

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



FACULTE DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE

**Spécialité : Ressources en Eau**

**MEMOIRE**

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de •

**MASTER 2**

**THEME**

**Analyse de l'Aléa érosion hydrique en milieu montagnard semi-aride  
du nord-est algérien**

**Réalisé Par:**

**AGGOUN Ishaq**

**Encadré Par:**

**Mr GUIDOUM Azzedine**

**Soutenu publiquement devant le jury :**

**Mr CHETIH Mohamed**

**Président**

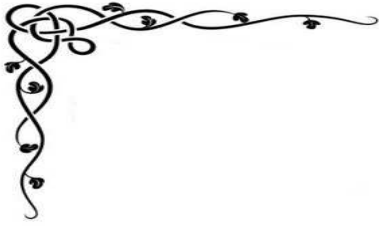
**Mr STAMBOUL Madani**

**Examineur**

**Mr HAMLET Abdelkader**

**Examineur**

**Année Universitaire : 2016/2017**



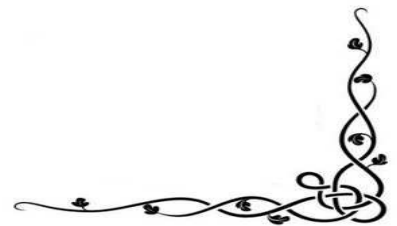
## *Remerciements*

Je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé et la volonté  
d'entamer et de terminer ce mémoire.

Je tiens à remercier tout d'abord **GUIDOUM Azzedine** , Pour ses valeureux  
conseils et pour la confiance la sympathie qu'il m'a accordé en acceptant de  
m'encadrer.

J'exprime toute mes reconnaissances a Mr. **CHETIH Mohamed** , d'avoir bien  
voulu me faire l'honneur de présider le jury de ce mémoire.

J'adresse mes examinateur remerciements à Mr. **STAMBOUL Madani** et Mr.  
**HAMLET Abdelkader** , membre de jury , pour avoir accepté d'être examiné  
ce manuscrit .



# Dédicace

*à mon père*

*à ma mère,*

*Ma sœur,*

*Mes frères,*

*et mes amis*

***ISHAQ.A***



## Liste des tableaux

Tableau 1. Formes de l'érosion linéaire (Hadir, 2010) .....	14
Tableau 2. Caractéristiques morphométriques et hydrographiques du bassin de l'Oued Melah.....	22
Tableau 3. Caractéristiques des stations pluviométriques retenues dans l'étude.....	24
Tableau 4. Moyenne annuelle des séries pluviométriques retenues dans l'étude (1970-2010).....	26
Tableau 5. Variation mensuelle des pluies journalières maximales (1970-2010).....	28
Tableau 6. Températures mensuelles à la station de Guelma (1990-2004).....	29
Tableau 7. Relations saisonnières entre les débits instantanés liquides et Solides (1972-1993).....	42
Tableau 8. Charge solide moyen mensuel estimé à la station de Bouchegouf contrôlant l'OuedMelah (1972-1993).....	43
Tableau 9. Répartition saisonnière des apports liquides et solides.....	44

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Processus d'érosion hydrique.....	11
<b>Figure 2.</b> Erosion par l'impact (splash), (Leguédou S. 2003).....	12
<b>Figure 3.</b> Si intensité pluie > Infiltration (Horton).....	12
<b>Figure 4.</b> Si la porosité du sol est saturée.....	13
<b>Figure 5.</b> Contribution localisée du ruissellement.....	13
<b>Figure 6.</b> Mode de transport solide.....	16
<b>Figure 7.</b> Situation géographique de la zone d'étude (bassin versant de l'Oued Melah).....	21
<b>Figure 8.</b> Variation interannuelle des pluies moyennes annuelles (1970-2010).....	25
<b>Figure 9.</b> Variation annuelles des pluies moyennes mensuelles (1970-2010).....	27
<b>Figure 10.</b> Répartition saisonnière des pluies moyennes Annuelles (1970-2010).....	27
<b>Figure 11.</b> Méthodologie adoptée pour la cartographie de l'aléa érosion hydrique.....	32
<b>Figure 12.</b> Carte d'inclinaison des pentes du bassin de l'Oued Melah.....	33
<b>Figure 13.</b> Carte lithologique du bassin de l'Oued Melah.....	34
<b>Figure 14.</b> Carte d'occupation des sols du bassin de l'Oued Melah.....	35
<b>Figure 15.</b> Carte d'érosivité des pluies du bassin de l'Oued Melah (1970 - 2010).....	36
<b>Figure 16.</b> Carte de l'aléa érosion du bassin de l'Oued Melah.....	38
<b>Figure 17.</b> Répartition surfacique de l'aléa érosion hydrique dans le Melah.....	39
<b>Figure 18.</b> Calcul d'un débit moyen journalier(Demmak 1982).....	41
<b>Figure 19.</b> Variations interannuelles des débits solides et liquides à la station de Bouchegouf (1972-1993).....	45
<b>Figure 20.</b> Répartition saisonnière des Apports solides estimés à la station de Bouchegouf (1972-1993).....	45

## **Liste des abréviations**

MNT : modèle numérique de terrain

MES : Matières en Suspension

SIG : système d'information géographique

ANRH : agence nationale des ressources hydrauliques

AMC : analyse multi-critères

ENVI : Logiciel de traitement d'images de télédétection

## **Introduction générale**

L'eau et le sol constituant sans doute le capital le plus précieux pour l'homme. Or, jour après jour, le sol est emporté par l'eau, c'est l'érosion hydrique qui est devenue une question pertinente au niveau Mondial. Ce phénomène est très répandu dans les pays du pourtour méditerranéen (Barthès et Roose, 2001). Avec un taux érosif moyen annuel variant entre 2000 et 4000 t/km<sup>2</sup>, l'Algérie se classe parmi les pays les plus érodables du monde (Demmak, 1982). On estime à plus de 20 millions d'hectares les terres touchées par l'érosion, plus particulièrement dans les zones montagneuses.

De par ses conditions physiques, géomorphologiques et hydroclimatiques, le bassin de Oued Melah, sujet de notre étude, est le siège d'une dégradation importante de ses sols par l'érosion hydrique.

Les modèles de prédictions de l'aléa érosion sont nécessaires pour la mise en place d'une stratégie efficace d'aménagement et de conservation des eaux et des sols.

L'USLE reste le modèle le plus couramment employé pour prédire les pertes dues à l'érosion du sol. Ce modèle présente certaines limites d'application :- il n'est pas applicable telle qu'il dans le bassin méditerranéen où l'érosion par ravinement est très répandue et les sols sont riches en argiles qui manifestent très rapidement un ravinement important (Cormary et Masson, 1964, Roose 1975, Wischmeier 1976, Chebbani et Belaidi 1997, Kouri et al. 1997) (Roose, 1975).- au-delà de 20% de pente, ce modèle ne s'applique plus, car l'énergie du ruissellement devienne prépondérante. De plus, cette équation attribue une grande importance à la pente des versants qui n'est pas le facteur primordial du risque érosif au bassin méditerranéen (Roose et al. 1993). Elle a été conçue seulement pour prédire le taux moyen annuel d'érosion diffuse ou en rigoles à long terme.

Au vu de ces limites, il y a un besoin pour des modèles plus simple, fiable et couplés avec un SIG. En effet, Nous proposons une démarche de modélisation cartographique qui s'appuie sur des évaluations multicritères qualitatives, complétées par des résultats quantitatifs d'une modélisation statistique menées sur des concentrations en matières en suspension observées.

Ceci vise à évaluer et à spatialiser l'impact du climat (érosivité) et de l'occupation du sol sur le phénomène érosion hydrique et le transport des sédiments vers l'exutoire du bassin étudié.

Après un premier chapitre qui présente une synthèse bibliographique sur les processus de l'érosion hydrique et du transport solide. Le chapitre II s'intéresse à l'identification du bassin d'étude en présentant ses caractéristiques physiques et climatiques.

Le chapitre III introduit la démarche suivie, en déterminant les couches d'informations (variabilité spatiale des facteurs érosifs), leur croisement par évaluation multicritère et en interprétant les cartes d'aléa obtenues. Ce chapitre synthétise aussi l'ensemble des résultats de la modélisation statistique de la charge solide, obtenus pour le bassin d'étude.

**Chapitre I**  
**Processus de l'érosion hydrique: synthèse**  
**bibliographique**

Ce chapitre tente de présenter le processus de l'érosion hydrique, les mécanismes qui le génèrent et les facteurs qui y contribuent. Les outils pratiques de prédiction et de cartographie, seront exposés.

### I.1 Qu'est-ce qu'une érosion hydrique érosion hydrique ?

L'érosion hydrique définit comme le détachement et le transport de particules de sol de son emplacement d'origine par différents agents vers un lieu de dépôt à Laval.

### I.2 Mécanismes et genèse de l'érosion hydrique

Les trois étapes processus par lesquelles passe l'érosion hydrique sont le détachement, le transport et dépôt (sédimentation), comme illustré à la Figure 01. L'agent principal de ces processus est l'eau, et plus particulièrement la pluie et le ruissellement superficiel.

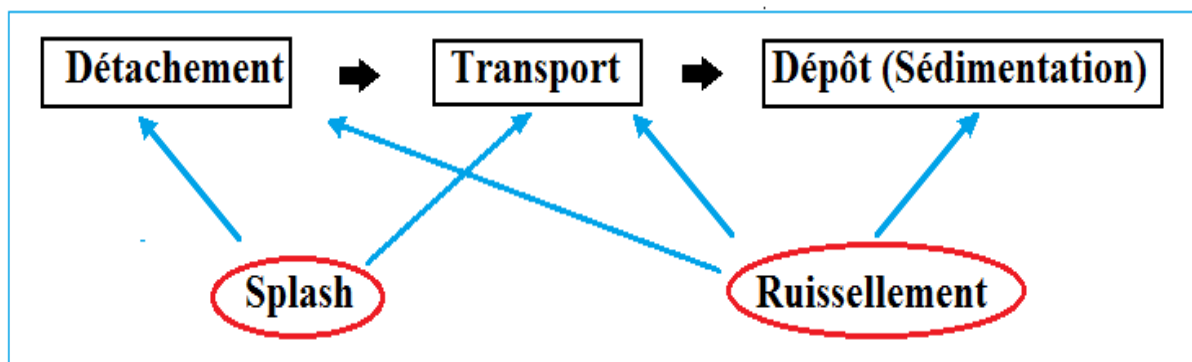


Figure 01 : Processus d'érosion hydrique

#### I.2.1 Erosion par l'impact (splash)

La pluie est un agent essentiel de l'érosion des sols et son potentiel érosif de la pluie est désigné par le terme général d'érosivité (figure 02). La force d'impact des pluies (Le spalsh) qui détacher les particules de leur surface, dépend de l'intensité et des caractéristiques des gouttes d'eau comme la taille, la vitesse, la forme et l'angle d'impact.

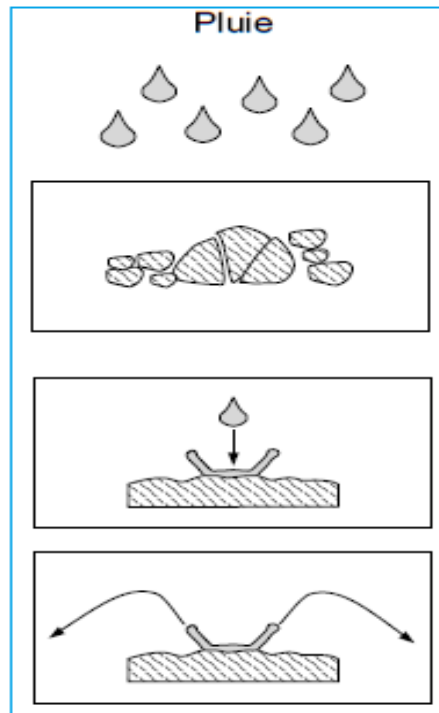


Figure 02 : Erosion par l'impact (splash), (Leguédois S. 2003).

### I.2.2 Erosion par ruissellement

Le détachement et la mise en mouvement des particules de sols par le ruissellement dépendent de la cohésion interne (résistance au cisaillement) des matériaux soumis à l'érosion figure (3, 4,5). Ce type d'érosion peut prendre deux formes :

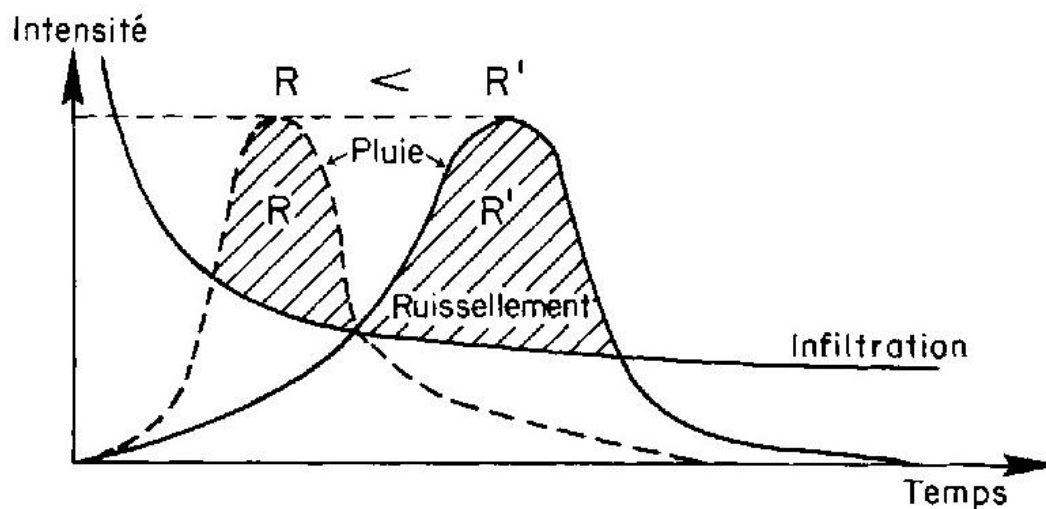


Figure 03: Si intensité pluie > Infiltration (Horton)

