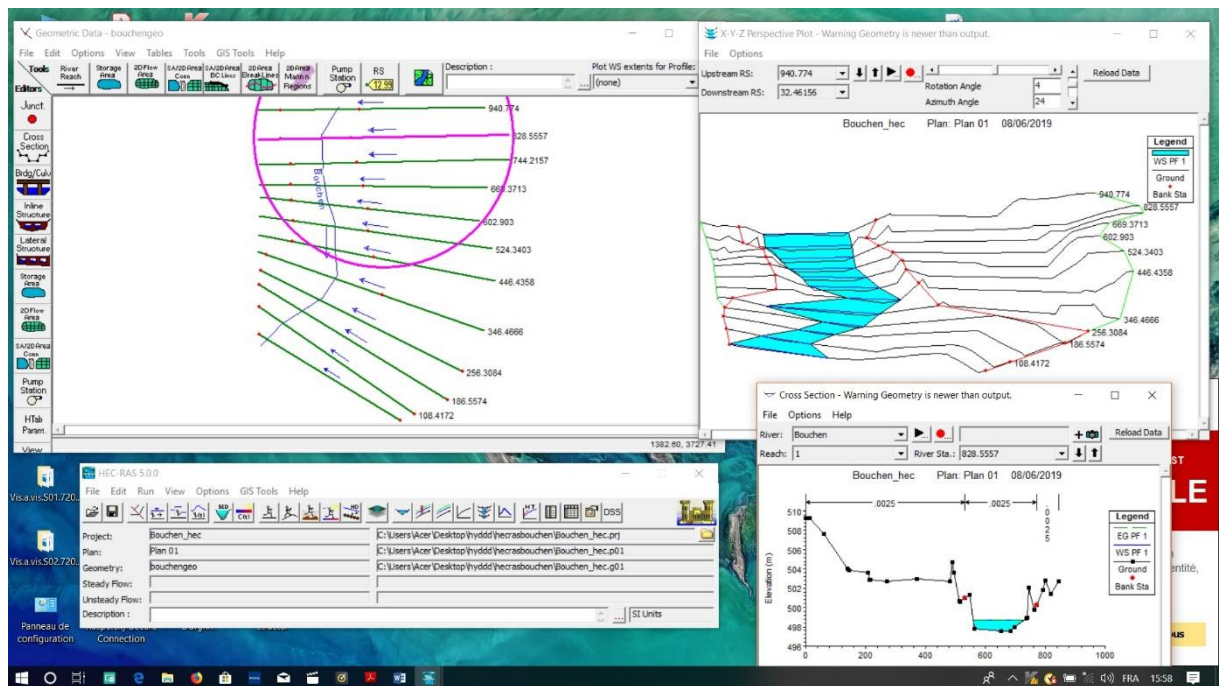


Figure VI-6 Représentation le travaille a ArcGIS

On arrive enfin au dernier étape et le plus intéressant car dans celui-ci en vas modéliser notre étude théorique en plan de risque et de vulnérabilité, en se servant du logiciel HEC-Ras qui va simuler notre crue

**VI. Aperçu sur le logiciel HEC-RAS :**

HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*) est un logiciel intégré pour l'analyse hydraulique qui permet de simuler les écoulements à surface libre . Il a été conçu par le Hydrologic Engineering Centre de l'U.S. Army Corps of Engineers USACE (2010 a et 2010 b). Il est présentement utilisé dans plusieurs firmes d'ingénierie et organismes gouvernementaux . HEC-RAS est doté d'interfaces conviviales d'édition et de paramétrage des simulations. Il peut traiter des cas complexes, et il est disponible en freeware .(Cherif & Sliman, 2015)



**Figure VI-7** Fenêtres du logiciel HEC-RAS

**VII. Les solutions que propose HEC-RAS :**

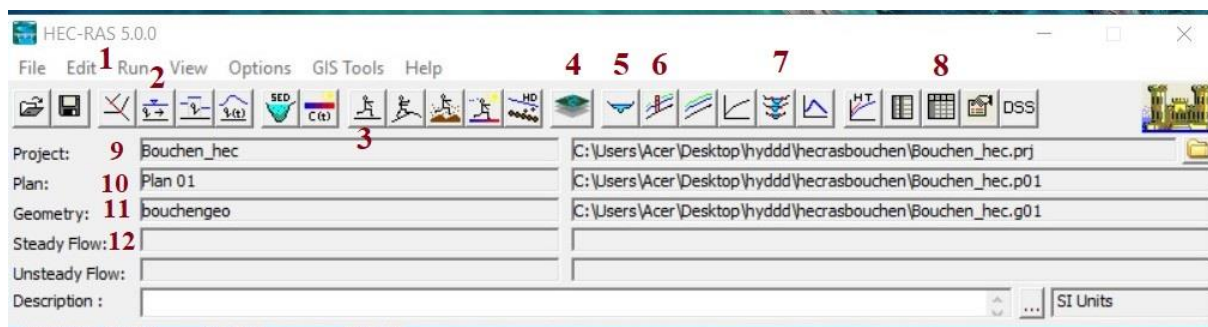
HEC-RAS résout les problèmes des écoulements à surface libre permanent ou non-permanent de calcul de ligne d'eau en graduellement varié. Il résout l'équation de l'énergie unidimensionnelle, les pertes étant évaluées par la formule de frottement au fond de Manning-Strickler et par des formules de contraction/expansion de l'écoulement.

Pour les situations rapidement variées telles que les ressauts hydrauliques, les écoulements à proximité des ponts, et les confluences de rivière, l'équation de l'énergie est remplacée par l'équation de quantité de mouvement.

Pour les écoulements débordants, la section totale est divisée en sous-sections homogènes en termes de forme et de rugosité, et chaque débit partiel est calculé selon la “Divided Channel Method” à l’aide de la formule de Manning-Strickler.

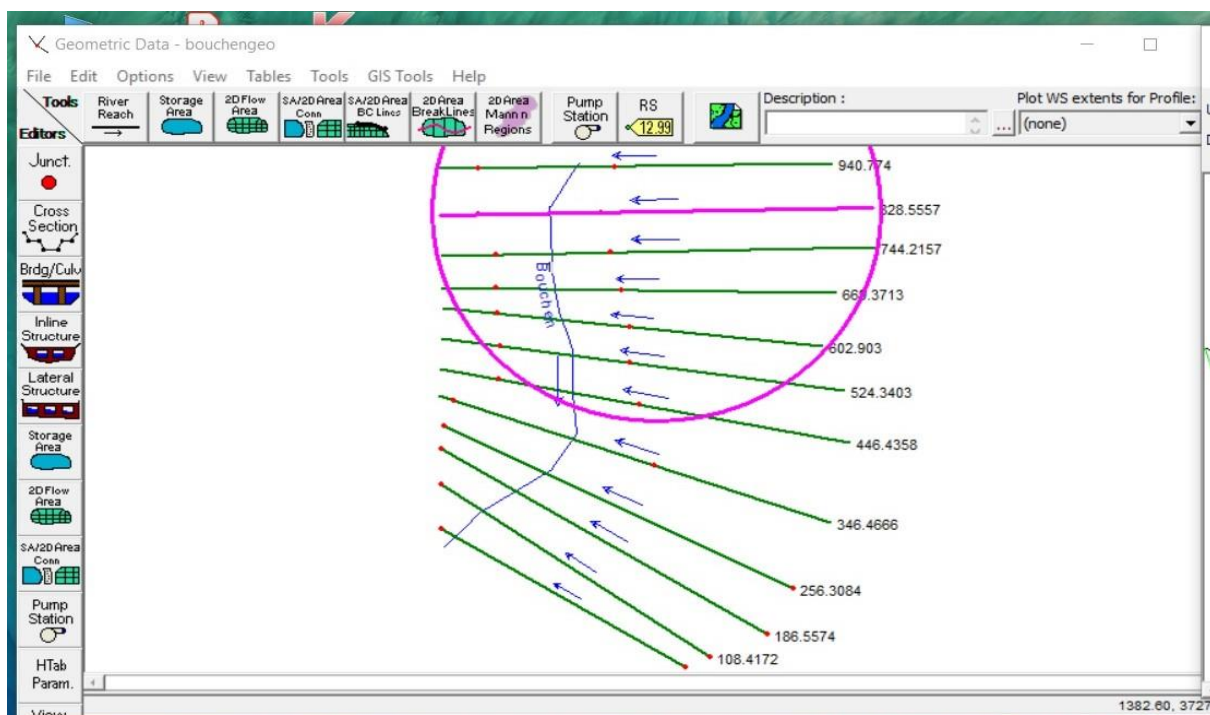
### VIII. Interface de HEC-RAS :

L’interface de HECRAS contient différentes commande et fonction, nous allons présenter ce qu’on va utiliser :



**Figure VI-8** Interface de HEC-RAS 5.0.0

- View/edit geometric Data (1) : c’est là où on visualise et faisant tous nos dessins géométriques : rivière, section en travers ; les digues, ponts...etc.



