



Département des Sciences de la Terre  
Licence Science et Techniques  
Eau et Environnement

## Mémoire de projet de fin d'étude

# **Etude hydrologique de la faisabilité d'un petit barrage : Exemple du 'Dar Lhamra' dans la région de Rhamna**

**Réalisé par :-GUENNOUN Sara et ELMOURTAJI Chaima**

Soutenu le **19/06/2018** devant la commission d'examen composée de :

- **D.CHAFIKI** (Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech)
- **B.IGMOULLAN**(la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech)
- **S.RACHIDI** (Agence de bassin hydraulique de Tensift, Marrakech)

**Année universitaire 2017-2018**

## *Dédicaces*

### *A mon Dieu*

*A Allah le clément et miséricordieux, pour la force qu'il nous donne  
et qu'il  
donne aux personnes qui nous ont aidées et nous soutenues  
Mon Dieu merci pour tout qui arrive dans notre vie.*

### *A nos chers parents*

*Qui ont toujours été près de nous pour nous écouter et nous soutenir  
et qui n'ont  
jamais épargné le moindre effort pour nous aider et nous encourage  
Vous qui avez fait de nous ce que nous sommes, Nous ne pouvons  
pas le reconnaître en  
quelques lignes. Que  
dieu tout puissant vous garde, vous bénisse, vous préserve et vous  
procure santé  
et longue vie.*

*A ceux qui croient en nous*

*A ceux qui nous aiment*

*A ceux qu'on aime*

*On vous dédie ce travail ... *

## **Remerciement**

*Nous tenons à remercier Dieu le tout puissant pour nous avoir donné la force et la patience pour mener à terme ce modeste travail.*

*Nous remercions nos familles qui nous ont toujours encouragé et soutenu durant toutes nos études.*

*Nous tenons à remercier vivement notre encadrant Mr. Driss CHAFIKI pour sa disponibilité, son conseil, ses critiques constructives ainsi que son grand soutien pour pouvoir mener à terme ce travail.*

*Ensuite, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers notre encadrant, Mr. Said RACHIDI, ingénieur à l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift, pour son aide précieuse et sa disponibilité sans faille.*

*Nous tenons aussi à remercier Mr. Mehdi SAIDI, pour son aideses orientations et ses précieux conseils.*

*Nous remercions les membres de jury qui nous font l'honneur de juger notre travail.*

*Notre sincère gratitude va vers tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour faire réussir ce travail.*

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>7</b>
<b>CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE BASSIN VERSANT DU SITE DE BARRAGE DAR LHAMRA..</b>	<b>8</b>
I. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET CADRE ADMINISTRATIVE.....	9
II. RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	10
III. CONTEXTE CLIMATIQUE.....	12
1- Pluviométrie.....	12
2- Température .....	13
IV. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE.....	14
V. CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	14
VI. RELIEF.....	16
1- Carte hypsométrique.....	16
2- Courbe hypsométrique.....	18
3- Altitudes caractéristiques du bassin versant.....	19
4- Pente caractéristiques.....	20
<b>CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT .....</b>	<b>24</b>
I. Superficie.....	25
II. Périmètre.....	25
III. longueur du cours d'eau principal.....	25
IV. Forme.....	25
1 - Indice de Gravelius.....	25
2- Indice de Horton.....	26
V. Rectangle équivalent .....	27
VI. Récapitulatif Des Caractéristiques Physiques.....	28
<b>CHAPITRE 3 : CALCUL DES APPORTS.....</b>	<b>29</b>
I- ETUDE DES APPORTS LIQUIDES .....	30
1- Précipitations annuelles moyennes : (1970-2018).....	30
2- Caractéristiques statistiques de la série 1970-2018.....	31
II- CAPACITE DE STOCKAGE DE LA RETENUE D'EAU.....	31
<b>CHAPITRE 4 : ETUDE DES CRUES.....</b>	<b>35</b>
1- Démarche méthodologique.....	36
2- Les résultats.....	45
<b>CHAPITRE 5 : TRANSPORT SOLIDE ET ENVASEMENT .....</b>	<b>48</b>
I. ENVASEMENT : DEFINITION ET GENERALITES .....	49
II. CALCULE D'ENVASEMENT.....	51
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>52</b>

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Carte de situation du site du barrage Dar Lhamra .....	9
<b>Figure 2:</b> délimitation et réseau hydrographique du bassin versant du site de barrage Dar Lhamra (Global Mapper) .....	10
<b>Figure 3:</b> délimitation et réseau hydrographique du bassin versant du site de barrage Dar Lhamra.....	11
<b>Figure 4:</b> Précipitations moyennes mensuelles de Marrakech.....	12
<b>Figure 5:</b> Variation des températures moyennes mensuelles à Marrakech .....	13
<b>Figure 6:</b> Carte géologique des jbiel centrale et la bahira au 1/100 000 .....	15
<b>Figure 7:</b> Photo prise de la géologie du bassin versant Dar Lhamra.....	16
<b>Figure 8:</b> Carte hypsométrique du bassin versant du site de barrage Dar Lhamra .....	17
<b>Figure 9:</b> Courbe hypsométrique du bassin Dar Lhamra à Rhamna. ....	18
<b>Figure 10:</b> Carte des pentes (en degré) du bassin versant du site de barrage Dar Lhamra.....	22
<b>Figure 11:</b> Exemples d'indice de compacité (Musy, 2001) .....	26
<b>Figure 12:</b> Précipitations moyennes annuelles de Marrakech .....	30
<b>Figure 13:</b> Les trois retenues du bassin versant Dar Lhamra obtenues via global mapper .....	32
<b>Figure 14:</b> Les trois retenues en 3D du bassin versant Dar Lhamra obtenues via global mapper .....	32
<b>Figure 15:</b> Courbe Hauteur Surface Volume du bassin de la retenue. ....	34
<b>Figure 16:</b> Comparaison entre les trois formules de calcul des débits de pointes. ....	47
<b>Figure 17:</b> Envasement annuel en Afrique du nord.....	49
<b>Figure 18:</b> Formation de la vase au fond du barrage.....	50

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1:</b> Cadre administratif .....	9
<b>Tableau 2:</b> Pluviométrie moyenne mensuelle au niveau de Marrakech. (1970-2018) .....	12
<b>Tableau 3:</b> Températures moyennes mensuelles à Marrakech. (1960-2005) .....	13
<b>Tableau 4:</b> Répartition hypsométrique du bassin Dar Lhamra à Rhamna. ....	18
<b>Tableau 5:</b> Classification ORSTOM de la nature du relief. ....	21
<b>Tableau 6:</b> Récapitulatif des caractéristiques physiques du bassin versant de Dar Lhamra ...	28
<b>Tableau 7:</b> Calcul des hauteurs, des surfaces et des volumes (HSV).....	33
<b>Tableau 8:</b> détermination des coefficients K1 et K2.....	38
<b>Tableau 9:</b> Paramètres de Montana .....	40
<b>Tableau 10:</b> Détermination du coefficient de ruissellement.....	41
<b>Tableau 11:</b> Débits de pointe au droit de site Dar Lhamra .....	45

<b>Tableau 12:</b> Récapitulatif du temps de concentration du bassin versant de Dar Lhamra selon les différentes formules. ....	45
<b>Tableau 13:</b> Intensités (mm/h) de précipitation du site Dar Lhamra.....	46
<b>Tableau 14:</b> Débits de pointe par méthode rationnelle .....	46
<b>Tableau 15:</b> Les débits de pointes du bassin étudié calculés par différents méthodes .....	46
<b>Tableau 16:</b> Envasement et dégradation spécifique du site du barrage Dar Lhamra .....	51
<b>Tableau 17:</b> Série des pluies moyennes mensuelles et annuelles (1970/2018).....	54
<b>Tableau 18:</b> Série des températures moyennes mensuelles et annuelles (1960-2005) .....	55
<b>Tableau 19:</b> tableau de calcul des Hauteurs, des Surfaces et des Volumes (HSV) .....	56

## LISTE DES ABREVIATIONS

**BV** : Bassin Versant  
**DSV**: Dégradation Spécifique Volumique  
**SBV** : Surface du Bassin Versant  
**SW** :Sud-West  
**MNT** : Modèle Numérique de Terrain  
**SIG** : Système d'Informations Géographique

## MATERIELS ET OUTILS DE TRAVAIL

**MNT** : Il s'agit d'une représentation numérique du relief donc des valeurs d'altitude d'une zone donnée. On peut en dériver des indications sur les valeurs de pentes et d'exposition et sur les formes de la surface topographique d'une zone géographique donnée. (<https://www.emse.fr/tice/uved/SIG/Glossaire/co/MNT.html> ).

**Logiciel Global Mapper** : C'est un puissant outil de visualisation et de traitement cartographique capable d'afficher les images raster, les données d'altitude et les données vectorielles les plus répandues. Il convertit, édite, imprime, acquiert des données GPS, et vous permet d'utiliser des fonctionnalités SIG sur vos jeux de données de manière peu onéreuse et simple. (<http://www.geomatique.fr/>)

**Logiciel ArcGIS** : un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques (<http://resources.arcgis.com>)

## INTRODUCTION



Au Maroc, la rareté de l'eau et la sécheresse préoccupent l'esprit des campagnards. Afin de faire face à ces soucis, l'hydrologie intervient en mettant en évidence des solutions dont l'objectif est la lutte contre ces problèmes.

La région de Rhamna, Précisément Dar Lhamra, est un exemple frappant de la punerie de l'eau, puisque cette dernière est le facteur important qui pousse la population à s'installer et vivre aisément.

Cette région a connu une décroissance démographique à cause de l'exode rurale due aux problèmes cités ci-dessus, une diminution de 12 426 habitants en 2004 à 9 181 habitants en 2014.

Par ailleurs, les eaux des puits constituent la seule ressource en eau dans Douar Dar Lhamra. L'une des solutions exemplaires pour faire face au manque d'eau est de construire un barrage susceptible de fournir l'auto-suffisance en cette matière vitale d'une part, et de créer des offres d'emploi d'autre part, afin d'encourager la population à développer leur région.

Un barrage serait un vrai tremplin pour favoriser une agriculture prospère qui pourrait progénérer l'élevage d'animaux productifs qui pourraient enrichir la région en produits laitiers entre autre.

# **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE BASSIN VERSANT DU SITE DE BARRAGE DAR LHAMRA**

## I. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET CADRE ADMINISTRATIF

Le site du barrage Dar Lhamra, objet de cette étude, est situé dans la commune Jbilet, Province Rhamna (Tabl. 1, Fig. 1). L'axe retenu pour le barrage se situe à 5 Km à l'Ouest de Sidi Bou Othmane et à environ 34 Km de Marrakech.

Dans le cadre administratif, ce site fait partie de la région Marrakech-Safi.

**Tableau 1: Cadre administratif**

Région économique	Province	Commune	Barrage
Marrakech-Safi	Rhamna	Jbilet	Dar Lhamra

Les coordonnées Lambert de ce site sur la carte de Sidi Bou Othmane au 1/50.000<sup>ème</sup> sont comme suites :

X = 254749 m      Y= 147089 m



**Figure 1: Carte de situation du site du barrage Dar Lhamra**

L'accès à ce site à partir de Sidi Bou Othmane se fait en empruntant :

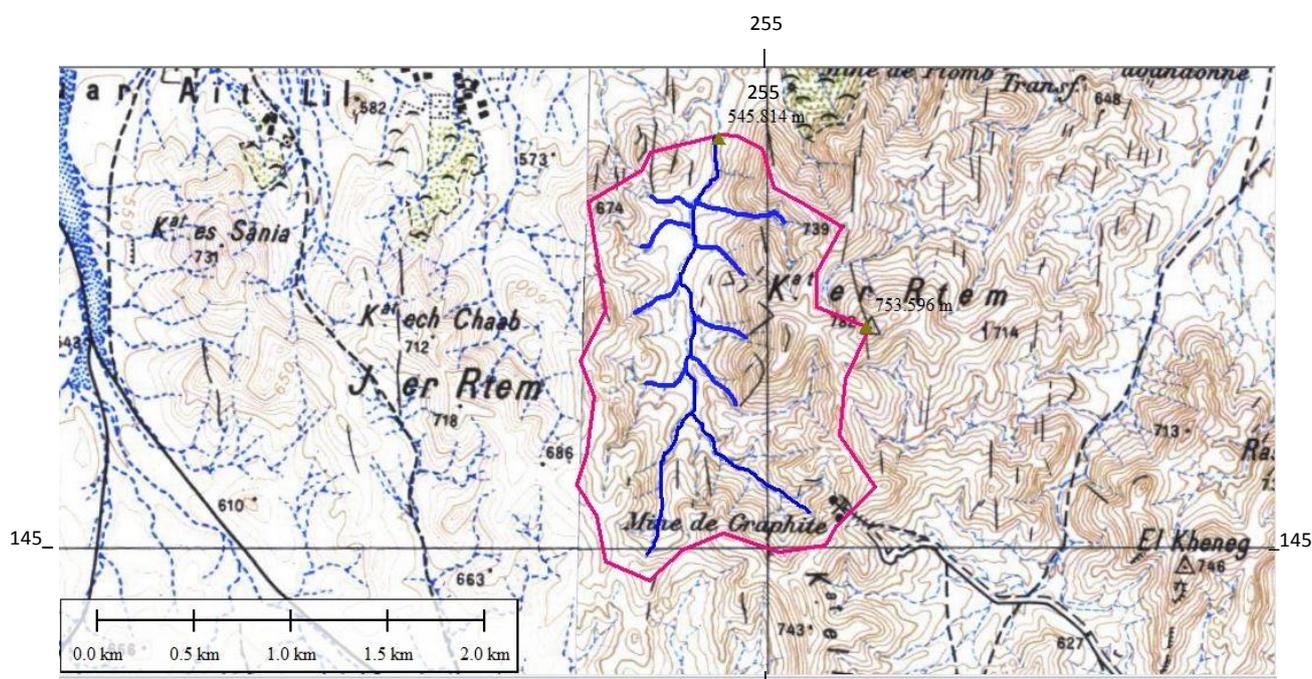
- La piste P2002 à l'ouest de Sidi Bou Othmane sur 5 Km ;
- Puis à gauche sur moins d'un Kilomètre jusqu'à le site.

## II. RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Pour la délimitation du bassin versant du site de barrage Dar Lhamra, on s'est basée sur deux sources d'informations topographiques : Les cartes topographiques au 1/50 000 de Sidi Bou Othmane et JebelSarhlef et le modèle numérique de terrain (MNT) obtenu via des images stéréographiques.