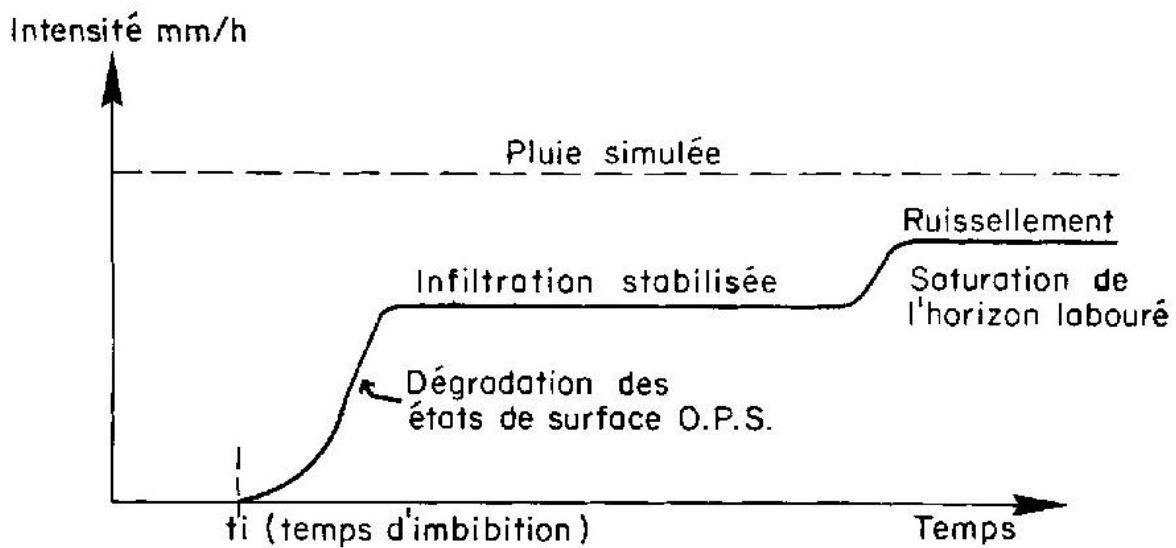


Figure 04 : Si la porosité du sol est saturée

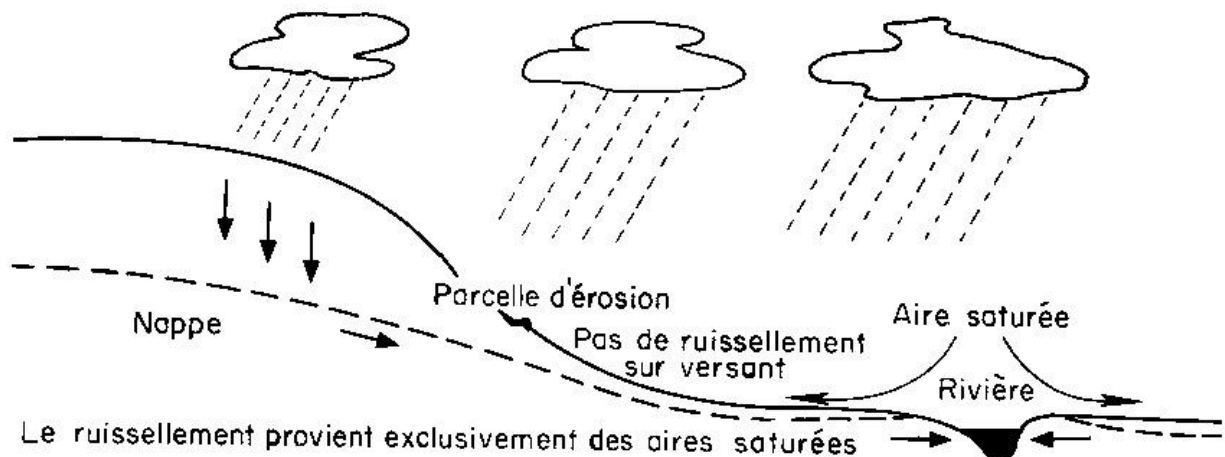


Figure 05 : Contribution localisée du ruissellement

### I.2.2 .1 L'érosion en nappe (sheeterosion)

L'Érosion hydrique en nappe désigne un phénomène d'enlèvement d'une mince couche de terre sur de grandes superficies. Elle est observée sur des terrains à pentes faibles, où l'eau ne peut pas se concentrer et provoque des usures non perceptible dans la majorité des cas. La quantité de terre enlevée peut être importante sur une longue durée.

### I.2.2.2 L'érosion linéaire

Ce type d'érosion hydrique désigne un phénomène qui se produit lorsque l'eau se concentre dans un creux de terrain. Il se forme des filets, des rigoles et des ravines dans lesquelles, les particules de sols détachées sont emmenées vers l'aval (tableau (1)).

**Tableau 1 : Formes de l'érosion linéaire (Hadir, 2010).**

<b>Formes</b>	<b>Tracé</b>	<b>Longueur</b>	<b>Largeur</b>	<b>Profondeur</b>
Griffe	Sinueux	<1 m	< 10 cm	5-6 cm
Rill	Rectiligne	Centaine de m	10-20 cm	5-10 cm
Rigole	Sinueux	Dizaine de m	5-70 cm	10-30 cm
Ravine	Peu sinueux	Centaine de m	50 cm à 1m	30-50 cm
Petit ravin	Peu sinueux	Centaine de m	50 cm à 1m	50-200 cm

### **I.3 Les principaux agents de l'érosion hydrique en milieu méditerranéen**

L'érosion hydrique est une fonction multiplicative de l'érosivité potentielle des pluies et d'autres facteurs de résistance du milieu et leurs interactions.

#### **I.3.1 Le climat**

Le climat conditionne d'une façon directe le processus de l'érosion. En plus de l'influence de la température et de fréquence des vents et leur régime, les précipitations représentent le facteur climatique le plus déterminant de l'érosion hydrique.

#### **I.3.2 Les précipitations**

La pluie représente le facteur climatique le plus déterminant de l'érosion hydrique. L'impact des gouttes de pluie peut briser les agrégats et disperser les particules de sol. Ce processus représente le premier stade de l'érosion hydrique des sols. L'impact de la pluie, peut être modifié par l'action du vent, du couvert végétal, et de l'état hydrique du sol.

#### **I.3.3 La lithologie et nature du sol**

La nature lithologique des formations superficielles est considérée comme le facteur principal contrôlant l'équilibre du versants les mouvements de terrain.Elle apporte des informations sur les produits d'altération en surface, dérivés de cette roche-mère, lorsqu'ils existent. En plus le

transport des particules est en fonction de ses caractères comme la texture, la minéralogie et la stabilité structurale.

#### **I.3.4 Le couvert végétal**

La couverture végétale intervient sur le ruissellement et donc les pertes en terre. Elle protège le sol contre la battance des pluies et réduit considérablement le volume d'eau ruisselé. Par ailleurs, l'occupation des sols est un facteur dynamique dans l'évaluation de la vulnérabilité à l'érosion. Il est susceptible de varier considérablement par rapport la topographie ou la pédologie (Cheula 2013). En effet, la maîtrise de ce facteur constitue un enjeu important pour contrôler le phénomène érosif.

#### **I.3.5 La topographie et la déclivité du relief**

L'érosion dépend de certaines caractéristiques géométriques dont la pente. Ce facteur intervient dans les phénomènes d'érosion du fait de sa forme, de son inclinaison et de sa longueur. A indiquer aussi que les paramètres hydro climatiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, .....)

#### **I.3.6 L'effet amplificateur des actions anthropiques**

Les actions anthropiques peuvent être à l'origine du déclenchement et de l'amplification du phénomène érosif. Les incendies, la déforestation, les pratiques culturales et les aménagements routiers et urbains, augmentent les surfaces imperméables et donc favorisent le ruissellement et l'entraînement du sol (Remmas 2014 in Youssef 2011)

### **I.4 Le transport solide**

Le transport solide dans un cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion hydrique. Il est dû à la fois à l'effet splash généralement négligeable et aux eaux de ruissellement qui sont les plus responsables du transport des particules du sol détachées

#### **I.4.1 La dissolution**

Le transport par dissolution concerne les matières transportées en solution dans l'eau venant de l'érosion chimique des bassins versants, des pollutions anthropiques et des apports atmosphériques. Les matières en dissolution ne représentent qu'une infime partie de débit global solide.

#### **I.4.2 La suspension**

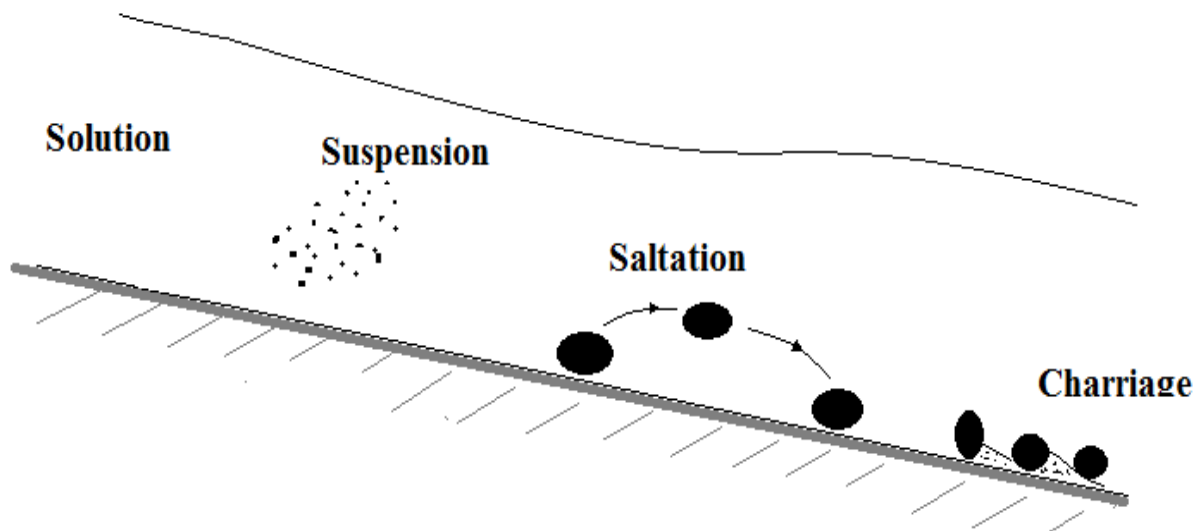
Il concerne les éléments les plus fins du transport solide qui restent en permanence (sur des longues distances) en suspension dans la masse d'écoulement, sous l'effet de la turbulence de l'eau.

#### **I.4.3 La saltation**

Pour ce type de transport, le déplacement des particules solides se fait par des bonds successifs et passent alternativement entre la suspension et le charriage.

#### **I.4.4 Le charriage**

Dit aussi transport de fond, le charriage concerne plutôt les matières solides grossières qui contribuent à la formation et à l'équilibre du lit. Ces matériaux glissent et roulent sur le fond sans pratiquement jamais quitter le lit figure 09.



**Figure 06 : Mode de transport solide**

## **I.5 Prédiction de l'érosion hydrique**

L'ensemble des recherches menées sur la prédiction de l'érosion hydrique permettent de retenir deux méthodes principales: la méthodologie quantitative et la qualitative. Ces méthodologies varient en fonction des objectifs, des moyens et des échelles de travail.

### **I.5.1 Estimation des pertes en terre à l'aide du modèle de Wischmeier**

L'équation universelle des pertes des sols (Wischmeier et Smith 1978) est L'approche quantitative, la plus connue pour la détermination des pertes en sols et la zonalité de l'aléa érosion hydrique. Elle a été conçue pour prédire le taux moyen annuel d'érosion diffuse ou en rigoles à long terme, et se présente sous la forme d'un produit de 6 facteurs érosifs soit :

$$A = R .K .LS .C . P$$

avec :

A : pertes annuelles de sol (t/ha/an)

R : érosivité des précipitations (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>).

K : érodabilité du sol ou susceptibilité du sol à l'érosion (t ha<sup>-1</sup>MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> ha h)

LS : facteur dépendant de la pente et sa longueur

S : facteur de pente

C : facteur d'aménagement de culture

P : facteur de conservation des sols pratiqué

### **I.5.2 Cartographie de l'aléa « érosion des sols »**

Elle s'appuie sur l'apport des données numériques exprimant la variabilité spatiale des divers facteurs à l'origine de l'érosion hydrique, par l'exploitation d'un SIG, et permette de caractériser le degré de l'aléa érosif. La cartographie de la répartition spatiale de cet aléa permette de fournir un outil de diagnostic d'éventuelles évolutions de dégâts liés à l'érosion hydrique des sols. Elle impose que toutes les couches d'information soient superposables en termes topologiques.

### **I.5.2.1 L'analyse multicritère (AMC)**

L'analyse multicritère consiste à évaluer des scénarios (solutions) selon un ensemble de critères en adoptant une démarche structurée (Saint-Laurent et Schneider2004).Chacun de ces critères est pondéré d'un coefficient (poids relatif).Les méthodes d'AMC de divers types, qui sont des outils d'aide à la décision, peuvent être utilisées dans plusieurs domaines d'application dont la cartographie de l'aléa érosion hydrique.

### **I.5.2.2 Apport des SIG à la cartographie de l'érosion hydrique.**

Le SIG est un outil qui permet de rassembler diverses données présentant un point commun d'ordre spatial, et permet également de faire le lien entre des thématiques différentes. Il permet de saisir, gérer, analyser des données de géoréférencées et spatialiser l'information sous forme de cartes.

Ce système d'information est considéré comme étant un outil de prise de décision par excellence dans le domaine de la gestion des risques liés à l'érosion hydrique. Il est capable de structurer les différentes informations géographiques, afin de localiser les zones d'aléa.

#### **a. Le système SIG-AMC intégré**

L'analyse multicritère est de plus en plus souvent combinée aux systèmes d'information géographique afin de répondre à des problèmes de localisation, d'analyse de contraintes, de potentiels, ou de risques (Roy, 1985). Le couplage entre SIG- AMC permette de combler leurs lacunes (la difficulté pour les SIG à prendre en compte la dimension multicritère et les limites de l'AMC à représenter la dimension spatiale).

#### **b. La télédétection et les intérêts de l'imagerie pour la cartographie de l'érosion**

La télédétection est l'ensemble des techniques mises en œuvre à partir d'avions, de satellites, de navettes spatiales, permettant d'étudier à distance soit la surface de la terre soit l'atmosphère (El Bouqdaoui2017).

La télédétection offre l'opportunité d'étudier les différents phénomènes hydrologique, notamment l'érosion hydrique, sur de grandes superficies à moindres coûts grâce à l'utilisation des images satellites et des photographies aériennes. En plus, Le captage d'images à répétition donne la possibilité de suivre le phénomène de l'érosion dans le temps (Bou Kheiret al. 2001,

in : Paul-Hus C. 2011). Parmi l'ensemble des images satellites, certaines sont plus adaptées à l'étude de l'érosion, dont les images ETM+ du satellite Landsat)

### **I.6 Ampleur de l'érosion en Algérie**

L'érosion hydrique reste un problème majeur en Algérie septentrionale. Elle menace les potentialités en eau et en sol et se manifeste surtout sur les terrains en pente des massifs montagneux. Selon Demmak, (1982), l'Algérie se classe parmi les pays les plus menacés par l'érosion hydrique au niveau mondial, avec une érosion moyenne annuelle de 2000 à 4000 t/km<sup>2</sup>. Elle affecte 28 % des terres de l'Algérie du nord et les pertes en sols sont estimées à plus de 20 millions d'hectares. Douze (12) millions d'hectares des zones telliennes(soit 45%) sont touchés par ce phénomène (Chebbani et al 1999). Dans l'Est de l'Algérie, 26% de l'ensemble des terres. L'envasement des retenues des 110 barrages algériens est estimé en 1995 à plus de 560. 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (Bouchelkia et Remini 2003).

**Chapitre II**  
**Cadre physico-géographique du**  
**bassin d'étude**

Les caractéristiques morphométriques et celles liées au réseau hydrographique influencent considérablement la réponse hydrologique d'un bassin versant, notamment en périodes de crue et d'étiage. A ces facteurs s'ajoutent encore la lithologie et la pédologie du bassin et l'occupation des sols.

