

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



MEMOIRE DE POST-GRADUATION EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MAGISTER

OPTION : Géorisques et Aménagement du Littoral

**Les débits liquides et solides des cours d'eau  
algériens et leur impact sur le milieu marin et  
littoral (Bassin versant de l'Isser et Mazafran)**

Présenté par :

**M<sup>lle</sup> HAOUAM Sara**

Soutenu le 22/12/2014, devant le jury suivant :

**M<sup>lle</sup>. LOUANCHI F**

**Mr. GUERFI M**

**Mr. LARID M**

**Mr. BELKESSA R**

Professeur (ENSSMAL)

MC-A (ENSSMAL)

MC-C (ENSSMAL)

Professeur (ENSSMAL)

**Présidente**

**Examineur**

**Examineur**

**Promoteur**

**Promotion : 2014**

## Résumé

Les analyses du transport des sédiments ont été menées sur les bassins versants de l'Isser et du Mazafran (centre d'Algérie).

L'étude a englobé en premier lieu, une définition préalable de l'ensemble des paramètres morphométriques, géologiques et hydro-climatiques des deux bassins versants ; suivie d'une analyse des débits liquides et solides mesurés au niveau de la station de Lakhdaria pour le bassin de l'Isser et la station de Fer à cheval pour le bassin du Mazafran. Ceci a permis de dégager des relations débit liquide-débit solide, d'où l'estimation de l'érosion spécifique sur la totalité des deux bassins, ainsi que le modèle régressif prévisionnel qui s'en suit.

La comparaison à d'autres bassins algériens montre que l'érosion hydrique dans ces deux bassins versants est parmi les plus importantes en Algérie.

Les apports de l'oued Isser sont déversés dans la baie de Zemmouri ainsi la baie de Bou Ismail reçoit les matières solides transportées par le Mazafran, ces apports en matières solides en suspension contribuent dans la sédimentation marine, l'analyse des différentes cartes sédimentaires disponibles traduit l'importance des apports de l'Isser et du Mazafran

## Abstract

Sediment transport analyzes were conducted on watersheds of Isser and Mazafran (center of Algeria). The study included primarily, a prior definition of the set of parameters morphometric, geological and hydro-climate of the two watersheds; followed by analysis of solid and liquid flow rates measured at the Lakhdaria station for the basin of Isser and Horseshoe station for the Mazafran basin. This frees up Relations solid-liquid flow rate, the estimate of the specific erosion on all two pools, as well as the estimated regression model that follows.

The comparison with other Algerian basins shows that water erosion in both watersheds is among the largest in Algeria.

Solid drifts of both wadis Isser and Mazafran spilled into the bays of Zemmouri and Bou-Ismaïl contribute to marine sedimentation. Analysis of the various available sedimentary cards reflects the importance of the contributions of Isser and Mazafran.

## ملخص

أجريت تحليلات نقل الرواسب على حوضي إيسر و مزافرون (وسط الجزائر)، الدراسة شملت في المقام الأول تعريف مسبق لمجموعة المعلمات المورفولوجية و الجيولوجية و الهيدرولوجية و المناخية للحوضين بالنسبة لمحطة الأخضرية لحوض إيسر و محطة حدوة الحصان لحوض مزافرون. هذه التحليلات سمحت لنا من تحرير علاقات بين التدفق السائل و الصلب بنموذج الانحدار فضلا عن تقدير التآكل على كامل الحوضين.

مقارنة مع غيرها من الأحواض الجزائرية تبين أن التعرية المائية في الحوضين المدروسين من الأهم على الشريط الساحلي الجزائري.

تدفقات واد إيسر تمتد الى خليج زموري، أيضا خليج بوسماعيل يستقبل تدفقات وادي مزافرون، المواد الصلبة المحملة تساهم في الترسبات البحرية. تحليل مختلف خرائط الترسبات المتوفرة يعكس أهمية مساهمات وادي إيسر و مزافرون.

## **Remerciements**

*Avant tous, je remercie Dieu tout puissant qui m'a guidé tout au long de ma vie, qui m'a permis de m'instruire et d'arriver aussi loin dans mes études, qui m'a donné courage et patience pour passer tous les moments difficiles, et qui m'a permis d'achever ce travail.*

*Mes remerciements s'adressent à mon encadreur Monsieur Belkessa R. Je le remercie pour sa disponibilité, ses critiques ainsi que pour ses conseils constructifs afin d'arriver à terme de ce travail.*

*J'exprime ma profonde reconnaissance à tous les membres du Jury qui sont aussi mes enseignants, je leur dois un grand respect surtout à Mr Guerfi M.*

*Mon sincère remerciement s'adresse à Mr Hamadou N (Université Constantine 3) Pour son aide très précieuse.*

*Je tiens aussi à remercier Mr Zerouel A (ENSH).*

*Je remercie également toutes les personnes qui m'ont, de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre, permis, par leur collaboration, leur soutien et leur avis judicieux, de mener à bien ce travail.*

*Je voudrais aussi remercier profondément les personnes qui ont su, même éloignées par la distance, être à mes côtés et me soutenir. Merci à Mamiche et Dadi.*

*Merci à mes amis (es) : Nedjia, Raoum, Houda, Wahid, Khadidja, Badra, Zineb, Haoua, Fatima. Pour leur encouragement et leur soutien.*

*Enfin, merci à vous, les plus proches ; Maman, Papa, Ma sœur et mes frères.*

# Sommaire

---

Introduction.....	1
Chapitre I : Conception et notions de base.....	3
I.1. L'érosion.....	3
I.1.1. Définition.....	3
I.1.2. Principaux agents de l'érosion hydrique.....	4
I.1.3. Formes de manifestation de l'érosion hydrique.....	8
I.1.4. Quantification de l'érosion hydrique.....	9
I.1.5. Impact de l'érosion dans différentes régions dans le monde .....	11
I.1.6. Effets néfastes de l'érosion.....	16
I.2. Transport solide.....	17
I.2.1. Définition.....	17
I.2.2. Transport solide par charriage.....	18
I.2.3. Transport solide en suspension. ....	18
Conclusion.....	20
Chapitre II : Présentation et description des bassins versants.....	21
II.1. Cadre géographique.....	21
II.1.1. Bassin versant de l'Oued Isser.....	21
II.1.2. Bassin versant de l'Oued Mazafran.....	22
II.2. Caractéristiques de forme.....	24
II.2.1. Indice de compacité de Gravilius .....	24
II.2.2. Dimension du rectangle équivalent.....	25
II.3. Etude de relief .....	26
II.3.1. Hypsométrie des bassins.....	26
II.3.2. Indice de pente global.....	29
II.4. Temps de concentration .....	30
II.5. Réseau hydrographique .....	31
II.5.1. Bassin versant de l'Isser .....	31
II.5.2. Bassin versant du Mazafran.....	35
II.6. Sols et végétation .....	37
II.6.1. Bassin versant de l'Isser.....	37
II.6.2. Bassin versant du Mazafran .....	38
II.7. Lithologie et géologie générales. ....	40
II.7.1. Bassin versant de l'Isser .....	40
II.7.2. Bassin versant du Mazafran .....	43
II.8. Les barrages.....	46
II.8.1. Barrage Bouroumi.....	46
II.8.2. Barrage Beni Amrane.....	47
II.8.3. Barrage Ladrat.....	48
II.8.4. Barrage Koudait Acerdoune.....	49

Chapitre III: Climat et hydrologie .....	50
III.1. Données climatologiques disponibles.....	50
III.1.1 Température.....	51
III.1.2 Précipitations.....	53
III.2.Relation entre lame d'eau écoulee et lame d'eau précipitée.....	55
Chapitre IV : Erosion et transport solide.....	57
IV.1. Etude du transport solide en suspension et mise en forme des données de base.....	57
IV.1.1. Données hydrologiques et méthodes de quantification .....	57
IV.1.2. Analyse débits liquides- débits solides.....	59
IV.2. Erosion et transport solide .....	66
IV.2.1. Quantification des apports solides et l'érosion spécifique .....	66
IV.2.2. Variabilité interannuelle des apports liquides et solides .....	69
IV.2.3. Conclusion sur le régime des transports sur les deux bassins versants .....	73
IV.2.4. Classement des deux oueds étudiés en fonction de leurs charges solides annuelles transportées.....	74
Chapitre V. Répartition sédimentaire dans la baie de Zemmouri et la baie de Bou-Ismaïl.....	77
V.1. Conditions climatiques sur le littoral à l'embouchure de l'Oued Isser et Mazafran.....	77
V.1.1. Direction des vents .....	77
V.1.2. Les houles .....	78
V.2. Morphologie et sédimentologie .....	78
V.2.1. Morphologie .....	78
V.2.2. Nature des sédiments et origine des dépôts .....	80
V.2.2.1. Description lithologique des sédiments superficiels .....	80
V.2.2.2. Répartition des faciès superficiels.....	81
Conclusion .....	88
Conclusion générale.....	89

## Liste des figures

<b>Figure. I.1.</b> Carte de la dégradation des sols dans le monde.....	13
<b>Figure .I.2.</b> Critères de suspension.....	19
<b>Figure. II.1.</b> Situation géographique du bassin versant de l'Oued Isser et de son embouchure dans la baie de Zemmouri.....	22
<b>Figure. II.2.</b> Situation géographique du bassin versant de l'Oued Mazafran et de son embouchure dans la baie de Bou Ismail.....	24
<b>Figure. II.3.</b> model numérique de la topographie du BV de l'Isser.....	27
<b>Figure. II.4.</b> Carte des pentes dans le bassin versant de l'oued Mazafran (ANRH, 1973).....	28
<b>Figure. II.5.</b> Réseau hydrographique du bassin versant de l'Isser.....	32
<b>Figure. II.6.</b> Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Mazafran (d'après l'ANRH).....	36
<b>Figure. II.7.</b> Carte schématique de végétation du bassin versant de l'Oued Isser.....	37
<b>Figure. II.8.</b> Carte pédologique de la région du Sahel d'Alger (ANRH, 1973).....	39
<b>Figure. II.9.</b> Carte lithologique du bassin versant Isser.....	42
<b>Figure. II.10.</b> carte géologique de la Mitidja (Bennie et Partners, 1983).....	43
<b>Figure. II.11.</b> Lithologie du bassin versant de l'oued Mazafran et de la région littoral (Moulfi et al, 2012).....	45
<b>Figure. II.12.</b> Barrage Bouroumi.....	46
<b>Figure .II.13.</b> Barrage Beni Amrane.....	47
<b>Figure. II. 14.</b> Barrage Ladrat.....	48
<b>Figure II.15.</b> Barrage Koudait Acerdoune.....	49
<b>Figure.III.1.</b> Température moyenne mensuelle à la station de Dellys Afir.....	51
<b>Figure.III.2.</b> Température moyenne mensuelle (Isser).....	51
<b>Figure.III.3.</b> Température moyenne mensuelle à la station de Dar El Beida.....	52
<b>Figure.III.4.</b> Variation interannuelle des précipitations au niveau de Lakhdaria.....	54
<b>Figure.III.5.</b> Variation interannuelle des précipitations au niveau de Fer à Cheval.....	54