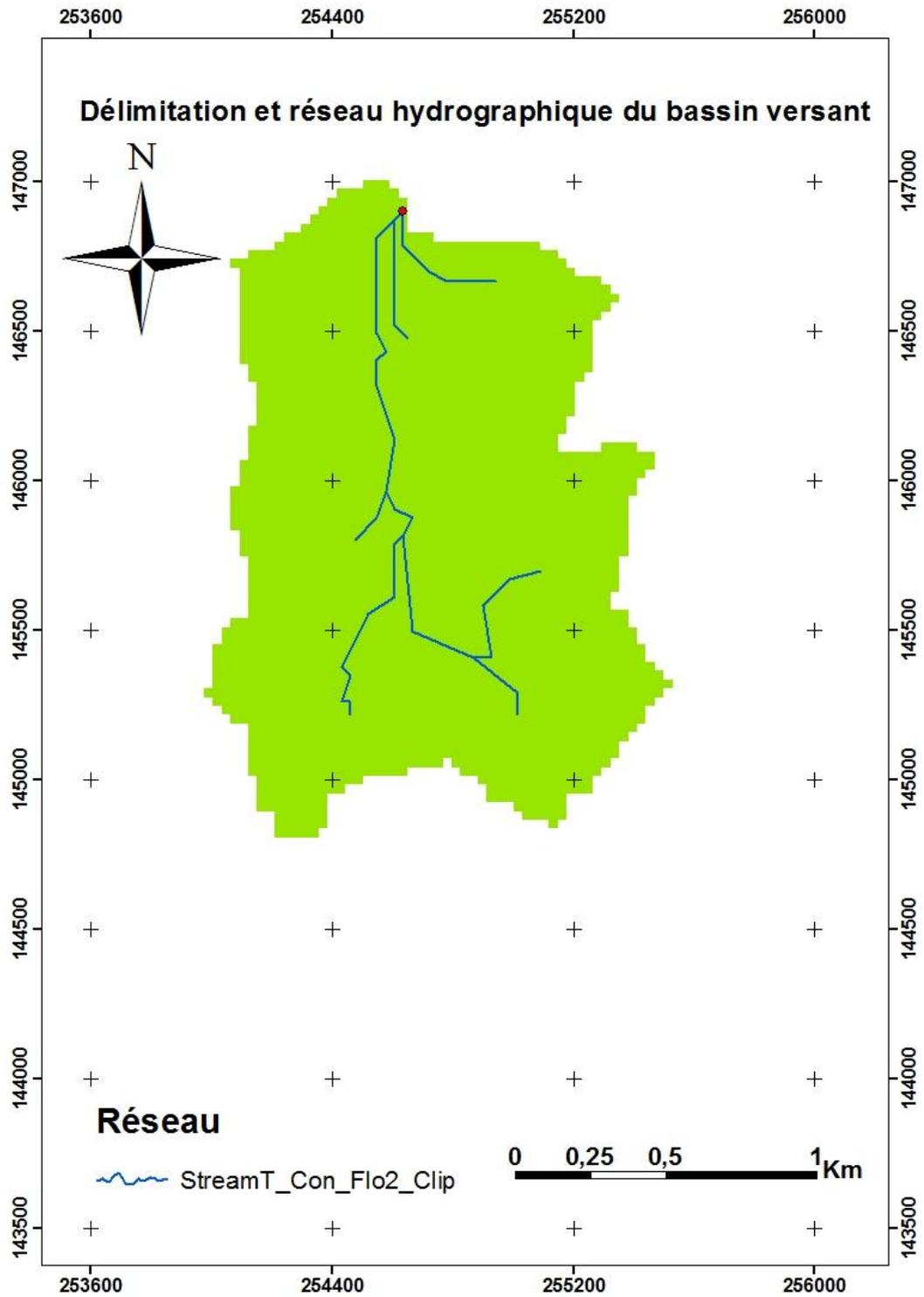
Les données de ces deux sources ont été combinées sur un Système d'Informations Géographique (SIG) pour le calcul des caractéristiques du bassin.

La figure 2 ci-dessous présente le réseau hydrographique correspondant au BV du site du barrage Dar Lhamra.



**Figure 2:** délimitation et réseau hydrographique du bassin versant du site de barrage Dar Lhamra (Global Mapper)

Afin de pouvoir décrire avec précision le bassin versant, nous avons eu recours à la modélisation de l'altitude par le biais d'un modèle numérique de terrain communément appelé MNT de Sidi Bou Othmane et JbelSarhlef(N31W009,N31W008) (Fig. 3).



**Figure 3:** délimitation et réseau hydrographique du bassin versant du site de barrage Dar Lhamra (ArcGIS)

### III. CONTEXTE CLIMATIQUE

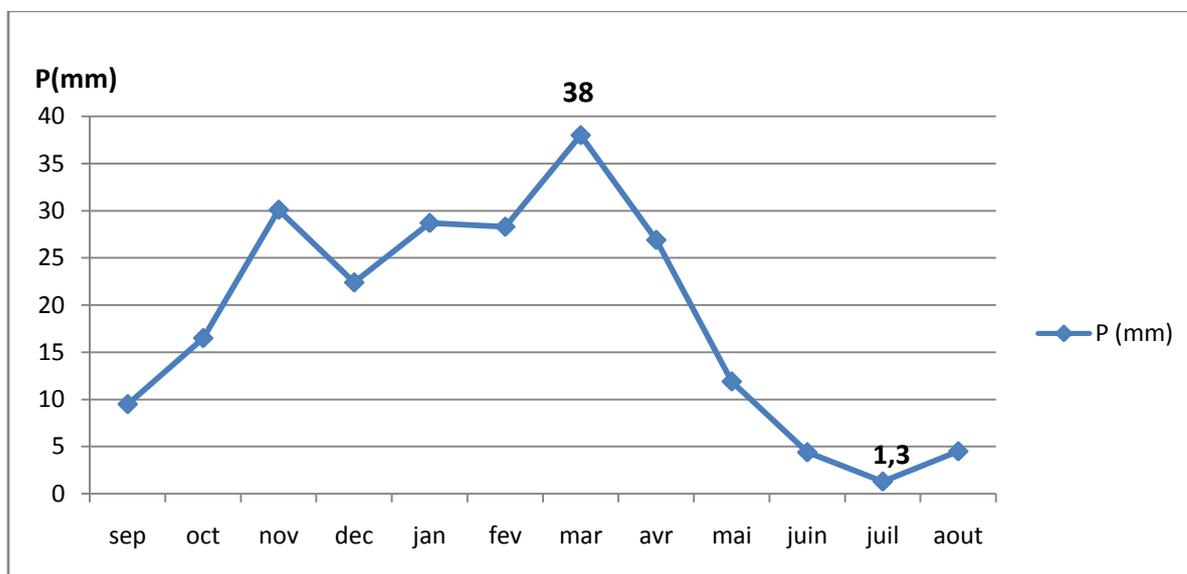
#### 1- La pluviométrie

En absence d'une station hydraulique à Sidi Bou Othmane, nous avons utilisé les données pluviométriques de Marrakech.

Les moyennes normales mensuelles au niveau de Marrakech sont représentées dans le tableau 2 et la figure 4 comme suit :

**Tableau 2:** Pluviométrie moyenne mensuelle au niveau de Marrakech. (1970-2018)

Mois	sep	Oct	nov	dec	jan	Fev	mar	avr	mai	juin	juil	aout	année
P(mm)	9.5	16.5	30.1	22.4	28.7	28.3	38.0	26.9	11.9	4.4	1.3	4.5	250,9



**Figure 4:** Précipitations moyennes mensuelles de Marrakech

La moyenne mensuelle des précipitations est de **250,9mm**.

D'après la courbe, on distingue deux périodes :

- Une période humide qui s'étend depuis le mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril avec des hauteurs supérieures à 25 mm et ne dépassent pas les 40 mm ;
- Une période sèche depuis Mai jusqu'au le mois d'Octobre avec des hauteurs inférieures à 20 mm.

Le mois le plus humide est le mois de Mars avec une hauteur de **38mm**.

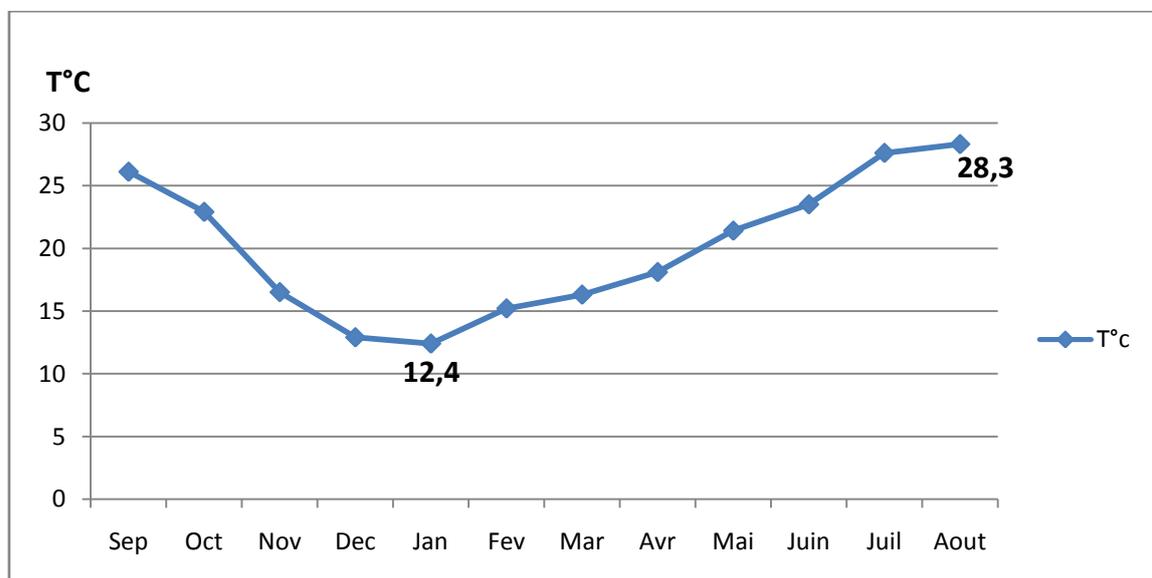
Le mois le moins arrosé est le mois d'Aout avec une hauteur inférieur à **1,3mm**.

## 2- Température

Les températures moyennes normales mensuelles à Marrakech s'établissent comme suit (Tabl. 3 et Fig. 5):

**Tableau 3:** Températures moyennes mensuelles à Marrakech. (1960-2005)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	année
T°C	26	22,9	17	12,9	12,4	15,2	16,3	18	21,4	24	28	28,3	20,1



**Figure 5:** Variation des températures moyennes mensuelles à Marrakech

Les températures moyennes mensuelles varient entre 12,4° et 28,3°. Les mois les plus chauds sont généralement ceux de juillet et Août, tandis que le mois le plus froid est celui de janvier.

#### IV - CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

La province des Rhamnas montre deux unités géomorphologiques qui s'opposent:

- Le massif des Jbilet ;
- La plaine de la bahira centrale.

#### V- CONTEXTE GEOLOGIQUE

##### 1. Le massif des Jbilet

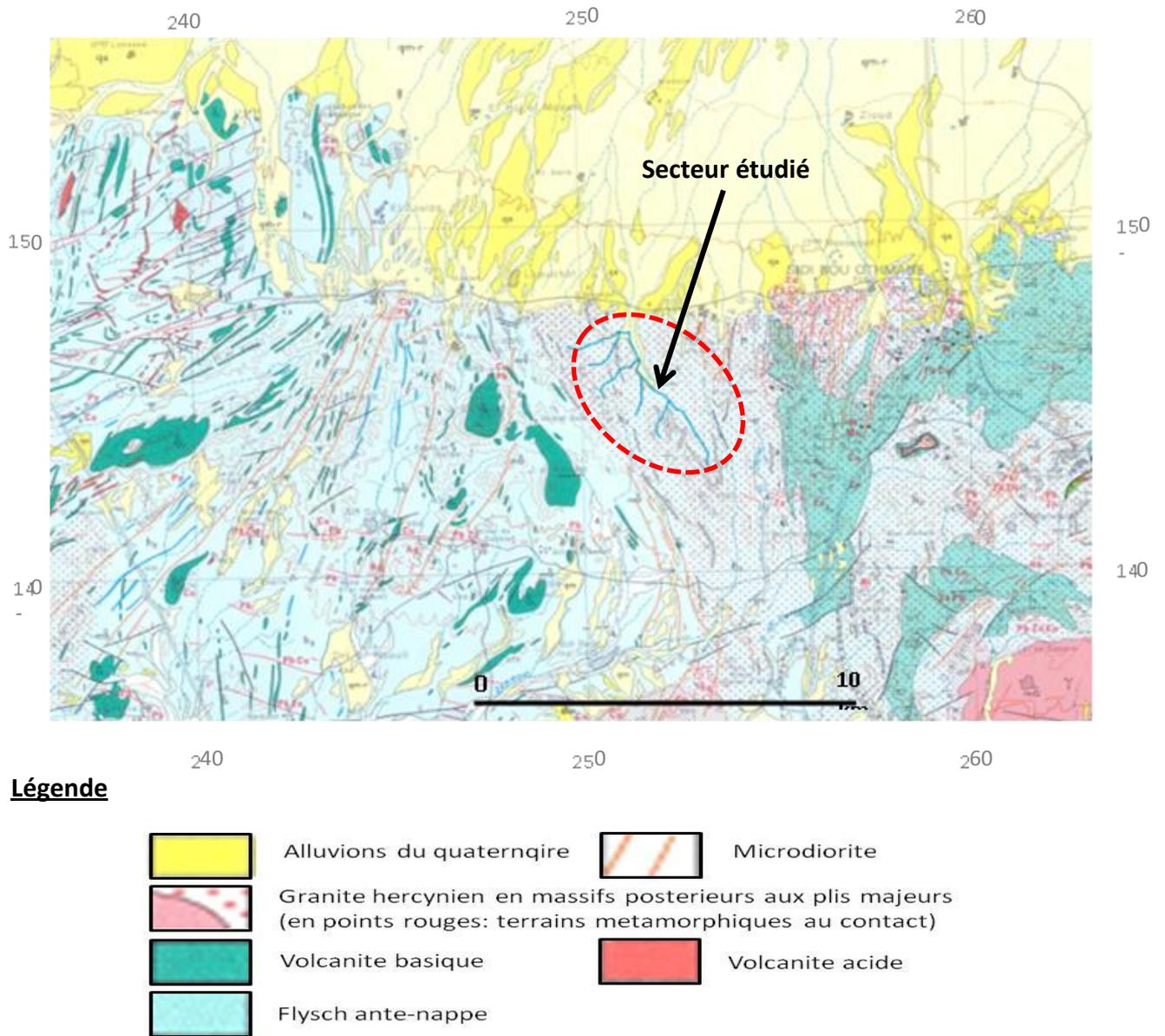
Le massif des Jebilet, situé à quelques km au Nord de Marrakech, est formé de plaines rocheuses et de collines à relief modéré (400 à 1000m). Les Jebilet sont constituées de roches paléozoïques et forment avec les massifs anciens du Haut Atlas de Marrakech et des Guemassa au Sud, des Rehamna et du Maroc Central au nord, le domaine Ouest-Mésétien. (Huvelin, 1977).

##### 2. La plaine de la Bahira centrale

La plaine de Bahira centrale, caractérisée par un climat aride à semi-aride et un réseau hydrographique très limité, est une large dépression limitée par les Jbilet au Sud, les Rhamnas au Nord, l'oued Tassaout à l'Est et par la route principale reliant Marrakech à ElJadida à l'Ouest. (Omdi F., 2013)

Le centre de la plaine est matérialisé par un remplissage argilo-marneux du Plio-Quaternaire, avec une épaisseur 100m. Sur ses bordures, affleurent de calcaires de l'Eocène sur des épaisseurs de l'ordre de 40m.