### II.1 Situation géographique :

Situé dans le nord-est du grand bassin versant de de la Seybouse, le bassin versant de Oued Melah, d'une superficie de 550 km<sup>2</sup>, est localisé au Nord-est de l'Algérie, sur le versant nord de l'Atlas tellien, entre 36° 12' 49" et 36° 30' 19" de latitude Nord et entre 7° 29' 15" et 7° 58' 51" de longitude figure(7). Et le bassin fait partie d'une zone montagnarde de de l'Atlas Tellien et se caractérise par des précipitations d'une grande variabilité spatio-temporelle et relativement abondantes (avoisinentes les 1000 mm à la station de Mechroha située à 750m d'altitude).

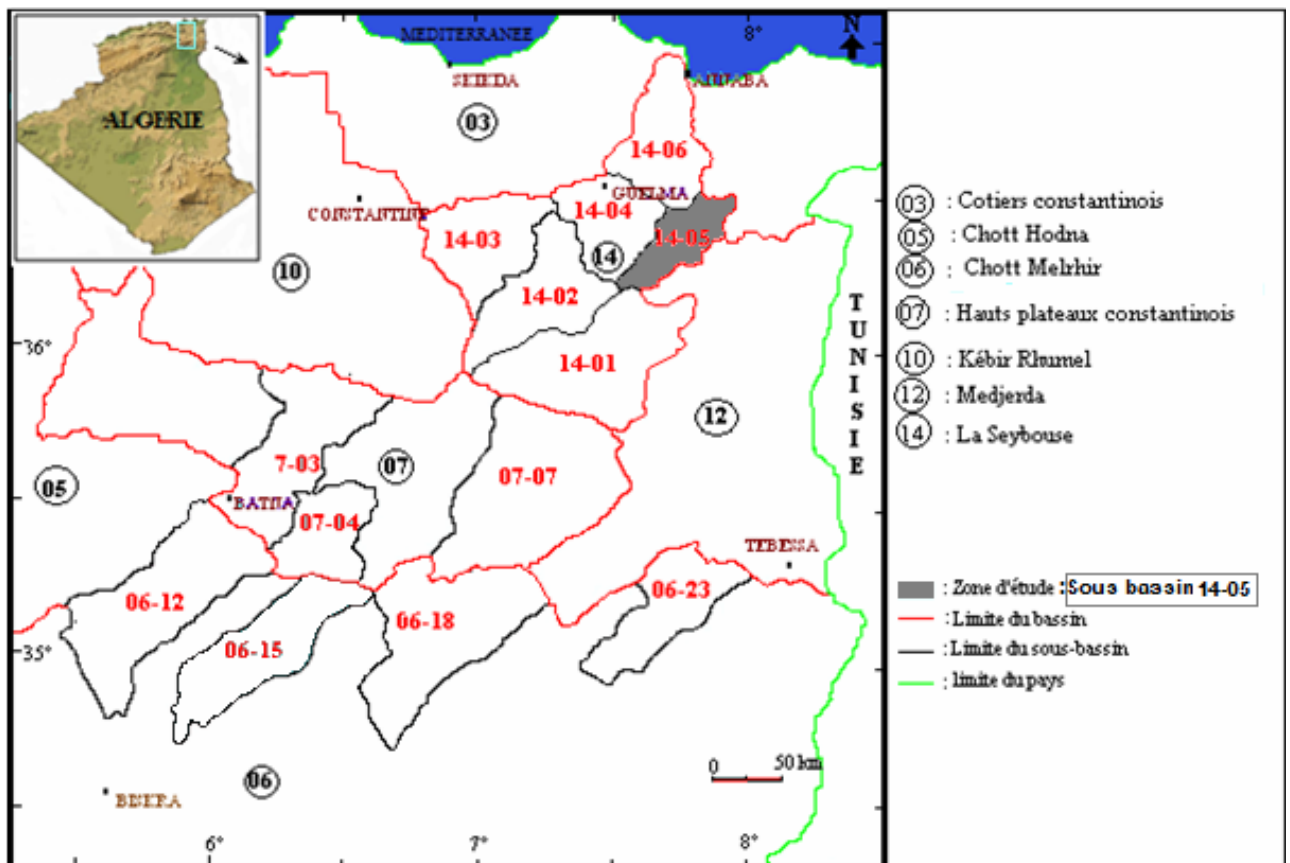


Figure 07 : Situation géographique de la zone d'étude (bassin versant de l'Oued Melah)

## II.2 morphométrie et réseau hydrographique :

Le Melah est topographiquement très hétérogène avec des altitudes qui varient entre 96m et 1317 m. Il est caractérisé par un relief abrupt, ayant souvent de fortes pentes. En effet, la description physique du bassin d'étude implique la détermination d'un certain nombre d'indices morphométriques (Tableau 2). Ces derniers vont nous aider à mettre en évidence la sensibilité du terrain d'étude vis-à-vis du processus érosif.

Le réseau hydrographique de l'Oued Melah est relativement dense et bien hiérarchisé. L'Oued Melah, affluent issu du versant nord-ouest des monts arrosés de la Medjerdase jette dans Oued Seybouse près de Bouchegouf. Il est formé par la réunion, près de Bouchegouf, de l'Oued Sfa, de l'Oued Cham et de l'Oued Gham. Ce dernier, plus haut, porte le nom d'Oued Rbiba puis d'Oued Sekaka.

**Tableau 02 : Caractéristiques morphométriques et hydrographiques du bassin de l'Oued Melah**

Indices	S	P	Kc	L	Hmax	Hmin	Hmoy	Ip	Lp	Dd	Ddp	Dpt	Ct	Tc
unité	Km <sup>2</sup>	Km	-	Km	M			-	Km	Km/km <sup>2</sup>			-	h
<b>Melah</b>	550	139	1.66	60.39	1317	96	641	0.5	53	4.0	0.63	0.13	25.2	9.28

**S** : superficie ; **P** : périmètre ;

**Kc**: coefficient de compacité ; **L** : longueur du rectangle équivalent ;

**Hmin** : altitude minima ; **Hmax** : altitude maxima ;

**Hmoy** : altitude moyenne ; **Ip** : indice de pente de Roche ;

**Lp**: longueur du thalweg principal ; **Dd** : densité de drainage ;

**Ddp** : densité de drainage permanent ; **Dpt** : densité de drainage temporaire ;

**Ct** : coefficient de torrentialité ; **Tc** : Temps de concentration.

## II.3 Formations lithologiques :

Le bassin de l'Oued Melah est formé essentiellement de trois ensembles lithologiques différenciés. La partie sud drainée par l'Oued Rbiba (Skaka) et l'Oued Chehan, est occupée par des calcaires yprésiens, des marnes et marno-calcaires du Crétacé supérieur.

Au centre, le Trias de Djebels Nador domine, il correspond à une association de dolomies, de marnes, d'argiles et de gypses broyés. Ces formations jouent un rôle fondamental de par sa

forte teneur en sol. En effet l'existence des affleurements de gypses, salent les eaux de surface de l'Oued Seybouse, et ne permet pas leur utilisation en saison estivale (Ghachi, 1985 in Guidoum 2017).

Le nord du bassin est occupé par des argiles, des grés, et des conglomérats, d'âge Mi pliocène (Pontien). Ces formations sont encadrées au nord par les grés numidiens et les marno-calcaires du Crétacé inférieur (Figure 13).

### II.4 Couvert végétal et occupation des sols :

Le bassin du Melah à caractère montagnard est relativement boisé. On observe au sud des quelques forêts de pin d'Alep alternées avec des zones de broussailles formées de chênes verts. Sur le revers nord-est de l'Atlas Tellien (la chaîne Numidique), exposés aux vents humides, se trouvent les forêts denses de chênes lièges et de chêne zen. Le long des versants des Oueds, l'olivier sauvage et les lentisques couvrant le sol argileux et marno-calcaires. A la place des peuplements ravagés par les incendies, la formation des Maquis à différentes espèces forestières avec quelques reboisements. Au fond des Oueds, se trouvent le laurier rose et le tamaris (Ghachi, 1985).

Le caractère discontinu de cette couverture forestière présage d'une érosion développée dans le Melah, seul la couverture forestière du secteur nord-est, peut avoir un impact positif sur ce phénomène.

### II.5 Le climat :

La zone d'étude est caractérisée par un climat de type méditerranéen sensiblement modifié par l'altitude, avec un hiver humide et un été sec. C'est l'une des régions les plus arrosées du pays qui est caractérisée par une période sèche entre juin et octobre et une période humide qui s'étale sur le restant de l'année. La lame d'eau précipitée sur l'ensemble du bassin versant a été estimée à 731 mm (Guidoum 2017) et les températures moyennes mensuelles présentent un minimum en janvier (10 °C) et un maximum en août (28 °C) et ce pour la période 1990-2004.

#### II.5.1 Les précipitations et leur variabilité :

Les précipitations constituent le facteur essentiel intervenant par leur répartition annuelle et mensuelle, leurs totaux journaliers, et surtout les averses génératrices des crues.

### II.5.1.1 Le réseau pluviométrique et les séries d'observation :

Pour analyser la pluviométrie de notre bassin d'étude, nous avons exploité les séries d'observations enregistrées au niveau des deux stations de Bouchegouf et Mechroha (Tableau 03), étalant sur 40 ans de septembre 1970 en aout 2010. C'est données sont fournées par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH).Les stations retenues pour l'étude présentent des lacunes d'observation pendant certains mois de l'année.La restitution de ces données manquantes a été établie l'aide du logiciel Hydrolab(Laborde et Mouhous 1998)sous Excel en appliquant le Macro «Bouche trou».

**Tableau 03**Caractéristiques des stations pluviométriques retenues dans l'étude

Station	Code-ANRH	Coordonnés Lambert (km)		Altitude (m)
		x	y	
Mechroha	14 05 02	961,15	351,55	750
Bouchegouf	14 05 05	949,15	362,2	110

### II.5.1.2 Les précipitations, leur évolution et le régime saisonnier :

L'observation de la figure (08) nous permet de dégager les tendances générales de la variation et l'évolution de la pluviométrie annuelle. Cette illustration met en évidence la très grande variabilité pluviométrique interannuelle du bassin d'étude. Les précipitations annuelles sont très variables avec de fortes amplitudes d'une année sur l'autre et une succession totalement aléatoire d'années très contrastées.

Les valeurs extrêmes de la pluviométrie interannuelle vont de 279 mm (1973/74) à 883 mm (2002/2003) à Bouchegouf et de 382 mm (1976/77) à 2086 mm (2009/2010) à Mechroha.

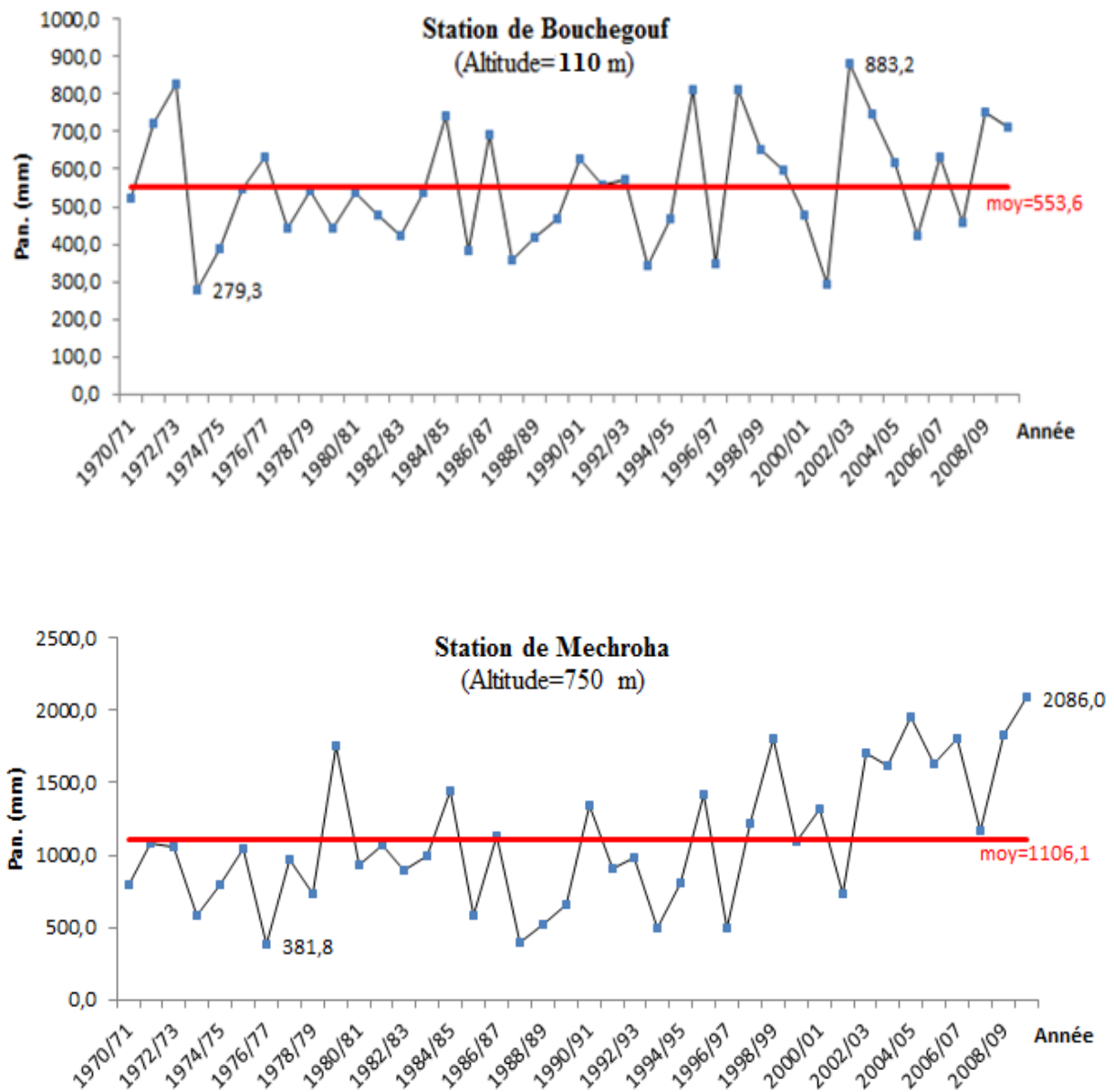


Figure 08 Variation interannuelle des pluies moyennes annuelles (1970-2010)

La répartition annuelle des pluies mensuelles (Tableau 04, Figure 09) montre que la période pluvieuse s'étale de novembre jusqu'à le mois de mai. Le maximum est enregistré en mars à Mechroha (167 mm) et janvier à la station de Bouchegouf (78 mm). Alors que le minimum de pluies est enregistré au mois d'juillet pour les deux stations (2,4 à et 3,2 mm) respectivement.