**Figure VI-9** Geometric data sur HECRAS

- view/edit steady flow data (2) : elle nous permet d'introduire les données hydrauliques les débits et les conditions aux limites.
- Performe a steady flow analyse (3) : cette commande nous permet de lancer une simulation hydraulique d'un écoulement permanent après, bien sûr, avoir introduit les données nécessaires pour cela.
- Ras Mapper (4) : on peut y visualiser le résultat de la simulation.
- Cross Section (5) : Affiche toutes les sections on travers de notre projet une à une.
- Profil (6) : montre les différents profils en long de l'oued.
- 3D multiple cross section (7) : Visualisation des profils en 3 Dimension.
- Summary output table (8) : il contient tout le résultat de notre simulation : débit, vitesse, surface pente, Nombre de Froude, pour chaque profil.
- Project (9) : un ensemble de fichiers permettant de simuler le comportement hydraulique d'un cours d'eau pour diverses conditions, en bref c'est le fichier général.
- Plan (10) : c'est le fichier qui contient les plans des résultats de simulation.
- Geometry (11) : le fichier géométrique.
- Steady Flow (12) : fichier de l'écoulement permanent.

### IX. Avantage et inconvénient de HEC-RAS :

#### ▪ Avantages :

HEC RAS a des mérites, notamment son soutien par le US Army Corps of Engineers, les améliorations en cours, et son acceptation par de nombreux organismes gouvernementaux et des entreprises privées.

Il est disponible en téléchargement gratuit à partir du site Web de HEC.

Diverses entreprises privées sont enregistrés comme « fournisseurs » officiels et offrent des prestations de conseil et d'ajouter sur le logiciel.

Certaines distribuent également le logiciel dans les pays qui ne sont pas autorisés à accéder à des sites Web de l'US Army.

Toutefois, le téléchargement direct de HEC comprend une documentation complète, et les scientifiques et les ingénieurs versés dans l'analyse hydraulique doit avoir peu de difficulté en utilisant le logiciel. (Cherif & Sliman, 2015)

▪ **Inconvénients :**

Les utilisateurs peuvent trouver des problèmes d'instabilité numériques lors des analyses instables, en particulier dans les rivières et les ruisseaux raide et / ou très dynamique. Il est souvent possible d'utiliser HEC-RAS pour surmonter les problèmes d'instabilité sur les problèmes de la rivière. (Cherif & Sliman, 2015)

**X. Procédure de simulation via HEC-RAS :**

**X.1 Choix des paramètres :**

Pour réaliser une modélisation sur HEC-RAS et lancer la simulation d'inondation on doit fournir des données géométriques et hydraulique

**X.2 Donnée géométrique :**

Les données géométriques ont été obtenue de différentes sources et façons :

**X.3 Les berges de l'oued :**

Pour localiser les berges d'oued, ou Banks pour HEC-RAS, et les numériser sur se dernier on n'a dû suivre deux étapes :

**X.4 Exportation vers ArcGIS :**

En convertie l'extension ".kml" en Layer grâce à l'outil que fourni ArcGIS de conversion, puis en installe une extension de HEC-RAS sur ArcGIS qui est **HEC-GeoRAS**.



**Figure VI-10** L'extension HEC-GeoRAS sur ArcGIS

HEC-GeoRAS nous permet de créer des sections en travers manuel et de faire un traitement préliminaire des données introduit sur notre carte pour qu'a la fin en puise importer notre travaille de ArcGIS à HEC-RAS facilement.



### X.5 Importation de HEC-RAS

Quand on n'a terminé d'introduire toutes les données nécessaires dans ArcGIS, en export le travail grâce à l'extension HEC-GeoRAS.

Dans le logiciel HEC-RAS on importe le fichier GIS qui va être considéré pour le logiciel comme un fichier Géométrique (Annex).

Avec :

- 1- mur
- 2- tismbade de bouchen
- 3- tismbade de bouchemdjan
- 4- system de patrage

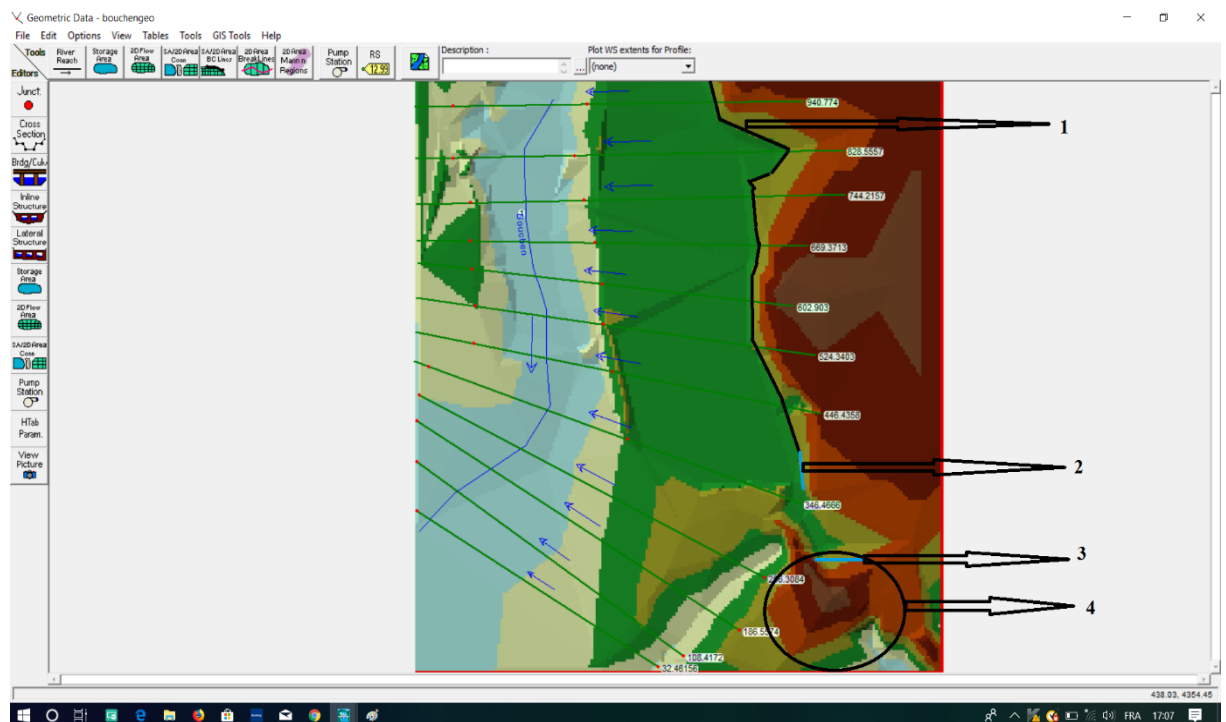


Figure VI-11 Fichier géométriques de bouchen

### X.6 Les profils en travers (Cross Section) :

Les profils en travers nous permettent d'avoir une vue sur la géométrie de l'Oued, mais aussi de le modifier et visualiser les résultats sur chaque section de l'Oued.

Pour dessiner ou exécuter automatiquement les profils en travers, on doit respecter six règles pour l'exécution d'une simulation :

- ils doivent être perpendiculaires aux écoulements
- Ne jamais se croiser
- Considérer toute la largeur du lit majeur
- Décrire le profil en long
- Permettre la modélisation des ouvrages hydrauliques
- Prendre en compte les contractions et les élargissements des écoulements

### X.7 Paramètres hydrauliques

Après avoir configuré les paramètres géométriques et importé notre travail sur HEC-RAS, on peut maintenant introduire les données hydrauliques :

### X.8 Régime hydraulique

Le régime hydraulique est déterminant sur les résultats d'une simulation. Le choix du régime hydraulique dépend surtout de l'usage des résultats et des applications des simulations.