Les figures 6 et 7 ci-dessous est une carte géologique montrant la lithologie du bassin versant considéré dans ce présent travail.



**Figure 6:** Carte géologique des jbillets centrale et la Bahira au 1/100 000



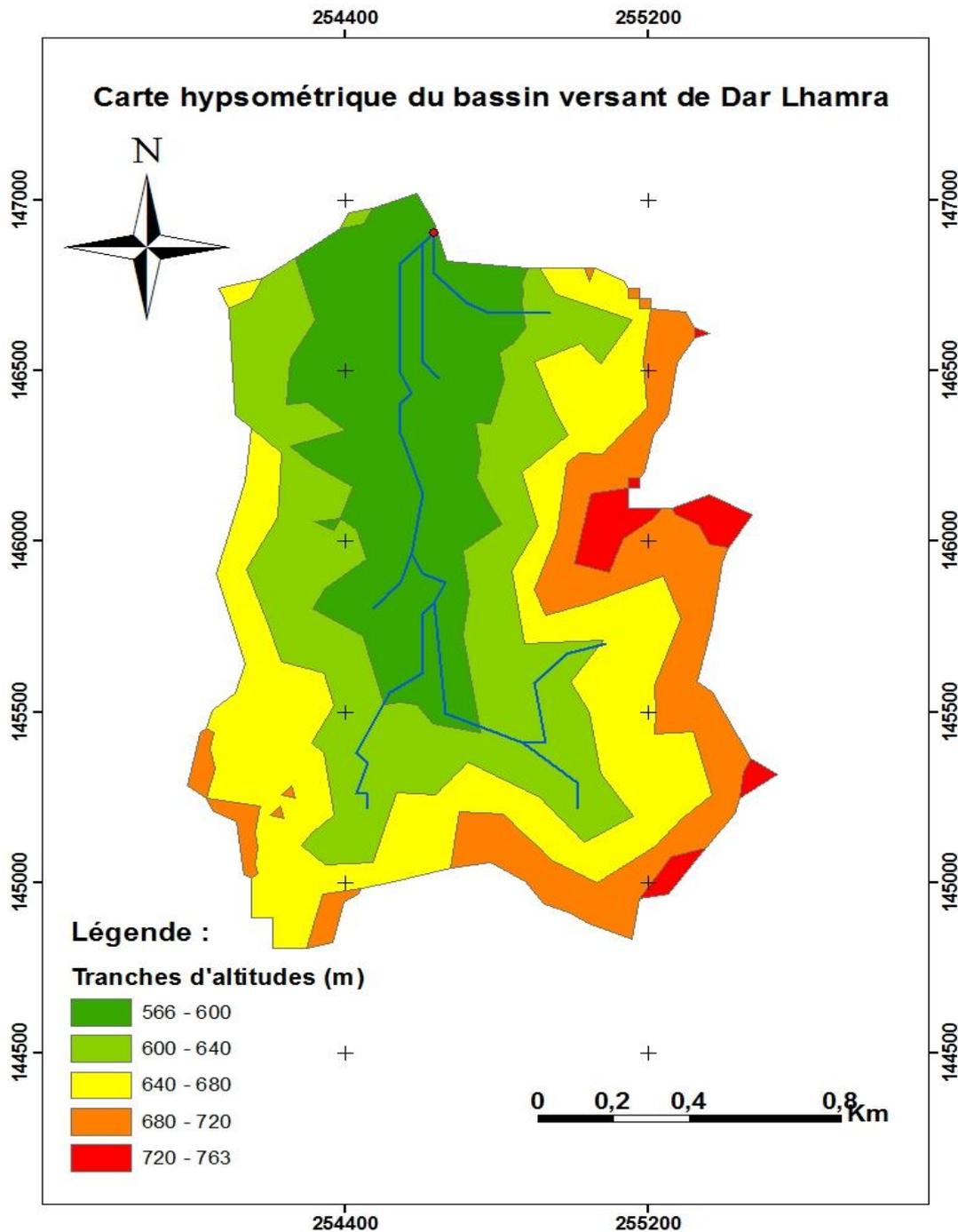
*Figure 7: Photo montrant l'aspect d'un affleurement géologique du bassin versant Dar Lhamra*

## **VI- RELIEF**

### **1- Carte hypsométrique**

On étudie la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude en mesurant les surfaces unitaires correspondantes aux tranches d'altitudes et en leur attribuant les pourcentages de la surface totale.

La figure 8 et le tableau 4 ci-dessous représentent la répartition des superficies du bassin versant de Dar Lhamra selon 5 tranches d'altitudes. L'altitude maximale est de 763m (amont du bassin versant), l'altitude minimale est de 566m (aval du bassin versant) alors que l'altitude moyenne est de 636m.

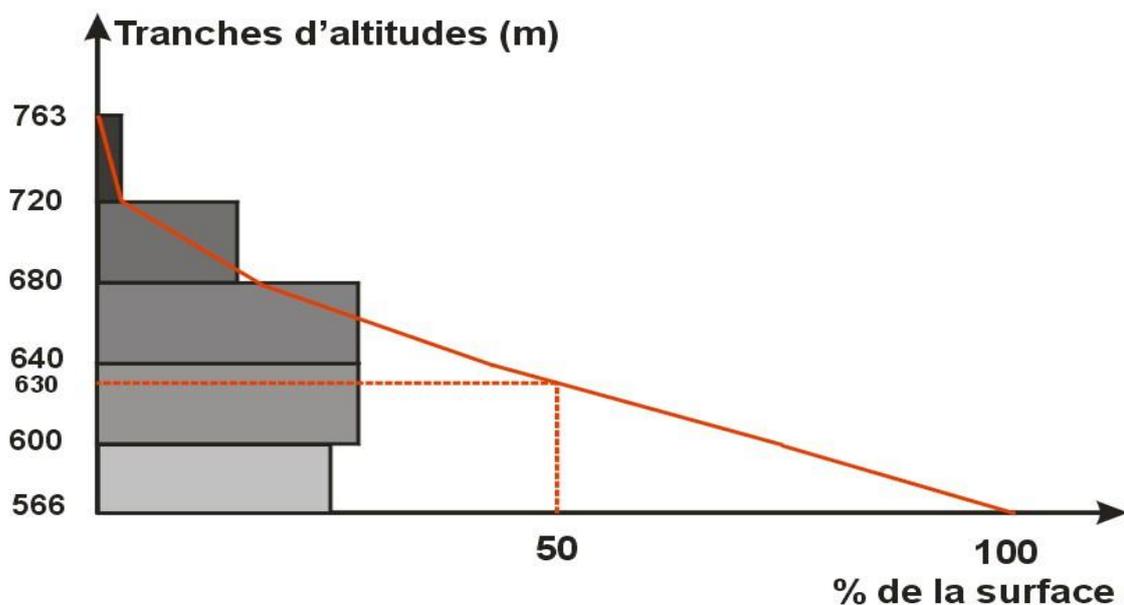


**Figure 8:** Carte hypsométrique du bassin versant du site de barrage Dar Lhamra

**Tableau 4:** Répartition hypsométrique du bassin Dar Lhamra à Rhamna.

Intervalle des altitudes	Surface (m <sup>2</sup> )	Surface (%)	Surface cumulée (%)	Élévation
566-600	596855,8	25,31%	25,31%	720
600-640	671801,8	28,49%	53,80%	680
640-680	670598	28,44%	82,24%	640
680-720	356751,9	15,13%	97,37%	600
720-763	62106,7	2,63%	100,00%	566

## 2-Courbe hypsométrique



**Figure 9:** Courbe hypsométrique du bassin Dar Lhamra à Rhamna.

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse le pourcentage de surface du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée (Fig. 9).

### 3-Altitudes caractéristiques du bassin versant

La répartition altitudinale du bassin versant est comme suit :

- L'altitude maximale  $H_{max}$  ;
- L'altitude minimale  $H_{min}$  ;
- L'altitude moyenne du bassin  $H_{moy}$

➤ Les altitudes maximale et minimale

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température, la précipitation et le couvert neigeux. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente.

➤ L'altitude moyenne

Elle est calculée en pondérant la hauteur moyenne d'une tranche d'altitude par la surface partielle de cette tranche selon la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{h_{i-1} + h_i}{2} \right) \cdot S_i \right]$$

**Formule 5** : Altitude moyenne d'un bassin versant

Avec :

- **S**: Surface totale du bassin versant en  $Km^2$  ;
- **hi-1** : limite inférieure d'une la tranche d'altitude en m;
- **Hi** : limite supérieur de cette tranche d'altitude en m;
- **Si** : surface partielle de cette tranche en  $Km^2$ .

L'altitude moyenne de notre bassin versant est de **635,8 m**

#### **4-Pente caractéristiques**

On distingue pour les pentes celles pour les bassins et celles des oueds.

##### **4-1- Pentes de l'oued**

La pente moyenne du cours d'eau  $I_{moy}$  en m/m est définie par :

$$I_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

**Formule 6** : Pente moyenne du cours d'eau

Avec :

- **Hmax** : Altitude maximale du bassin versant en m.
- **Hmin** : Altitude minimale du bassin versant en m.
- **L** : Longueur du cours d'eau principal.

##### **4-2- Pente du bassin versant**

Les principales pentes qu'on calcule pour les bassins versant sont les suivantes :

###### ➤ **indice de pente de Roche :**

L'indice de pente de Roche  $I_p$  est calculé à partir du rectangle équivalent. C'est un indice adimensionnel qui rend compte de l'influence de la pente du bassin sur son régime hydrologique. Il est défini par :

$$I_p = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n h_i \sqrt{\frac{h_i - h_{i-1}}{L_i}}$$

**Formule 7** : Indice de pente de Roche

Avec :

**L** : Longueur du rectangle équivalent en m.

**$h_i - h_{i-1}$**  : Dénivelé de la tranche des altitudes  $h_i$  à  $h_{i-1}$  en m.

**$L_i$**  : Longueur sur le rectangle équivalent de la surface partielle correspondante à la tranche d'altitude  $h_i - h_{i-1}$  en m.

➤ **Indice De Pente Globale**

L'indice de pente globale  $I_g$  qui est exprimé en m/m ou en pourcent, est défini par :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

**Formule 8** : Indice de pente globale

Avec :

- $H_{5\%}$  : Altitude au-dessus de laquelle se situe 5 % de la superficie du bassin en m.
- $H_{95\%}$  : Altitude au-dessus de laquelle se situe 95 % de la superficie du bassin versant en m.
- $L$  : longueur du rectangle équivalent.

*Ces indices dénotent d'un relief montagneux.*

La pente globale de notre BV est de **26,18%**, obtenue via ArcGIS et non pas avec les formules ci-dessus.

➤ **Dénivelée**

La dénivelée spécifique  $D$  en m, est la différence d'altitudes entre deux points de la surface, et est définie par :

$$D = H_{\max} - H_{\min}$$

**Formule 9** : Dénivelée d'un bassin versant

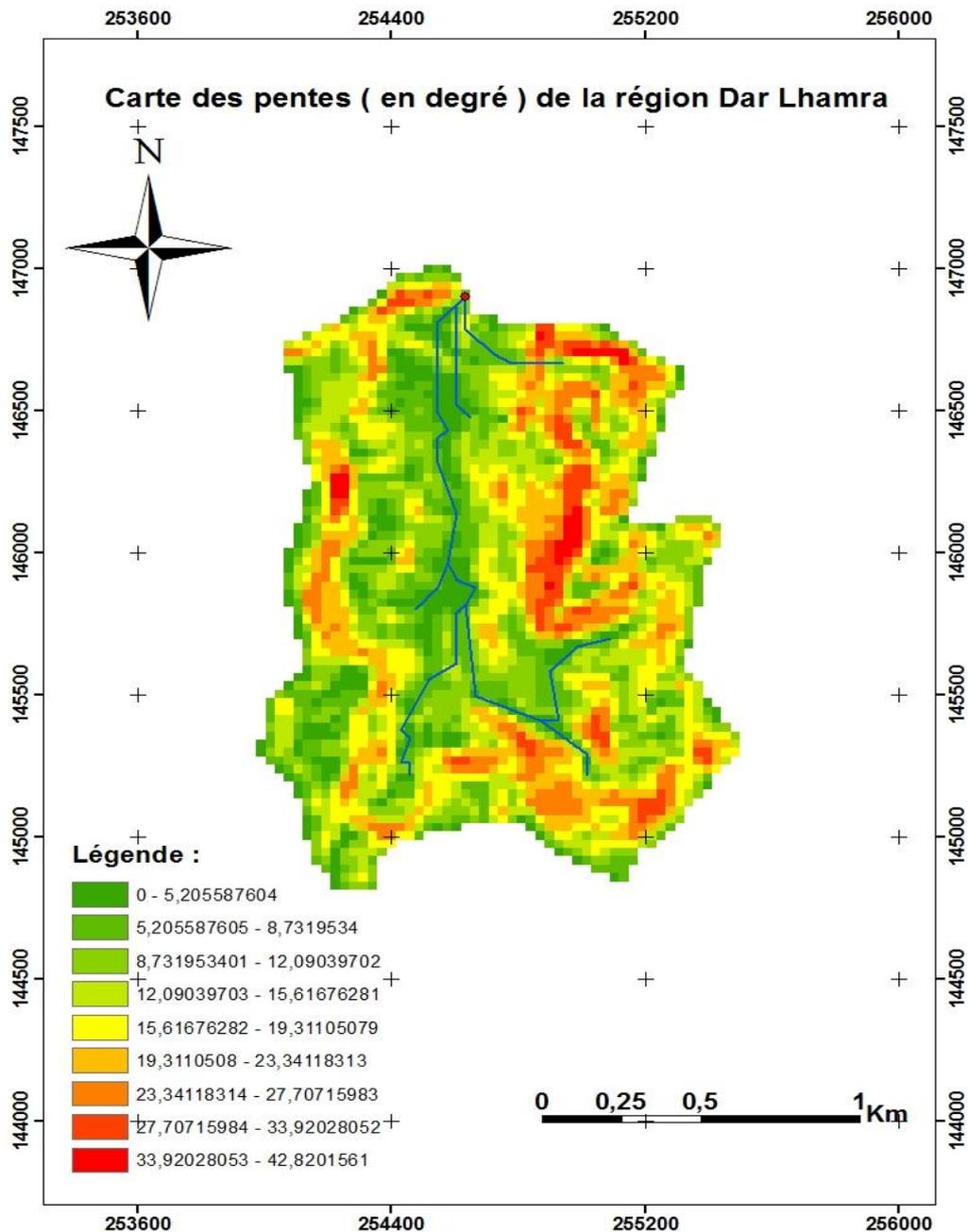
La classification suivante de l'ORSTOM (Office Régional Scientifique et Technique d'Outre-Mer : office français), permet de se prononcer sur la nature du relief des bassins versants (Tabl. 5).