Tableau 04 Moyenne annuelle des séries pluviométriques retenues dans l'étude (1970-2010)

Station	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Iuit.	Aoû	Année
Mechroha	50,3	74,3	116,9	142,6	149,8	129,7	167,1	115,3	115,4	35,3	2,4	7,0	1106,1
Bouchegouf	33,1	45,9	55,5	75,5	77,8	59,5	70,9	60,6	46,4	14,0	3,2	11,2	553,6

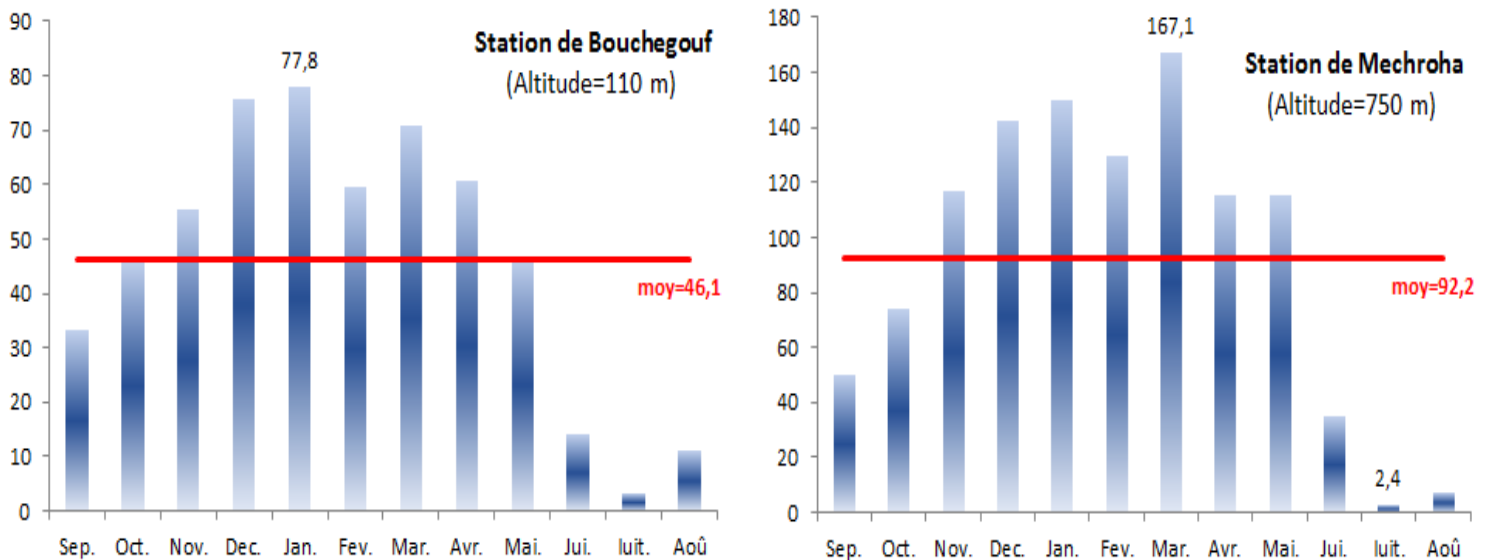
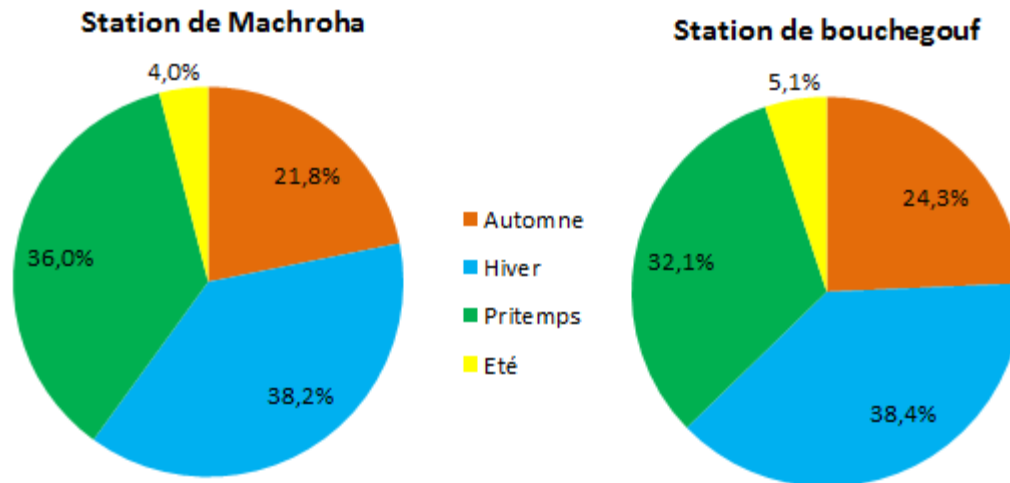


Figure 09 : Variation annuelle des pluies moyennes mensuelles (1970-2010)

La répartition saisonnière des pluies, en pourcentage, dans les deux stations du bassin (Figure 10) permet de distinguer montre que le bassin de oued Melah soumis à un régime classique à maximum pluviométrique centré sur la saison hivernale. Les pluies fournissent environ de 38 % des moyennes annuelles pour les deux stations. Le printemps est la seconde saison la plus pluvieuse de l'année, soit 32% du total annuel à Bouchegouf et 36% à Mechroha. L'automne est caractérisée par une proportion de pluie hivernale relativement moindre, soit 24% des précipitations annuelles à Bouchegouf et 22% à Mechroha. Alors que la saison d'été est caractérisée par une faiblesse quantitative des précipitations, soit un pourcentage de 4 à 5 % de la pluie annuelle.



**Figure 10 : Répartition saisonnière des pluies moyennes Annuelles (1970-2010)**

Les valeurs des précipitations journalières maximales montrent de fortes irrégularités dans les hauteurs d'eau précipitées (Tableau 05). La station de Bouchegouf qui totalise pour la période (1970-2010) en moyenne annuelle 554 mm, a reçu une lame d'eau journalière maximale moyenne de 51 mm. Alors que la station de dont le total annuel s'élève à 1106 mm, a reçu une hauteur maximale moyenne de 52 mm.

Ces pluies extrêmes alimentent largement les crues et les transports solides, elles jouent donc un grand rôle dans l'érosion hydrique dans le bassin.

**Tableaux 05 : Variation mensuelle des pluies journalières maximales (1970-2010)**

Station		Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Iuit.	Août	Année
Mechroha (Alt =750 m)	$\overline{P_{jmax}}$	16,8	20,4	27,1	28,7	29,6	30,1	33,4	27,9	23,2	11,0	1,1	4,2	52,1
	$\sigma$	13,2	12,8	14,6	18,0	13,1	17,5	22,5	15,1	14,9	11,7	2,2	7,0	22,6
	$CV$	0,8	0,6	0,5	0,6	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	1,1	2,0	1,7	0,4
Bouchegouf (Alt =110 m)	$\overline{P_{jmax}}$	14,9	18,4	20,0	24,8	21,4	19,7	21,7	20,2	20,8	8,7	2,2	8,5	50,7
	$\sigma$	10,7	16,6	19,0	19,8	13,0	13,5	14,9	14,2	20,7	11,7	3,5	12,1	20,95
	$CV$	0,7	0,9	0,9	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7	1,0	1,3	1,6	1,4	0,4

**II.5.2 Le régime thermique :**

Le bassin de Melah ne dispose d'aucune station météorologique en son sein, de ce fait nous avons utilisé la station Guelma située au voisinage du bassin et contrôlée par l'O.N.M, pour lesquelles on dispose des données d'une série homogène de 14 ans, entre 1990 et 2004 (Tableau 07).

**Tableau 07 : Températures mensuelles à la station de Guelma (1990-2004)**

		Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	jun	Jul	Aou	Ann
<b>Guelma</b> Latitude :36°28 Longitude :7°2 8 Altitude : 227m	<b>max</b>	45.0	41.0	31.2	28.0	27.3	29.2	34.7	35.2	41.3	46.9	47.4	46.9	37.8
	<b>Min</b>	9.4	6.2	0.0	-2.7	-3.5	-4.2	-1.8	-0.5	1.6	6.0	10.2	11.5	2.7
	<b>M</b>	31.4	26.7	20.3	16.5	15.4	16.7	18.7	21.2	26.3	31.6	35.5	36.2	24.7
	<b>m</b>	17.3	13.9	9.2	6.2	4.8	4.6	6.1	8.1	11.5	15.5	18.2	19.4	11.2
	<b>(M+m)/2</b>	24.4	20.3	14.8	11.4	10.1	10.7	12.4	14.7	18.9	23.6	26.9	27.8	18.0
	<b>(M-m)</b>	14.1	12.8	11.1	10.3	10.6	12.1	12.6	13.1	14.8	16.1	17.3	16.8	13.5

**Max** : température maximale absolue ;

**min** : température minimale absolue ;

**M** : température moyenne maximale ;

**m** : température moyenne minimale ;

**(M+m)/2** : Température moyenne mensuelle ;

**(M-m)** : amplitude thermique.

La valeur la plus faible des températures moyennes minimales est de 5°C correspondant au mois de janvier et février c'est donc les mois les plus froids du bassin, tandis que la valeur moyenne la plus élevée est enregistrée en Août 19 °C. La valeur la plus élevée des températures moyennes maximales est enregistrée en août (36°C) c'est donc le mois le plus chaud, tandis que la valeur la plus faible est enregistrée (15°C) en Janvier.

Les températures moyennes mensuelles présentent une valeur minimale en janvier (10 °C) et une valeur maximale en Août (28°C)

## **Chapitre III**

### **Cartographie et analyse multicritère de l'aléa d'érosion hydrique**

L'objectif principal de ce chapitre est de mettre au point un outil pratique de prédiction de l'aléa érosion. On s'intéresse également, à la quantification des sédiments transportés par l'oueds Melah à travers la mise en évidence de relations statistiques entre les débits liquides et solides mesurés au niveau de la station de Bouchegouf qui contrôle les bassin étudié.

### **III.1 Données utilisées :**

Notre approche a nécessité l'acquisition de (4) cartes topographiques au 1/50.000 avec une équidistance des courbes de niveau de 20 m, pour l'extraction du modèle numérique de terrain (MNT) du bassin. Notre démarche repose aussi, sur l'utilisation des images satellitaires LANDSAT ETM+ de l'année 2002, pour une connaissance spatiale de l'occupation du sol. L'information sur la friabilité du substratum de la 2<sup>ème</sup> édition de la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000 (Laffitte et Deleau 1952) et de (4) cartes géologiques au 1/50.000.

Ce étude s'est en outre appuyée sur les données pluviométriques mensuelles et journalières max relatives à la période 1970-2010 de 2 postes pluviométriques (Bouchegouf et Machroha) et sur une série hydrométrique de 22 ans (1972 -1994) comportant le débit liquide instantané, le débit liquide moyen journalier et de concentration en sédiments (MES), enregistrées à la station de Bouchegouf. Ces données ont été fournies par l'ANRH.

### **III.2 Approche adoptée :**

L'évaluation de l'aléa érosion hydrique du bassin versant de l'Oued Melah se base sur la modélisation des facteurs d'érosion selon un modèle qualitatif de type système expert fondé principalement sur le concept de l'éco-dynamique de Tricart (1977) : La prédominance des processus de pédogenèse indique la stabilité. Les situations intermédiaires suggèrent la balance entre la stabilité et la vulnérabilité, alors que ce qui indique la vulnérabilité est associé à la prédominance des processus de morphogenèse (processus érosifs) (Furlan et al. 2011).

L'approche du travail consiste en l'intégration des informations cartographiques des différents facteurs érosifs organisés en couches thématiques dans un SIG Mapinfo. Pour chacune de ces couches, un reclassement de l'information de 1 à 5, sous forme d'un indicateur de l'aléa

érosion, a été établi figure 11. Une base de données géoréférencée contenant toutes les informations concernant le bassin d'Oued Melah a été créée.

Le modèle compte les facteurs érosifs suivants: l'inclinaison des versants (déclivité), la friabilité du substratum, l'occupation des sols, les pratiques antiérosives et l'érosivité des pluies.

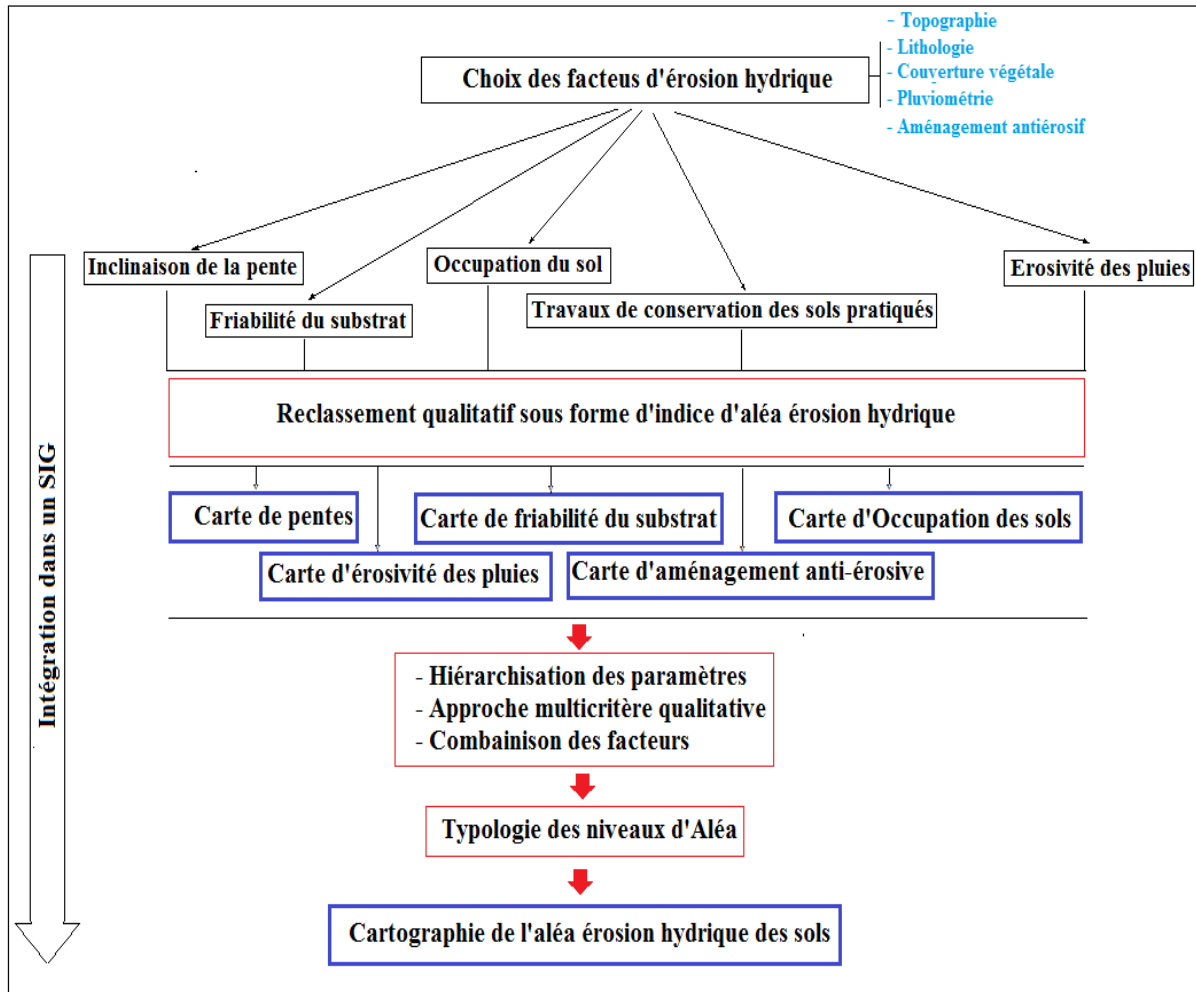


Figure 11: Méthodologie adoptée pour la cartographie de l'aléa érosion hydrique

### III.2.1 Réalisation des couches d'informations :

Le modèle compte les facteurs érosifs suivants: l'inclinaison des versants (déclivité), la friabilité du substratum, l'occupation des sols, les pratiques antiérosives et l'érosivité des pluies.