*Il existe deux grands types de simulations* : les simulations en régime permanent et celles en régime transitoire. Le régime permanent ne dépend pas du temps, c'est-à-dire que les différentes variables hydrauliques sont constantes (hauteur d'eau, vitesse...). Par contre, le régime transitoire dépend du temps. A chaque pas de temps, un calcul hydraulique est effectué pour simuler un écoulement. Ce type de régime est très intéressant pour observer les phénomènes d'écroulement des crues (TOUMI. S & MOUSLEM. Ch, 2015). Mais l'utilisation du régime transitoire est assez lourde et instable ce qui limite son utilisation à des modèles de petite taille ou de résolution peu précise. Donc nous allons, pour notre projet, choisir d'utiliser le régime permanent qui se justifie parfaitement pour répondre aux objectifs de la modélisation hydrodynamique dans l'Oued M'Zab. Le débit utilisé dans les simulations sera le débit centennal, observé sur le tronçon étudié. L'injection de ce débit constant permettra de simuler la pointe de la crue et de produire ainsi des cartes d'inondation. Dans le modèle HEC-RAS.

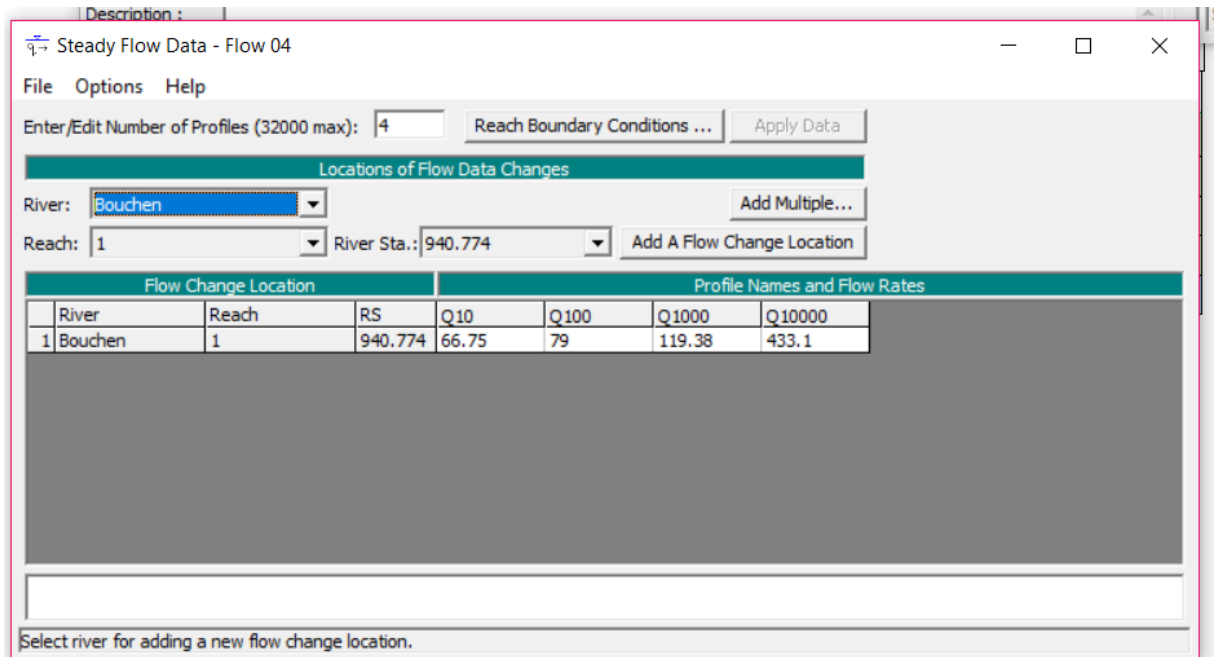


Figure VI-12 insérai les débits sur HEC-RAS

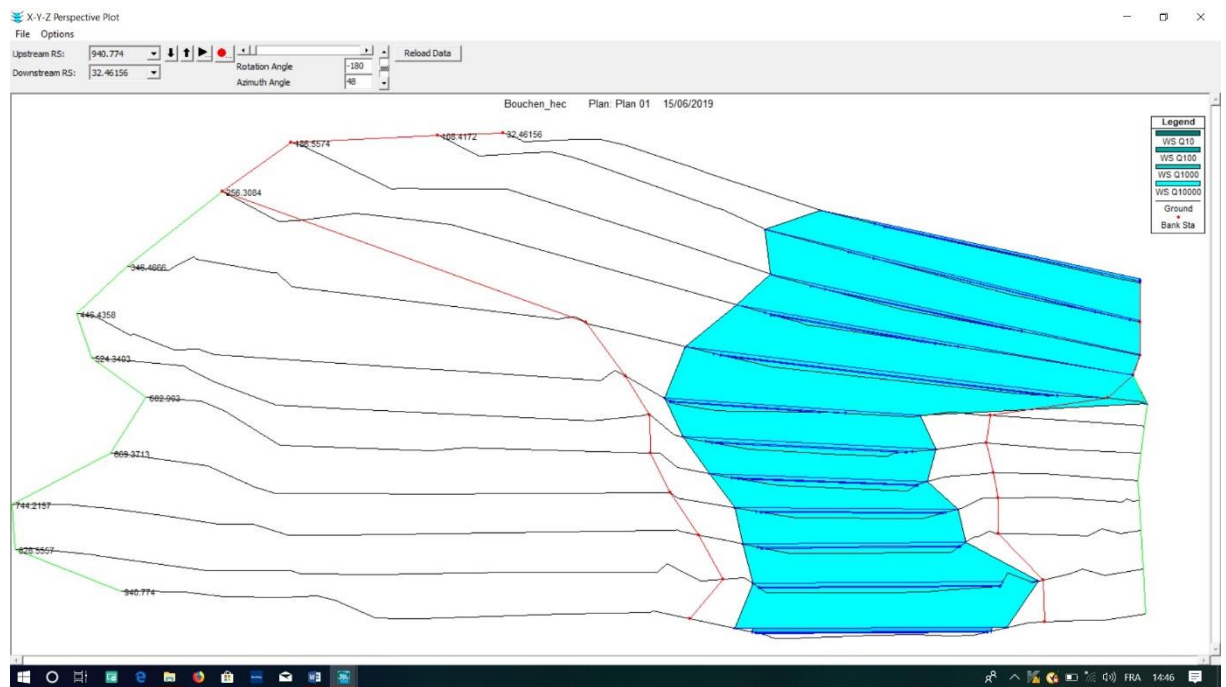
### X.9 Les débits :

Pour le débit, on n'a choisi d'introduire les quatre (04) périodes de retour ,1/10, 1/100, 1/1000, 1/10000 . Grace au calcul dans le (Tableau V.14), donc les débits est égale au cumule de ce qui lui précédent multiplier par un pourcentage de 50%, pour tenir compte des infiltration au cour du ruissellement. Les résultats qu'on obtient sont :

### XI. Visualisation des résultats :

Maintenant que toutes les données en été introduit dans le logiciel, on lance la simulation et on obtient des résultats suivants (Annexe) :

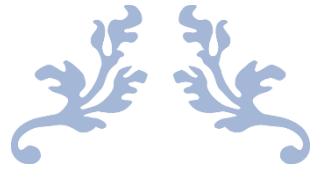
## XI.1 L'inondation :



**Figure VI-13** Représentation de l'inondation

## XII. Conclusion :

En remarque qu'au cour des fréquence 1/10 ,1/100 et 1/1000 il ne se produit aucune inondation on majorité (Annex), car au cour de ses 3 fréquences l'écoulement des influent bouchen sont contrôler par leur pertui, par contre pour une fréquence 1/10,000 les déversoir commence à évacuer la crue ce qui engendre des inondation, et on remarque qu'a cette fréquence une inondation des berges a eu lieu ce qui constitue un risque pour l'urbanisation avoisinante.



---

# CONCLUSION GENERALE

---



## CONCLUSION GENERALE

A la fin cette étude on peu conclure que l'Oasis du M'Zab abrite en amont le célèbre système de partage des eaux qui est besoin d'une soigne technique judicieux. On peu conclure aussi que la vallée est bien protégé contres les crues de différente fréquence aux niveaux des agglomérations urbains grâce aux ouvrages de protection amont qui contrôlent le débit et grâce a l'élargissement apporter au canal principal. Mais le problème qui persiste jusqu'à notre jour est l'inondation des quartiers avoisinons et les palmeraies installées sur les affluent d'Oued M'Zab, ce qui constitue un grand problème pour la population surtout dans les quartiers comme El Ghaba, Touzouz et Karkoura, donc si on peut donner une solution générale a ce problème sa serait de faire un aménagement des canaux des zones vulnérables pour acheminer l'eau jusqu'à la cour d'eau principale en sécurité et sont inondations.