**Tableau 5**: Classification ORSTOM de la nature du relief.

CLASSE	NATURE DU RELIEF	VALEUR DE Ds
R1	Relief très faible	Moins de 10 m
R2	Relief faible	10 à 25 m
R3	Relief assez faible	25 à 50 m
R4	Relief modéré	50 à 100 m
R5	Relief assez fort	100 à 250 m
R6	Relief fort	250 à 500 m
R7	Relief très fort	500 m et plus

#### 4-3- Carte des pentes

A partir du modèle numérique du terrain on a déduit la carte des pentes (**Fig. 10**)



**Figure 10:** Carte des pentes (en degré) du bassin versant du site de barrage Dar Lhamra

D'après la carte des pentes établie (Fig. 10), on peut conclure que les plus grandes valeurs de pente se situent au niveau de l'amont et les zones latérales du bassin versant (ruissellement fort impliquant une forte érosion), alors que la partie aval et les bordures du cours d'eau ont des valeurs de pente très faibles (ruissellement faible impliquant une faible érosion).

- ➔ Donc la zone étudiée se situe dans la commune de Jbilet à 5Km au NW de Sidi bou Othmane dont les coordonnées Lambert sont  $X = 254749$  m et  $Y = 147089$  m. Cette zone est caractérisée par une pluviométrie mensuelle moyenne de 250,9mm et une température moyenne mensuelle de 20,1 avec une dominance des schistes ordoviciens pour ce qui concerne la géologie. Notons aussi que notre bassin versant a une pente faible de 9,54 % et une altitude moyenne de 635 m

# **CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT**

Les principales caractéristiques physiques étudiées pour tout le bassin hydraulique sont détaillées ci-après. Elles constituent des paramètres d'entrée des formules et des modèles de calcul de débit.

### I. Superficie

La superficie du bassin versant est obtenue par planimétrie sur carte topographique ou à l'aide des logiciels de cartographie ou autres.

Superficie du bassin versant (Km <sup>2</sup> )	2,40
---	------

### II. Périmètre

Le périmètre du bassin versant est obtenu par curvimètre sur carte ou à l'aide de logiciels informatiques.

Périmètre du bassin versant (Km)	7,1
----------------------------------	-----

### III. Longueur du cours d'eau principale

La longueur du cours d'eau principal renseigne sur le temps de passage de l'eau pour atteindre l'exutoire.

Longueur du cours d'eau principale (Km)	2,2
---	-----

### IV. Forme

#### 1 – Indice de Gravelius

La forme du bassin versant est approchée par l'indice de compacité de Gravelius ( $K_c$ ) qui a une grande influence sur l'écoulement global du cours d'eau.

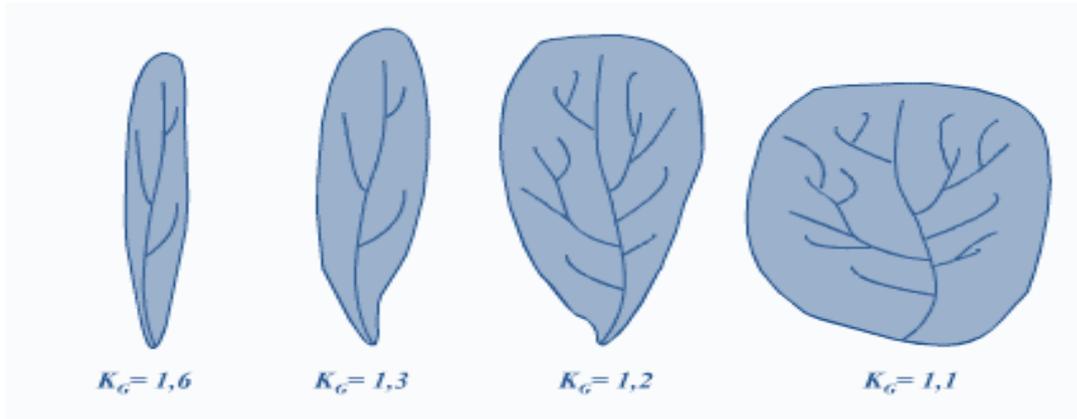
$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

**Formule 1** : Indice de compacité de Gravelius

Avec :

- **P** : périmètre du bassin en Km;
- **S** : surface en Km<sup>2</sup>;
- **K<sub>c</sub>** : adimensionnel, Il vaut généralement 1 pour un bassin quasi circulaire. Plus il est grand, plus le bassin présente une forme allongée.

La figure 11 illustre des exemples de forme en fonction des indices de compacité.



**Figure 11:** Exemples d'indice de compacité (Musy, 2001)

Pour le cas de notre bassin versant :  $P = 7,1 \text{ Km}$  et  $S = 2,4 \text{ km}^2$  ce qui conduit à un indice de compacité de Gravelius qui est égal à **1,29**. Donc le BV de Dar Lhamra a une forme allongée et sa longueur est presque trois fois plus grande que sa largeur.

## **2- Indice de Horton**

Il exprime le rapport de la surface du bassin au carré de sa longueur.

$$K_h = \frac{S}{L_c^2}$$

**Formule 2 :** Indice de compacité de Horton

Avec :

- **S** : surface en  $\text{Km}^2$  ;
- **Lc** : Longueur du cours d'eau principal

Un bassin versant allongé présente un indice inférieur à 1. Dans le cas de notre bassin versant,  $S = 2,4 \text{ Km}^2$  et  $L = 2,2 \text{ Km}$  ce qui conduit à un indice de compacité de Horton qui est égal à **0,4**. Donc le BV de Dar Lhamra a une forme allongée.

### V. Rectangle équivalent

La notion de rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius permet de comparer facilement des bassins versants entre eux, en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement.

$$L = \frac{K_c \sqrt{S}}{1,12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right)$$

**Formule 3** : Longueur du rectangle équivalent d'un bassin versant.

Donc :  $L = \frac{1,29 \sqrt{2,4}}{1,12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{1,29} \right)^2} \right) = 2,62 \text{ Km}$

$$l = \frac{K_c \sqrt{S}}{1,12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right)$$

**Formule 4** : Largeur du rectangle équivalent d'un bassin versant.

Donc :  $l = \frac{1,29 \sqrt{2,4}}{1,12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{1,29} \right)^2} \right) = 0,91 \text{ Km}$

Les valeurs de L et l confirment le résultat obtenu par l'indice de compacité K<sub>c</sub>. (la longueur est trois fois plus longue que la largeur)

## VI. Récapitulatif des caractéristiques physiques

Le tableau 6 ci-dessous résume les caractéristiques physiques du bassin versant Dar Lhamra

**Tableau 6:** Récapitulatif des caractéristiques physiques du bassin versant de Dar Lhamra

Paramètres	VALEUR
Superficie (Km <sup>2</sup> )	2.40
Périmètre (Km)	7.1
Altitude max (m)	756
Altitude min (m)	546
Dénivelée (m)	210.00
Longueur oued (Km)	2.2
Pente moyenne oued (m/m)	0.95
Longueur rectangle équivalent (Km)	2.62
Largeur du rectangle équivalent (Km)	0.91
Indice Gravelius (Kc) adimensionnel	1.29
Indice Horton adimensionnel	0.4

- ➔ Notre bassin versant tient son appellation du douar Dar Lhamra à côté duquel il passe au niveau de la commune de Jbilet. Ce bassin versant objet d'étude a une superficie de 2,4 Km<sup>2</sup>, un périmètre de 7,1m et à 546m au-dessus du niveau de mer. Le calcul de l'indice de forme a montré que c'est un bassin allongé dont la longueur est presque trois fois la largeur.

# **CHAPITRE III : CALCUL DES APPORTS**

Dans ce chapitre, nous exposons l'expression utilisée pour la détermination des apports annuels au site du barrage Dar Lhamra. L'objectif principal est d'évaluer la ressource en eau disponible.

### I- ETUDE DES APPORTS LIQUIDES :

Pour l'estimation de ces apports, on utilise généralement les données pluviométriques et le coefficient de ruissellement du site du barrage. Le calcul de l'apport annuel du site du barrage se fait par la formule suivante :

$$Q_{(\text{site})} = A_{(\text{site})} * \text{Pan}_{(\text{site})} * \text{Cr}$$

Avec :

**Q** : Débit moyen en  $m^3/s$

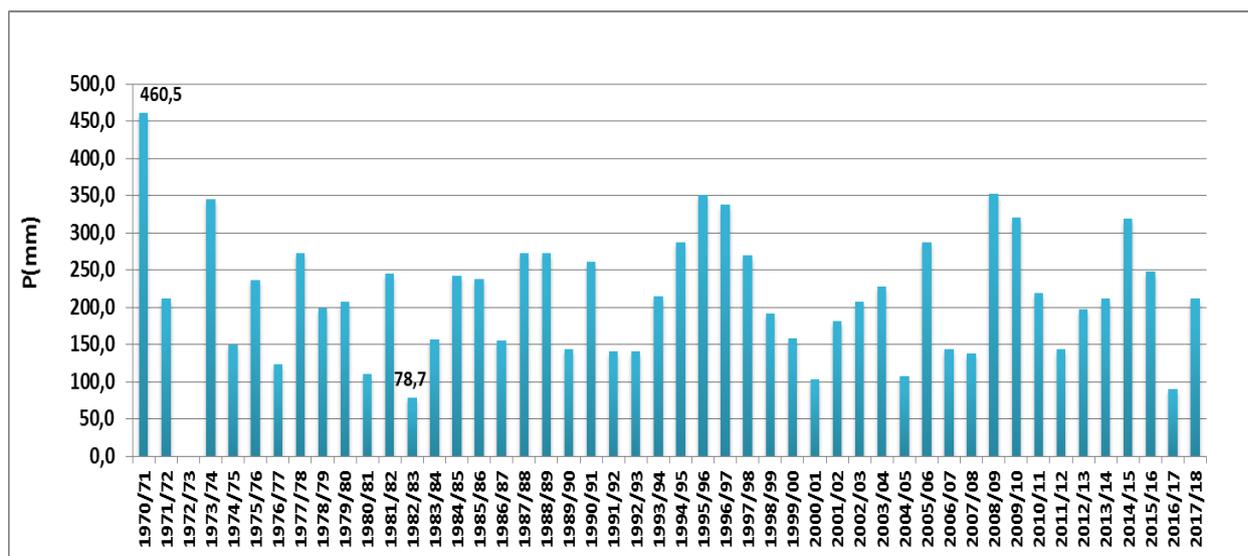
**A** : Surface en  $km^2$

**Pan** : Pluie moyenne interannuelle en mm

**Cr** : Coefficient de ruissellement

#### 1- Précipitations annuelles moyennes : (1970-2018)

Les données de Précipitations annuelles moyennes présentées par la figure 12 ci-dessous, rappelons-le (cf), découlent de la station de Marrakech. Elles sont obtenues par sommation des moyennes mensuelles de chaque année.



**Figure 12:** Précipitations moyennes annuelles de Marrakech

L'analyse de l'histogramme montre une répartition irrégulière des précipitations d'une année à l'autre avec un module annuel de **216,7mm**.

Les années 70-71, 73-74, 95-96, 96-97, 08-09, 09-10 et 2014-2015 sont les plus pluvieuses avec une hauteur qui dépasse largement la moyenne 216,7 mm.

Les années 80-81, 82-83, 2000-2001, 2004-2005 et 2016-2017 sont les plus sèches avec une hauteur inférieure à 210 mm.

Le maximum pluvieux est de l'ordre de 460,5 mm, il est enregistré en 70-71.

Le minimum pluvieux est de l'ordre de 78,7 mm, il est enregistré en 82-83.

## 2- Caractéristiques statistiques de la série 1970-2018 :

Module inter-annuel : **0,006 m<sup>3</sup>/s** (période 1970-2018) ;

Apport annuel moyen : **0,19 Mm<sup>3</sup>/an**

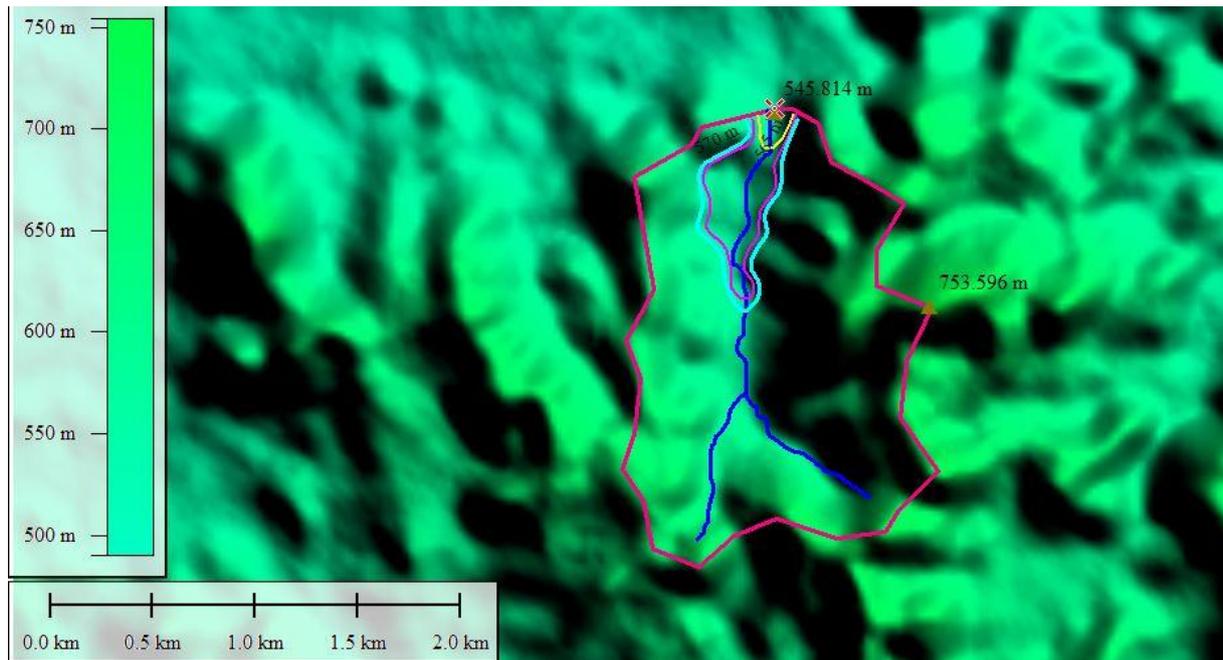
Minimum : **0,07 Mm<sup>3</sup>/an**

Maximum : **0,41Mm<sup>3</sup>/an**

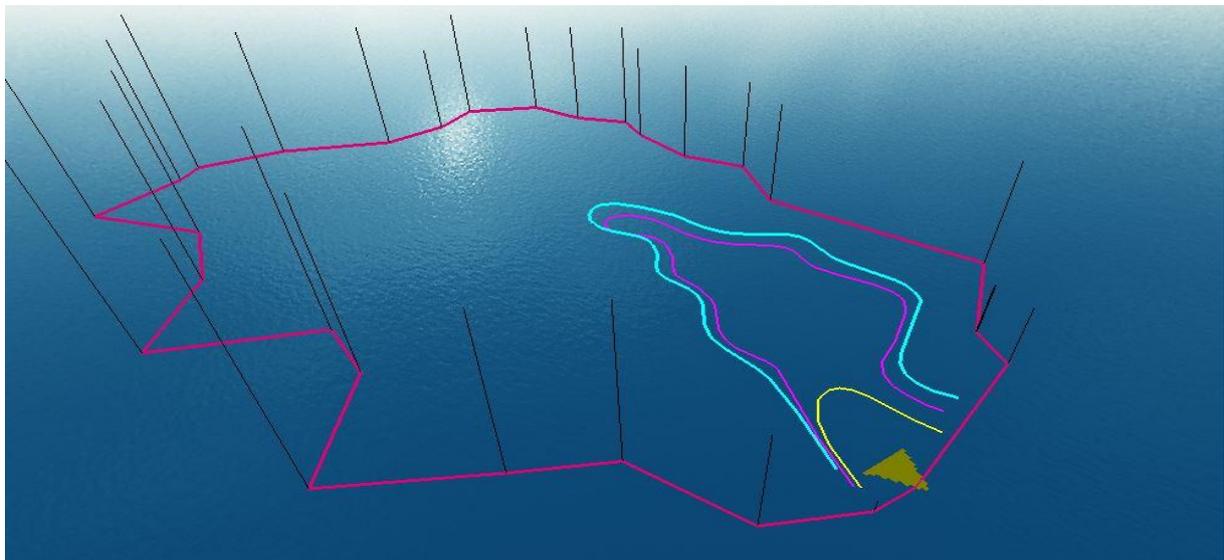
## II- CAPACITE DE STOCKAGE DE LA RETENUE D'EAU

Pour étudier la capacité de stockage de ce petit barrage, on a utilisé le global mapper qui nous a servi à faire apparaître les trois retenues proposées : R1, R2 et R3 (Figs. 13 et 14). Chacune de ces trois retenues peut stocker un certain volume d'eau qui dépend naturellement de la pluviométrie annuelle.