#### III.2.1.1 Déclivité du relief

La digitalisation des courbes de niveau de 5 cartes topographique au 1: 50 000 sous SIG Mapinfo 6.5 a permis de produire un MNT (modèle numérique de terrain)couvrant le bassin d'étude avec une résolution de (40×40 m).

Celui-ci a servi à produire la carte des pentes, qui a été subdivisée en six classes de pentes (Figure 12).Les pentes ont été ensuite reclassées selon leurs degrés de contribution à l'érosion .Un indice variant entre 1 et 5est assigné pour chaque classe de pente, 1 étant affecté aux pentes faibles (<3°) et 4 aux pentes fortes (>25°).

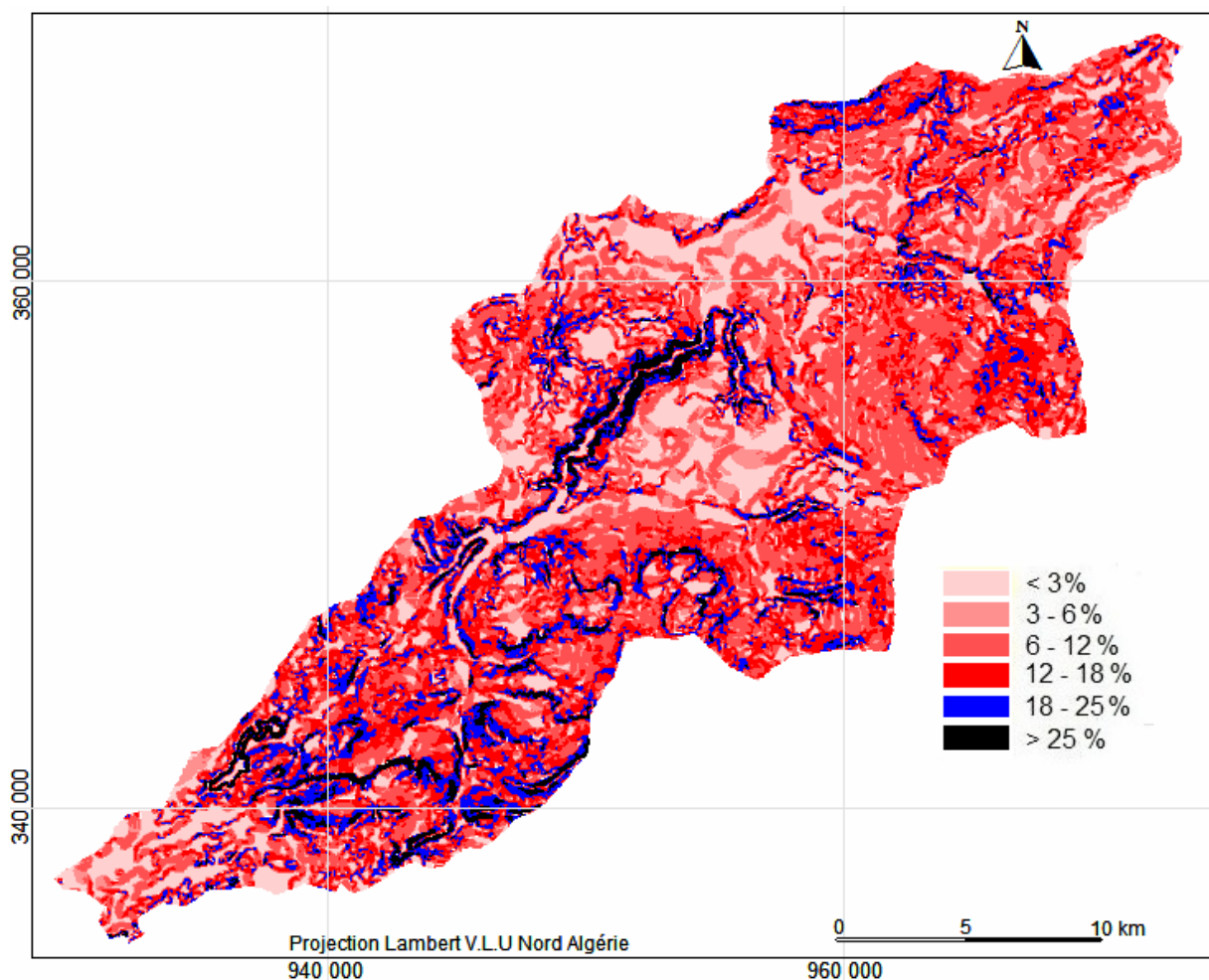


Figure 12 : Carte d'inclinaison des pentes du bassin de l'Oued Melah

### III.2.1.2 Friabilité de substrat

La carte lithologique est issue de l'harmonisation des cartes géologiques à différentes échelles couvrant le bassin de l'Oued Melah. Les litho-faciès ont été ensuite classés selon leurs degrés de friabilité en cinq classes : matériaux très résistants, résistants, moyennement résistants, friables et très friables et un indice variant de 1 à 5 est attribué à chaque classe, par ordre décroissant aux matériaux exposés à l'érosion (figure 13).

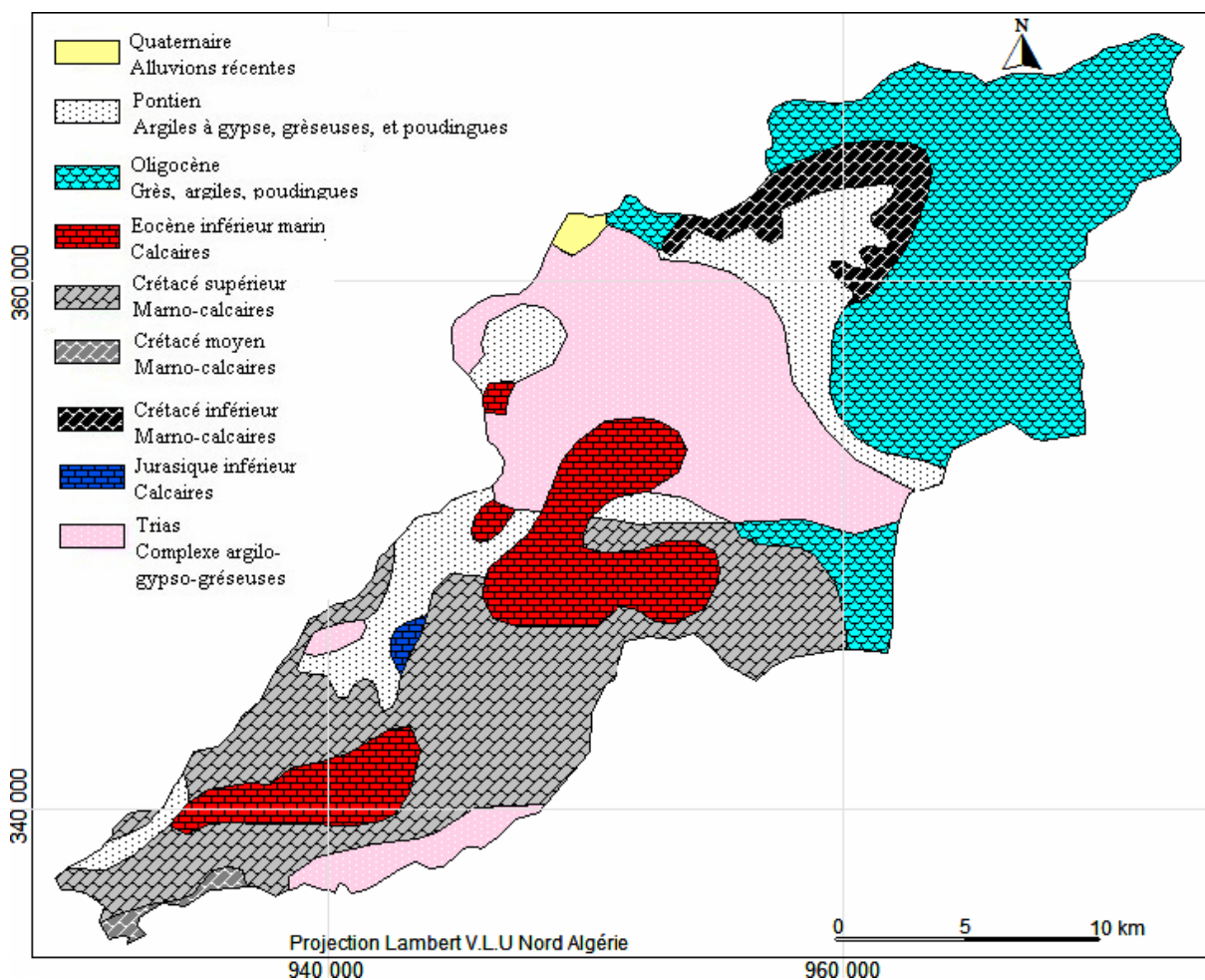


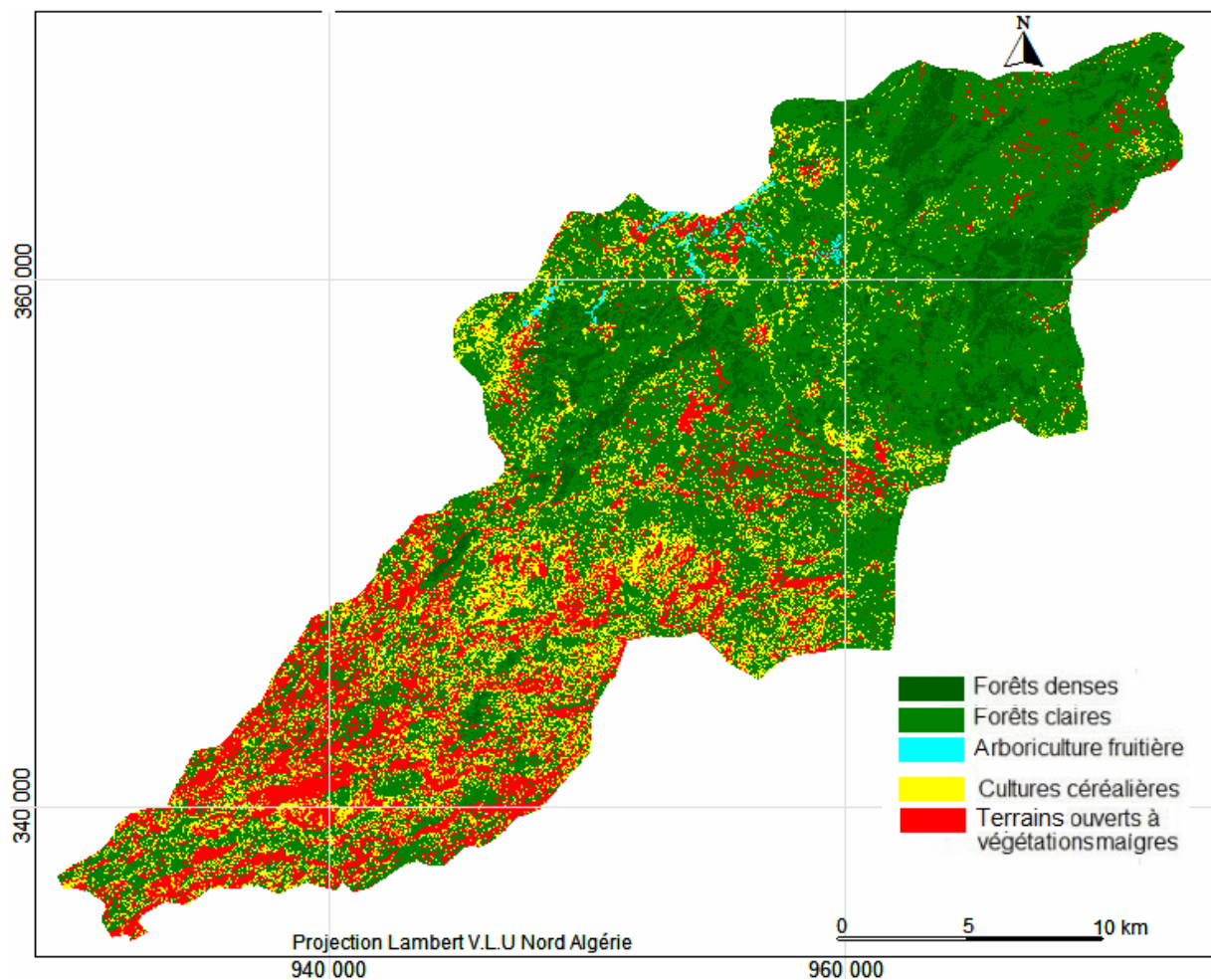
Figure 13 : Carte lithologique du bassin de l'Oued Melah

### III.2.1.3 Occupation des sols et pratiques antiérosives :

À partir des images satellitaires Land sat ETM+ et des données recueillies auprès des services de conservation des forêts et du Bureau national d'études pour le développement rural (BNEDER), une carte d'occupation des sols a été élaborée pour le bassin versant de

l'oued Melah Cinq classes d'occupation des sols apparaissent, après une classification dirigée en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance sous logiciel ENVI 4.3(Figure 14 ) : forêts denses, forêts claires, cultures irriguées et arboriculture fruitière, culture céréalières et espaces ouverts à végétations maigres.

Vu l'état des aménagements antiérosifs dans le bassin et en raison d'absence des données fiables, précises et actualisées, le cas le plus défavorable (5) est affectée au facteur pratiques antiérosives.



**Figure 14 : Carte d'occupation des sols du bassin de l'Oued Melah**

### III.2.1.4 Érosivité des pluies :

La carte d'érosivité des pluies (Figure 15), est obtenue à l'aide d'une équation issue d'une étude faite sur trois grands sembles hydrographiques du nord-est algérien (Guidoum, 2017). L'équation expriment l'érosivité des pluies en fonction des paramètres topo-géographique à

savoir : l'altitude lissée(Zliss), la latitude (Y) et la longitude (X).Elle est de la forme suivante :  $R = 79 - 0,227X - 0,111 Y + 0,0242 Z_{liss} + 14,1 X / Y + 0,000453XY$

Cette équation a été établie à partir des valeurs ponctuelles de l'indice d'érosivité des pluies R estimées pour sur un ensemble de 73 postes pluviométriques du nord-est Algérien en suivant les étapes suivantes :

D'après (Arnoldus, 1980,1977 in: Guettouche 1988), Wischmeier a proposé une formule exprimée comme suit :

$$R = K \cdot C^n \quad ; \quad \text{avec :}$$

$$C = h_1 \times h_{24} \times H$$

R = érosivité annuelle (MJmm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup>).

h<sub>1</sub> : Pluie tombée en 1 heure avec une période de retour de 2 ans (cm).

h<sub>24</sub> : Pluie tombée en 24 heures avec une période de retour de 2 ans (cm).

H : Pluie moyenne annuelle de pluie (cm)

K,n : coefficients liés aux conditions climatiques (sous climat subhumide à semi-aride, K=0,751, n=0.80).

La carte d'érosivité, synthétisée à partir de la spatialisation de R(en MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>), subdivise cet indice en 5 classes.