La modélisation hydrodynamique des crues et le SIG sont des outils indispensables pour la compréhension du phénomène et la cartographie. Il ressorte que la palmeraie El Ghaba est une zone potentiellement inondable même pour des fréquences faibles. C'est à cause la l'apport des affluents non contrôles par le système de laminage (absences de digues) tel que BouChemgene, Touzouz, Akhalkhal.

Ce réseau hydrographique adjacent assure le bon fonctionnement du système de partage historique qui est actuellement dans état plus ou moins bonne. Mais quelque travaux de réfection sont nécessaire pour le sauvegarder ce système :

- Reconstruction des tronçons défectueux par des matériaux de constructions traditionnelles et locales.
- La mise en connexion de la retenue Bouchene à Oued M'Zab par un canal (déjà réalisée et enterrée depuis 2008).

Finalement l'étude de la simulation des crues, nécessite une banque de donnée météorologique, hydrographique et topographique très importantes, pour représenter une étude d'une façon respectée.



---

# BIBLIOGRAPHIE

---



## BIBLIOGRAPHIE

- <[http://www.cetmef.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/GF\\_0601\\_cle52db85.pdf](http://www.cetmef.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/GF_0601_cle52db85.pdf)> Février 2005, « Notice sur les déversoirs – Synthèse des lois d'écoulement au droit des Seuils et déversoirs », Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales (CETMEF,
- « Cas de la région de GHARDAIA ». Juin 2015.
- **Abdeljalil Gouzrou**. L'hydraulique au pluriel. 2001
- **ACHOUR B., T. BOUZIANE T., NEBBAR K., 2003**, «Débitmètre triangulaire à paroi épaisse dans un canal rectangulaire (Première partie) », Université de Biskra, B.P. 145, R.P, 07000 – Algérie, Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface, <<http://larhyss.net/pdf/journal/2/1-Achour.pdf>>.
- Actes des Journées Techniques/ Risques Naturels : Inondation, Prévision, Protection Batna. 15/16/décembre 2004.
- **Bensaha Hocine, Bensaha Lahcen, Achour Mansour** . « Réflexions pour préserver l'environnement : cas de la vallée du M'zab (Algérie)
- **Bensalah, I., (2007)**. « Contribution a la maitrise de l'urbanisation dans la palmeraie de Ksar de Ghardaïa ». Mémoire de fin d'étude, Faculté de la science de la terre, Département de l'Aménagement, Université Badi Mokhtar de Annaba .
- **BONVIN J., 2005** : « Hydraulique urbaine I Captages – Réseaux d'adduction – Réservoirs - Réseaux de distribution – Equipements - Pompes – Petites centrales hydrauliques », école d'ingénieur du Canton de vaud,
- **Carlier, M., (1980)**. « Hydraulique générale et appliquée ». Edition Eyrolles .
- **CARLIER.M., 1998**, « hydraulique générale et appliquée ».Ed. Eyrolles, EDF. Paris.
- **Dubief, J., (1953)**. « Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara ». Institut de Météorologie et Physique du Globe de l'Algérie .
- **Dubief, J., (1963)**. « Le climat du Sahara, Institut des recherches Saharienne ». Mémoire hors série, Tome I et II .
- Etude d'assainissement et de protection contre les crues de la vallée du M'Zab. .15 Octobre 1999.
- Etude d'assainissement et de protection contre les crues de l'oued M'Zab.
- Etude des crues extrêmes en Algérie : cas du bassin-versant de la Tafna. 2012.



- Ghardaïa le 15 fév. 2018. Ministère des travaux publique et des transports.
- <http://depg.heig-vd.ch/pdf/Cours%20hydraulique%20I-v2005.21.pdf>
- L'hydrologie de surface. SARI AHMAD .2002.
- **LABORDE J.P., 2007**, « Eléments d'hydraulique générale », Université de Nice - Sophia Antipolis.
- **Mansour Achour**. Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride cas de la vallée de M'ZAB (GHARDAIA -ALGERIE). 2014.
- **OuladBelkhir . (2015)**. Aspect hydroclimatique du M'Zab. Ghardaia : Oulad Belkhir Chiek.
- **OULED BELKHIR C, R. .** (2012). Reconstitution des Crues. Ghardaia.
- **Ouled Belkhir Cheikh, Remini Boualem, Ben Ada Lotfi**,
- République Algérienne Démocratique et Populaire Agence Nationale de l'Eau Potable et Industrielle et de l'Assainissement. JUIN 2000.
- **SAAD Bennis, 2007** « hydraulique et hydrologie», 2<sup>ème</sup> édition, université du Québec école de technologie supérieur.
- **Sinniger, R., Hager, W., (1988)**. « Constructions hydrauliques » .
- **Toumi Slimane & Mouslem Cherif**. Analyse statistique des pluies Et synthèse Cartographique DES zones inondables d'une zone aride.



---

# ANNEXE

---



## ANNEXE

### DIMENSIONS DES DIFFERENTS OUVRAGES DU SYSTEME DE PARTAGE DES EAUX DE LA PALMERAIE

#### I. Canal de Bouchemdjene

##### I.1. Premier point (1) de régulation du canal de Bouchemdjene

**Tableau 1 :** Dimensions des *Tissambads* de régulation du canal de *Bouchemdjene*

Le nombre des Tissambads	28.00
Hauteur d'un Tissambad (m)	0.80
Longueur d'un Tissambads (m)	15.60
Largeur d'un Tissambads (m)	1.60
Hauteur totale (m)	1.80
Longueur totale (m)	20.00
Largeur totale (m)	1.60

**Tableau 2 :** Déversoir du canal de *Bouchemdjene* vers le canal de *Bouchene*

Hauteur (m)	1.30
Longueur (m)	10.30
Largeur (m)	1.10

##### I.2. Deuxième point (2) de régulation du canal de Bouchemdjene

**Tableau 3 :** Dimensions des *Tissambads* de régulation du canal de *Bouchemdjene*

Hauteur d'un Tissambad (m)	0.80
Longueur des Tissambads (m)	13.20
Largeur d'un Tissambads (m)	0.50
Hauteur totale (m)	1.60
Longueur totale (m)	19.00
Largeur totale (m)	1.85

**Tableau 4** : Dimensions de deuxième déversoir du canal de *Bouchemdjene* vers le canal de *Bouchène*

Hauteur (m)	1.50
Longueur (m)	28.50
Largeur (m)	3.50

**I.3. Troisième point de régulation du canal de Bouchemdjene****Tableau 5** : Dimensions des *Tissambads* du déversoir du canal de *Bouchemdjene* vers le barrage de *Bouchène*

Le nombre de <i>Tissambads</i>	36.00
Hauteur d'un <i>Tissambad</i> (m)	0.60
Longueur des <i>Tissambads</i> (m)	12.20
Largeur des <i>Tissambads</i> (m)	2.20
Hauteur totale (m)	1.20
Longueur totale (m)	12.90
Largeur totale (m)	2.20

**Tableau 7** : Dimensions de *Tissambads* de partage de *Bouchemdjene* vers les jardins de la Palmeraie

Le nombre des <i>Tissambads</i>	38.00
Hauteur d'un <i>Tissambad</i> (m)	0.80
Longueur d'un <i>Tissambads</i> (m)	0.50
Largeur d'un <i>Tissambads</i> (m)	2.20
Hauteur totale (m)	1.10
Longueur totale (m)	20.30
Largeur totale (m)	2.20

## II. Canal de Bouchène

### II.1. Premier point (1<sup>`</sup>) de régulation du canal de Bouchène

**Tableau 8 :** *Tissambads* de régulation du canal de *Bouchène*

Hauteur d'un Tissambad (m)	1.00
Longueur des Tissambads (m)	20.00
Largeur d'un Tissambads (m)	1.00
Hauteur totale (m)	1.80
Longueur totale (m)	24.00
Largeur totale (m)	1.00