<b>Figure. III.6.</b> Précipitations moyennes mensuelles aux stations de Lakhdaria et Fer à Cheval.....	55
<b>Figure. III.7.</b> Intervention annuelle de la lame d'eau précipitée sur la lame d'eau écoulée (Lakhdaria).....	56
<b>Figure. III.8.</b> Intervention annuelle de la lame d'eau précipitée sur la lame d'eau écoulée (Fer à Cheval).....	56
<b>Figure IV.1.</b> Relation débits solides en fonction des débits liquides dans les bassins des oueds Isser et Mazafran.....	60
<b>Figure .IV.2.</b> Diagramme Ombrothermique des oueds Mazafran et Isser.....	61
<b>Figure. IV.3.</b> Relation débit liquide – débit solide instantané à la station de Lakhdaria (Echelle Saisonnière).....	63
<b>Figure. IV.4.</b> Relation débit liquide – débit solide instantané à la station de Fer à Cheval (Echelle Saisonnière).....	64
<b>Figure. IV.5.</b> Relation débit liquide – débit solide instantané à la station de Lakhdaria (Echelle saison Sèche - Humide).....	65
<b>Figure .IV.6.</b> Relation débit liquide – débit solide instantané à la station de Fer à Cheval (Echelle saison Sèche - Humide).....	65
<b>Figure. IV.7.</b> Apports liquides et solides annuels de l'Oued Isser.....	69
<b>Figure. IV.8.</b> Apport liquides et solides annuels de l'Oued Mazafran.....	70
<b>Figure IV. 9.</b> Erosion spécifique estimée dans les deux bassins versants Isser et Mazafran.....	71
<b>Figure. IV.10.</b> les apports solides annuels des deux Oueds.....	72
<b>Figure .IV.11.</b> Les apports solides des différents oueds exoréiques.....	76
<b>Figure. V.1.</b> Topographie de la baie de Zemmouri (Leclaire, 1972).....	79
<b>Figure. V. 2.</b> Topographie de la baie de Bou-Ismaïl (Leclaire, 1972).....	80
<b>Figure. V.3.</b> Carte des facies sableux de la zone orientale du plateau continental de la baie de Zemmouri.....	81
<b>Figure V. 4.</b> Carte des facies de la baie de Bou-Ismaïl.....	82

<b>Figure. V.5.</b> carte de la répartition des lutites dans la zone orientale du plateau continental de la baie de Zemmouri .....	83
<b>Figure. V.6.</b> Gradient d'envasement près de l'oued Mazafran.....	84
<b>Figure. V. 7.</b> Carte de répartition des lutites (fraction inférieure à 40 $\mu\text{m}$ ) sur le littoral du Mazafran.....	84
<b>Figure. V. 8.</b> Répartition des minéraux argileux dans la zone orientale de la baie de Zemmouri.....	87

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> . Valeurs de $\alpha$ pour différentes perméabilités.....	11
<b>Tableau. I.2.</b> Quelques estimations de la dégradation spécifique en Algérie.....	15
<b>Tableau. II.1.</b> Indice de compacité des deux bassins versants Isser et Mazafran.....	25
<b>Tableau. II.2.</b> Dimensions du rectangle équivalent.....	26
<b>Tableau. II.3.</b> Classification des reliefs selon $I_g$ par l'O.R.S.T.O.M.....	30
<b>Tableau. II.4.</b> Indice de pente globale $I_g$ .....	30
<b>Tableau. II.5.</b> Temps de concentration calculé pour les deux bassins.....	31
<b>Tableau.III.1.</b> moyenne mensuelle des températures (Isser).....	51
<b>Tableau.III.2.</b> moyenne mensuelle des températures (Mazafran).....	52
<b>Tableau.III.3.</b> Paramètres d'échantillon.....	53
<b>Tableau IV. 1.</b> caractéristiques des stations hydrométriques et périodes de mesure.....	57
<b>Tableau IV.2.</b> Les valeurs de $R^2$ pour l'ensemble des données.....	59
<b>Tableau. IV. 3.</b> Paramètres de la relation débit solide-débit liquide.....	60
<b>Le tableau. IV. 4.</b> Estimation de coefficient de détermination et de relation retenue $Q_s-Q_l$ : regroupement par saison.....	61
<b>Tableau. IV. 5.</b> Apport solide et érosion spécifique interannuel pour l'Isser et Mazafran.....	68
<b>Tableau. IV. 6.</b> Coefficient de régularité des oueds Isser et Mazafran pour la période 1976/1995.....	72
<b>Tableau. IV. 7.</b> Valeurs maximales de l'érosion spécifique des plus importants bassins Nord Algérie.....	74

# *Introduction*

## **Introduction générale**

L'érosion hydrique est une source de la dégradation des sols dans les régions semi-arides et surtout en zones méditerranéennes. Les études récentes sur la vulnérabilité aux changements climatiques dans la région méditerranéenne indiquent une tendance à un accroissement de l'aridité qui accélère la dégradation des sols (**Cheggour, 2008**). Ce phénomène très complexe, lié à des facteurs naturels et anthropiques difficilement métrisables, est évolutif aussi bien dans l'espace que dans le temps (**Taouibia et al., 2001**).

En Algérie, l'érosion hydrique au niveau des bassins versants constitue un phénomène majeur. En effet, la dégradation du milieu a des conséquences très néfastes sur la productivité des terres et sur la qualité des eaux. Malgré les efforts de lutte anti-érosives telles que le reboisement et la reforestation de 800.000 ha ( ceinture verte) et l'aménagement des banquettes (d'absorption ou de diversion) sur 350.000 ha cultivés, la dégradation de la végétation et des sols continue (Lekfir, Benkaci Ali, 2005). En effet, le taux d'érosion spécifique atteint les valeurs les plus élevées d'Afrique du Nord. Selon Demmak (1982), l'Algérie se classe parmi les pays les plus érodables du monde avec une érosion spécifique moyenne varie entre 2000 et 4000 tonnes/ km<sup>2</sup>/ an.

Dans les zones semi-arides, caractérisés par des précipitations très irrégulières souvent intenses, les facteurs climatiques ont une influence considérable sur le détachement des particules du sol. Ces derniers se trouvent transportés par ruissellement dans les oueds.

Depuis les années 70, un intérêt particulier est donné à l'estimation du transport solide. Les raisons sont nombreuses et diverses, et incluent le transport de contaminant, les tendances de qualité de qualité aquatique, la sédimentation de réservoirs, l'envasement de canaux et de ports, l'érosion et la perte de sol et aussi bien que les impacts écologiques. Cet intérêt est motivé par l'importance des aspects quantitatifs et qualitatifs du transport solide, c'est bien dans ce contexte précis, notre étude a été organisée.

Dans le cadre de ce travail, on s'est intéressé à l'analyse des débits liquides et solides des deux cours d'eau drainant deux bassins versants situés au centre du littoral algérien ; Isser et Mazafran. Ainsi, la répartition de la charge sédimentaire transportée par les vecteurs dans les zones côtières où ils débouchent. Le manuscrit est organisé en cinq parties :

-la première partie de ce mémoire est consacrée à une synthèse bibliographique sur les processus de l'érosion hydrique et le transport solide

-un diagnostic physico-géographique, première étape de la connaissance des bassins versants, permettra de caractériser les principaux facteurs intervenant dans l'écoulement ; facteurs morphométriques et lithologiques. Leur interaction est déterminante dans le comportement hydrologique des deux bassins

-une étude hydro-climatique des deux bassins versants, basée sur le traitement des données de température, de précipitations et écoulement, mettra en lumière l'évaluation des apports liquides.

-dans une étude des transports solides en suspension, permettra d'évaluer les quantités des sédiments transportés par les oueds Isser et Mazafran et de comparer la dynamique érosive dans les deux bassins, et par conséquent d'en tirer des conclusions quant à la répartition sédimentologique dans la baie de Zemmouri ainsi la baie de Bou-Ismaïl pour le dernier chapitre.

Dans un dernier axe, la représentation sédimentologique de la fraction sableuse et lutitique nous permettra de reconnaître la répartition sédimentaire des particules fines ainsi de les identifier dans les milieux récepteurs.

Notre travail a pour finalité une approche à la fois analytique et synthétique de l'érosion spécifique, du transport solide en suspension et de sa répartition dans la zone sous marine.

# *Chapitre I*

## *Conception et notions de base*

## **Erosion et transport solide**

Le sol est une ressource naturelle non renouvelable à l'échelle de temps historique. L'une des causes majeures de sa dégradation est l'érosion. La prise en compte de l'érosion des sols représente donc une priorité car elle revêt un caractère **d'irréversibilité**. L'érosion provoque des dégâts aux terres mais a aussi des conséquences au-delà du sol lui-même, puisqu'elle entraîne une dégradation de la qualité des eaux et le déplacement de sédiments qu'il faut ensuite gérer. L'évaluation de la dégradation des sols à l'échelle mondiale (GLASOD) des Nations Unies qui date de 1990, fait apparaître l'ampleur de cette dégradation : près du sixième de la superficie du monde portant une végétation a souffert d'une dégradation plus ou moins poussée depuis 50 ans. Cette dégradation est imputable pour plus des trois quarts à l'agriculture et à l'élevage ou à la mise en culture des terres boisées. Les processus de dégradation sont très variés : salinisation et engorgement des terres irriguées mal gérées, compactage provoqué par l'utilisation de matériel lourd et pollution due à l'application excessive de pesticides ou d'engrais. Cependant l'érosion reste de loin le type le plus répandu de dégradation des terres et frappe 84% des superficies affectées d'après l'étude des Nations Unies.

*Dans ce contexte, des mesures claires et exactes de l'érosion sont indispensables pour servir de base aux plans de prévention et de restauration, d'autant plus que l'érosion est un phénomène Silencieux et complexe dû à la combinaison de multiples facteurs.*

### **I.1. L'Erosion**

#### **I.1.1. Définition**

D'une manière générale, l'érosion des sols correspond au "détachement" et au "transport" des particules de sol, par différents agents (gravité, eau, vent, glace), de leur emplacement d'origine à un endroit de "dépôt" à l'aval. Dans tous les cas, ces mouvements de sol sont des processus discontinus à fortes variations spatio-temporelles, difficiles à décrire sous forme d'équations mathématiques. Nous nous intéressons dans cette étude plus particulièrement à l'érosion hydrique, qui est un phénomène largement répandu et dont les conséquences peuvent être destructives.

L'érosion hydrique constitue en Algérie un phénomène très grave qui affecte durement le patrimoine foncier. Elle touche 45% des zones telliennes soit 12 millions d'hectares cultivables. Ce phénomène devient encore plus grave si l'on sait que 85% des surfaces cultivables, sont situées dans les zones les plus sensibles à l'érosion (Chibanni, R. et al.1999). Les deux agents principaux de l'érosion hydrique sont les précipitations et le ruissellement superficiel. Toutefois un grand nombre de facteurs (caractéristiques du sol, pentes et longueur de pente, le couvert végétal et l'état hydrique initial) et de mécanismes affectent la relation "chute de pluie – ruissellement- entraînement des terres".

## **I.1.2. Les principaux agents de l'érosion hydrique**

### **I.1.2.1. Intensité et agressivité des précipitations :**

La désagrégation de la structure et le détachement des particules sous l'impact des gouttes de pluie résultent du "travail" exercé par les gouttes à la surface du sol. Il est donc lié à l'énergie cinétique des gouttes  $E_c$ .

$$E_c = 1/2 m.V^2$$

$m$  est la masse de la goutte (kg) ;

$V$  la vitesse (m/s),  $E_c$  l'énergie cinétique (joules).

L'évaluation de l'énergie cinétique des gouttes reste un bon critère d'évaluation de l'agressivité des pluies. Il existe d'ailleurs une relation empirique reliant l'intensité d'une pluie et son énergie cinétique (Remy, J.C. et al. 1998).

$$E_c = 11.9 + 8.73 \log I_p$$

$E_c$  : Energie cinétique en  $j/m^2/mm$  ;

$I_p$  : intensité de pluie en  $mm/h$ .

Les pluies, lors de l'impact des gouttes, provoquent un détachement des matières et une destruction des agrégats lors de la conversion de l'énergie cinétique en efforts de cisaillement.

Plusieurs phases sont à considérer lors d'une averse. Les premières gouttes de pluies qui arrivent au sol y pénètrent proportionnellement à son ameublissement et sa porosité. Cette première phase s'accompagne d'un déplacement de particules et d'un tassement du sol. Puis la couche superficielle s'humidifie, et l'on assiste au développement quasi simultané de trois processus : la désagrégation de la structure, la formation d'une pellicule de battance et l'érosion par "splash" ou érosion par rejaillissement (Benkhadra, 1997).