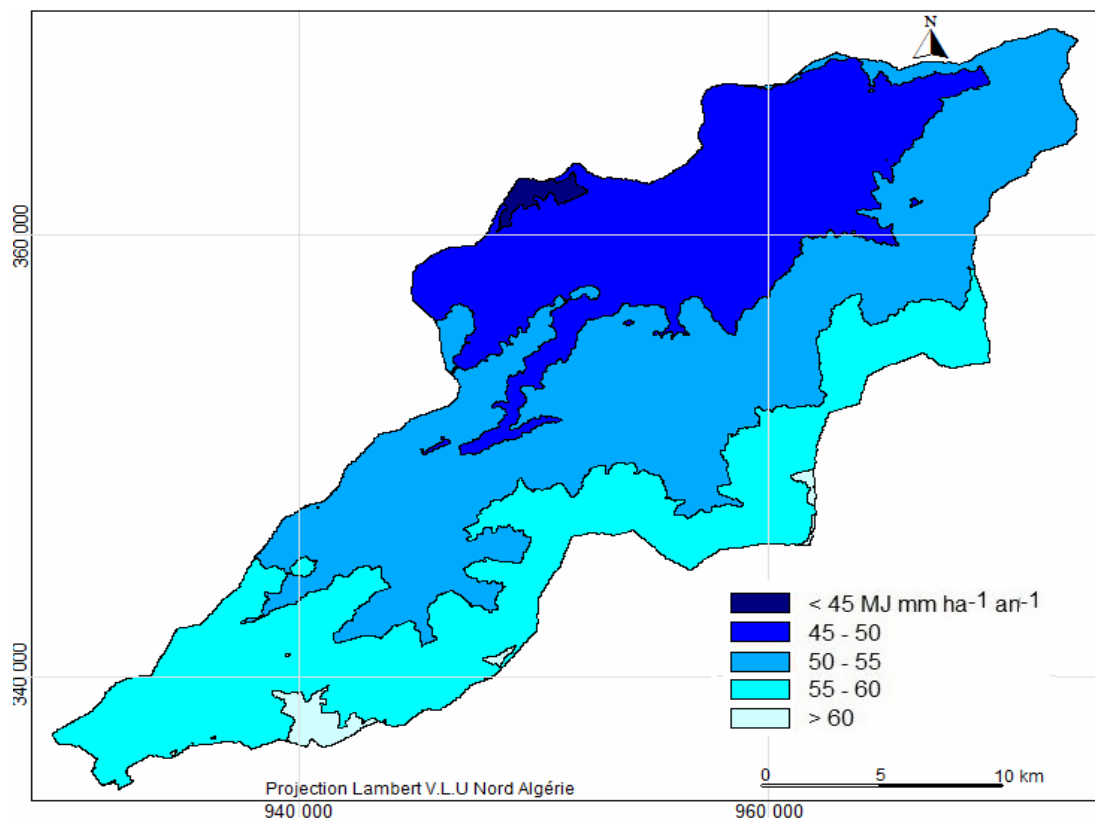


Figure 15 : Carte d'érosivité des pluies du bassin de l'Oued Melah (1970 - 2010)

### **III.2.2 Pondération des facteurs :**

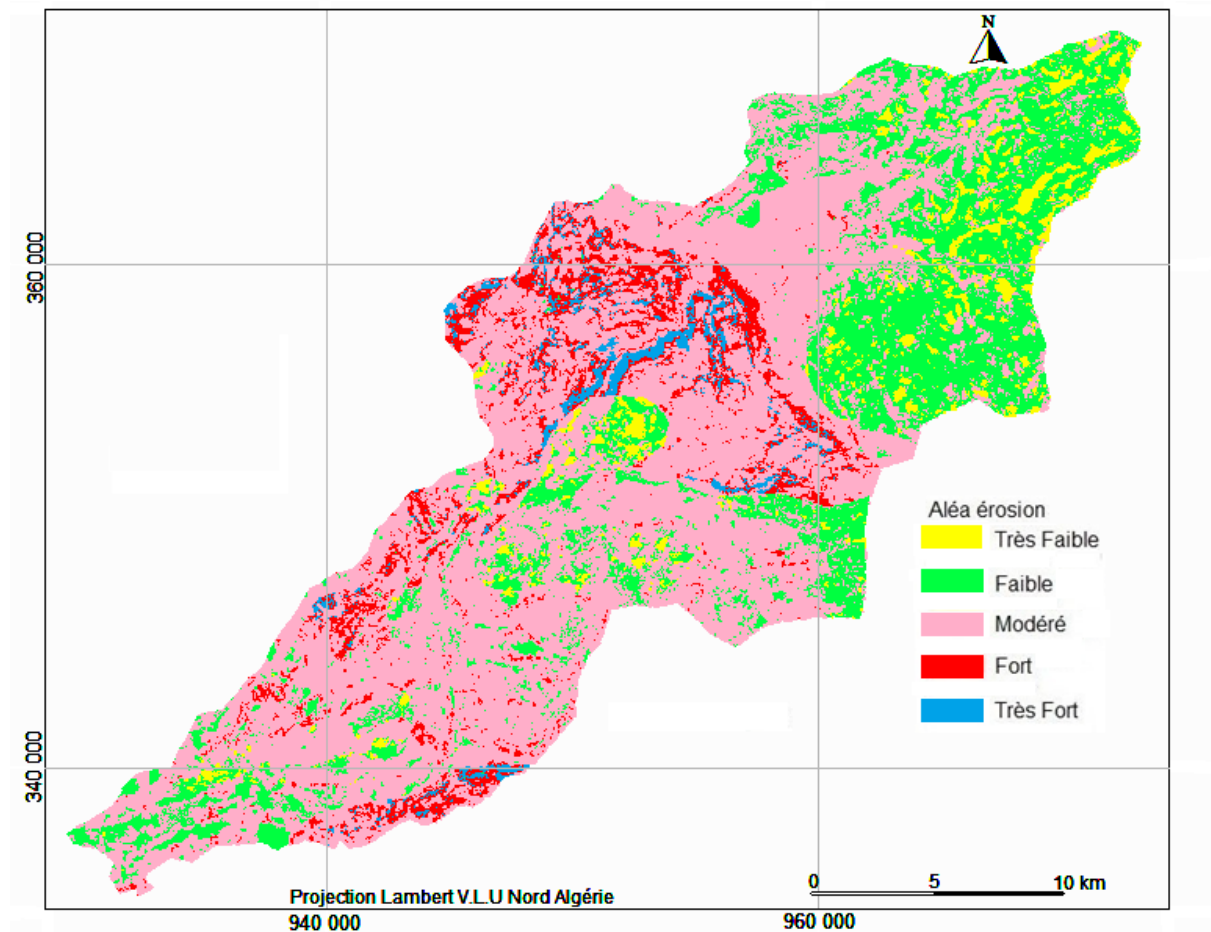
L'approche cartographique adoptée est une évaluation multicritère, s'appuie sur la pondération de chaque facteur avant d'effectuer leur sommation. Ceci a pour objectif de hiérarchiser par ordre d'importance les cinq couches d'information. Pour ce faire, on s'est référé à la littérature scientifique (Le Bissonnaie et al. 2004, Elbouqdaoui et al. 2005, Fiandino 2007...). La pondération des facteurs permet aussi d'analyser plusieurs scénarios. Dans notre cas, nous avons choisi une pondération équilibrée (20%) pour les cinq facteurs entrant en jeu.

### **III.2.3 Croisement des couches par évaluation Multicritère :**

La superposition des 5 couches thématiques représentant les facteurs érosifs précédemment mentionnés sous un SIG Mapinfo 6.5, a permis l'obtention de la carte d'aléa d'érosion subdivisée en classes à l'aide de substantifs du type : très faible, faible, modéré, fort et très fort. L'approche utilisée pour le croisement des couches est celle des moyennes pondérées.

### **III.3 Analyse et interprétation des cartes d'aléa :**

La carte d'aléa érosion hydrique du Melah est présentée selon une résolution spatiale de 1 pixel pour 40x40 km<sup>2</sup>. Cette carte élaborée, à partir de la combinaison multicritère des cartes thématiques précédentes, nous ont permis de produire un document synthétiques mettant en évidence les zones les plus sensibles à l'érosion hydrique dans le bassin de l'Oued El Melah (Figure 16). Nous pouvons ainsi distinguer les zones les plus affectées par le processus érosif et celles les plus préservées.



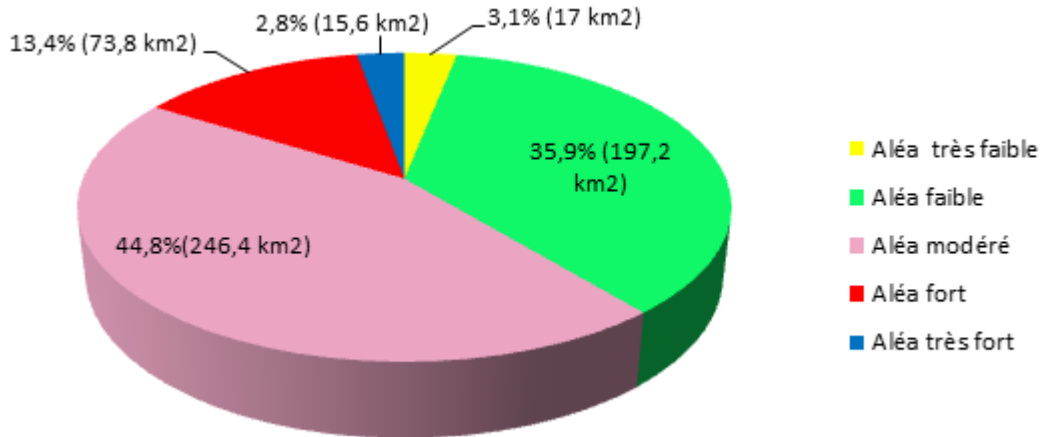
**Figure 16 : Carte de l'aléa érosion du bassin de l'Oued Melah**

Les zones d'aléa modéré sont les plus représentées et éparpillées dans l'ensemble du bassin, elles occupent environ de 45% de la superficie totale ( $246 \text{ km}^2$ ), notamment dans leur centre. Cette classe d'aléa est susceptible de se développer très rapidement avec la diminution de la productivité végétale (cultures) saisonnière figure (17).

L'aléa érosion fort à très fort correspond aux terrains argilo-gypso-gréseuses du trias, abondamment arrosés (les basses vallées des Oueds Ranemet Melah environ Bouchegouf) et a au niveau de Djebels Zouara, Ergou, El Aloui et El Azgau au sud-ouest. Cet aléa est réparti sur environ 16% ( $89 \text{ km}^2$ ) de la superficie du bassin (Figure 14) et concerne les zones à substrat érodable, de fortes pentes et mal protégées par la couverture végétale.

D'après la carte (Figure 19) l'aléa érosion est faible voir très faible se présente dans la partie supérieure du bassin au nord-est, où la couverture forestière des monts de la Medjerda (forêt de Bou Redine) joue son rôle protecteur contre l'érosion. Cet aléa caractérise également les

lambeaux de forts situés au sud du bassin. il est réparti sur 39% des terrains du bassin, soit 214km<sup>2</sup>. Le degré de cet aléa peut s'accroître rapidement avec la dégradation continue de ces zones forestières.



**Figure 17 Répartition surfacique de l'aléa érosion hydrique dans le Melah**

#### III.4 Validation et complément des résultats :

Etant donné la variabilité spatiale et temporelle des phénomènes d'érosion et en l'absence de travaux antérieurs, la validation des résultats est très difficile et peu efficace à l'échelle utilisée dans cette étude,. Néanmoins, un essai de validation a été fait en mobilisant des sources d'information différentes de celles qui ont permis la construction des modèles : l'analyse des mesures de de concentration en matière en suspension (MES) à l'exutoire du bassin.

La cartographie des zones potentiellement érodables (zonage d'aléa) et la quantification des flux de sédiments transportés par l'oued Melah apparaissent donc complémentaires. De ce fait les résultats de l'approche cartographique ont été consolidés par une quantification des sédiments transportés par l'oued Melah de septembre 1972 à aout 1993 (Tableau 08).

### III.4.2 Modélisation statistique: Estimation de la charge solide :

L'évaluation des transports solides en suspension en Algérie fait généralement appel à des mesures instantanées des concentrations en matières en suspension mesurées au niveau des stations hydrométriques. La démarche que nous avons adoptée consiste à la recherche d'un modèle statistique régressif pouvant expliquer la relation débit solide (QS)-débit liquide (QL). Cette modélisation sert à quantifier le l'apport solide et à déterminer les saisons d'érosion active dans le bassin étudié.

#### III.4.2.1 Évaluation de la charge solide (Méthode opérationnelle) :

Nous avons adopté la démarche proposée par [Demmak \(1982\)](#), qui se présente de la manière suivante (Figure 18):

- On sélectionne les journées des crues pour lesquelles un nombre suffisant de prélèvement a été effectué permettant une bonne reconstitution du turbidigramme.
- Sur un limnigraphe on positionne dans le temps les valeurs des mesures de concentration en matière solide en suspension. Ensuite le turbidigramme sera tracé en s'inspirant du limnigraphe.
- Le calcul du débit solide journalier en suspension se fait par intégration: Détermination de la surface de l'épure solidogramme :  $Q_s=f(t)$ .
- Pour les journées où les débits sont restés constants (jours d'écoulement normal) les données instantanées sont directement applicables à la détermination des débits solides( $Q_s = C \cdot Q_L$ ).
- Le flux des matières solides en suspension exporté par l'oued étudié est calculé par la formule suivante :

$$A_s = \sum_{j=1}^n (t_{j+1} - t_j) \cdot Q_j \cdot C_j$$

avec :  $C_j$  la concentration mesurée à l'instant  $t_j$ ,  $Q_j$  le débit liquide à l'instant  $t_j$ ,  $n$  le nombre de prélèvements effectués sur la période considérée et  $(t_{j+1} - t_j)$  le temps séparant deux prélèvements consécutifs.

En l'absence de mesures, le charriage du fond a été estimé d'une façon approximative, à environ 20% de la suspension (Larfi et Remini, 2006).