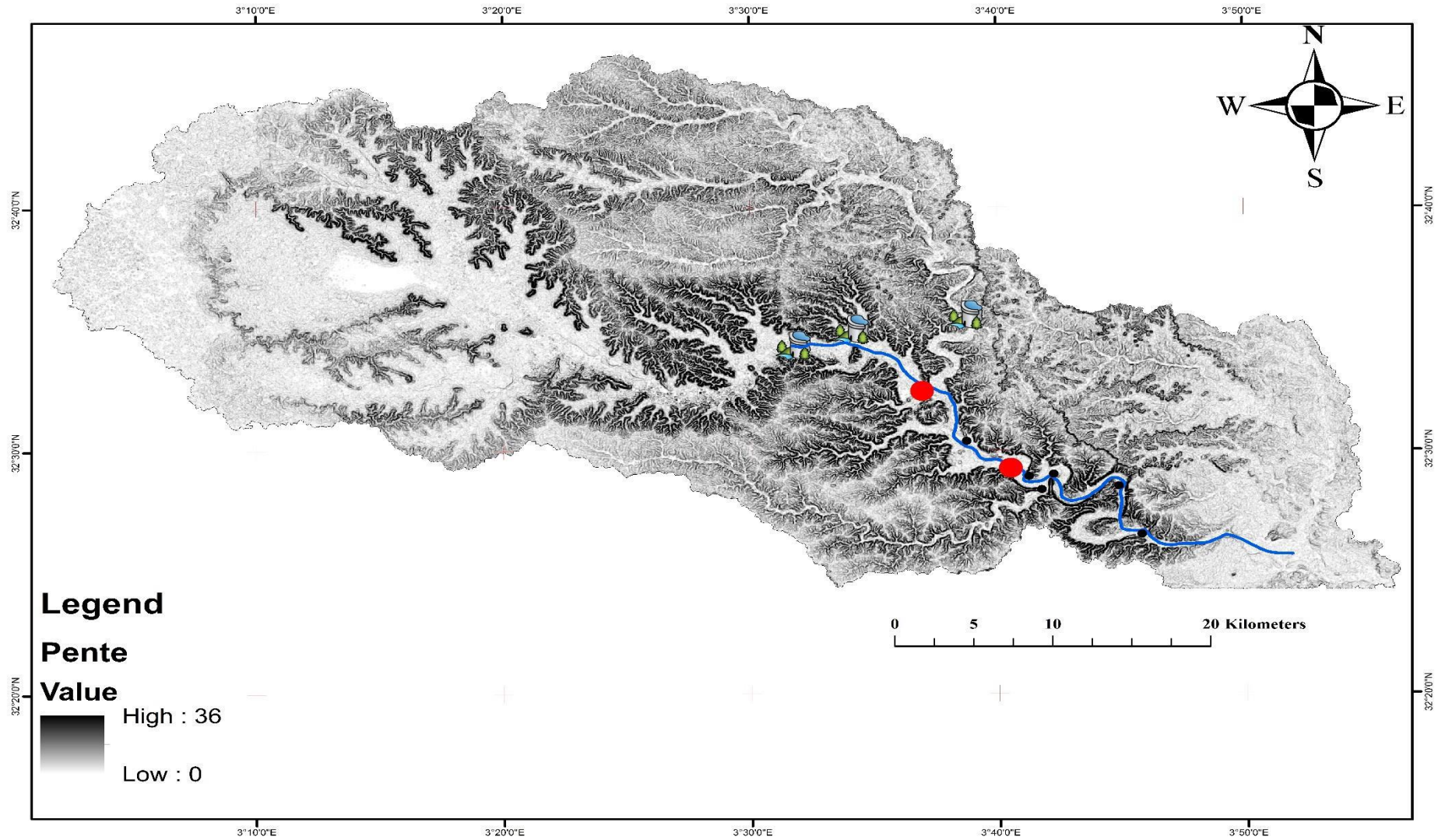
**Tableau 9 :** Dimensions du déversoir du canal de Bouchène vers oued M'Zab

Hauteur totale (m)	1.00
Longueur totale (m)	13.00
Largeur totale (m)	0.50

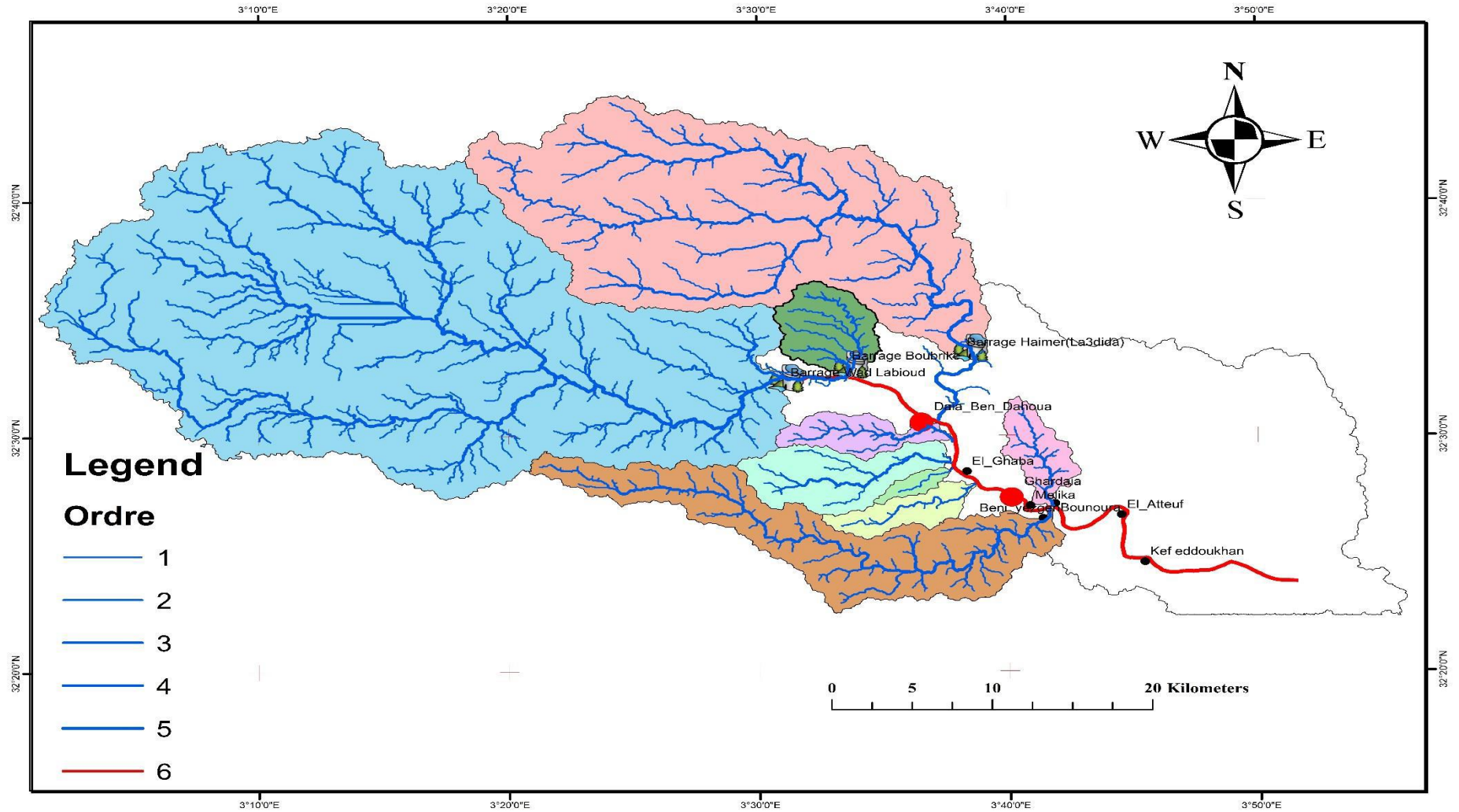
### II.2. Deuxième point (2<sup>`</sup>) de régulation du canal de Bouchène