Le volume d'eau stocker dépend de la pluviométrie annuelle. Si l'année est sèche on ne peut remplir que la première retenue R1, en jaune, avec un volume de 510015,2m<sup>3</sup>. Par contre, si l'année est pluvieuse se sont les retenues R2 en rose et R3 en bleu ciel (Figs. 13 et 14) qui vont accumuler un volume d'eau qui peut atteindre les 4115243,2m<sup>3</sup>. Les apports solides seront donc tributaires d'une part de ces apports liquides et d'autre part de la nature géologique du bassin versant considéré dans cette étude.



**Figure 13:** Les trois retenues du bassin versant Dar Lhamra obtenues via global mapper



**Figure 14:** Les trois retenues en 3D du bassin versant Dar Lhamra obtenues via global mapper

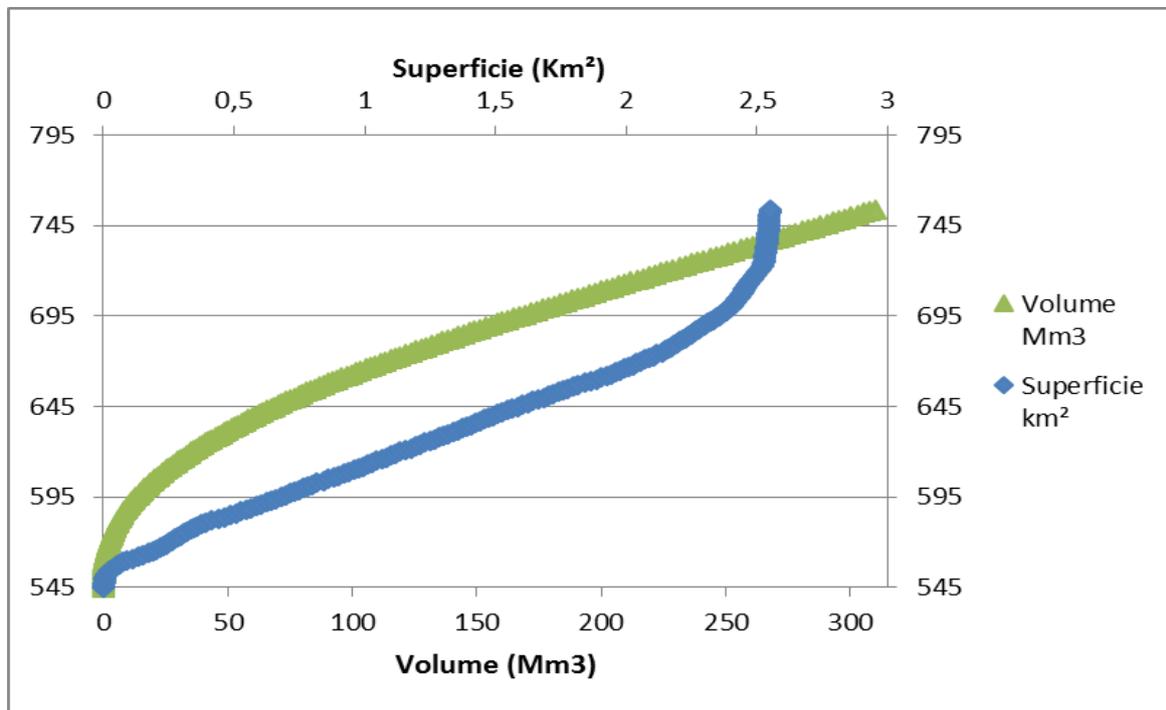
La fermeture par un barrage au droit du resserrement permet de stocker un volume d'eau non négligeable comme illustré par le tableau 7 récapitulatif donné ci-dessous :

**Tableau 7: Calcul des hauteurs, des surfaces et des volumes (HSV)**

Côte m	Hauteur m	Volume Mm <sup>3</sup>	Superficie km <sup>2</sup>	Volume m <sup>3</sup>	Volume cumulé (m3)
545	0	0,0	0	0	0,0
546	1	0,0	0,0004317	102,61969	102,6
547	2	0,0	0,001556	1103,259	1205,9
548	3	0,0	0,002855	3348,7103	4452,0
549	4	0,0	0,004416	6959,9712	10308,7
550	5	0,0	0,00598	12095,805	19055,8
551	6	0,0	0,00763	18931,539	31027,3
552	7	0,0	0,01067	27975,5	46907,0
553	8	0,0	0,01562	40951,404	68926,9
554	9	0,1	0,02384	60466,544	101417,9
555	10	0,1	0,03165	87847,592	148314,1
556	11	0,1	0,0405	123595,52	211443,1
557	12	0,2	0,0501	168352,24	291947,8
558	13	0,2	0,0596	222650,63	391002,9
559	14	0,287	0,0708	287364,61	510015,2
560	15	0,4	0,0913	367994,06	655358,7
561	16	0,5	0,1142	470209,43	838203,5
562	17	0,6	0,135	593811,08	1064020,5
563	18	0,7	0,1533	737601,54	1331412,6
564	19	0,9	0,1728	900108,08	1637709,6
565	20	1,1	0,1888	1080317,6	1980425,7
566	21	1,3	0,2032	1275048	2355365,6
567	22	1,5	0,2156	1482906,7	2757954,7
568	23	1,7	0,2285	1703598,8	3186505,5
569	24	1,9	0,2407	1935850,2	3639449,0
570	25	2,2	0,2516	2179393	4115243,2
571	26	2,4	0,263	2433877,9	4613270,9
572	27	2,7	0,274	2699451	5133328,9
573	28	3,0	0,2852	2976048	5675499,0
574	29	3,3	0,2963	3263674,1	6239722,1
575	30	3,6	0,309	3562815	6826489,1

Capacité totale du stockage	<b>4115243,2</b>
-----------------------------	------------------

La variation du volume et la superficie en fonction de la profondeur du réservoir est illustrée à la figure 15ci-dessous. Les courbes montrent les surfaces et volumes aux différentes profondeurs d'eau.



**Figure 15:** Courbe Hauteur Surface Volume du bassin de la retenue.

De nombreux facteurs concourent à induire une forte variabilité dans la géométrie des petits barrages. Les trois paramètres les plus simples qui caractérisent cette géométrie sont sa profondeur, sa surface et son volume. La notion de base repose sur la caractérisation de la loi volumique des réservoirs, de la forme  $V = K (H)^\alpha$ . Le coefficient  $\alpha$ , appelé coefficient de forme, varie avec la concavité des berges. Le coefficient  $K$ , appelé coefficient d'ouverture, varie lui avec la forme de la vallée : plus la vallée est ouverte, plus sa pente est faible, plus grand est ce coefficient. Pratiquement, le coefficient  $K$  correspond au volume du réservoir pour une lame d'eau de 1 m.

# CHAPITRE IV : ETUDE DES CRUES

## **ETUDE DES CRUES**

Les crues sont des écoulements variables dans lesquelles les débits atteignent des valeurs importantes (*El Ghazali F et M'rizig Z, 2013*), c'est ainsi un phénomène naturel qui dépend de plusieurs paramètres comme l'intensité et la répartition des pluies sur le bassin versant, la pente du bassin et sa couverture végétale qui accélèrent ou ralentissent les écoulements et aussi l'absorption de l'eau par le sol et son infiltration dans le sous-sol alimentant les nappes souterraines.

Les paramètres définissant une crue sont:

- Le débit maximum de la crue (débit de pointe) ;
- Le volume de la crue;
- La forme de la crue (Hydrogramme de crues) ;
- Le temps de base.

L'objectif est d'aboutir à une estimation du débit de pointe pour les différentes périodes de retour.

### **1- Démarche méthodologique**

Le calcul des débits de pointe du bassin versant fait appel aux méthodes empiriques (Mallet-Gauthier, Hazan Lazarevic et Fuller) et rationnelles.

#### **1-1- Méthodes empiriques**

Les caractéristiques du bassin, contrôlés par la station Sidi Bou Othmane, sont :

$$S = 2,40 \text{ km}^2$$

$$L = 2,62 \text{ Km}$$

**Pluviométrie annuelle** est égale à **216,7 mm**

➤ **Formule de Mallet-Gautier**

$$Q_t = 2 \times k \times \log_{10}(1 + aH) \times \frac{A}{\sqrt{L}} \times \sqrt{1 + 4 \times \log_{10} T - \log_{10} A}$$

Avec :

**Qt** : Débit de pointe [m<sup>3</sup>/s] pour la période de retour

**H** : Hauteur moyenne annuelle de pluie en m. H = 0,216 m

**K** : Coefficient qui varie de 0.5 à 6

(0.5 Pour les grands bassins versant et 6 pour les petits bassins versants de fortes pentes).

Au Maroc, on prend **K = 2**

**a** : Coefficient entre 20 et 30 (au Maroc, on prend a = 20)

**L** : Longueur du plus long talweg (Km)

**A** : Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>)

**T** : Période de retour

**Pan** : Pluie moyenne annuelle (m)

➤ **Formule de Hazan-Lazarevick**

$$Q_{1000} = K_1 \times S^{k_2}$$

Où :

**Qt (1000)** : Débit de pointe en m<sup>3</sup>/s de récurrence 1000 ans.

**S** : Superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.

Les valeurs des paramètres K1 et K2 dépendent de la situation géographique de la zone et de la pluviométrie moyenne annuelle. Elles sont données dans le tableau 8 suivant :

**Tableau 8: détermination des coefficients K1 et K2**

Zone		Pluviométrie	K1	K2
Rif	Rif Central	1000 - 1300	15.53	0.776
	Rif	800 - 1000	9.78	0.793
	Rif Oriental	600 – 800	7.58	0.808
Moyen Atlas		700 – 900	14.94	0.636
		500 – 700	13.51	0.613
		400 – 500	13.47	0.587
Haut Atlas		200 – 400	9.38	0.742

En se basant sur la géographie et la pluviométrie de l'aire d'étude, nous prenons les coefficients qui s'en approchent le plus :

$$K1 = 9,38$$

$$K2 = 0,742$$

$$\rightarrow Q_{1000} = 17,96 \text{ m}^3/\text{s}$$

La transposition des débits des crues milléniales aux débits de récurrence T se fera par la formule de Fuller I qui s'écrit comme suit :

$$Q_t = Q_{(1000)} \times (1 + a \times \log(T)) / (1 + a \times \log(1000))$$

Avec : **Qt(T)** : Débit de pointe en m<sup>3</sup>/s de récurrence T.

**a** : Coefficient régional (a = 2)

➤ **Formule de Fuller II**

La transposition des débits des crues milléniales aux débits de récurrence T se fera par la formule de Fuller I qui s'écrit comme suit :

$$Q(T) = (1+a \times \log(T)) \times (S_{0,8} + 8/3 \times S_{0,5}) \times 4/3 \times N/100$$

Avec :

- **QT** = débit de pointe de période de retour T en m<sup>3</sup>/s.
- **T** = Période de retour en ans.
- **S** = superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.
- **C** = paramètre régional variant tabulé, ici c=0,9

Valeur de c	Région
0,7 à 0,8	Régions humides
0,8 à 2	Régions arides
3 à 3,5	Oueds Sahariens

- **N** = paramètre régional variant tabulé, ici N=100

Valeur de c	Région
80	Plaines
85	Relief accidenté
100	Montagne

La formule de « Fuller II » est donnée à titre indicatif et ne sera pas utilisée pour la suite de l'étude, du fait qu'on a un petit bassin versant.

## 1-2- Méthodes rationnelles

Méthode simpliste qui permet d'estimer le débit de pointe d'une crue en un point donné et qui s'énonce comme suit :

$$Q_t = C * I(T, T_c) * A / 3,6$$

Avec :

**Qt** : Débit de pointe en m<sup>3</sup>/s pour la période de retour T.

**I** : Intensité de la pluie en mm/h

**T** : Période de retour (ans)

**Tc** : Temps de concentration en min

**A** : Superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>

**C** : Coefficient de Ruissellement.

- **L'intensité** : elle est calculée par la formule de Montana qui s'exprime :

$$I = a \times t^{-b}$$

Les paramètres a et b de MONTANA sont extraits d'une étude de dimensionnement du réseau d'assainissement dans la zone de Tensift (Tabl. 9) :

**Tableau 9: Paramètres de Montana**

		10	20	50	100
Coeff. de Montana	a	6.27	7.545	9.197	10.437
	b	0.615	0.612	0.61	0.608

- **Coefficient de ruissellement** : (C) s'obtient d'après la formule d'homogénéisation des coefficients de surfaces élémentaires relatifs aux différentes zones de chaque bassin versant :

$$C = \frac{C_1.A_1 + C_2.A_2 + \dots + C_n.A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Avec :

**A1, A2.....An** : sont les surfaces élémentaires classifiées d'après la texture du sol et la topographie.

**C1, C2 ....Cn** :sont les coefficients de ruissellement correspondants aux surfaces élémentaires.

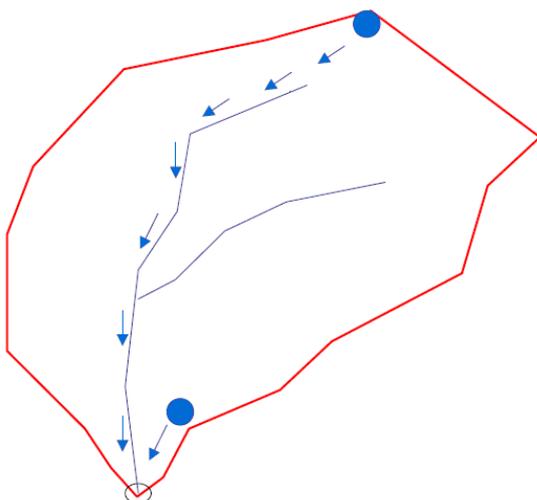
Leurs valeurs sont tirées à partir du tableau 10 suivant :

**Tableau 10: Détermination du coefficient de ruissellement**

Coefficient de ruissellement				
Topographie et végétation		Texture du sol		
		Sablonneux	Argile et Silt	Argile compacte
<b>BOISE</b>				
Plat	Pente 0-5%	0,1	0,3	0,4
Valonneux	Pente 5-10%	0,25	0,35	0,5
Montagneux	Pente 10-30%	0,3	0,5	0,6
<b>DEBOISE ET FRICHES</b>				
Plat	Pente 0-5%	0,1	0,3	0,4
Valonneux	Pente 5-10%	0,16	0,36	0,55
Montagneux	Pente 10-30%	0,22	0,42	0,6
<b>CULTURES DRAINEES</b>				
Plat	Pente 0-5%	0,3	0,5	0,6
Valonneux	Pente 5-10%	0,4	0,6	0,7
Montagneux	Pente 10-30%	0,52	0,72	0,82

Le coefficient de ruissellement a été pris égal à 0,36.