Jusqu'à ce stade, on ne peut parler de transport proprement dit. Il faut que le ruissellement démarre pour qu'il y ait une prise en charge des particules détachées par mise en suspension ou par charriage.

### **I.1.2.2. Le ruissellement :**

Le ruissellement apparaît dès que l'intensité d'une pluie devient supérieure à la vitesse d'infiltration du sol. Il est nettement plus élevé sur sol nu que sous cultures. Les plus faibles ruissellements proviennent des pluies tombantes après une période sèche. Par contre, les ruissellements et les pertes en terres les plus élevées ont eu lieu à une époque où le sol est déjà très humide et dans le cas de pluies exceptionnelles et des orages d'automne et de printemps (Chebbani et al, 1999).

Le ruissellement ne débute qu'après un cumul pluviométrique journalier de 18 à 20 mm (Laouina, 1998) sur sol sec même si les pluies sont intenses ou après un cumul de 4 mm sur sol humide et compact (Chebbani et al, 1997).

Ces seuils de hauteur dépendent en partie des caractéristiques des pluies (intensité, mais aussi du volume de pluie tombant après saturation du sol) et surtout de l'état de surface du sol (plus le sol est dégradé plus le ruissellement est rapide).

Selon Laouina et al (1993), les pluies continues mais de faibles intensités permettent une certaine infiltration de l'eau et réduisent le ruissellement sur les versants, par contre les épisodes de fortes intensités entraînent un ruissellement plus important. Mais ce sont les épisodes pluvieux durables avec des événements de forte intensité répétitifs qui occasionnent la dégradation la plus forte, avec en particulier le passage du ruissellement en nappe au ruissellement en griffes et rigoles. D'une manière générale, il est admis que la vitesse du ruissellement est le paramètre prépondérant de l'action érosive du ruissellement superficiel. En 1965, Meyer a proposé la relation suivante pour évaluer cette vitesse (Meyer, 1965) :

$$V_R = (I^{0.33} \cdot Q_R^{0.33}) / n^{0.66}$$

$V_R$  : vitesse de ruissellement ;

$I$  : pente du terrain ;

$Q_R$  : débit du ruissellement ;

$n$  : rugosité du sol.

Les facteurs qui régissent le ruissellement sont principalement :

### a- L'infiltration

Tous les sols sont plus ou moins perméables. Le coefficient de perméabilité qui représente la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol dépend essentiellement de la porosité du sol. Pour un sol homogène initialement non saturé, la surface du sol présente une certaine infiltrabilité définie comme le flux maximum qu'elle peut absorber lorsqu'elle est maintenue en contact avec l'eau et la pression atmosphérique.

Au cours du temps cette baisse par l'action de la compaction des sols, que ce soit sous l'action des agents climatiques ou par l'action de l'homme, conduit à une réduction de la porosité et donc de la conductivité hydraulique. La diminution de la capacité d'infiltration constitue ainsi un facteur défavorable générateur de ruissellement et de transport de sédiments.

En revanche, cette même diminution de l'infiltrabilité joue un rôle positif contre l'érosion puisqu'elle renforce la résistance au cisaillement des sols. L'équation de Coulomb donnant la charge de rupture ( $\tau$ ) montre le rôle des deux paramètres essentiels :

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg}\phi$$

$C$  : la cohésion qui dépend des forces capillaires et de la teneur en eau du sol.

$\Phi$  : l'angle de frottement interne qui dépend de la porosité du matériau et donc de la compacité du sol.

**b- Détention superficielle et rugosité du sol**

Elle correspond à la capacité de stockage temporaire de la surface du sol vis-à-vis de l'eau. La détention superficielle se fait sous forme de flaques dans les micro-dépressions, dont la capacité de stockage est liée à la rugosité.

**c- Pente et longueur de pente**

L'influence de la pente est complexe. Le plus souvent, l'érosion augmente avec la pente. Il se développe une érosion en rigoles dix fois plus agressive que l'érosion en nappe (Roose, E. et al. 1998). Quant à la longueur des pentes, il semble que son influence sur la naissance de rigoles dépend de diverses interactions avec la rugosité et la perméabilité du sol, le type et l'abondance du couvert végétal.

**d- Le couvert végétal**

Il est clair que le couvert végétal est efficace pour réduire le ruissellement. La couverture du sol, plus particulièrement celle assurée par la strate herbacée et les résidus végétaux, constitue la protection la plus efficace du sol. Elle intervient vis à vis du sol par :

- l'interception nette : une partie de la pluie qui tombe sur la végétation est directement reprise par l'évaporation. elle ne participe alors, ni à l'infiltration, ni au ruissellement.
- La dissipation de l'énergie cinétique : une partie de la pluie interceptée par le feuillage continue sa course jusqu'au sol. L'énergie cinétique des gouttes s'en trouve alors modifiée.

L'expérience (Ruiz-Figueroa, 1983) montre que l'efficacité d'un couvert végétal à l'égard de l'infiltration est d'autant plus marquée que le dernier élément récepteur est bas.

**I.1.2.3. Etat hydrique initial**

L'état hydrique du sol au moment d'une pluie a une très forte influence sur la dégradation, la formation des croûtes et la réduction de l'infiltrabilité résultante (Lebissonais, 1996). Les grégats secs sont plus sensibles à l'éclatement. En effet l'intensité de ce processus croît avec le volume d'air piégé (Boiffin, 1984 ; Le Bissonais, 1988) en particulier sous des pluies de forte intensité qui peuvent former des croûtes très rapidement.

L'état hydrique initial influence aussi la succion exercée à la surface du sol par les couches sous-jacentes et donc l'infiltration au travers de cette surface.

Lorsque le sol en surface est argileux sensible à la dispersion par l'effet de l'impact des gouttes de pluie à la désagrégation mécanique par l'alternance des cycles de dessiccation et d'humectation, il y a mobilisation des particules argileuses sous l'action de l'impact des pluies (Chibbani, et al, 1997). En effet, l'humectation des sols argileux entraîne un gonflement qui est une forme analogue de désagrégation. Cette argile mobilisée migre dans l'eau de l'infiltration, couvre la périphérie des agrégats et colmate les interstices intra-agrégats ou bien se dépose à la surface du sol pour former une croûte. La formation des croûtes ou organisation pelliculaire de surface, entraîne une réduction de l'infiltrabilité, accroît les risques de ruissellement et d'érosion.

### **I.1.3. Formes de manifestation de l'érosion hydrique**

#### **I.1.3.1. Erosion en nappe :**

Elle se produit lorsque l'écoulement et l'érosion se font sur toute la surface du sol, ce qui provoque une usure homogène non perceptible dans la majorité des cas. Quantitativement, l'érosion en nappe est très modeste. En Algérie, les chercheurs de l'INRF et de l'ORSTOM ont évalué les pertes en terres par ce type d'érosion de 0,10 à 20 t/ha/an (Chebbani et al, 1999).

Ce type d'érosion entraîne des conséquences morphologiques et pédologiques fâcheuses suite à un décapage de l'horizon superficiel diminuant insidieusement sa réserve en éléments fertilisants et un entraînement préférentiel des particules les plus fines, de la matière organique et du carbonate de calcium.

#### **I.1.3.2. Erosion linéaire :**

Elle se manifeste lorsque la concentration des eaux conduit à la formation de chenaux de dimension croissante : griffes (quelques centimètres de profondeur), rigoles (incision dans la couche labourée), ravines (incision dépassant la couche labourée).

### a- Erosion en griffes et rigoles

Elle se produit lorsque l'écoulement d'eau se concentre et choisit son passage. Dès qu'une griffe s'établit, l'eau de ruissellement tend à se réunir, et plus elle se creuse plus il y a appel d'eau dans la rigole. Ainsi le phénomène de creusement s'accélère de lui-même.

De point de vue quantitatif, ce type d'érosion reste dans les mêmes proportions que l'érosion en nappe.

### b- Erosion par ravinement

Les ravines suivent la ligne de plus grande pente des versants. Puisque le ruissellement provenant des versant peut atteindre 50 à 80% durant les averses exceptionnelles tombant sur les terres battues ou compactées, l'essentiel du transport solide provient des ravines et des oueds (Heush, 1970; Arabi et al, 1989).

Lorsque le sol est peu perméable, saturé et peu couvert, le ruissellement est abondant. Ce dernier creuse des ravines et augmente les pointes de crue des oueds, ce qui favorise le sapement des berges et les glissements de terrain, et par conséquent l'envasement des barrages, la destruction des infrastructures et la dégradation des terres. En Algérie, l'érosion ravinante a déplacé 90 à 300 t/ha/an ce qui correspond à une vitesse d'altération des versants de 8 à 17 mm/an (Chibbani, et al,1999).

## I.1.4. Quantification de l'érosion hydrique

### I.1.4.1. Formule de Wischmeier et Smith (Universal Soil Loss Equation - USLE 1978)

Il s'agit d'un modèle d'érosion, permettant d'évaluer les zones à haut risque et de quantifier les pertes de sol moyennes annuelles. Le modèle permet l'estimation des quantités de sédiments qui seront transportées aux cours d'eau.

$$P_s = E_p \cdot E_s \cdot F_{lp} \cdot F_p \cdot F_{am} \cdot F_v$$

Où,

$P_s$  : pertes annuelles de sol (t/ha/an)

$E_p$  : érosivité des précipitations (N/h)

$E_s$  : érodabilité du sol ou susceptibilité du sol à l'érosion (t.h/N.ha)

$F_{lp}$  : facteur de longueur de pente (sans dimension)

Fp : facteur de pente (sans dimension)

Fam : facteur d'aménagement (sans dimension)

Fv : facteur de conservation des sols pratiqué (sans dimension)

#### I.1.4.2. Formule de Fournier (1960)

$$\text{Ass} = (1/36) (\text{Pm}^2/\text{Pam})^{2.65} (\text{h}^2/\text{S})^{0.46}$$

Où ;

Ass : apport solide spécifique (t/km<sup>2</sup>/an)

Pm : précipitations moyennes mensuelles du mois le plus pluvieux (mm)

Pam : précipitations annuelles (mm)

h : dénivelée moyenne (m)

S : superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>).

#### I.1.4.3. Formule de Tixeront (1960)

Basée sur les données recueillies dans 32 bassins algériens et 9 bassins tunisiens sur une durée comprise entre 2 et 22 ans.

$$\text{Ass} = 354.E^{0.15} \text{ pour les bassins tunisiens}$$

$$\text{Ass} = 92.E^{0.21} \text{ pour la région Est algérien}$$

$$\text{Ass} = 200.E \text{ pour la région centre algérien}$$

Où,

Ass : apport solide spécifique en t/km<sup>2</sup>/an

E : Ecoulement en mm

#### I.1.4.4. Formule de Sogreah

Basée sur les données de 30 bassins algériens, de superficie comprise entre 100 et 300 km<sup>2</sup>, soumis à une pluviométrie annuelle comprise entre 300 et 1000 mm.

$$\text{Ass} = \alpha .E^{0.15}$$

Où ;

Ass : apport solide spécifique (t/km<sup>2</sup>/an)

$\alpha$  : coefficient dépendant de la perméabilité du sol, donné au Tableau ci dessous

E : Ecoulement annuel (mm)

**Tableau I.1 : Valeurs de  $\alpha$  pour différentes perméabilités**

Perméabilité	$\alpha$
Forte	8.5
Moyenne	75
Moyenne à faible	350
Perméabilité faible	1400
Imperméable	3200

### **I.1.5. L'impact de l'érosion dans différentes régions dans le monde :**

- les impacts primaires: dégradation des terres, perte en sols productifs, transport de sédiments, dégradation du paysage;
- les impacts secondaires: perte de productivité, déclin des activités connexes (cultures méditerranéennes, élevage du bétail), dépôts de matériel érodé (cours d'eau, barrages, zones côtières), changements dans la charge solide du cours d'eau et l'équilibre naturel le long du littoral, pollution de l'eau douce et des eaux côtières;
- les impacts tertiaires: changements du régime des précipitations, biodiversité menacée, impacts sociaux (pauvreté, migrations), impacts économiques (durée de vie et valeur économique des barrages, impacts sur le tourisme par les plages érodées ou polluées). Les impacts précités (existants ou potentiels) sur l'utilisation rationnelle des ressources et le schéma de gestion côtière doivent être examinés avec soin et interprétés au cours de l'analyse des résultats des activités de cartographie et de mesure de l'érosion.