**Tableau 10 :** Déversoir du canal de *Bouchène* vers oued M'Zab

Hauteur totale (m)	2.80
Longueur totale (m)	2.60
Largeur totale (m)	40.00

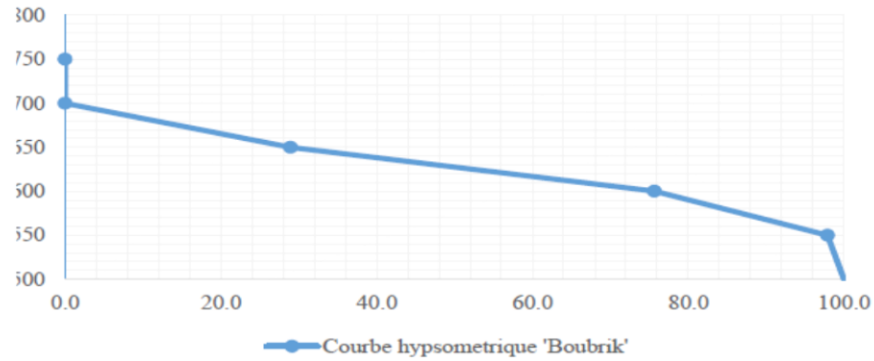


Carte des pentes du bassin versant de Oued M'Zab

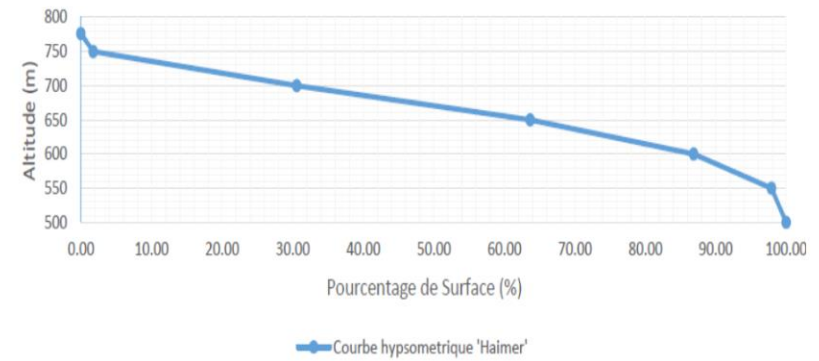


Carte de classification des réseaux hydrographique Oued M'Zab d'après Strahler

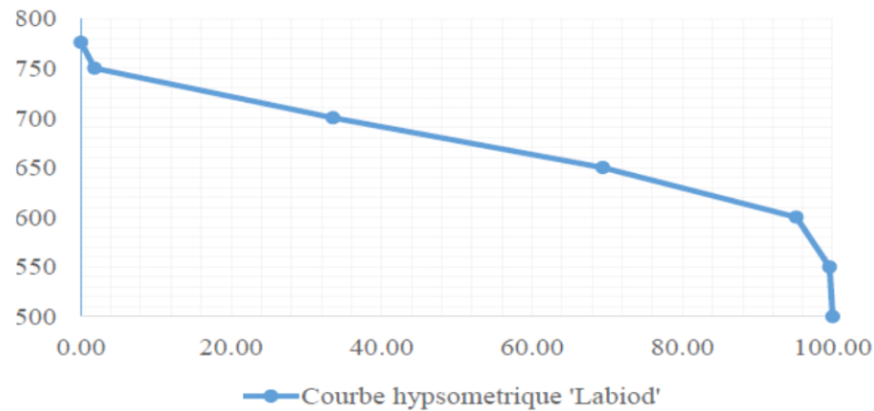
Courbe hypsometrique 'Boubrik'



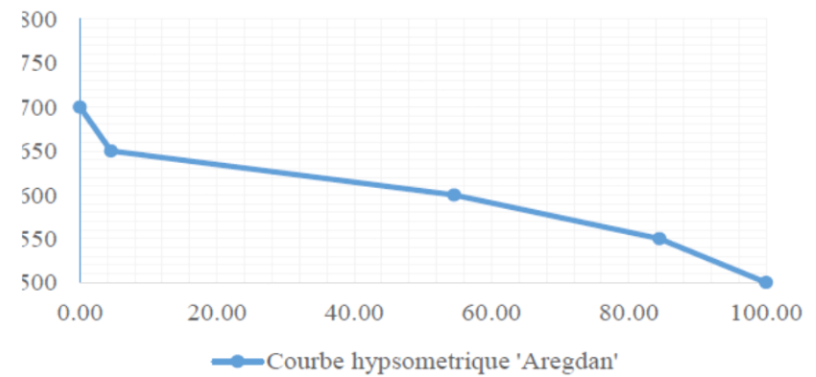
Courbe hypsometrique 'Haimer'



Courbe hypsometrique 'Labiod'

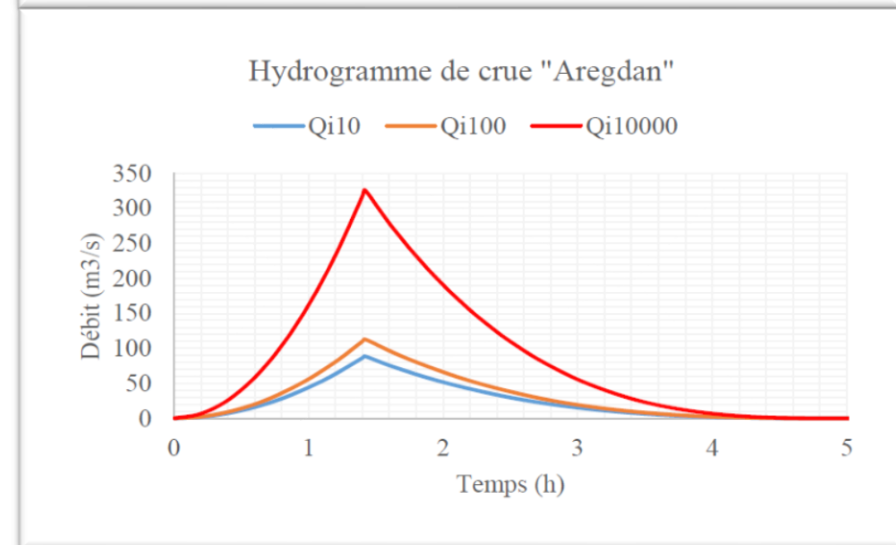
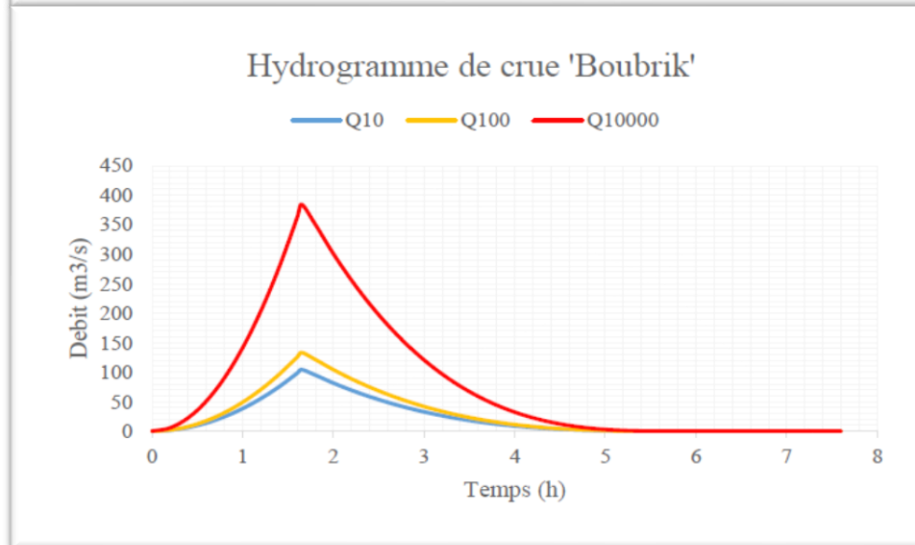
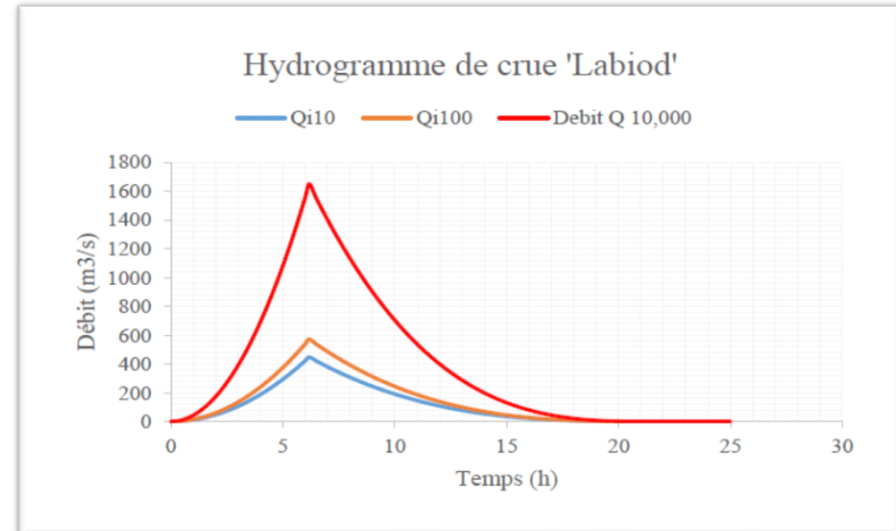
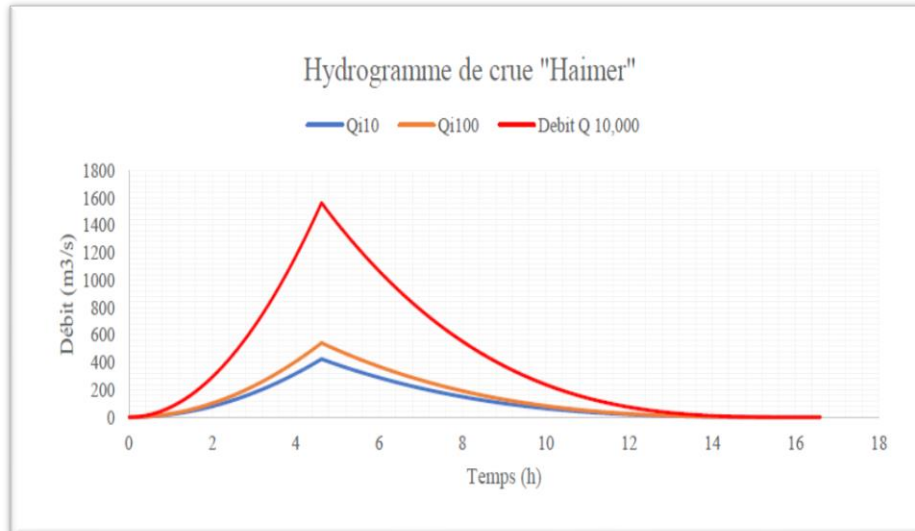