▪ **Temps de concentration (Tc) :**



Le temps de concentration des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin le plus éloigné de l'exutoire et ce dernier. Pour ce paramètre on tient compte des caractéristiques géométriques et morphologiques du bassin.

On le calcule à partir des formules suivantes :

➤ **Giandotti :**

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5 L}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \times 60 = \mathbf{80 \text{ minutes.}}$$

Avec : **T<sub>c</sub>** : Temps de concentration en minutes.

**A** : Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

**L** : Longueur du talweg principal (Km).

**H<sub>moy</sub>** : Hauteur moyenne du bassin versant en (m).

**H<sub>min</sub>** : Hauteur minimal du bassin versant en (m).

➤ **Kirpich :**

$$T_c = \frac{1}{52} * \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0,77} = \mathbf{20,4 \text{ minutes.}}$$

Avec : **T<sub>c</sub>** : Temps de concentration en minutes.

**I** : Pente moyenne du talweg en m/m

**L** : Longueur du talweg principal (m).

➤ **Ventura :**

$$T_c = 7,632 * S^{0,5} * I^{-0,5} = \mathbf{38,4 \text{ minutes.}}$$

Avec : **T<sub>c</sub>** : Temps de concentration en min,

**S** : Surface du BV en km<sup>2</sup>,

**I** : Pente moyenne du talweg en m/m

➤ **Turazza :**

$$T_c = 6,48 * \frac{\sqrt[3]{LS}}{\sqrt{I}} = \mathbf{0,6 \text{ heures.} = 38,8 \text{ minutes}}$$

Avec : **Tc** : Temps de concentration (h).

**L** : Longueur du talweg principal (Km).

**S** : Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

**I** : Pente moyenne du bassin versant (m/m).

➤ **Van Te Show :**

$$T_c = 60 * 0,123 * \left( \frac{L * I^{-0,5}}{1000} \right)^{0,64} = \mathbf{29 \text{ minutes.}}$$

Avec : **Tc** : Temps de concentration en minutes

**P** : Pente moyenne (m/m).

**L** : Longueur du talweg principal (m).

➤ **Formule espagnole :**

$$T_c = 18 * L^{0,77} * I^{-0,1925} = \mathbf{59,4 \text{ minutes}}$$

Avec : **Tc** : Temps de concentration en minutes.

**L** : Longueur du cours d'eau principal en Km

**I** : pente moyenne du cours d'eau principal en m/m

➤ **Formule Californienne :**

$$T_c = 8,712 * \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0,77} = \mathbf{45,2 \text{ minutes}}$$

Avec : **Tc** : Temps de concentration en minutes.

**L** : Longueur du cours d'eau principal en Km

**I** : pente moyenne du cours d'eau principal en m/m

➤ **Formule de US Corps :**

$$T_c = 16,682 * (L * I^{-0,25})^{0,77} = \mathbf{55,09 \text{ minutes}}$$

Avec : **Tc** : en minutes,

**L** : Longueur du cours d'eau principal en Kms,

**I** : pente moyenne du cours d'eau principal en m/m.

➤ **Formule De Bransby Williams**

$$T_c = 14,557 * L * S^{-0,1} * I^{-0,2} = \mathbf{55,9 \text{ minutes}}$$

Avec : **Tc** en minutes ;

**L** : Longueur du cours d'eau principal en Km ;

**S** : superficie du bassin versant en Km<sup>2</sup> ;

**I** : pente moyenne du cours d'eau principal en m/m.

## 2- Les résultats

### 2-1- Estimation des débits des pointes par les méthodes empiriques

Les résultats de calcul des débits de pointe ( $m^3/s$ ) pour les différentes périodes de retour, en utilisant les méthodes empiriques sont illustrés dans le tableau 11 ci-dessous :

**Tableau 11:** Débits de pointe au droit de site Dar Lhamra

Période de retour	Mallet-Gautier	Hazan Lazarevick
10	9,26	7,69
20	10,4	9,24
50	11,74	11,28
100	12,66	12,82

### 2-2- Estimation des débits des pointes par la méthode rationnelle

#### a- Coefficient de ruissellement

Le bassin versant Dar Lhamra est caractérisé par des pentes moyennes et une végétation déboisée et friche. Son coefficient de ruissellement est de 0,36.

#### b- Temps de concentration

Les temps de concentration calculés par les différentes formules empiriques, ainsi que le  $t_c$  retenu sont donnés dans le tableau 12 suivant :

**Tableau 12:** Récapitulatif du temps de concentration du bassin versant de Dar Lhamra selon les différentes formules.

Formule	Temps de concentration en minutes
Giandotti	80
Kirpich	20,4
Ventura	38,4
Turazza	38,8
Van Te Show	29
Espagnole	59,4
Californienne	45,2
Us Corps	55,09
Bransby Williams	55,9
$T_c$ retenu (moyenne des $T_c$ proches)	<b>48,7</b>

**c- Les intensités**

Les intensités de précipitation sont calculées à partir de temps de concentration du bassin versant du site de Dar Lhamra et des coefficients de Montana pour différentes périodes de retour (Tabl. 13).

**Tableau 13:** Intensités (mm/h) de précipitation du site Dar Lhamra

Site d'étude		Période de retour en ans			
		10	20	50	100
Dar Lhamra	i	8,49	10,21	12,43	14,09

En se basant sur la formule rationnelle avec ses différents paramètres tels que l'intensité de la pluie, temps de concentration, coefficient de ruissellement et autres, les débits de pointe du bassin du site de Dar Lhamra pour les différentes périodes de retour ont été calculés (Tabl. 14).

**Tableau 14:** Débits de pointe par méthode rationnelle

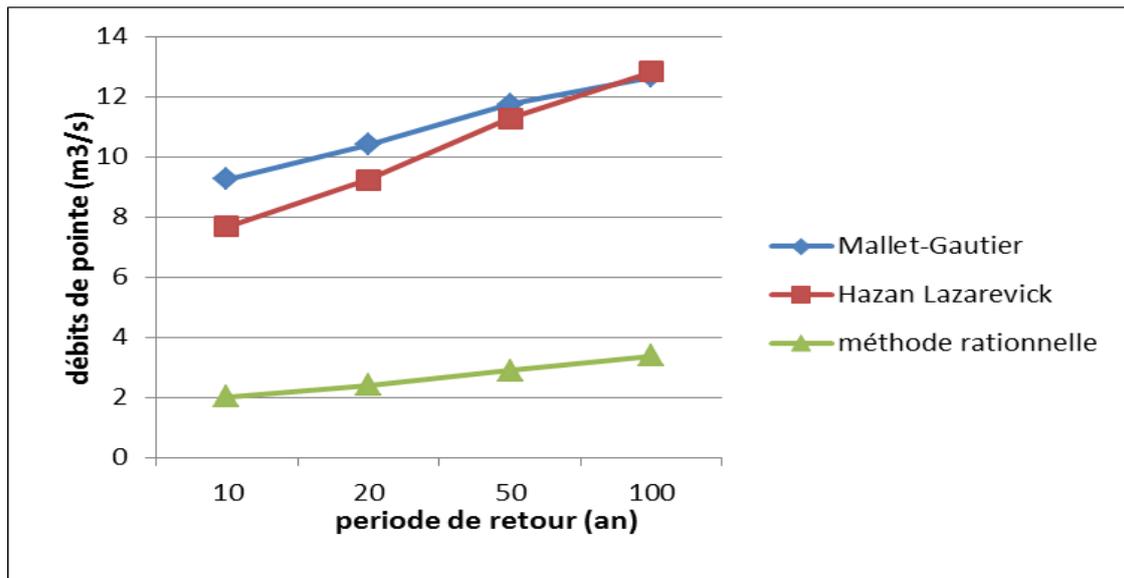
Temps de retour (an)	Q (m <sup>3</sup> /s)
10	2,03
20	2,4
50	2,9
100	3,38

Les valeurs obtenues ont été analysées afin d'en faire ressortir la valeur la plus adéquate pour le bassin étudié. Le tableau 15 suivant représente les valeurs moyennes des débits pour chaque période de retour calculées par les différentes méthodes cités auparavant

**Tableau 15:** Les débits de pointes du bassin étudié calculés par différents méthodes

Temps de retour (an)	Q (m <sup>3</sup> /s)
10	8,4
20	9,8
50	11,51
100	12,74

→ Les formules de Mallet-Gautier et Hazan Lazarevick sont comparables avec des débits de pointes importants dont le maximum est de  $12,82\text{m}^3/\text{s}$ , contrairement à la méthode rationnelle qui donne des débits de pointes faible ne dépassent pas  $3,38\text{ m}^3/\text{s}$  pour une période de retour de 100 ans comme illustré sur la figure 16 ci-dessous.



**Figure 16:** Comparaison entre les trois formules de calcul des débits de pointes.

# **CHAPITRE V : TRANSPORT SOLIDE ET ENVASEMENT**

Dans l'objectif de prévoir une tranche morte et la durée de vie du barrage, le chapitre suivant vise à donner une estimation des apports solides moyens au site du futur barrage.

## I. ENVASEMENT : DEFINITION ET GENERALITES :

### 1- Définition

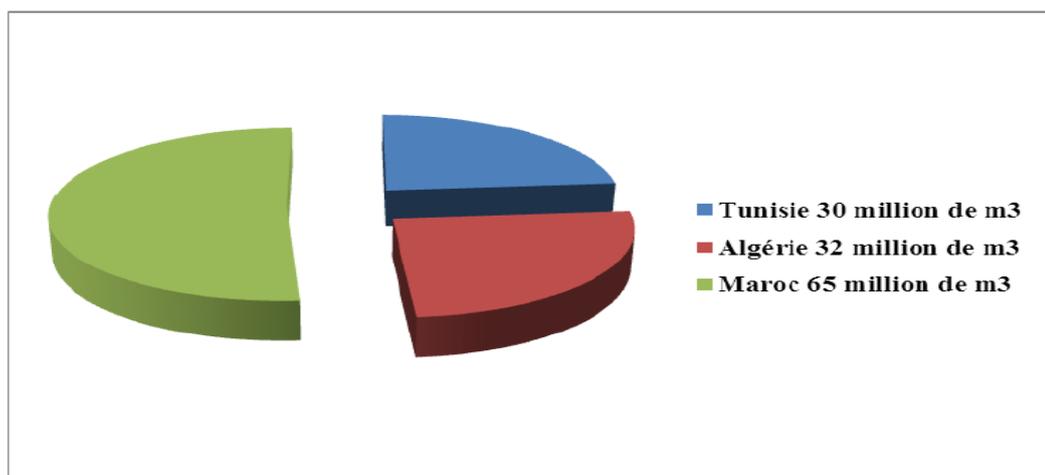
L'envasement est un amas terreux laissé par la mer ou les rivières suite à un phénomène d'érosion hydrique. Il est lié à plusieurs facteurs tels que les précipitations, la dégradation des sols, le relief, le manque de couvert végétal par l'action de la sécheresse... (ElYounssi Y, 2011)

Tous ces processus entraînent un fort drainage des matériaux en amont suivi d'un envasement des retenues en aval.

Les pays de l'Afrique du nord comme l'Algérie, le Maroc, et la Tunisie, détiennent plus de 230 barrages d'une capacité totale de  $23 \text{ km}^3$ . Environ  $125 \text{ hm}^3$  de sédiments se déposent annuellement au fond de ces barrages, avec par ordre d'importance décroissante, le Maroc avec  $65 \text{ hm}^3$ , l'Algérie avec  $32 \text{ hm}^3$  et la Tunisie avec  $25 \text{ hm}^3$  (Remini, 1997).

Le présent chapitre a pour objet de donner un aperçu sur l'envasement des barrages, les méthodes ainsi que les problèmes posés.

La figure 17 ci-dessous illustre l'envasement annuel en Afrique de nord.



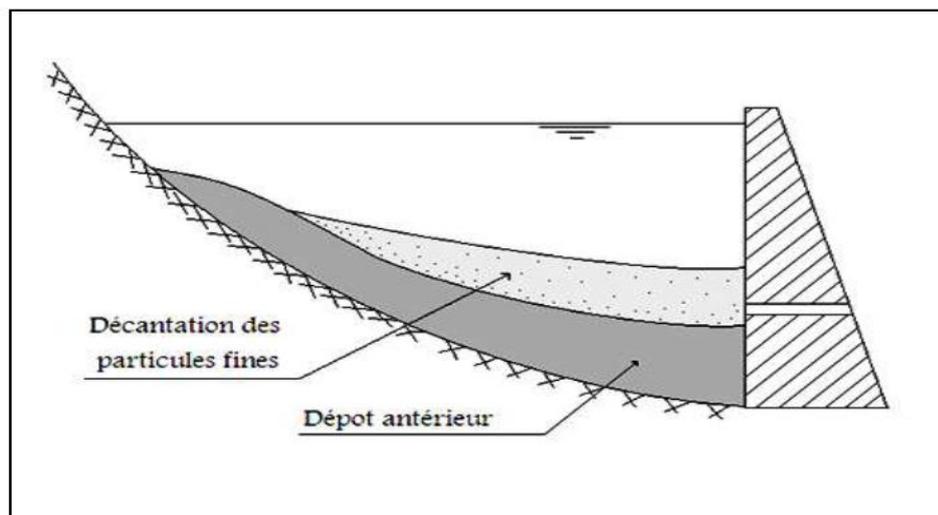
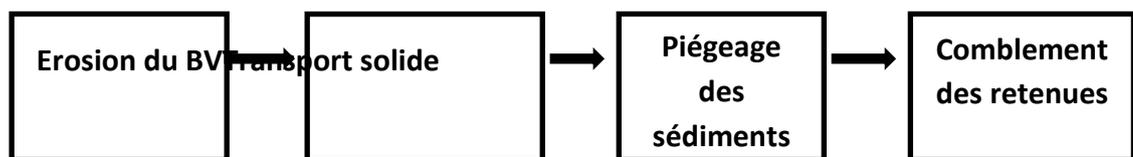
**Figure 17:** Envasement annuel en Afrique du nord.

## 2- Problèmes posés par l'envasement

Parmi les problèmes que pose l'envasement des retenues de barrages, on peut retenir quatre inconvénients majeurs qui sont :

- La réduction de la capacité d'emmagasinement ;
- L'obturation des organes de vidange ;
- La remise en cause de la sécurité de l'ouvrage ;
- L'envasement des canaux d'irrigation ;
- La dégradation de la qualité de l'eau ;
- L'obturation des pompes.