L'érosion des sols est donc grave. Il est difficile d'évaluer l'ampleur de ce phénomène mais elle a été étudiée et des estimations ont été établies :

Comme l'illustre la figure. I.1. cette dégradation est un phénomène mondial qui n'épargne aucun continent. La surface totale érosive dans le monde est estimée à 25 millions de km<sup>2</sup>, ce qui présente 16,8% de la surface totale des continents (Xiaoqing, 2003). Environ 28% de cette dégradation est attribuée à l'érosion éolienne et 56% à l'érosion hydrique (Gratiot ; 2010). En effet cette dernière constitue la principale menace pour les sols.

Les pays de la méditerranée ne sont pas à l'écart de ce phénomène. Généré par la présence de facteurs favorables tels que la nature torrentielle des pluies, la forte vulnérabilité des terrains (roches tendres, sols fragiles, pentes raides et couverts végétaux souvent dégradés), le surpâturage et l'impact défavorable des activités humaines (Roose, 1991 ; Antipolis, 2003). Ce phénomène touche la majeure part des pays tels que :

Dans les **pays méditerranéens de l'Union européenne**, une superficie de 202000 km<sup>2</sup> présente un risque élevé d'érosion (Giordano et al., 1992). D'autres données rassemblées par les Nations Unies font penser que pas moins de 200000 km<sup>2</sup> pourraient être exposés à la désertification en région méditerranéenne.

En **France**, Gobillot et Hénin (1950) lancèrent une enquête qui permit d'estimer que **quatre** millions d'hectares de terres cultivées étaient dégradées par l'érosion hydrique ou éolienne.

57% (104.000 km<sup>2</sup>) des **bassins méditerranéens d'Espagne** accusent des taux d'érosion supérieurs à 12 t/ha/an, dont 25.700 km<sup>2</sup> enregistrent des taux très intenses de plus de 50 t/ha/an.

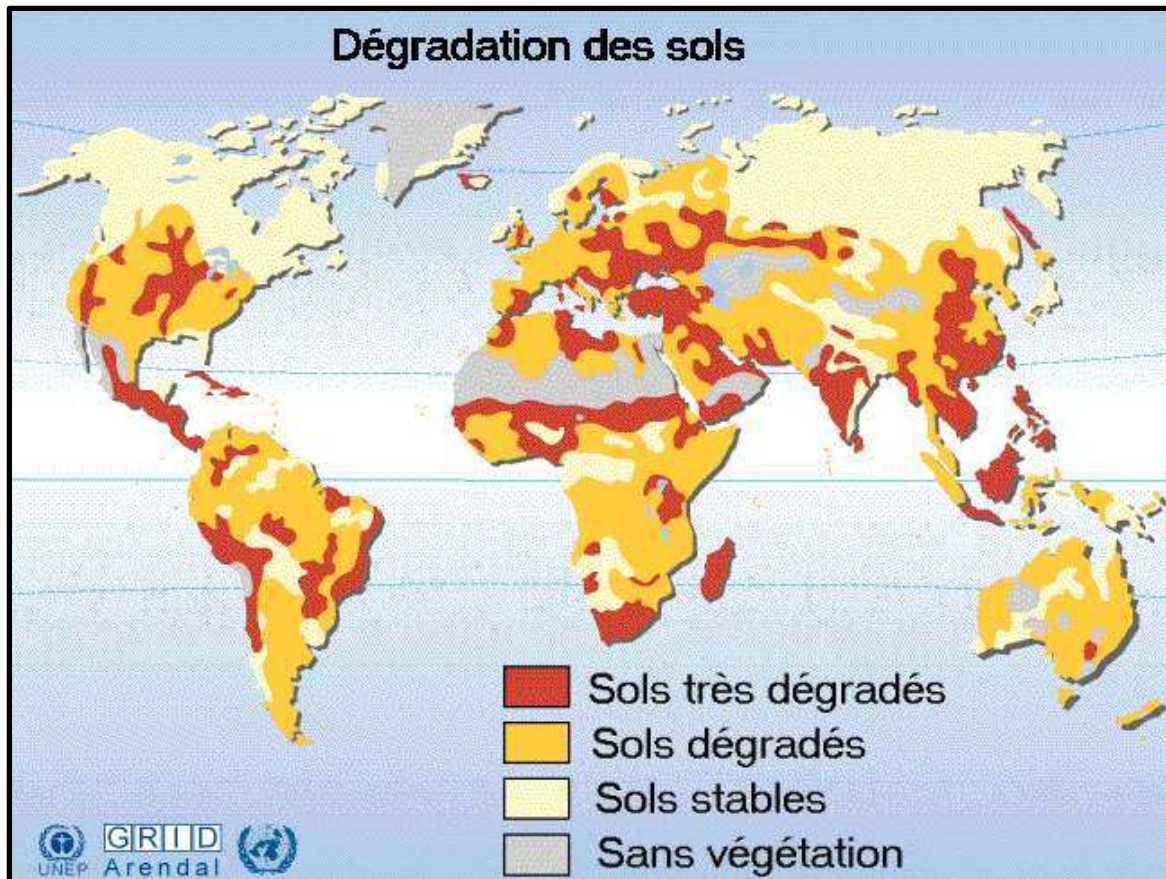
En **Turquie**, 22,3% des terres sont gravement érodées (Topraksu Koyisler, 1981).

En **Syrie** les pertes en terre varient de 0.5 à 2 tonnes/km<sup>2</sup> /an dans de nombreuses régions du pays et dépasse même les 2 tonnes/ha/an dans les chaînes montagneuses côtières. Au **Liban**, les prévisions sont de 0.5 à 0.7 tonnes/km<sup>2</sup>/an dans les montagnes (Boukheir et al, 2001; Antipolis, 2003).

En **Egypte**, l'érosion pluviale est nulle ou négligeable, mais dans certaines zones désertiques (erg), sur une bande étroite bordant le delta du Nil et sur la côte égyptienne occidentale, elle peut mobiliser plus de 200 t/ha/an.

En **Tunisie**, Hamza (1992) a évalué les transports solides moyens évacués chaque année par les différents bassins versants. En tenant compte d'une profondeur moyenne des sols de 50 centimètres, ce seraient 15000 ha de terres qui se perdent en mer par érosion hydrique chaque année.

Des relevés de la sédimentation effectués dans six réservoirs se trouvant dans divers bassins versants du **Maroc** ont révélé que l'érosion varie de 2 à 59 t/ha/an.



*Figure. I.1. Carte de la dégradation des sols dans le monde (UNEP GRID-Arendal, P. Rekacewicz)*

En **Algérie** de nombreux travaux menés sur l'érosion ont montré que les sols sont particulièrement sensibles au ruissellement et à l'érosion (Tixeront 1960, Demmak 1982, Meddi 1992, 1999, Roose *et al.* 1999, Chebbani *et al.* 1999, Terfous *et al.* 2001, Bouanani 2004, Achite *et al.* 2005, 2007, Meguenni et Remini 2008). Outre la grande sensibilité des roches à l'érosion, les fortes variations pluviométriques et hydrologiques, la présence d'un relief accidenté et la pauvreté de la végétation constituent des conditions favorables à l'entraînement et au transport des matériaux.

Le tableau I.2 récapitule les estimations à travers quelques bassins versants. L'analyse de ces valeurs reflète un état de dégradation faible, mais il reste que ces estimations sont moyennes alors que les valeurs annuelles peuvent largement dépasser ces fourchettes. À titre d'exemple le bassin versant de Sebdou, donne une valeur annuelle maximum en (1990-91) qui atteint 4283 t/km<sup>2</sup>/an d'après Megnounif et al, (2003), elle est de 5 876 t/km<sup>2</sup>/an en (1995-96) d'après Ghenim, (2008). D'après une étude de Bourouba (2002) à travers 24 stations de mesures, les valeurs annuelles maximales peuvent varier entre 164 t/km<sup>2</sup>/an en (1977-78) à l'Oued Soubelle dans le bassin versant de Chott Hodna à 10375 t/km<sup>2</sup>/an à l'Oued Djendjen dans le bassin versant des côtières Constantinois. Il est à signaler D'après le tableau. I.2, l'hétérogénéité des valeurs publiées par certains auteurs pour un même bassin versant. Ceci s'il n'est pas dû à la différence de l'étendue de la série de données exploitées, il est le résultat de la différence des méthodes de calcul utilisées pour l'estimation des apports solides ou bien de la fiabilité des données exploitées.

**Tableau. I.2. Quelques estimations de la dégradation spécifique en Algérie.**

<b>Bassin versant</b>		<b>Ass (t/km<sup>2</sup>/an)</b>	<b>Auteurs</b>
30 bassins versant étudiés dont la superficie entre 100-3000 km <sup>2</sup>		>500	Demmak, 1984
Le bassin versant de la Tafna	Tafna	150	Megnounif et al, 2003 (d'après SOGREAH)
	Sebdou (1988-89 à 1992-93)	1119	Megnounif et al, 2003
	Sebdou (1985-86 à 1997-98)	937	Bouanani, 2004
	Sebdou (1985-86 à 1997-98)	1330	Ghenim, 2008
	Mouilah (1977-78 à 1992- 93)	126	Terfous et al, 2001
	Mouilah (1977-78 à 1994- 95)	364	Bouanani, 2004
	Mouilah (1977-78 à 1994- 95)	165	Ghenim, 2008
	Isser (1988-89 à 1997-98)	180	Bouanani, 2004
	Sikkak (1972-73 à 1989-90)	170	Bouanani, 2004
Le bassin versant d'Oued mina	Sidi A.E.K.Djilali (1973-74 à 1994-95)	300	Touïbia et al, 2001
	Oued Al Abtal (1973-74 à 1994-95)	210	
	Oued Abd (1973-74 à 1994- 95)	136	Achite et Ouillon, 2007
	Oued Abd (1973-74 à 1994- 95)	117	Achite et Meddi, 2005
	Oued Haddad (1973-74 à 1994-95)	212	
	Oued Taht (1973-74 à 1994- 95)	191	
	Oued Hamara (1973-74 à 1994-95)	65	
Oued Mellah (1975-96 à 1997-98)	Oued Mellah (1975-96 à 1997-98)	373	Khanchoul et Jansson, 2008
Harreza (Chellif) (1973-74 à 1996-97)	Harreza (Chellif) (1973-74 à 1996-97)	470	Megueni et Remini, 2008

### **I.1.6. Effets néfastes de l'érosion :**

1. Les répercussions de l'érosion des sols vont au-delà de la perte du sol de la couche arable. La levée des plantes, leur croissance et leur rendement sont directement affectés par la perte d'éléments nutritifs du sol et des engrais qui y sont appliqués. La semence et les plantes peuvent être dérangées ou totalement transportées hors du lieu où se produit l'érosion. La matière organique du sol, les résidus ainsi que le fumier épandu sont relativement légers et peuvent être facilement transportés à l'extérieur du champ, particulièrement à la fonte des neiges. Les pesticides peuvent aussi subir le même sort.

La qualité du sol, sa structure, sa stabilité et sa texture peuvent être affectées par l'érosion. Le morcellement des agrégats, le déplacement de particules fines, de couches entières de sol ou de matière organique peuvent détériorer la structure et même modifier la texture. Tout changement de texture peut à son tour affecter la capacité de rétention d'eau du sol le rendant alors plus susceptible aux conditions extrêmes telle que la sécheresse.