Courbe hypsometrique 'Aregdan'



Les courbes hypsométriques des sous bassins versant

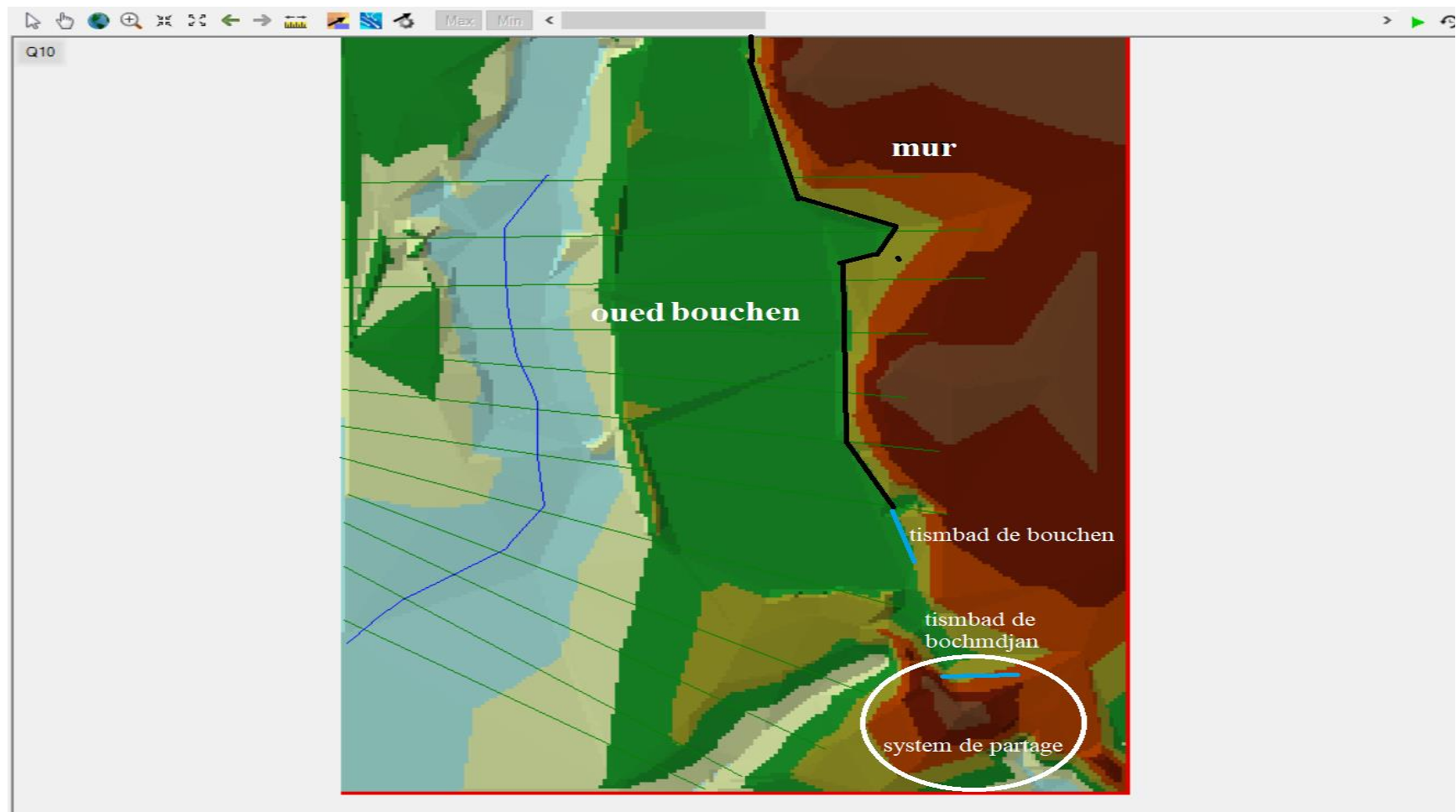




Les hydrogramme des sous bassins versant de Oued M'Za

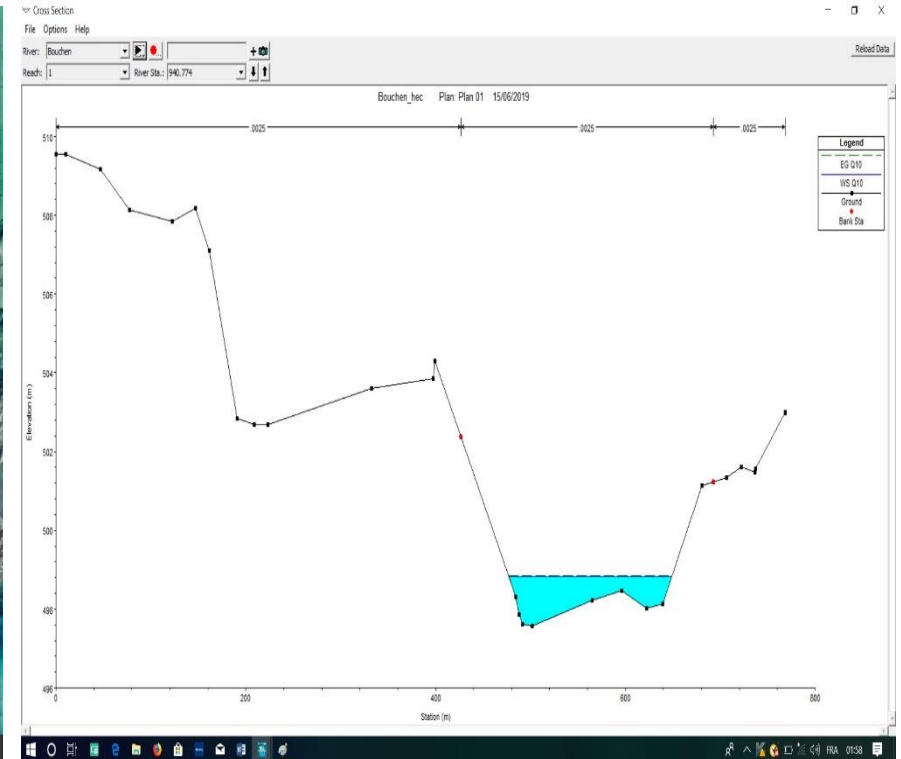
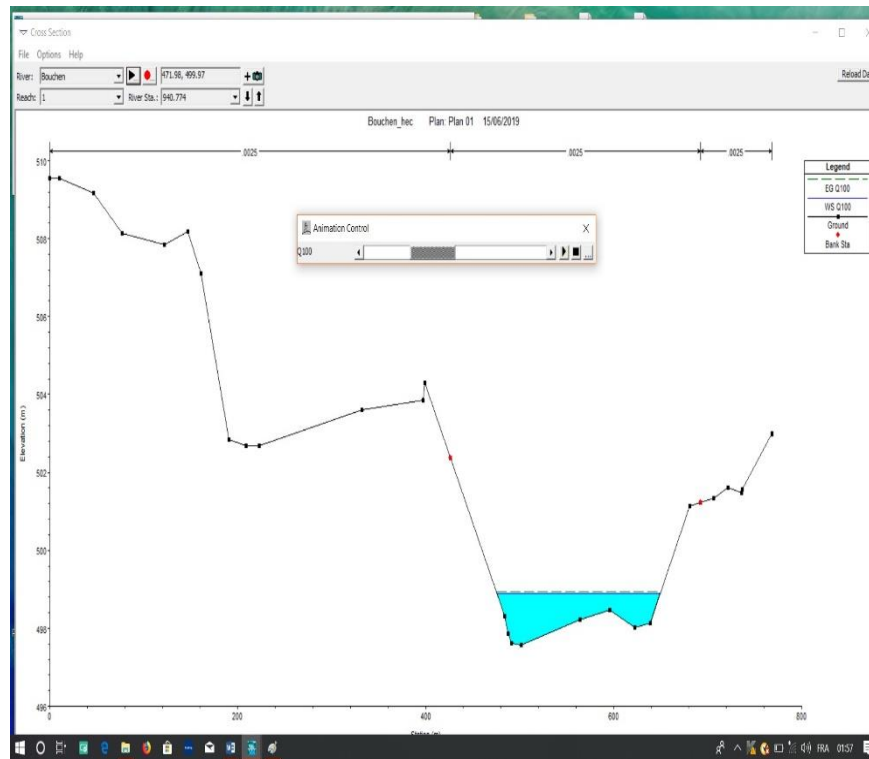
LES RESULTATS DE SIMULATION :