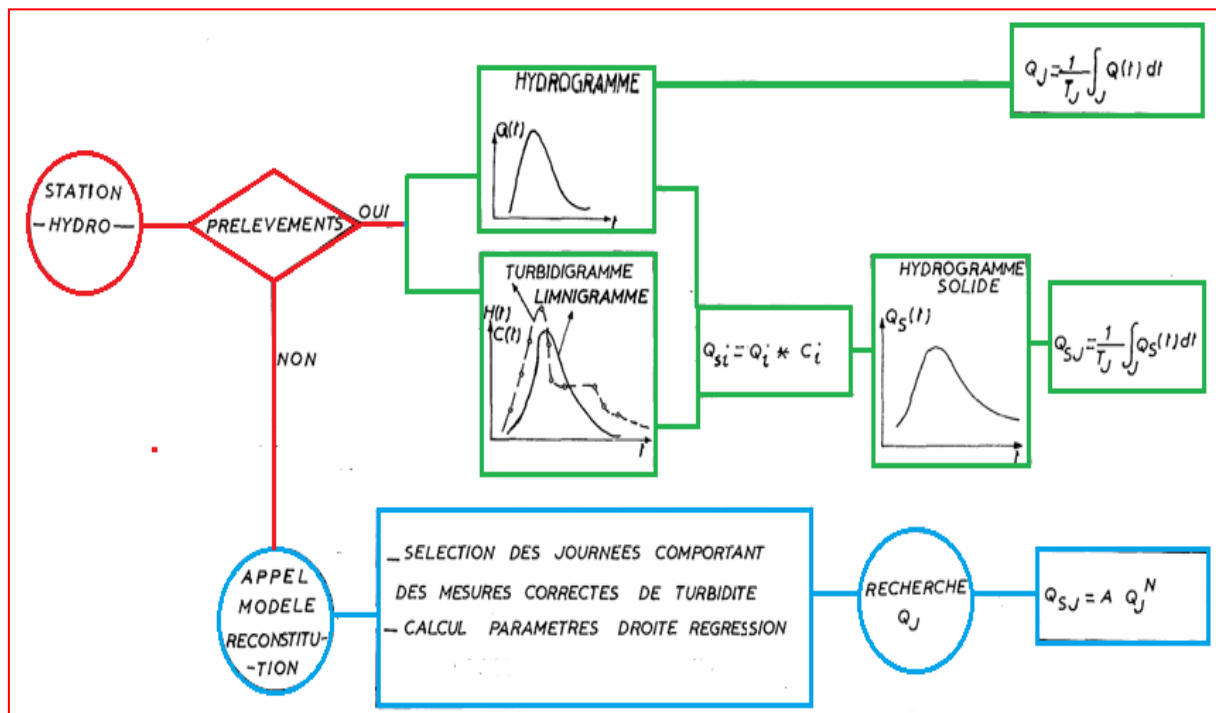


Figure 18 : Calcul d'un débit moyen journalier (Demmak 1982)

### III 4.2.2 Homogénéisation et extension des données

La collecte des informations conduit inévitablement à un grand nombre de données de concentrations basses et insignifiantes. Les concentrations élevées n'étant mesurées qu'en de rares occasions (période de crues). Cette situation se traduit par des lacunes inévitables au niveau de série d'observation des concentrations en MES récoltées auprès de l'ANRH, et nécessite de faire appel aux relations régressives (courbes d'étalonnage) qui peuvent servir de base pour le comblement de ces lacunes. Ceci pour l'évaluation des apports solides à différents pas de temps.

Compte tenu de l'influence saisonnière sur le phénomène des transports solides et afin d'éviter les trop fortes dispersions, nous avons cherché à établir des relations  $Q_S = f(Q_L)$  par saison. Ces relations sont établies à partir d'ajustement de droites par la méthode des moindres carrés sur les nuages de points en utilisant le logiciel « Minitab13 ».

Les regroupements effectués suivant les quatre saisons ont donné des résultats acceptables (Tableaux 07).

### III.4.2.3 Critères d'évaluation et sélection du modèle adéquat

D'après (Touaïbia et al., 1999) le modèle de type puissance ajuste significativement les valeurs de débit solide ( $Q_S$ )-débit liquide ( $Q_L$ ). Appelée courbe du transport solide, la relation en puissance est présentée sous la forme suivante :

$$Q_S = a \cdot Q_L^b$$

Où : les paramètres a et b sont des coefficients fonction des caractéristiques physiques, climatiques et hydrologiques des bassins-versants, estimés par régression linéaire.

Généralement, la justification de ce type de modèle se fait par la variance expliquée.

Les valeurs du coefficient de corrélation pour un risque d'erreur de 5% sont présentés dans le tableau 07 et figure (20).

Cependant ce modèle doit traduire les variations dans la disponibilité des sédiments et nécessitent d'être validées par comparaison avec des d'autres mesures, notamment les levées bathymétriques.

**Tableau 07 : Relations saisonnières entre les débits instantanés liquides et solides (1972-1993)**

saison	Nbr. de prélèvements	Coef. de corrélation (R)	Equation de régression
Automne	225	0,774	$Q_S = 1,369 Q_L^{1,634}$
Hiver	420	0,848	$Q_S = 0,266 Q_L^{1,531}$
Printemps	352	0,731	$Q_S = 0,243 Q_L^{1,499}$
Été	36	0,766	$Q_S = 0,618 Q_L^{1,260}$

### III 4.2.4 Bilan des exportations de la charge solide

L'apport moyen annuel en sédiments à l'exutoire du bassin de l'Oued El Melah est estimé à environ 305290 tonnes, ce qui correspond à une perte de sol spécifique de 555 tonnes par  $\text{km}^2$  par an. Toutefois, les quantités de sédiments transportées par l'oued sont très variables d'une année à l'autre, avec une abrasion record de 4407  $\text{t}/\text{km}^2/\text{an}$  enregistrée en 1976/77. Les écarts

interannuels ( Tableaux 08 et 9, figure 19 ) importants ne peuvent s'expliquer que par la forte variabilité du phénomène érosif, mais aussi par l'imprécision des techniques de mesures.

**Tableau 08 : Charge solide moyen mensuel estimé à la station de Bouchegouf contrôlant l'Oued Melah (1972-1993).**

	$Q_s(kg)$													$D_s (t/km^2/an)$		$A_s, moy. an (t)$
	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année	(1)	(2)= (1).1,2	
														en suspension	Totale	
1972	1,11	1,09	0,53	0,81	41,46	14,31	113,38	8,90	0,89	1,03	0,25	0,07	15,32	878,9	1054,6	580055
1973	0,29	0,07	0,00	0,15	0,05	1,84	0,77	5,81	0,36	0,20	0,10	0,07	0,81	46,4	55,7	30615
1974	0,12	0,23	0,36	0,23	0,49	61,84	2,56	1,23	0,54	0,19	0,07	0,06	5,66	324,8	389,7	214352
1975	0,07	0,08	0,19	0,08	0,22	2,96	12,09	1,98	5,96	0,58	0,23	0,09	2,05	117,3	140,8	77440
1976	0,14	6,47	745,64	3,90	4,30	1,25	0,29	4,60	0,77	0,53	0,12	0,15	64,01	3672,7	4407,2	2423975
1977	0,13	0,15	0,94	0,10	0,63	12,88	1,35	8,55	0,39	0,44	0,27	0,26	2,17	124,7	149,6	82271
1978	0,10	0,22	0,26	0,08	0,13	0,75	2,09	53,40	1,49	0,39	0,17	0,09	4,93	282,9	339,5	186737
1979	0,37	0,23	3,45	0,08	0,38	0,16	4,32	1,78	0,51	0,14	0,02	0,00	0,95	54,7	65,7	36116
1980	0,58	0,75	1,19	73,59	8,22	11,23	2,58	1,29	0,35	0,28	0,12	0,08	8,36	479,4	575,3	316416
1981	1,05	0,29	0,37	0,20	1,43	7,10	5,70	4,43	2,45	0,47	0,15	0,11	1,98	113,6	136,3	74948
1982	0,19	0,63	8,29	4,54	3,09	0,94	2,90	0,60	0,43	0,16	0,07	0,06	1,82	104,7	125,6	69099
1983	0,07	0,08	5,70	0,96	22,56	134,04	8,28	1,90	0,62	0,24	0,68	0,06	14,60	837,6	1005,1	552812
1984	0,15	5,72	0,40	120,83	41,41	6,75	11,01	2,32	2,16	0,44	0,18	0,14	15,96	915,6	1098,8	604319
1985	0,18	0,35	0,29	0,07	0,49	0,47	4,77	0,56	0,46	0,13	0,06	0,04	0,66	37,6	45,2	24836
1986	0,07	1,63	52,33	23,79	14,98	52,58	13,25	13,53	2,94	0,79	0,22	0,12	14,69	842,5	1011,1	556079
1987	0,11	0,20	0,35	0,07	0,21	0,31	1,14	0,15	0,12	0,13	0,01	0,00	0,23	13,4	16,1	8828
1988	0,03	0,03	0,12	0,69	0,25	2,99	1,36	0,51	0,59	0,13	0,01	0,01	0,56	32,2	38,6	21236
1989	0,00	0,53	0,16	0,16	2,97	0,45	0,24	0,15	1,49	0,18	0,05	0,28	0,56	31,9	38,2	21024
1990	0,02	0,14	7,42	17,95	16,59	6,55	32,28	8,45	2,55	0,78	0,13	0,06	7,74	444,2	533,1	293199
1991	0,10	6,66	2,36	0,33	0,43	1,10	4,59	32,41	27,41	2,10	0,30	0,09	6,49	372,3	446,8	245732
1992	0,06	0,16	4,61	18,57	32,98	1,05	3,40	1,24	3,46	0,22	0,06	0,03	5,49	314,8	377,7	207753
1993	0,03	0,06	0,08	0,72	3,14	22,52	0,60	0,58	0,28	0,04	0,01	0,01	2,34	134,1	161,0	88535
moyenne	<b>0,23</b>	<b>1,17</b>	<b>37,96</b>	<b>12,18</b>	<b>8,93</b>	<b>15,64</b>	<b>10,41</b>	<b>7,02</b>	<b>2,56</b>	<b>0,44</b>	<b>0,15</b>	<b>0,08</b>	<b>8,06</b>	<b>462,6</b>	<b>555,1</b>	<b>305290</b>

$DS (t/km^2/an)$  : Dégradation spécifique en tonnes/km<sup>2</sup>/an;

$A_s, moy. an (t)$  : Apport solide moyen annuel en tonnes

(1) : Dégradation spécifique, considérant seulement les matières en suspension

(2) : Dégradation spécifique totale (Le charriage du fond a été estimé d'une façon approximative, à environ 20% de la suspension .

Les résultats présentés dans le tableau 09 laissent apparaître que les saisons d'automne et de printemps se distinguent par leurs apports importants en sédiments.

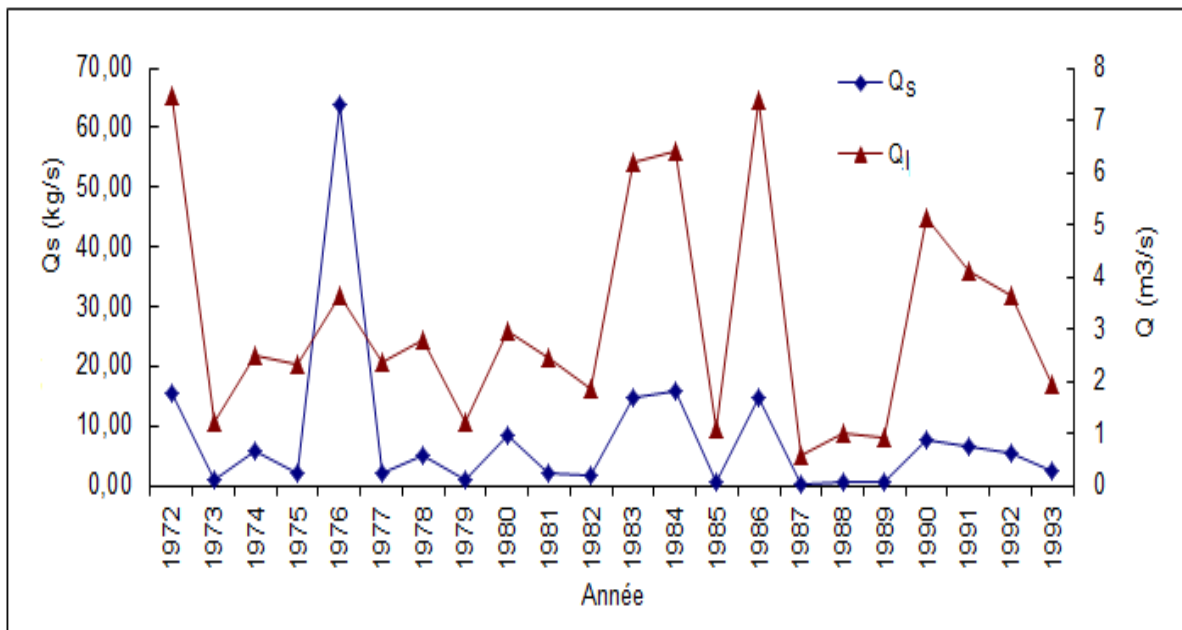
**Tableau 9 : Répartition saisonnière des apports liquides et solides**

Saison		Automne	Hiver	Printemps	Été	Année
Apport liquide moyen (1972-1993)	(Hm3)	6,53	46,7	42,2	3,1	98,5
	(%)	6,6	47,5	42,8	3,1	100
Apport solide moyen (1972-1993)	(tonnes)	123976	114944	64237	2133	305290
	(%)	40,6	37,7	21,0	0,7	100
Dégradation spécifique moyenne (1972-1993)	(t/km <sup>2</sup> )	225,4	209,0	116,8	3,9	555,1

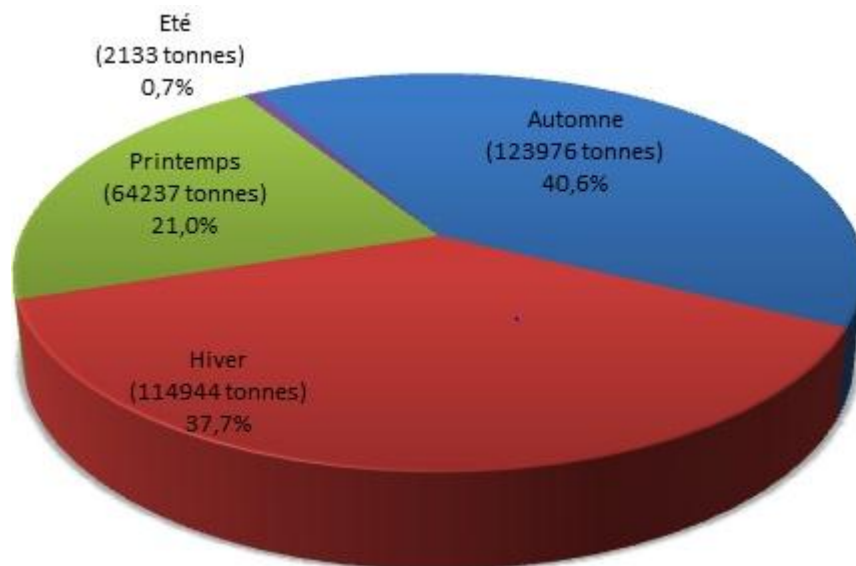
Avec 40,6 % par rapport au total annuel, (figure20) l'oued El Melah véhicule 123976 tonnes de matières solides durant l'automne. Les pluies intenses sous forme d'averses favorisent le déclenchement des crues brutales et fortement chargées en sédiments pendant cette saison.

Au printemps, et malgré l'importance de l'apport liquide durant cette saison (43% de l'apport annuel), la présence de la couverture végétale saisonnière et l'état d'humidité des sols diminuent la production des sédiments à 21% de la production annuelle, soit 64237 tonnes.

Alors que l'hiver, avec un apport liquide saisonnier, le plus important (environ 48% de l'apport annuel) ramène en année moyenne 114944 tonnes, soit 38 % de l'apport annuel). La saison d'été, en absence des précipitations, se distingue par un apport faible en sédiment de soit 2133 tonnes, ce qui représente 3% du totale annuel.