2. L'impact de l'érosion des sols sur les sites plus éloignés n'est pas toujours aussi apparent que celui sur le site même de l'érosion. Le sol érodé, déposé au bas des pentes, peut empêcher ou retarder l'émergence de la semence, enterrer les jeunes pousses et nécessiter un deuxième semis dans les endroits affectés. Les sédiments peuvent se déposer sur les propriétés en aval et occasionner des dommages aux routes.

Les sédiments qui atteignent les cours d'eau peuvent accélérer l'érosion des talus, ensabler les fossés de drainage et les cours d'eau, envaser les réservoirs, couvrir les zones de fraie et réduire la qualité de l'eau. Les pesticides et engrais fréquemment transportés avec les particules de sol peuvent contaminer ou polluer les sources d'eau et les sites récréatifs.

## I.2. Transport solide

### I.2.1. Définition

Le transport solide représente l'entraînement de granulats sous l'action d'un écoulement fluide. Il existe dans différents phénomènes physiques, naturels ou industriels, et constitue un écoulement à surface libre ou en charge.

Le transport solide dans les cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion. Il relève essentiellement du ruissellement et met en jeu diverses formes d'écoulement de l'eau dans la nature (Hug, 1975).

Les matériaux alluvionnaires constituant le lit des cours d'eau proviennent de:

- L'élaboration des éléments de surface, en général des matériaux meubles du bassin versant. Si l'on ne tient compte que de l'érosion en nappe évaluée au maximum à 20t/ha/an, cette ablation est de l'ordre de 1.3 mm/an (Chebbani et al, 1999).

- L'érosion des berges du lit des cours d'eau et de leurs affluents. D'après les travaux effectués sur le fleuve du Sénégal, la Garonne et sur des rivières des Etats Unis, ce type d'érosion produit 20 à 30% du tonnage total des sédiments exportés (Probst et al, 1989). Il est évalué à 32 % de la charge total pour la Haute Tafna en Algérie (Megnounif et al, 2000).

Ces sédiments localisés dans les lits des oueds sont transportés par les crues pour être déposés soit sur des plaines à faible pente, soit dans des cuvettes de barrage ou encore en arrivant jusqu'à la mer.

Généralement deux modes de transport solide sont considérées : le transport solide par charriage et le transport solide en suspension. Les deux modes diffèrent par deux aspects essentiels : dans le premier cas, les particules se déplacent par roulement et glissent sur le fond et leurs vitesses est inférieure à celle de l'écoulement. Dans le deuxième cas, les particules se déplacent au sein de l'écoulement avec une vitesse de même ordre de grandeur que celle du fluide. Il n'existe pas de délimitation nette entre ces deux modes de transport. Il y a même des auteurs qui considèrent un troisième mode caractéristique intermédiaire, la saltation, où les particules se déplacent par des bonds, en alternant le charriage et la suspension (Probst et al, 1986,1992).Le mode de transport dépend essentiellement d'un paramètre fondamental : la taille du sédiment transporté.

D'après Fournier (Xiaoqing, 2003) et Campbell (1977), le maximum des apports solides en suspension est obtenu dans les zones arides et semi arides. Ceci est induit par un climat très contrasté et agressif, une pauvreté en couvert végétal et une difficulté du relief (Campbell, 1977 ; Probst et Amiotte, 1992 ; Bravard et Petit, 2000 ; Achite et Meddi, 2005). A cette

échelle résulte une nette prédominance de l'apport solide en suspension qui représente parfois près de 90% de l'apport solide total (Bravard et Petit, 2000). Les pays du Maghreb ont fait l'objet d'études de plusieurs auteurs, en vue de connaître l'importance de ce phénomène dans cette partie du monde. Beaucoup d'entre eux ont négligé sa contribution en apport solide en suspension (Prost et Amiotte, 1992), tandis que d'autre la juge considérable.

### **I.2.2. Le transport solide par charriage :**

Le transport solide par charriage, représente la progression de sédiments grossiers (sables, gravier, galets et blocs), de diamètre supérieur à 1 mm, qui se déplacent par roulement ou glissement, au voisinage immédiat du fond du cours d'eau, et parcourent des distances relativement petites et discontinues dans le temps et dans l'espace.

Les mesures sur le terrain du transport solide par charriage sont très onéreuses à cause des perturbations de l'écoulement. De ce fait, les évaluations de ce type de transport son difficiles à mener en l'absence de bases de données. On se contente généralement d'études sur modèles réduits pour déterminer la proportion du charriage par rapport à la suspension ou au transport total (Couvert et al, 1994; Du voisin, 1989). Pour quelques bassins versants le taux de charriage a été estimé à 12.5 % de la suspension (Djebbi, 1990).

### **I.2.3. Le transport solide en suspension :**

Le transport solide en suspension représente le transport de sédiments fins (argiles, limons, sable fins), de taille micronique, maintenues en suspension sur toute la hauteur de la masse liquide du cours d'eau, sous l'action des fluctuations turbulentes de l'écoulement. Les sédiments se déplacent sur des grandes distances et le débit solide croît de l'amont vers l'aval. Quelques valeurs indicatives, permettent de délimiter les deux modes de transport. Ces valeurs utilisent le rapport entre vitesse de l'écoulement  $V$  sur le lit du cours d'eau, et la vitesse  $W$  de chute des particules, (Graf, 1971).

$V/W > 0.10$  début de transport par charriage.

$V/W > 0.40$  début de transport en suspension.

Les critères de suspension, donnés par Bagnold, Van Rijn, Eugelund et Schiedls sont représentés dans la figure I.2.

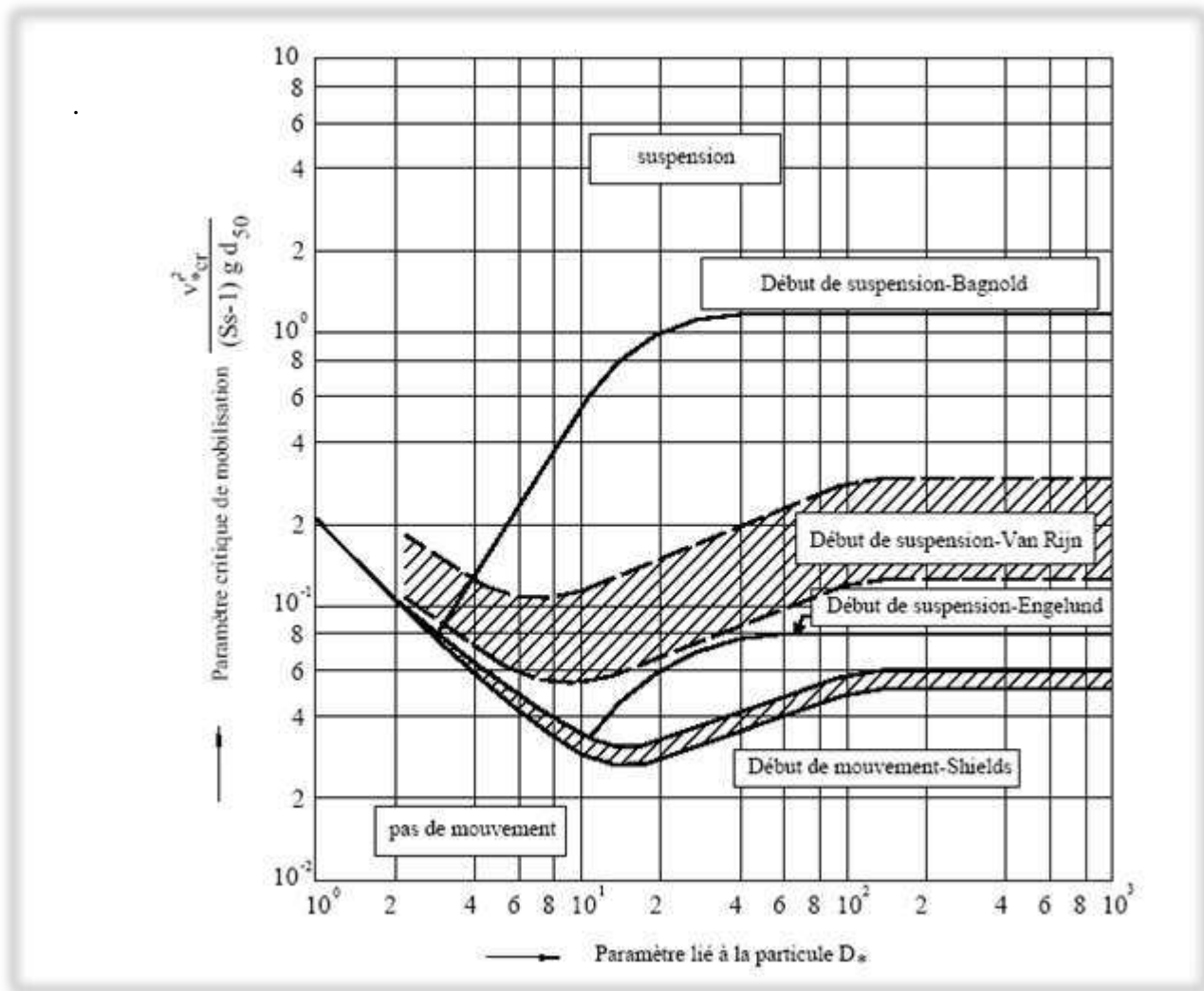


Figure .I.2. Critères de suspension (Van Rijn, 1984)

Le transport en suspension se fait par Flotaison et ne comporte que très épisodiquement des retombées des sédiments sur le fond. La turbulence est le facteur principal de la suspension des sédiments.

**Conclusion :**

Le terme générique "érosion" recouvre une série d'événements naturels dont chacun est la conséquence de l'événement précédent et qui affecte tous les paramètres à retenir pour la gestion des bassins versants. Ces événements, qui se suivent chronologiquement, sont les suivants :

- **Les causes de l'érosion** : action chimique, variations de température, gel, topographie, couvert végétal, interventions humaines. Tous ces facteurs provoquent isolément ou en combinaison, l'usure et la dégradation des couches superficielles de sol qui sont progressivement érodées sous l'effet des précipitations, enlevées et transportées ailleurs;
- **L'érosion** qui se manifeste sous de nombreuses formes : formation de ravines, mouvements massifs de sol ou glissements de terrain, érosion due aux crues, érosion du lit en nappe, érosion des cours d'eau, etc.;
- **Le transport de sédiments**, à partir du site érodé, par un vecteur comme l'eau, le vent, la neige, un glacier, etc. jusqu'au réseau de drainage et en aval, par l'écoulement dans les rivières;
- **Le dépôt de sédiments**, la sédimentation ou l'alluvionnement sur la terre, dans un cours d'eau, un lac, la mer, etc.; ce dernier événement peut à son tour provoquer une nouvelle séquence d'érosion, par exemple due à un changement de conditions climatiques.

Cette séquence érosion-sédimentation constitue un phénomène complexe en raison du grand nombre d'éléments physiques, fonction à la fois du temps et de l'espace, qui conditionnent chacune de ses étapes. Il est donc bien compréhensible que la mesure de l'érosion soit une opération compliquée, difficile et donne des résultats peu sûrs. Contrairement à d'autres grandes variables hydrologiques comme la pluie, le débit des cours d'eau, la neige etc.

## **Chapitre II**

### ***Présentation et description des bassins versants***

Ce chapitre est consacré à une description générale des deux bassins versants analysés afin de donner les indications géographiques, physiographiques et géologiques ; base indispensable à la compréhension future des mécanismes hydrologiques. En effet, la pente et la forme d'un bassin versant reliées à la lithologie renseignent sur le type de réponse hydrologique du bassin (ruissellement, érosion).

## II.1. Cadre géographique

### II.1.1. Bassin versant de l'Oued Isser :

Le bassin versant de l'Oued Isser est situé dans le Tell, entre les longitudes 2°88' et 3°93' Est et les latitudes 35°90' et 36°85' Nord. Il présente une forme allongée sur l'axe Sud-ouest à Nord-est.