- Le processus de l'envasement se déroule selon 4 étapes :



**Figure 18:** Formation de la vase au fond du barrage (Benahmed H, 2015)

### 3- Principales méthodes d'étude de l'envasement

Les principales méthodes de l'envasement sont les suivantes :

- Méthodes de bathymétrie.
- Parcelles expérimentales.
- Etude des griffes d'érosion avec ou sans utilisation du SIG et de télédétection.
- Débits solides et étude des turbides.
- Etude des radios nucléaires.
- Modélisation de l'érosion par la méthode de Wischmeier. (Moukhchane.M)

## II. CALCULE D'ENVASEMENT

Par l'absence de mesure de transport solide dans la zone concernée par cette étude, et de par l'éloignement du site généralement disposant de levés bathymétriques, les informations nécessaires sont puisées à partir d'un bassin qui semble avoir des ressemblances géomorphologiques et hydrologiques avec notre zone d'étude. Pour cela, l'étude de conception du site du barrage Draa Boumaiz constituera la donnée de référence pour l'estimation des transports solides. Sur la base de la valeur adoptée de la dégradation spécifique volumique (DSV) pour le barrage Draa Boumaiz qui est de l'ordre de **243,24 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an**, le tableau 16 suivant donne l'envasement de la retenue sur plusieurs périodes :

**Tableau 16:** Envasement et dégradation spécifique du site du barrage Dar Lhamra

SITE	SBV (km <sup>2</sup> )	DSV (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /an)	Rythme d'envasement (m <sup>3</sup> /an)	Envasement 20 ans (m <sup>3</sup> )	Envasement 30 ans (m <sup>3</sup> )	Envasement 50 ans (m <sup>3</sup> )
Dar Lhamra	2,4	243,24	583,776	0,01167552	0,01751328	0,0291888

➔ L'envasement est donc le résultat des dépôts de la boue de l'érosion des sols dans les bassins versant, et c'est en période de crue surtout que les barrages s'envasent par les courants de densité. Dans notre cas, il est de **583,776 m<sup>3</sup>/an**.

## CONCLUSION GENERALE

L'étude menée dans le cadre de ce projet de fin d'étude est une contribution à l'étude de faisabilité du barrage 'Dar Lhamra' situé au SW de Sidi Bou Othmane dans les jbilètes.

La démarche utilisée est hydrologique et elle est complétée par un essai de calcul du taux d'envasement et de la capacité de stockage.

Le bassin versant de Dar Lhamra est étendu sur une superficie de 2,4 Km<sup>2</sup> et un périmètre de 7,1 Km. Il est allongé, dont l'hypsométrie est caractérisée par des altitudes qui décroissent du Sud Sud-Est vers le Nord avec dominance des altitudes moyennes et faibles sur la surface du bassin.

Ce bassin versant s'inscrit dans un cadre géologique identique à celui du massif de jbilète. Les affleurements rencontrés correspondent à des schistes.

Pour la pluviométrie, on a étudié le régime pluviométrique sur l'échelle mensuelle et annuelle durant la période de 1970 à 2018. Les pluies moyennes annuelles dépassent les 300mm/an sur tout le bassin

L'étude hydrologique nous a ainsi permis de trouver un temps de concentration faible qui égale à 48,7 minutes afin d'estimer les débits de pointe par différentes méthodes (empiriques et rationnelle)

La moyenne des débits retenus par différentes méthodes sont comme suit :

Débit décennal : 8,4 m<sup>3</sup>/s

Débit vingtenal : 9,8m<sup>3</sup>/s

Débit cinquentennal : 11,5 m<sup>3</sup>/s

Débit centennal : 12,74 m<sup>3</sup>/s

La capacité de stockage de ce petit barrage est de 4115243,2m<sup>3</sup>. L'ensemble de ces caractéristiques sont celle d'un petit barrage. La définition de la conception de celui-ci pourrait faire l'objet d'une autre étude de travail qui tiendra compte de toute les caractéristiques du site pour l'implantation de l'ouvrage.

## REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIE

**ABHT, 2014**, Etude d'identification et de faisabilité sommaire de barrage et lacs collinaires dans la zone d'action cde l'ABHT, 30p.

**BISSOUR R. 2018**.geograchid.blogspot.com

**Benahmed H, 2015**, Valorisation des sédiments d'envasement du barrage de kramis dans le domaine de génie civil. MEMOIRE DE FIN D'ETUDE pour l'obtention du diplôme de magister. Oran : Université des sciences et de la technologies, 112p.

**El Ghazali F et M'rizig Z,2013**,Impact de la réalisation du barrage d'Oued Bou Tious sur la nappe de la pleine de Feija dans la province de Zagora.Mémoire de stage de fin d'études. Licence Sciences Et Techniques Eau et Environnement.Faculté des Sciences et Techniques – Gueliz ,34p.

**el Younsi Y, 2011**, caractéristiques hydrologiques et géomorphologiques du bassin versant du n'fis : conséquences sur l'envasement du barrage lallatakerkoust. Mémoire de stage de fin d'études. Licence Sciences Et Techniques Eau et Environnement. Faculté des Sciences et Techniques – Gueliz ,74p.

**HOUMADIY. et BOUGDIF O. 2015-2016**, Etude cartographique, structurale et minéralogique du gîte drBir N'Has (Jbilet).MEMOIRE DE FIN D'ETUDES Pour l'Obtention du Diplôme de licence Sciences et Techniques, Marrakech :Université cadi ayyad , 13p.

**Huvelin P. 1977** .Etude géologique et gîtologique du massif hercynien des jbilet (Maroc Occidental).Notes et mémoires du service géologique du Maroc, N°232BIS, 307p.

**MUSY A. (2001)**. Cours d'Hydrologie générale. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne(EPEL), Suisse, 200p.

**Omdif., 2013**, actualisation des connaissances hydrogéologiques de l'aquifère éocène de la Bahira centrale (Maroc). Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de licence sciences et techniques, Marrakech : université cadi ayyad, 92p.

**REMINI B. (1997)**.Envasement des retenues de barrages en Algérie : importance, mécanismes et moyen de lutte par la technique du soutirage. Thèse de Doctorat d'état, Ecole nationale Polytechnique d'Alger, mars, 342 P.

**SOUABNI O.,2015**.Etude hydrologique dans le cadre du dimensionnement d'un barrage collinaire - cas du site Ardouz - Haut Atlas – Maroc.MEMOIRE DE FIN D'ETUDES Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques. Fès : Université Sidi Mohammed Ben Abdellah ,64p.

**ANNEXE**

**N° Station: 5229**

**Station : Marrakech** **Unité : mm**

**Tableau 17: Série des pluies moyennes mensuelles et annuelles (1970/2018)**

Année	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Total
1970/71						0,0	283,5	134,0	43,0	0,0	0,0	0,0	460,5
1971/72	0,0	4,6	28,3	4,3	64,2	58,3	20,1	22,1	10,2	0,0			212,1
1972/73													
1973/74	0,0	12,0	23,6	62,4	4,4	74,6	43,7	55,0	1,5	67,8			345,0
1974/75	3,3	0,0	3,0	0,0	36,7	15,7	2,8	76,0	7,7	4,8	0,0	0,0	150,0
1975/76	1,8	0,5	10,9	7,5	3,4	47,4	63,8	43,1	45,1	6,0	0,0	7,4	236,9
1976/77	3,1	44,3	0,0	23,6	28,8	7,0	3,6	6,7	0,2	6,0	0,0	0,0	123,3
1977/78	16,0	46,8	44,4	21,5	53,3	19,2	0,0	27,1	34,2	0,9	0,0	9,8	273,2
1978/79	20,6	59,5	0,7	44,7	29,8	38,0	3,7	1,9	0,2	0,0	0,0	0,0	199,1
1979/80	4,4	34,8	0,0	6,0	16,4	55,2	81,2	5,4	4,6	0,0			208,0
1980/81	0,5	15,4	33,9	0,0	2,6	12,3	33,7	8,3	3,1	0,0	0,0		109,8
1981/82	0,0	4,1	0,0	3,0	52,3	25,1	18,7	87,6	49,1	0,0	5,2		245,1
1982/83	0,3	0,4	17,0	11,4	0,0	27,9	5,3	4,8	11,6	0,0	0,0	0,0	78,7
1983/84	0,0	1,0	48,8	9,3	1,3	0,0	70,5	8,8	13,6	0,0	3,5	0,0	156,8
1984/85	2,1	0,3	62,2	0,6	99,2	20,7	23,1	31,9	2,8	0,0	0,0	0,0	242,9
1985/86	0,4	8,7	35,2	41,3	30,2	31,9	20,4	2,3	38,6	29,3	0,2	0,0	238,5
1986/87	0,5	5,2	39,2	0,0	23,6	39,7	44,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	154,6
1987/88	6,9	50,3	22,4	46,0	60,2	52,1	28,7	2,3	0,4	0,0	0,0	2,9	272,2
1988/89	0,0	16,9	114,3	0,0	22,7	29,6	41,4	40,9	0,0	1,1	0,0	6,3	273,2
1989/90	0,0	29,4	7,6	24,2	17,8	0,0	30,8	22,5	11,4	0,0	0,0	0,0	143,7
1990/91	2,0	0,0	2,1	18,5	0,6	83,5	132,1	0,0	0,0	0,0	0,0	22,6	261,4
1991/92	13,5	19,2	29,4	3,0	0,0	22,6	4,9	31,7	7,9	4,4	0,0	4,7	141,3
1992/93	0,0	7,6	15,3	32,4	35,6	1,9	22,1	20,9	5,1	0,0	0,0	0,0	140,9
1993/94	0,1	18,7	54,0	11,6	28,7	49,2	52,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	214,8
1994/95	0,5	47,8	0,0	0,0	0,0	36,4	52,4	142,0	0,0	8,0	0,0	0,0	287,1
1995/96	9,2	0,4	10,9	51,8	113,7	37,9	88,8	5,1	8,7	23,8	0,0	0,0	350,3
1996/97	2,7	5,6	48,1	70,6	37,5	0,0	35,9	125,7	11,4	0,0	0,0	0,0	337,5
1997/98	82,5	25,6	25,4	45,1	22,4	36,3	27,1	4,9	0,7	0,0	0,0	0,0	270,0
1998/99	0,0	0,0	0,0	37,0	53,7	38,5	52,6	0,0	9,7	0,0	0,0	0,0	191,5
1999/00	0,0	61,2	21,0	25,1	13,7	0,0	0,0	21,5	14,5	1,7	0,0	0,0	158,7
2000/01	5,4	12,0	5,6	39,5	34,9	2,3	1,9	0,6	0,0	0,0	0,0	0,6	102,8
2001/02	0,9	0,5	3,5	59,0	0,2	1,0	57,7	43,7	14,7	0,0	0,0	0,6	181,8
2002/03	3,3	0,1	79,3	11,5	11,1	8,0	29,9	42,9	2,0	0,7	0,0	18,6	207,4
2003/04	0,2	23,6	65,4	38,6	0,0	19,1	26,7	15,9	20,2	16,8	0,9	0,0	227,4
2004/05	1,8	1,6	34,2	21,8	0,3	14,3	22,1	0,0	0,0	10,8	0,0	0,0	106,9
2005/06	0,0	39,0	10,7	34,9	79,4	53,2	0,0	37,4	6,6	0,5	24,8		286,5
2006/07	0,0	25,9	18,6	14,5	3,5	34,4		23,1	16,8	0,0	0,0	6,8	143,6
2007/08	0,0	15,5	44,7	13,9	18,6	16,8	0,9	1,0	26,1	0,0	0,0	0,0	137,5
2008/09	46,4	44,5	43,8	14,2	35,2	82,5	72,3	0,0	5,0	4,6	0,0	3,4	351,9
2009/10	53,3	7,0	6,0	41,3	74,9	90,1	29,9	2,2	0,0	2,0	9,8	3,5	320,0
2010/11	6,5	11,6	44,9		14,8	3,0	17,5	56,8	56,2	5,4	0,0	3,0	219,7
2011/12	0,0	16,0	41,9	0,4	24,8	0,0	10,9	40,3	0,0	0,0	0,0	9,2	143,5
2012/13	20,8	36,8	49,5	1,6	7,0	16,6	29,5	10,4	4,4	0,0	0,0	21,0	197,6
2013/14	61,4	0,1	4,9	10,4	56,9	5,4	32,8	26,8	1,0	0,0	0,0	12,0	211,7
2014/15	4,9	0,0	147,3	38,0	22,3	7,1	55,0	0,0	4,5	0,0	3,8	36,1	319,0
2015/16	61,0	0,0	11,5		14,5	53,8	35,2	2,2	53,1	4,5	8,4	3,3	247,5
2016/17	0,0	2,3	43,5	6,6	2,8	19,2	4,8	2,4	0,6	1,2	0,0	6,4	89,8
2017/18	0,0	2,9	30,2	36,9	67,0	42,7	32,2						211,9
<b>Moyenne</b>	9,5	16,5	30,1	22,4	28,7	28,3	38,0	26,9	11,9	4,4	1,3	4,5	216,7
<b>Max</b>	82,5	61,2	147,3	70,6	113,7	90,1	283,5	142,0	56,2	67,8	24,8	36,1	460,5
<b>Min</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	78,7