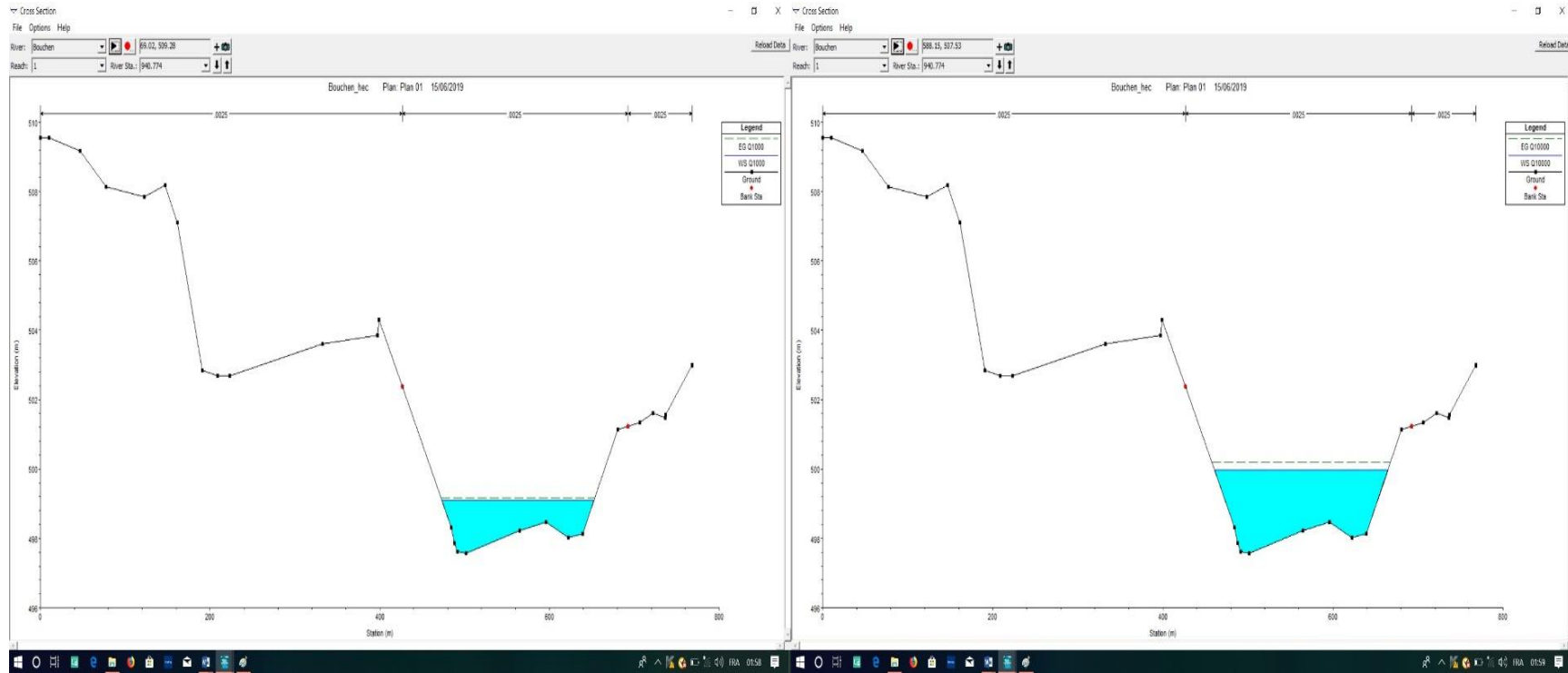
Visualisation des résultats :



Fichier géométriques de bouchen

## Cros Section :

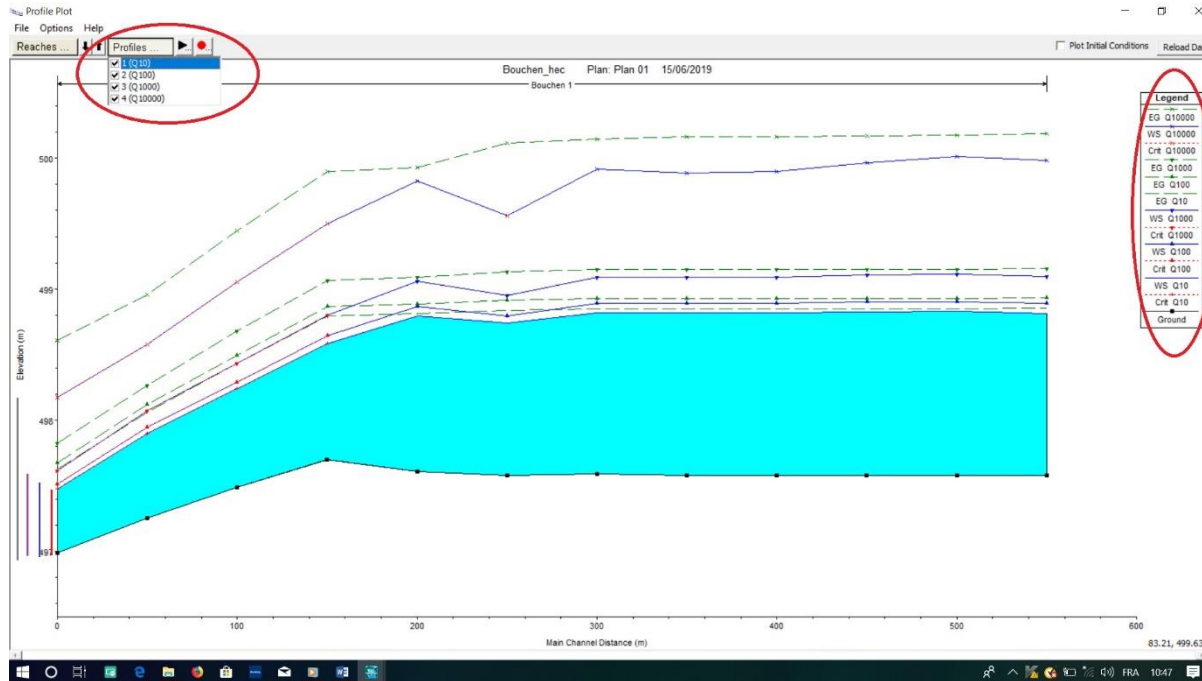




Représentation de l'inondation Q1000

Représentation de l'inondation Q10,000

## Les profiles Plot :



Profile Plot (Q10, 100, 1000, 10000)