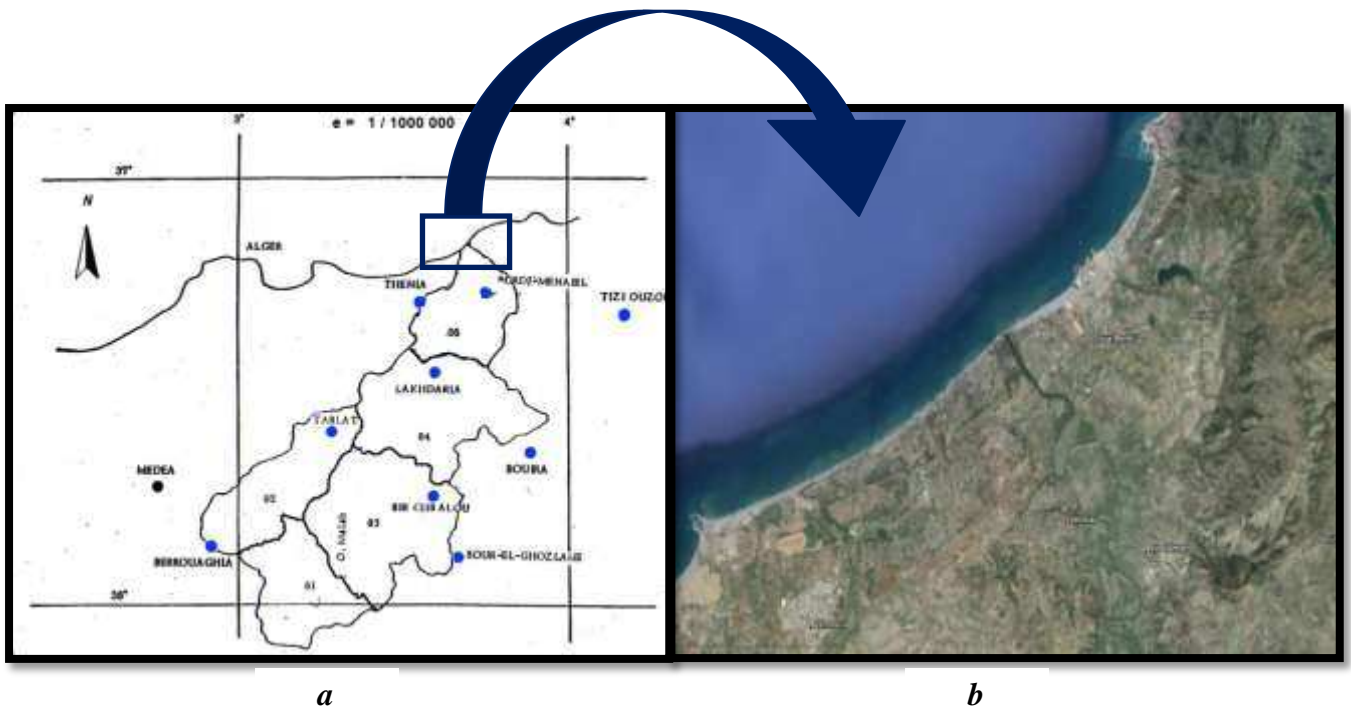
Notre bassin versant (code **09** au répertoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) avec une superficie totale de **4149 km<sup>2</sup>** est localisé à **60 km** au Nord Est d'Alger et est subdivisé en 05 sous bassins portant respectivement les codes **0905, 0904, 0901, 0902 et 0903** sur le répertoire de l'ANRH (figure II.1).

**0905** : est le sous bassin versant du Bas Isser avec une superficie de **546 km<sup>2</sup>** drainé par l'oued Isser.

**0904** : est le sous bassin versant du Moyen Isser avec une superficie de **1031 km<sup>2</sup>** drainé par l'oued Isser.

**0901, 0902 et 0903** : forment les sous bassins du Haut Isser avec des superficies de **666km<sup>2</sup>, 774km<sup>2</sup> et 1.132 km<sup>2</sup>** drainés respectivement par les oueds Malah, Yagour-Malah et Zeroua.

L'Isser est un oued qui débauche dans la baie de Zemmouri de la mer Méditerranée (figure II.2)



**Figure. II.1.** Situation géographique du bassin versant de l'Oued Isser (a) et de son embouchure dans la baie de Zemmouri(b).

### II.1.2. Bassin versant de l'Oued Mazafran :

Le bassin versant de l'Oued Mazafran (y compris les affluents) est l'un des plus importants bassins du Côtier Algérois, d'après la subdivision des bassins faite par l'ANRH avec une superficie totale de près de 1900 Km<sup>2</sup>. Il occupe la partie centrale de la Mitidja.

Les sous bassin versant du Mazafran appartient au bassin versant Côtier Algérois Centre (MITIDJA) ce dernier du nord au sud regroupe trois ensembles géomorphologiques (Ammari A ; 2012)

#### – Le Sahel :

Il correspond à un ensemble de collines, formant la limite Nord de la plaine de la Mitidja où l'altitude moyenne est de 200 m.

#### – La plaine de la Mitidja :

Au Sud du Sahel, elle s'étend sur une grande superficie, orientée WSW-ENE. Elle est limitée par l'Atlas Blidéen au sud et s'étend vers le NE jusqu'à Borj el Kifan et Aïn Taya. Son altitude moyenne varie de 50 à 100 m. La pente

au niveau de la plaine tend vers zéro, ce qui favorise l'infiltration des eaux, là où les conditions géologiques le permettent, ainsi que les dépôts d'alluvions.

– **L'Atlas :**

La chaîne de l'Atlas forme sur 30 Kms environ une barrière continue où l'altitude moyenne est de 1400 m, certains sommets peuvent atteindre 1600 m. Les reliefs y sont escarpés et les oueds très encaissés. La pente atteint par endroit 30 % ce qui favorise l'écoulement superficiel des eaux et augmente les risques d'érosion.

Les rivières qui prennent leurs sources dans l'Atlas, traversent perpendiculairement la plaine avant de se rejoindre vers l'aval pour ne former qu'une seule ; l'Oued Mazafran qui franchit le Sahel en une cluse, avant de se jeter à la mer. (**Messaoud Nacer N, 1987**)

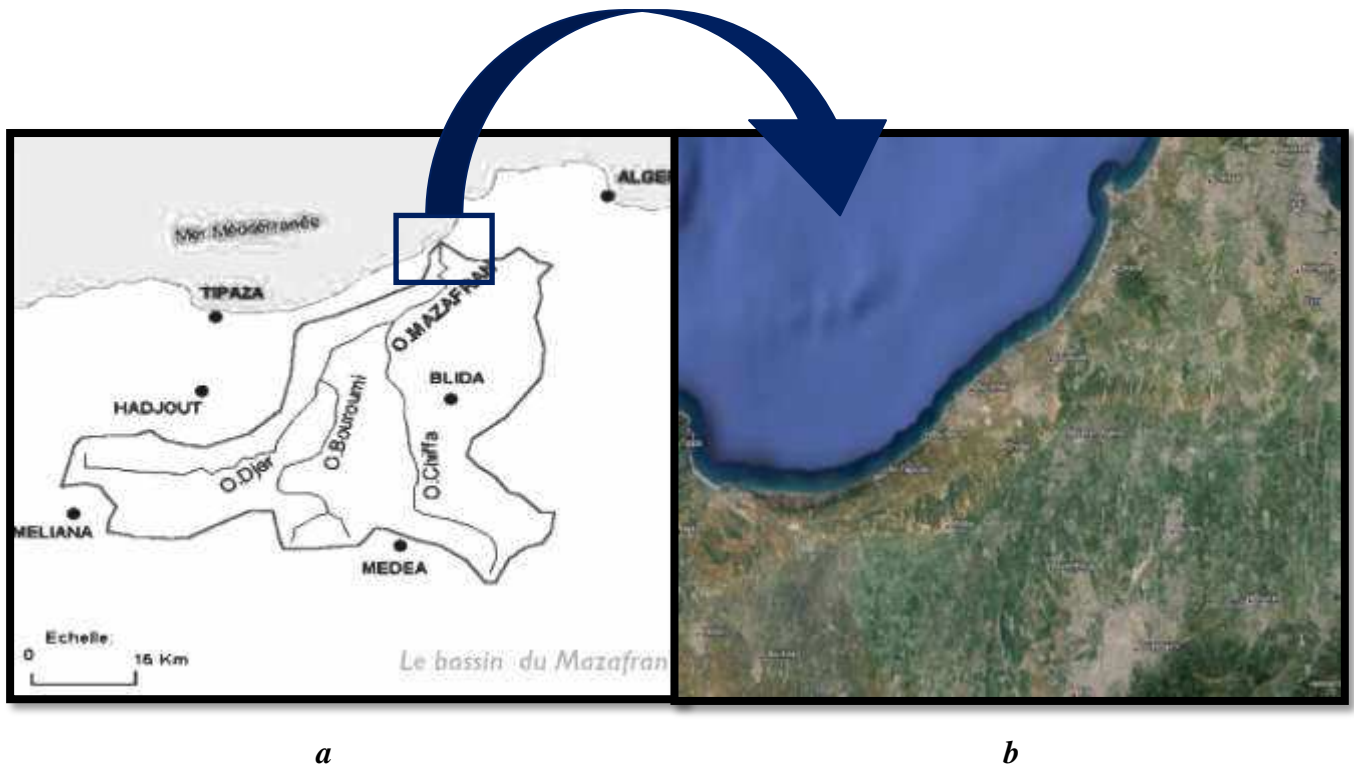
Le bassin du Mazafran est composé de trois sous bassins versants principaux :

**Le sous-bassin de l'Oued Djer Bouroumi (0210)**, d'une superficie de 900 km<sup>2</sup> et situé à l'ouest du bassin versant du Mazafran. **Ce sous-bassin comprend la commune d'Attatba.**

**Le sous-bassin de l'Oued Chiffa (0211)**, d'une superficie de 580 km<sup>2</sup> et situé au centre du bassin versant du Mazafran.

**Le sous-bassin de l'Oued Mazafran (0212)**, d'une superficie de 430 km<sup>2</sup> et situé au nord-est du bassin versant du Mazafran.

L'oued Mazafran est le plus important des oueds qui débouchent dans la baie de Bou Ismail (figure II.2)



**Figure. II.2.** Situation géographique du bassin versant de l'Oued Mazafran (a) et de son embouchure dans la baie de Bou Ismail (b).

## II.2. Caractéristiques de forme :

La forme du bassin versant influence fortement l'écoulement global et notamment le temps de réponse du bassin versant. C'est la configuration géométrique projetée sur un plan horizontal (Touaïbia, 2004).

### II.2.1. Indice de compacité de Gravelius (Kc) :

Appelé aussi indice de forme, cet indice caractérisant la forme du bassin versant influe la vitesse de circulation des eaux donc leur concentration à l'exutoire. Il est défini par la formule suivante :

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

**P** = périmètre du bassin versant (km)

**S** = superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)

**Tableau. II.1. Indice de compacité des deux bassins versants Isser et Mazafran**

B.V	P (km)	S (km <sup>2</sup> )	Kc
Isser	414	4 149	1.80
Mazafran	185	1900	1.19

✓ Sachant que :

Si, Kc tend vers 1 : le bassin est ramassé

Si, Kc > 1 le bassin est allongé :

La valeur de Kc permet de conclure que ;

la valeur élevée de l'indice de compacité relative au bassin versant de l'Isser traduit sa forme allongée alors que la valeur de Kc pour le Mazafran montre que ce dernier est plus compacte (une forme assez ramassée) favorisant à priori le temps de concentration des eaux de ruissellement. Mais l'influence du relief est encore plus déterminante.

### II.2.2. Dimensions du rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius correspond à une transformation purement géométrique du bassin versant. Il prend alors une forme rectangulaire tout en gardant la même superficie, le même périmètre, le même indice de compacité et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Dans ce cas, les courbes de niveau deviennent parallèles aux cotés du rectangle équivalent.