**Tableau 18:** Série des températures moyennes mensuelles et annuelles (1960-2005)

Année	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Total
1959/60					12,37	15,19	16,30	18,10	21,43	23,49	27,64	28,34	162,86
1960	25,13	19,21	17,33	10,15	10,43	15,96	18,51	19,82	23,63	23,01	31,07	30,33	244,57
1961	25,46	21,00	15,86	15,13	13,34	12,46	15,10	18,21	22,17	24,00	28,78	30,93	242,44
1962	26,02	21,59	14,11	12,99	13,27	12,27	15,38	17,59	18,81	22,37	27,57	26,78	228,76
1963	22,74	22,65	17,46	12,32	12,51	13,88	15,95	15,69	24,38	24,07	28,55	27,86	238,06
1964	26,95	21,57	16,64	10,56	10,56	12,56	17,47	16,94	23,44	26,47	25,90	28,55	237,61
1965	22,73	20,00	15,59	12,27	13,82	15,88	15,61	19,29	22,74	24,82	26,27	29,09	238,11
1966	26,28	18,90	13,17	12,08	12,40	12,79	17,40	16,29	20,24	24,23	30,39	29,70	233,87
1967	24,61	20,66	14,81	10,25	11,15	12,25	12,97	16,18	20,83	24,69	28,99	26,38	223,76
1968	25,66	24,10	17,33	12,12	14,38	14,93	15,75	14,92	19,64	23,38	30,08	27,60	239,88
1969	22,54	20,36	17,27	10,97	13,34	13,89	14,00	18,30	22,18	23,36	30,23	27,52	233,96
1670	26,46	20,61	17,37	11,58	12,63	13,76	13,29	14,59	16,25	22,97	26,76	27,22	223,46
1971	24,29	23,42	14,22	10,98	10,71	11,56	12,89	16,72	19,14	21,87	26,10	25,49	217,37
1972	22,38	20,66	15,70	11,65	11,19	12,57	15,63	18,45	21,73	22,99	27,32	29,37	229,64
1973	25,87	20,63	17,62	10,57	12,27	12,52	13,19	13,82	21,21	23,56	29,23	29,17	229,65
1974	24,78	18,75	17,05	12,79	12,99	14,15	14,61	16,23	17,97	22,16	31,24	29,18	231,90
1975	24,05	21,53	15,20	12,76	11,50	12,96	14,39	14,20	18,12	24,81	25,51	29,32	224,36
1976	23,72	19,47	14,90	13,48	12,09	14,41	17,94	20,45	20,38	22,45	24,55	25,13	228,96
1977	24,71	19,52	15,87	14,51	11,67	14,92	15,95	16,65	18,52	21,46	30,08	27,81	231,66
1978	27,81	20,62	16,70	13,95	13,61	13,83	14,24	17,79	22,08	23,16	27,42	27,34	238,55
1979	24,13	19,06	17,06	13,11	12,27	14,53	15,72	19,22	20,49	25,37	29,86	29,94	240,74
1980	26,30	21,87	15,95	11,39	12,15	13,64	18,25	16,58	20,58	25,81	27,81	26,80	237,14
1981	25,78	22,44	19,78	13,42	12,60	14,02	16,78	16,68	20,32	24,70	26,80	27,66	240,98
1982	23,84	19,98	15,64	10,57	13,19	13,78	19,88	18,76	19,38	26,12	25,76	25,58	232,48
1983	27,01	24,30	18,12	13,92	10,92	13,53	14,81	20,48	17,45	24,10	31,84	27,39	243,85
1984	25,34	21,80	15,34	13,60	10,91	15,25	15,18	17,84	18,93	24,22	29,07	29,82	237,30
1985	26,52	22,84	17,23	12,98	11,77	13,13	15,17	15,79	23,28	22,43	29,01	28,66	238,81
1986	26,22	20,46	15,78	12,75	13,74	13,90	17,80	21,28	21,98	25,11	26,68	27,00	242,69
1987	28,48	20,20	16,89	13,57	11,46	12,94	16,49	18,02	20,04	22,07	29,70	30,41	240,26
1988	27,64	20,97	17,00	11,90	10,86	13,79	17,01	15,73	21,81	24,37	29,45	29,22	239,76
1989	25,73	22,86	17,12	15,69	10,85	17,07	17,98	17,06	21,64	23,87	29,34	30,73	249,93
1990	26,42	20,60	17,02	13,10	12,03	11,76	14,61	17,08	20,23	25,52	28,71	29,57	236,64
1991	25,61	19,04	16,35	14,80	12,00	14,73	15,82	19,11	22,66	21,39	27,76	28,55	237,84
1992	26,13	18,91	16,52	13,17	11,42	13,70	16,80	18,39	19,70	23,96	29,05	27,41	235,16
1993	22,78	18,51	13,66	12,54	11,50	13,76	15,55	18,28	20,79	25,78	30,79	29,01	232,92
1994	24,71	20,56	17,58	14,03	12,25	14,79	16,43	17,36	23,78	23,85	28,90	28,69	242,94
1995	23,84	23,42	18,69	13,97	13,78	11,97	14,62	18,35	21,91	26,00	29,00	26,34	241,89
1996	24,03	21,81	16,80	13,33	13,33	16,28	18,23	18,56	20,64	23,57	25,94	26,88	239,38
1997	25,34	22,51	17,05	13,58	13,03	16,41	18,95	18,22	19,67	26,34	29,32	29,36	249,77
1998	25,63	21,97	18,13	12,16	12,07	11,34	14,88	19,92	23,06	25,48	28,41	28,38	241,41
1999	24,59	20,89	15,20	12,74	11,33	16,85	19,20	17,14	21,47	27,76	29,04	29,16	245,37
2000	25,82	19,74	16,02	14,57	13,26	14,61	19,36	20,31	22,05	27,53	28,07	29,02	250,36
2001	24,00	23,76	16,32	15,72	14,65	16,19	17,05	18,14	21,62	24,89	27,30	26,28	245,91
2002	25,52	23,68	17,28	14,91	11,87	12,90	18,46	18,39	23,93	26,81	29,99	30,13	253,88
2003	27,77	20,92	16,22	13,30	12,45	14,97	16,17	18,08	19,40	28,12	29,81	29,43	246,63
2004	27,01	22,61	16,00	11,62	11,13	12,08	18,00	20,21	23,80	28,17	28,52	29,81	248,97
2005	26,09	22,86	16,49	12,93									78,36
<b>A Moyenne</b>	26,1	22,9	16,5	12,9	12,4	15,2	16,3	18,1	21,4	23,5	27,6	28,3	120,61

**Tableau 19:** tableau de calcul des Hauteurs, des Surfaces et des Volumes (HSV)

Côte m	Hauteur m	Volume Mm <sup>3</sup>	Superficie km <sup>2</sup>	Volume m <sup>3</sup>	Volume Mm <sup>3</sup>
545	0	0,0	0	0	102,620
546	1	0,0	0,0004317	102,61969	0,000
547	2	0,0	0,001556	1103,259	0,001
548	3	0,0	0,002855	3348,7103	0,003
549	4	0,0	0,004416	6959,9712	0,007
550	5	0,0	0,00598	12095,805	0,012
551	6	0,0	0,00763	18931,539	0,019
552	7	0,0	0,01067	27975,5	0,028
553	8	0,0	0,01562	40951,404	0,041
554	9	0,1	0,02384	60466,544	0,1
555	10	0,1	0,03165	87847,592	0,1
556	11	0,1	0,0405	123595,52	0,1
557	12	0,2	0,0501	168352,24	0,2
558	13	0,2	0,0596	222650,63	0,2
559	14	0,287	0,0708	287364,61	0,3
560	15	0,4	0,0913	367994,06	0,4
561	16	0,5	0,1142	470209,43	0,5
562	17	0,6	0,135	593811,08	0,6
563	18	0,7	0,1533	737601,54	0,7
564	19	0,9	0,1728	900108,08	0,9
565	20	1,1	0,1888	1080317,6	1,1
566	21	1,3	0,2032	1275048	1,3
567	22	1,5	0,2156	1482906,7	1,5
568	23	1,7	0,2285	1703598,8	1,7
569	24	1,9	0,2407	1935850,2	1,9
570	25	2,2	0,2516	2179393	2,2
571	26	2,4	0,263	2433877,9	2,4
572	27	2,7	0,274	2699451	2,7
573	28	3,0	0,2852	2976048	3,0
574	29	3,3	0,2963	3263674,1	3,3
575	30	3,6	0,309	3562815	3,6
576	31	3,9	0,3205	3873291,5	3,9
577	32	4,2	0,3334	4196311,7	4,2
578	33	4,5	0,3463	4531512,8	4,5
579	34	4,9	0,3598	4880326,7	4,9
580	35	5,2	0,375	5242636,1	5,2
581	36	5,6	0,3915	5620778,7	5,6
582	37	6,0	0,4138	6018031,5	6,0
583	38	6,4	0,4398	6438805,5	6,4
584	39	6,9	0,4644	6885738,9	6,9
585	40	7,4	0,4853	7354265,2	7,4
586	41	7,8	0,507	7843710,7	7,8
587	42	8,4	0,527	8353649,5	8,4
588	43	8,9	0,547	8883196,3	8,9
589	44	9,4	0,566	9432059,2	9,4
590	45	10,0	0,586	10000208	10,0
591	46	10,6	0,604	10586986	10,6
592	47	11,2	0,623	11192850	11,2
593	48	11,8	0,642	11817287	11,8
594	49	12,5	0,661	12459408	12,5
595	50	13,1	0,679	13119924	13,1
596	51	13,8	0,697	13798115	13,8
597	52	14,5	0,715	14492988	14,5
598	53	15,2	0,73	15204544	15,2
599	54	15,9	0,748	15932823	15,9
600	55	16,7	0,765	16677448	16,7
601	56	17,4	0,782	17438801	17,4
602	57	18,2	0,799	18216874	18,2
603	58	19,0	0,818	19012538	19,0
604	59	19,8	0,841	19828652	19,8
605	60	20,7	0,862	20665936	20,7
606	61	21,5	0,881	21523192	21,5
607	62	22,4	0,901	22399475	22,4
608	63	23,3	0,92	23295570	23,3
609	64	24,2	0,939	24209804	24,2
610	65	25,1	0,958	25141835	25,1
611	66	26,1	0,975	26091459	26,1
612	67	27,1	0,993	27058388	27,1
613	68	28,0	1,011	28042497	28,0
614	69	29,0	1,029	29044062	29,0
615	70	30,1	1,046	30062836	30,1
616	71	31,1	1,065	31098638	31,1
617	72	32,2	1,082	32151796	32,2
618	73	33,2	1,099	33222025	33,2
619	74	34,3	1,118	34309592	34,3
620	75	35,4	1,135	35414753	35,4
621	76	36,5	1,156	36537382	36,5
622	77	37,7	1,176	37680240	37,7
623	78	38,8	1,194	38841315	38,8
624	79	40,0	1,211	40019683	40,0
625	80	41,2	1,231	41215844	41,2
626	81	42,4	1,249	42430023	42,4
627	82	43,7	1,268	43661901	43,7
628	83	44,9	1,285	44910965	44,9
629	84	46,2	1,303	46177610	46,2
630	85	47,5	1,32	47461253	47,5
631	86	48,8	1,338	48761074	48,8
632	87	50,1	1,355	50077780	50,1
633	88	51,4	1,372	51410979	51,4
634	89	52,8	1,389	52760436	52,8
635	90	54,1	1,405	54125607	54,1
636	91	55,5	1,423	55508005	55,5
637	92	56,9	1,44	56905706	56,9
638	93	58,3	1,457	58320230	58,3
639	94	59,8	1,473	59750959	59,8
640	95	61,2	1,491	61197674	61,2
641	96	62,7	1,509	62661753	62,7
642	97	64,1	1,527	64143150	64,1
643	98	65,6	1,545	65641616	65,6
644	99	67,2	1,564	67157765	67,2
645	100	68,7	1,584	68692682	68,7
646	101	70,2	1,603	70246887	70,2
647	102	71,8	1,624	71820825	71,8
648	103	73,4	1,643	73414444	73,4
649	104	75,0	1,664	75026587	75,0

## Etude hydrologique de la faisabilité d'un petit barrage dans la région de Rhamna

650	105	76,7	1,684	76657616	76,7
651	106	78,3	1,702	78307501	78,3
652	107	80,0	1,721	79975604	80,0
653	108	81,7	1,741	81662183	81,7
654	109	83,4	1,758	83367217	83,4
655	110	85,1	1,777	85089781	85,1
656	111	86,8	1,798	86830625	86,8
657	112	88,6	1,817	88591875	88,6
658	113	90,4	1,84	90373193	90,4
659	114	92,2	1,863	92176777	92,2
660	115	94,0	1,887	94003114	94,0
661	116	95,8	1,906	95849849	95,8
662	117	97,7	1,925	97715970	97,7
663	118	99,6	1,945	99601248	99,6
664	119	101,5	1,961	101502918	101,5
665	120	103,4	1,977	103420433	103,4
666	121	105,4	1,993	105353513	105,4
667	122	107,3	2,009	107302439	107,3
668	123	109,3	2,025	109266657	109,3
669	124	111,2	2,04	111245799	111,2
670	125	113,2	2,055	113239591	113,2
671	126	115,2	2,071	115248028	115,2
672	127	117,3	2,088	117271717	117,3
673	128	119,3	2,103	119311098	119,3
674	129	121,4	2,118	121365526	121,4
675	130	123,4	2,136	123436227	123,4
676	131	125,5	2,15	125522004	125,5
677	132	127,6	2,162	127620643	127,6
678	133	129,7	2,173	129730072	129,7
679	134	131,9	2,185	131850426	131,9
680	135	134,0	2,197	133982382	134,0
681	136	136,1	2,207	136124434	136,1
682	137	138,3	2,218	138276784	138,3
683	138	140,4	2,228	140439602	140,4
684	139	142,6	2,239	142612222	142,6
685	140	144,8	2,249	144795099	144,8
686	141	147,0	2,259	146987854	147,0
687	142	149,2	2,269	149190154	149,2
688	143	151,4	2,279	151401796	151,4
689	144	153,6	2,289	153622948	153,6
690	145	155,9	2,299	155854088	155,9
691	146	158,1	2,31	158095250	158,1
692	147	160,3	2,322	160347150	160,3
693	148	162,6	2,333	162610516	162,6
694	149	164,9	2,344	164884779	164,9
695	150	167,2	2,356	167169767	167,2
696	151	169,5	2,364	169464518	169,5
697	152	171,8	2,375	171768643	171,8
698	153	174,1	2,384	174082192	174,1
699	154	176,4	2,392	176404810	176,4
700	155	178,7	2,4	178734714	178,7
701	156	181,1	2,407	181071786	181,1
702	157	183,4	2,413	183415116	183,4
703	158	185,8	2,42	185765355	185,8
704	159	188,1	2,425	188121191	188,1
705	160	190,5	2,431	190481949	190,5
706	161	192,8	2,436	192847594	192,8
707	162	195,2	2,441	195217987	195,2
708	163	197,6	2,445	197593042	197,6
709	164	200,0	2,45	199972724	200,0
710	165	202,4	2,454	202357275	202,4
711	166	204,7	2,459	204745915	204,7
712	167	207,1	2,464	207139490	207,1
713	168	209,5	2,469	209537515	209,5
714	169	211,9	2,474	211940208	211,9
715	170	214,3	2,478	214347693	214,3
716	171	216,8	2,484	216760623	216,8
717	172	219,2	2,489	219178428	219,2
718	173	221,6	2,496	221601791	221,6
719	174	224,0	2,502	224031451	224,0
720	175	226,5	2,509	226468058	226,5
721	176	228,9	2,514	228910263	228,9
722	177	231,4	2,519	231357605	231,4
723	178	233,8	2,524	233809919	233,8
724	179	236,3	2,526	236265429	236,3
725	180	238,7	2,528	238722809	238,7
726	181	241,2	2,529	241181851	241,2
727	182	243,6	2,53	243642035	243,6
728	183	246,1	2,531	246103196	246,1
729	184	248,6	2,532	248565364	248,6
730	185	251,0	2,533	251028492	251,0
731	186	253,5	2,534	253492619	253,5
732	187	256,0	2,535	255957767	256,0
733	188	258,4	2,536	258423744	258,4
734	189	260,9	2,537	260890534	260,9
735	190	263,4	2,538	263358199	263,4
736	191	265,8	2,539	265826712	265,8
737	192	268,3	2,54	268296064	268,3
738	193	270,8	2,541	270766202	270,8
739	194	273,2	2,541	273237081	273,2
740	195	275,7	2,542	275708697	275,7
741	196	278,2	2,543	278181025	278,2
742	197	280,7	2,544	280654147	280,7
743	198	283,1	2,544	283127928	283,1
744	199	285,6	2,545	285602361	285,6
745	200	288,1	2,546	288077473	288,1
746	201	290,6	2,546	290553327	290,6
747	202	293,0	2,547	293029750	293,0
748	203	295,5	2,547	295506739	295,5
749	204	298,0	2,548	297984407	298,0
750	205	300,5	2,549	300462771	300,5
751	206	302,9	2,549	302941655	302,9
752	207	305,4	2,55	305421133	305,4
753	208	307,9	2,551	307901184	307,9
754	209	310,4	2,551	310381977	310,4