**Figure 19: Variations interannuelles des débits solides et liquides à la station de Bouchegouf (1972-1993)**



**Figure 20 : Répartition saisonnière des Apports solides estimés à la station de Bouchegouf (1972-1993)**

## **Conclusion générale :**

La présente étude pose la problématique de l'érosion des sols dans le bassin du de l'Oued Melah, et apporte quelques réponses notamment en terme de zonage d'aléa érosion et d'estimation de la charge solide en suspension.

L'analyse du complexe physique du bassin de Mellah, a permis de montrer que les caractéristiques physiques, sont très nuancés sur le plan géographique, et par conséquent déterminent des différences sensibles dans l'aptitude des terrains à l'érosion hydrique et aux transport des sédiments.

Les précipitations, varient considérablement et se caractérise par une irrégularité aussi bien interannuelle que mensuelle. Elles sont très nuancées sur le plan spatial sous l'effet de l'orographie .L'évolution annuelle moyenne des températures a permis de distinguer une période chaude allant de mai à octobre et une autre froide couvrant le reste de l'année hydrologique.

L'approche qualitative adoptée pour la cartographie de l'aléa érosion hydrique des sols, représente un outil efficace pour réaliser de manière simple et rapide un diagnostic général du risque d'érosion.

Les inventaires et la modélisation spatiale concernant la friabilité du substratum lithologique, l'agressivité des pluie, le couvert végétale et le degré de pente ont permis d'avoir une idée claire sur l'ampleur du phénomène dans le bassin d'étude .Les éléments contenus dans ces inventaires ont été croisés dans un système d'information géographique, en affectant une pondération à chacun des cinq facteurs.

Les pourcentages équilibrés de contribution des différents facteurs érosifs choisis ont donné des résultats acceptables et très proches de la réalité du terrain.

La carte élaborée distingue différentes zones échelonnées en aléa érosif très faible, faible, modéré, fort et très fort. Elle permet également de montrer les endroits qui peuvent libérer facilement les sédiments lors des crues ,et de cibler les zones qui nécessitent une action prioritaire de lutte contre l'érosion et de protection du milieu naturel.

Toutefois, l'approche suivie pour l'évaluation de l'aléa est qualitative et les valeurs d'indice obtenues ne permettent pas de mesurer les pertes en sols de manière quantitative. Pour cela, les résultats de cette approche cartographique ont été complétés par une quantification des

sédiments transportés par l'Oued Mellah en utilisant un modèle statistique  $QL = f(QS)$  de type puissance obtenu par régression linéaire.

Les résultats de cette quantification montrent que l'Oued Mellah apporte 305290 tonnes de sédiments, dont 41% en automne, 28% en hiver, 21% au printemps et seulement 1% en été. La dégradation spécifique moyenne annuelle est de 555 t/km<sup>2</sup>/an avec une forte variabilité inter annuelle. Le charriage est estimé à 20% de la suspension. Cependant, le nombre de prélèvements et leur échelonnement correct dans le temps a conditionné la fiabilité des résultats.

L'approche utilisée dans cette étude, malgré ses limites, apporte une aide importante aux décideurs pour simuler des scénarios d'évolution du bassin et planifier les interventions de lutte contre l'érosion. Elle mériterait d'être suivie par d'autres études susceptibles de valider les résultats du modèle cartographique et d'améliorer la prise en compte des différents paramètres érosifs.

Elle peut être généralisée sur le secteur montagnard du Tell oriental vu la similitude lithologique, morphologique et climatique.

## Références bibliographiques

Arnoldus H MJ (1980) An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In: De Boodt and Gabriels: Assessment of erosion. FAO Land and Water Development Division, Wiley & Sons, England: 127-132.

Barthès B, Roose E (2001) La stabilité de l'agrégation, un indicateur de la sensibilité des sols au ruissellement et à l'érosion: validation à plusieurs échelles. Les Cahiers d'études et de recherche francophones l'Agricultures 10/3:185-193.

Bou Kheir, R., Girard, M.-C., Khawlie, M. et Abadallah, C. (2001). Érosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens : une revue bibliographique. *Étude et Gestion des Sols*, vol. 8, n° 4, p. 231-245.

Bouchelkia H, Remini B (2003) Quantification of sediment transport in the Algerian Chellif watershed. *Engineering*, 33: 45-56.

Cheula A., 2013 Cartographie de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique en Martinique. Rapport de synthèse, IRD / DEAL / ODE, 24 p.

Chebbani R, Djilli K, Roose E (1999) Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser. *Bulletin ORSTOM, réseau érosion*, 19 : 85-95.

Cormary Y, Masson J (1964) Etude de conservation des eaux et du sol au Centre de Recherche du Génie Rural de Tunisie. Application à un projet type de la formule de perte de sols de Wischmeier, *Cahiers ORSTOM, Série Pédologie*, 2 / 3 : 3-26.

Chebbani R, Belaidi S (1997) Étude de la dynamique du ravinement sur deux couples de ravines expérimentales près de Tlemcen. *Bulletin Réseau Erosion*, 17 : 152-160.

Demmak A (1982) Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de docteur-ingénieur, Université de Paris VI, 323 p.

Demmak A (1982) Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de docteur-ingénieur, Université de Paris VI, 323 p.

## Références bibliographiques

El Bouqdaoui Kh. (2017). Approche méthodologique de l'évaluation du risque potentiel d'érosion des sols du bassin versant du Srou (Moyen Atlas, Maroc) à l'aide de la télédétection et du SIG. Thèse de Doctorat en géologie appliquée, Université Mohammed V-Agdal, Rabat, 199 p.

Elbouqdaoui K, Ezzine H, Badrahoui M, Rouchdi M, Zahraoui M, Ozer A (2005) Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation du risque potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Srou (Moyen Atlas, Maroc). *Geo-Eco-Trop* 29:25-36.

Furlan A, Bonotto DM, Gumiere SJ (2011) Development of environmental and natural vulnerability maps for Brazilian coastal at SaõSebastião in Saõ Paulo State. *Environ EarthSci*, 64: 659-669.

Fiandino M (2007) Cartographies des zones potentiellement érodables dans trois bassins versants méditerranéens (Étang de Berre, Bouches-Du-Rhône, France). *Physio-Géo* 34:15-26.

Ghachi A (1986) Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie. Thèse. Doctorat, OPU. 508 p.

Guidoum A (2017) Caractérisation hydrologique et analyse du transport solide en suspension dans trois ensembles hydrographiques du nord-est algérien : étude de cas dans la Seybouse, les hautes plaines constantinoises et chott melghir (coupe nord-sud). Thèse de doctorat Hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra, 368 p.

Guettouche M S (1988) Perspective de l'application de l'équation dite "Universelle" de perte de sol Wischmeier en Algérie. Analyse théorique. Université Des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. USTHB, Alger, 49 P.

Kouri L, Vogt H, Gomer D (1997) Analyse des processus d'érosion linéaire en terrain marneux, bassin de l'Oued Mina, Tell oranais, Algérie. *Bull Réseau Erosion* 17:64–73

## Références bibliographiques

[Leguédois S. \(2003\)](#). Mécanismes de l'érosion diffuse des sols. Modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés. Sciences de la Terre. Université d'Orléans, 179 p.

[Larfi B, Remini B. \(2006\)](#) Le transport solide dans le bassin versant de l'Oued Isser, impact sur l'envasement du barrage de Béni Amrane (Algérie). Larhyss journal, 5: 63-73.

[Laborde J P, Mouhous M \(1998\)](#) Logiciel Hydrolab, version 98.2, équipe Gestion et valorisation de l'environnement de l'UMR 5651 « Espace » du CNRS, 43 p.

[Laffitte R Deleau P \(1952\)](#) Carte géologique de l'Algérie au 1/500.000 (2ème édition, feuille de Constantine).

[Le Bissonnais Y, Dubreuil N, Daroussin J, Gorce M \(2004\)](#) Modélisation et cartographie de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle régionale : exemple du département de l'Aisne. Etud Gest Sols 11/3: 307–321.

[Paul-Hus C. 2011](#). Méthodes d'étude de l'érosion et gestion des sites dégradés en Nouvelle-Calédonie. Centre universitaire de formation en environnement, université de Sherbrooke, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 127 p.

[Roose E, Arabi M, Brahamia K, Chebbani R, Mazour M, Morsli B \(1993\)](#) Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Cah. ORSTOM Pédol 28/2:289–308

[Roose E \(1975\)](#) Application de l'équation de prévision de l'érosion de Wischmeier et Smith en Afrique de l'Ouest. Colloque sur la conservation et l'aménagement du sol dans les tropiques humides, I.I.T.A., Ibadan. ORSTOM, Abidjan, 30 Juin au 4 juillet, Cote d'Ivoire, 22 p

[Roose E \(1975\)](#) Application de l'équation de prévision de l'érosion de Wischmeier et Smith en Afrique de l'Ouest. Colloque sur la conservation et l'aménagement du sol dans les tropiques humides, I.I.T.A., Ibadan. ORSTOM, Abidjan, 30 Juin au 4 juillet, Cote d'Ivoire, 22 p

## Références bibliographiques

ROY B., 1985. Méthodologie multicritère d'aide à la décision. Paris, Économica, 423 p.

Remmas H. 2014. Contribution à l'étude et à la cartographie des zones sensibles à l'érosion hydrique du sous bassin versant de Oued Saida. Mémoire de Master en Ecologie et Environnement, Université Dr. Tahar Moulay – Saïda, 94 p.

Saint-laurent D., Schneider M. 2004. Application d'un système d'information géographique à l'analyse cartographique des berges sensibles à l'érosion (rivière du lièvre, québec, canada). Bulletin de la Société géographique de Liège, 44, 71-86p.

Tricart J (1977) Ecodinâmica, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, Rio de Janeiro, Brasil, 91p.

Touaïbia B, Dautrebande S, Gomer D, Aidaoui A, (1999) Approche quantitative de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales: bassin versant de l'Oued Mina. Hydrol Sci J, 44/6 : 973–986.

Wischmeier WH (1976) Use and misuse of the universal soil loss equation. Journal of soil and water conservation 31 : 5-9.

Wischmeier WH, Smith DD (1978) Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agric. Handbook 537. Department of Agriculture, Washington, DC, 58 p.

Youssef.S 2011 l'érosion hydrique au Maghreb étude d'un cas: le bassin" versant de l'oued Barbara (Tunisie septentrionale) université Québec à Montréal 124 P.

# Annexe

## Annexe 1 : formules de calcul des paramètre morphométrique et hydrographiques :

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot A} \approx 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$K_G$  est l'indice de compacité de Gravélius,

$A$  : surface du bassin versant [ $\text{km}^2$ ],

$P$  : périmètre du bassin [km].

$$H_{moy} = \sum \frac{A_i \cdot h_i}{A}$$

$H_{moy}$  : altitude moyenne du bassin [m] ;

$A_i$  : aire comprise entre deux courbes de niveau [ $\text{km}^2$ ] ;

$h_i$  : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

$A$  : superficie totale du bassin versant [ $\text{km}^2$ ].

$$i_p = \frac{1}{L} \cdot \sum_{i=1}^n \left( x_i \cdot \sqrt{\frac{d}{x_i}} \right)$$

$i_p$ : indice de pente [%],

$L$ : longueur du rectangle [m],

$x_i$ : distance qui sépare deux courbes sur la rectangle [m] (la largeur du rectangle étant constante, cette distance est égale au facteur de pondération),

$d$ : distance entre 2 courbes de niveau successives (peut être variable) [m],

$d/x_i$ : pente moyenne d'un élément [%].

En combinant ces trois relations, on obtient :

$$L = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{1,12} \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right) \text{ si } K_G \geq 1,12$$

# Annexe

## Annexe 2 : Débit liquide moyen mensuel enregistré à la station de Bouchegouf contrôlant l'Oued Melah (1972-1993) en m<sup>3</sup>/s

	Q (m3/s)												App. (Hm3)	
	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout		Année
1972	0,80	0,83	0,56	1,42	17,49	12,52	41,17	10,69	2,30	1,40	0,49	0,17	7,49	236,24
1973	0,30	0,07	0,01	0,57	0,33	2,69	2,04	6,71	1,21	0,41	0,24	0,17	1,23	38,18
1974	0,22	0,33	0,44	0,78	1,20	17,33	4,52	2,71	1,55	0,39	0,19	0,16	2,49	75,06
1975	0,17	0,18	0,30	0,43	0,81	4,47	10,26	3,81	6,13	0,94	0,45	0,21	2,34	74,12
1976	0,24	1,43	19,61	5,37	5,61	2,60	1,02	4,69	1,93	0,84	0,28	0,30	3,66	114,77
1977	0,23	0,26	0,61	0,51	1,36	11,30	3,03	7,78	1,34	0,76	0,52	0,50	2,35	71,80
1978	0,21	0,33	0,36	0,46	0,59	1,58	3,68	21,86	2,94	0,68	0,35	0,22	2,77	86,66
1979	0,42	0,33	1,37	0,47	1,00	0,66	5,57	3,11	1,49	0,29	0,07	0,02	1,23	39,08
1980	0,30	0,44	0,55	4,27	9,17	11,06	4,60	2,87	1,17	0,52	0,28	0,20	2,95	91,60
1981	0,44	0,36	0,42	0,72	2,01	6,24	7,59	6,13	3,90	0,79	0,33	0,26	2,43	75,88
1982	0,29	0,46	2,03	5,09	4,66	2,26	4,19	1,74	0,77	0,34	0,17	0,16	1,85	58,41
1983	0,16	0,17	1,68	2,12	15,01	39,67	9,66	3,69	1,01	0,47	0,73	0,16	6,21	192,25
1984	0,25	1,52	0,47	25,74	22,02	7,11	11,55	4,38	2,54	0,75	0,38	0,31	6,42	203,94
1985	0,28	0,42	0,39	0,43	1,30	1,36	5,99	1,69	0,72	0,28	0,15	0,11	1,09	34,58
1986	0,16	0,75	5,04	13,73	12,12	26,92	12,82	12,23	3,22	1,18	0,44	0,27	7,41	229,44
1987	0,22	0,30	0,43	0,43	0,80	1,05	2,51	0,70	0,29	0,28	0,02	0,00	0,59	18,50
1988	0,07	0,08	0,20	1,31	0,91	3,78	2,89	1,52	0,88	0,28	0,03	0,02	1,00	30,92
1989	0,00	0,33	0,26	0,63	4,09	1,37	0,98	0,71	1,61	0,36	0,11	0,41	0,91	28,63
1990	0,07	0,23	1,59	10,29	9,41	7,69	18,54	9,51	2,84	1,13	0,28	0,16	5,14	162,30
1991	0,17	1,51	1,27	1,15	1,32	2,18	6,11	19,42	13,07	2,54	0,55	0,22	4,13	130,26
1992	0,15	0,26	1,33	8,41	19,13	2,43	5,23	2,83	3,03	0,43	0,16	0,08	3,62	115,37
1993	0,10	0,15	0,18	1,18	3,75	13,95	1,77	1,64	0,54	0,11	0,02	0,04	1,95	58,96
Moy	0,24	0,49	1,78	3,89	6,09	8,19	7,53	5,93	2,48	0,69	0,28	0,19	3,15	98,50
Ecart type	0,16	0,45	4,12	6,10	6,84	9,62	8,68	5,75	2,72	0,54	0,19	0,12	2,14	
CV	0,69	0,91	2,32	1,57	1,12	1,17	1,15	0,97	1,10	0,78	0,68	0,66	0,68	