Il permet de comparer les bassins versants entre eux du point de vue de l'écoulement (Touaïbia, 2004) ; Plus un rectangle équivalent est allongé moins il sera drainé. Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes (ROCHE, 1963) :

$$L, l = \frac{Kc \sqrt{S}}{1,12} \left[ 1 \pm \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right]$$

**L** = longueur du rectangle équivalent (km)

**l** = largeur du rectangle équivalent (km)

**Kc** = Indice de compacité

**Tableau. II.2. Dimensions du rectangle équivalent**

B.V	$Kc$	Rectangle équivalent	
		$L$ (km)	$l$ (km)
Isser	1.80	184.56	22.48
Mazafran	1.19	61.96	30.66

### II.3. Etude du relief :

Le relief est un facteur essentiel qui permet de déterminer en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. C'est un élément capital dans le comportement hydrologique d'un bassin ; sa connaissance apporte des renseignements très importants sur les problèmes de l'érosion.

#### II .3.1. Hypsométrie des bassins :

La plupart des facteurs météorologique (Température, pluie) et hydrologique (débit spécifique en particulier), sont étroitement liés à l'altitude, en fait par sa répartition hypsométrique.

La courbe hypsométrique exprime le pourcentage de superficie du bassin au-delà d'une certaine élévation dont elle est le portrait le plus précis ; D'après **Strahler (1952)**, une courbe hypsométrique est aussi le reflet de l'état d'équilibre dynamique potentiel du bassin versant. En absence des données précises des répartitions hypsométriques le remplacement par une carte topographique model numérique pour le bassin de l'Isser et une autre des pentes pour le bassin du Mazafran nous a bien informés sur la répartition altimétrique des deux bassins versants.

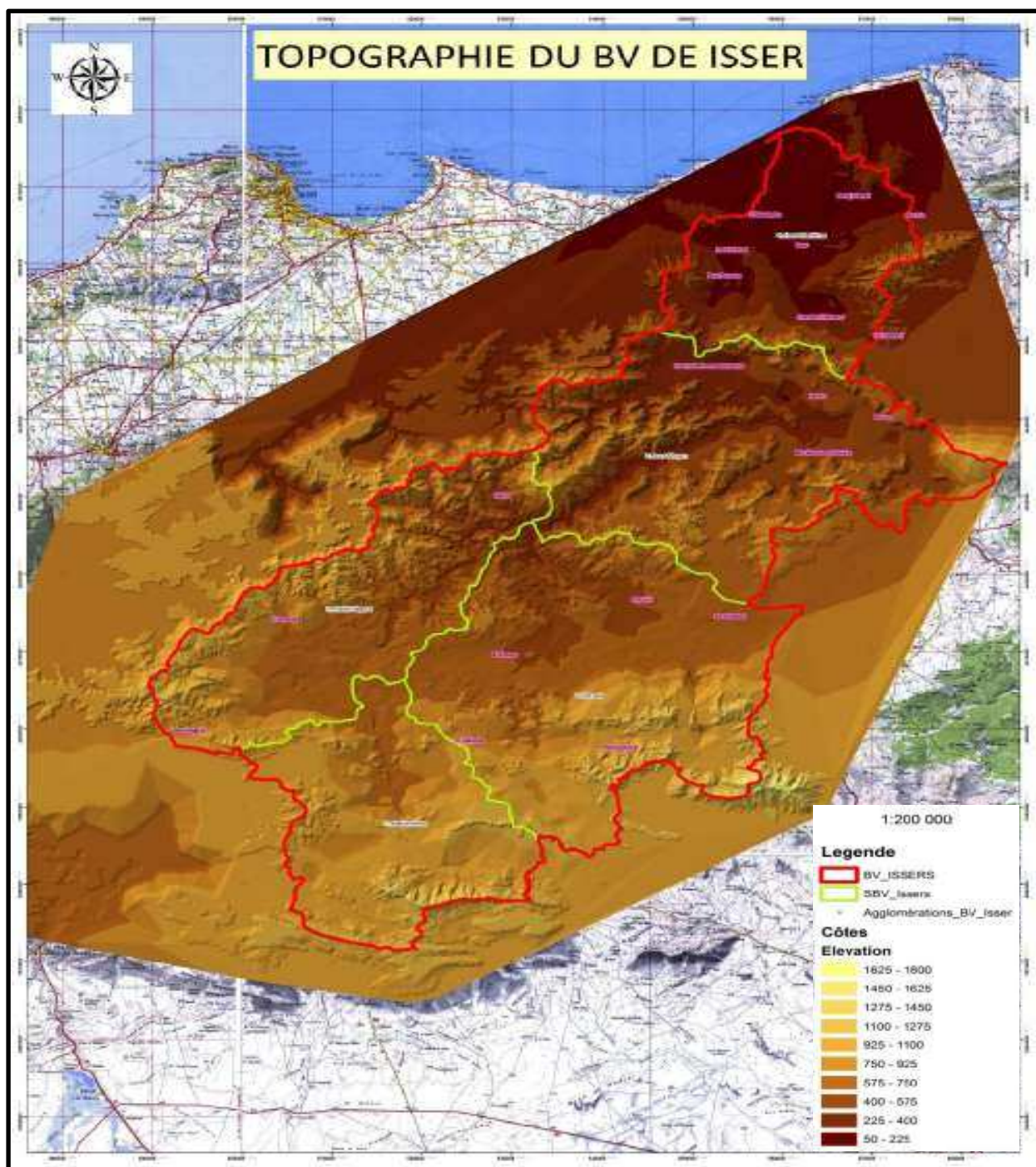
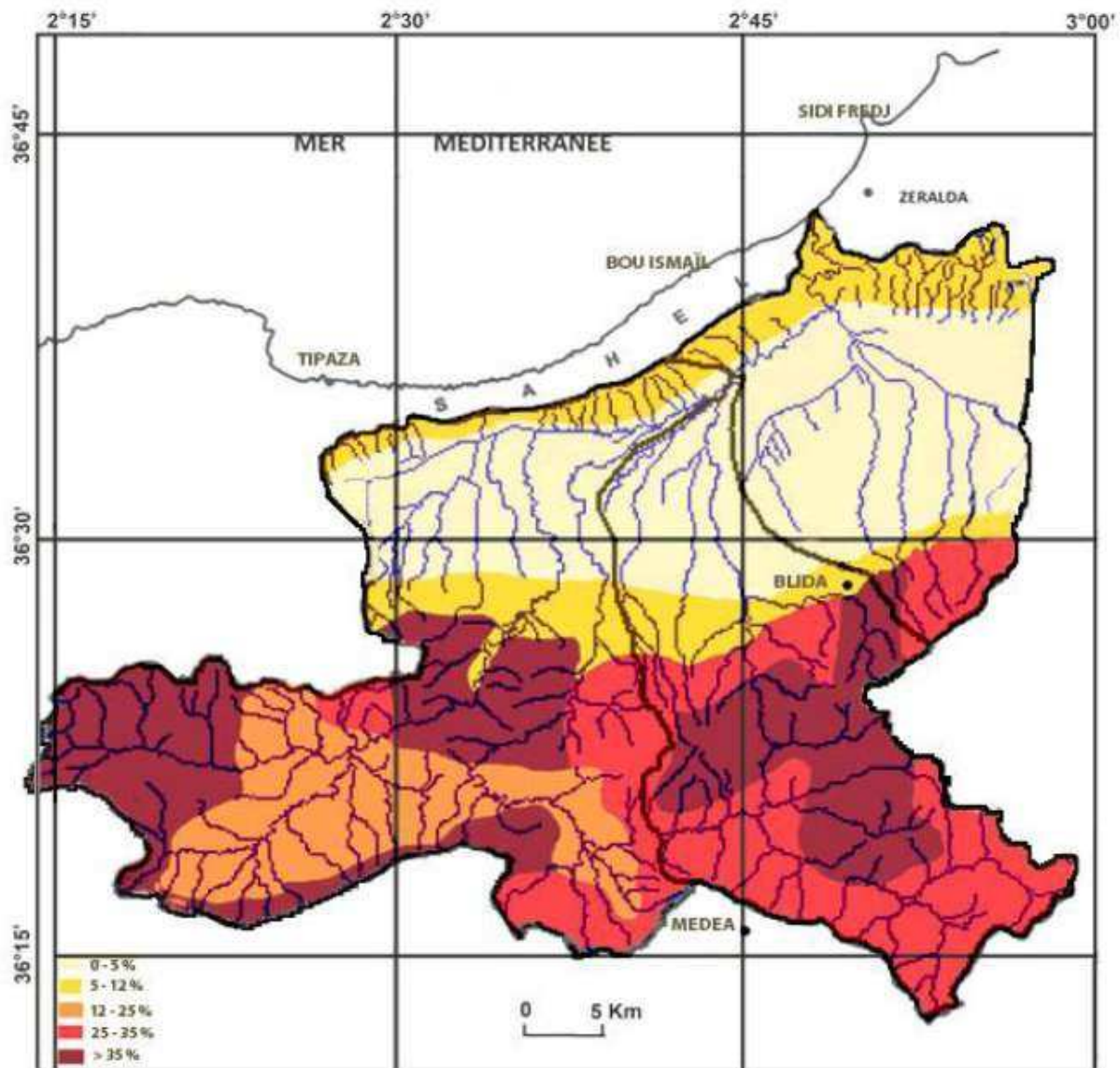


Figure. II.3. model numérique de la topographie du bassin versant de l'Isser (Boussaid, 2013)

Le haut Isser dont les lignes de crêtes se situent entre 1200 et 1800m à une altitude moyenne de 843m, 50% de la surface est comprise entre altitudes 700 et 1100 m.

Pour le moyen Isser le relief est plus ou moins accentué. Il se situe entre l'altitude 900 à la station de Lakhdaria à 1265 m au Djebel Fouada.

Les altitudes du bas Isser sont comprises entre 0- 1031 m, il présente une topographie accentuée.



*Figure. II.4. Carte des pentes dans le bassin versant de l'oued Mazafran*

*(ANRH, 1973)*

Le bassin versant de l'oued mazafran est formé de trois parties bien distinctes de point de vue de la topographie :

- une région de dunes en limite nord du bassin versant (dunes de sahel, avec des lignes de crêtes à environ 250m d'altitude) qui séparent le bassin du littoral.
- une région de plaine dans le secteur nord du bassin (plaine de la Mitidja), à la topographie relativement homogène comprise entre 10 et 100 mètres d'altitude.
- une région de la topographie plus marquée (moitié sud du bassin versant), comprise entre 100 et 1625 m d'altitude.

### II.3.2. Indice de pente global $I_g$ :

La pente est une caractéristique importante des bassins versants pour traiter les problèmes de l'érosion. C'est la pente qui procure l'énergie nécessaire aux écoulements pour pouvoir arracher et transporter les particules solides ; et plus ces pentes sont fortes plus le pouvoir érosif des écoulements est important (**Ahamrouni, 1996**).

Plusieurs méthodes sont appliquées pour calculer la pente, on a choisit pour nos deux bassins versants à présenter l'indice de pente global ; le plus simple à appliquer.

L'indice de pente globale est définit comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent. Les altitudes correspondantes sont lues à partir de la courbe hypsométrique.

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

Avec : **D** : dénivelée (m)

**L** : longueur du rectangle équivalent ;

**H5%** et **H95%** sont les altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin ;

**Tableau. II.3. Classification des reliefs selon  $I_g$  par l'O.R.S.T.O.M**

Relief très faible	$I_g < 0.002$ m/km
Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
Relief fort	$0.05 < I_g < 0.5$
Relief très fort	$0.5$ m/km $< I_g$

**Tableau. II.4. Indice de pente globale  $I_g$** 

Bassin versant	$I_g$	Relief selon $I_g$
Isser	0.11	Relief fort
Mazafran	0.00	Relief très faible

**II.4. Temps de concentration :**

Le temps de concentration est le temps théorique mis par une goutte d'eau pour franchir la distance entre le point le plus éloigné de l'exutoire et ce dernier (**Grégoire, 2004**). Théoriquement on estime que  $T_c$  est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement. Pratiquement le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide de formules le plus souvent empiriques (**Layan et all, 2012**).

Dans cette étude nous avons calculé le temps de concentration par La formule de **Giondotti** :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Où,

Tc : temps de concentration (heures)

A : superficie du bassin (km<sup>2</sup>)

L : longueur du thalweg principal (km)

Hmoy : altitude moyenne (m)

Hmin : altitude minimale (m)

**Tableau. II.5. Temps de concentration calculé pour les deux bassins**

B.V	S (km <sup>2</sup> )	L (km)	Hmoy (m)	Hmin (m)	Tc (h)
Isser	4149	200	750	90	<b>27.13</b>
Mazafran	1900	96	446	10	<b>8.54</b>

Au vue des superficies de chaque bassin de la longueur et des altitudes, le temps de concentration est 3 fois plus important pour l'oued Isser que l'oued Mazafran. Les crues sont plus soudaines au niveau de l'oued Mazafran que l'oued Isser. Les pluies qui tombent dans le bassin versant de l'Isser mettent beaucoup plus de temps pour arriver à l'embouchure

## **II.5. réseau hydrographique et densité de drainage :**

### **II.5.1. Bassin versant de l'Isser :**

L'Isser est le principal vecteur hydrographique du littoral Est algérois compris entre le Cap Matifou et le Cap Djinet. Les affluents les plus reculés qui drainent la partie sud de son bassin prennent leurs sources dans les montagnes de l'Atlas Tellien (figure .II.5). Il résulte de la jonction au niveau du pont de la Traille des deux oueds Malah (oued malah Est et oued Malah ouest), ces derniers drainent le sous bassin versant du haut Isser, les sous bassins versants moyen et bas Isser étant drainés par l'oued Isser.

Au pont de la traille le bassin versant possède une largeur moyenne de 50 km. En ce point, l'oued Isser a drainé environ 60% de son bassin et ne recevra plus en aval que des affluents de moindre importance comme l'oued Soufflat ou l'oued Djemaâ. La largeur du bassin a sensiblement diminué. Elle est alors inférieure à 30 km. Le franchissement de l'Atlas amène l'oued à changer plusieurs fois de direction avant d'atteindre Lakhdaria et les gorges de Beni-Amrane qui vont lui permettre de rejoindre la plaine côtière au niveau des Issers.

Il entreprend une série de méandres dans une basse vallée sensiblement élargie pour se rapprocher de la mer où il va se jeter, à environ 6km à l'Ouest du Cap Djinet. (Benslama, 2001).

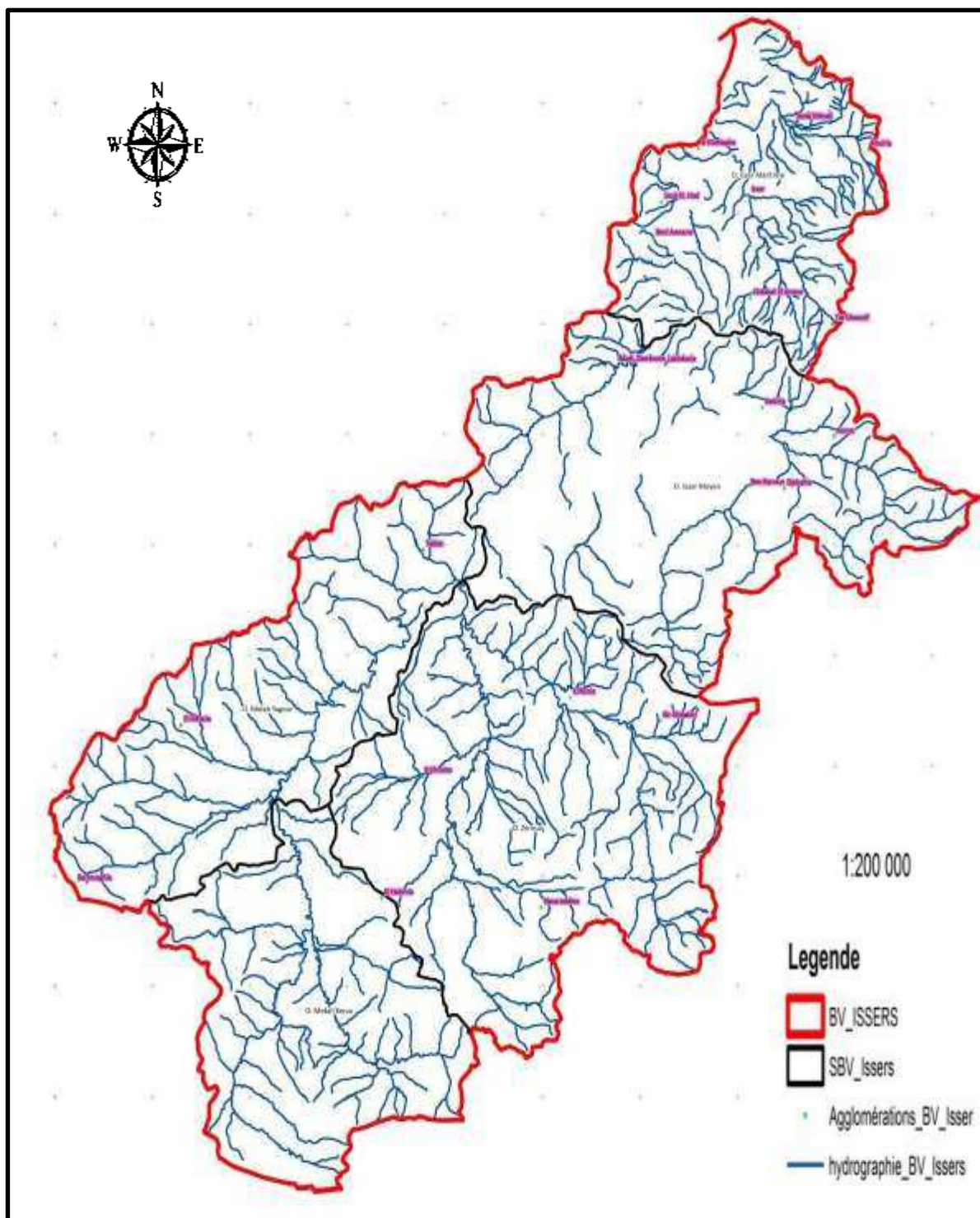


Figure. II.5. Réseau hydrographique du bassin versant de l'Isser (Boussaid, 2013)

**Le sous bassin versant du haut Isser :**

Les écoulements des oueds mellah, s'effectuent du sud vers le nord traversant la chaîne des Bibans orthogonalement par des gorges étroites.

**L'oued Malah ouest :** drainant les sous bassins versants (0901) et (0902), l'oued Malah ouest prend naissance au nord de la ville de Ain Boucif (précisément à Kef Lakhdar Rharbi à 1380m) sous le nom de oued Hammam.

Au niveau du sous bassin versant (0901), l'oued Malah ouest reçoit l'oued Kherza, les écoulements ont une direction N-S

Au niveau du sous bassin (0902), les écoulements prennent une direction SW-NE ; à ce niveau l'oued Malah rejoint les oueds : Yagour, Besbes, Ladrat, El Anasseur, et Tamait.

**L'oued Malah Est :** Celui-ci draine le sous bassin 0903, il prend naissance au niveau du Djebel Mahdjouba sous le nom de oued Halleba à 1240m d'altitude, il coule de sud vers le nord et reçoit au niveau de Si Brahim à 609m l'oued Zeroua.

Le Malah Ouest et le Malah Est se joignent au niveau de la traille à une altitude de 350m, pour former l'oued Isser.

**Le sous bassin versant du moyen Isser :**

Sur ce territoire, l'oued s'écoule suivant deux directions :

SW-NE, entre le pont de la Traille et Kadiria. Ce tronçon est appelé l'oued Isser supérieur, il reçoit sur sa rive droite deux oueds principaux : Malah et Molba.

SE-NW, le long de la chaîne calcaire entre Kadiria et Lakhdaria. Cette partie dite oued Isser moyen présente un chevelu hydrographique plus développé sur la rive droite qui draine les terrains flyschoides.

**Le sous bassin versant du bas Isser :**

Au niveau du sous bassin versant du bas Isser, l'oued coule emprisonné entre les gorges calcaires de Lakhdaria et les terrains métamorphiques suivant une direction S-N jusqu'à Si Mustapha.

Entre Si Mustapha et Borj Menaiel, l'écoulement est SW-NE, celui-ci devient S-N à partir de Borj Menaiel jusqu'à l'embouchure.

L'oued Isser inférieur, reçoit sur sa rive droite : oued Djemaâ, oued Menaiel, oued Bou Ziane et oued Aoudja sur la rive gauche, les oueds sont moins importants, on retrouve cependant les oueds : Menada, Ben Ridjel et Hazine.

D'une manière générale les écoulements de direction SW-NE, sont les résultats d'une tectonique qui a suivi le retrait de la mer miocène, la surélévation du compartiment de Médea, l'Atlas Blidéen et l'affaissement de celui de Beni Slimane, cette structure est marquée par le développement du chevelu hydrographique sur la rive droite des oueds Malah et Isser.

De nombreux méandres caractérisent le tracé de ces deux oueds, leur présence est dû à la pente faible et à la présence d'un réseau de failles développé. **(Mancer, 1999).**

### **II.5.2.bassin versant du Mazafran :**

L'oued Mazafran est le plus important des oueds qui débouchent dans la baie de bou-smail. Il prend naissance aux environs d'Attatba après rencontre de Oued Djer et Bouroumi, pour être rejoint plus loin par Oued Chiffa au Sud Ouest de Koléa pour se jeter en mer à Douaouda. Le tracé de Oued Djer commence sur les hauteurs de Djebel Ganntas à environ 1500m d'altitude, quand à Bouroumi il commence sur les mont de l'Atlas Tellien à Djebel Ganntas au Sud de Djebel Mouzaïa à près de 1400m d'altitude. Pour Chiffa c'est au Nord de Ouzera qu'il apparaît à près de 1500m d'altitude.

#### **Caractéristiques des affluents de l'oued Mazafran :**

- l'oued Djer (rivière blanche, parce qu'elle charriait des boues blanchâtres) est long de 50 Km. Il constitue la limite naturelle entre les communes d'Attatba et Aneur El Ain. Une partie de son cours a été aménagé en canal d'assèchement en suivant approximativement la route départementale n°7, puis à la latitude du Kandoury, il redevient un cours d'eau normal et reçoit le Bou Roumi. Son bassin versant possède une superficie de 396 Km<sup>2</sup>.
- l'oued Chiffa vient de l'amont des gorges de Chiffa et traverse de part et d'autre le massif de Chréa et à l'ouest le massif de Mouzaia pour former l'oued Mazafran. Sa longueur est de 35 Km et la superficie de son bassin versant est de 316 Km<sup>2</sup>.
- l'oued Bou Roumi (rivière des français, parce que ceux-ci y puisaient de l'eau) entre sur le territoire d'Attatba à la limite des communes d'El Affroun et Mouzaia. Il coule très près de l'oued Djer. Il s'étale sur une longueur de 72 Km et la superficie de son bassin versant est estimée à 680 Km<sup>2</sup>. Un barrage a été édifié et mis en service en 1985 dans la partie amont de l'oued entre le Djebel Chekirène au sud et le Djebel Draa El Ouest au Nord.

Tous ces oueds présentent les caractéristiques des oueds algériens à l'exception du Bou Roumi : secs ou presque en été, ils peuvent devenir très violents pendant la période des pluies.

Tous les hivers ils grossissent si brusquement qu'ils sortent de leur lit, inondent la plaine et causent de gros dégâts aux cultures.

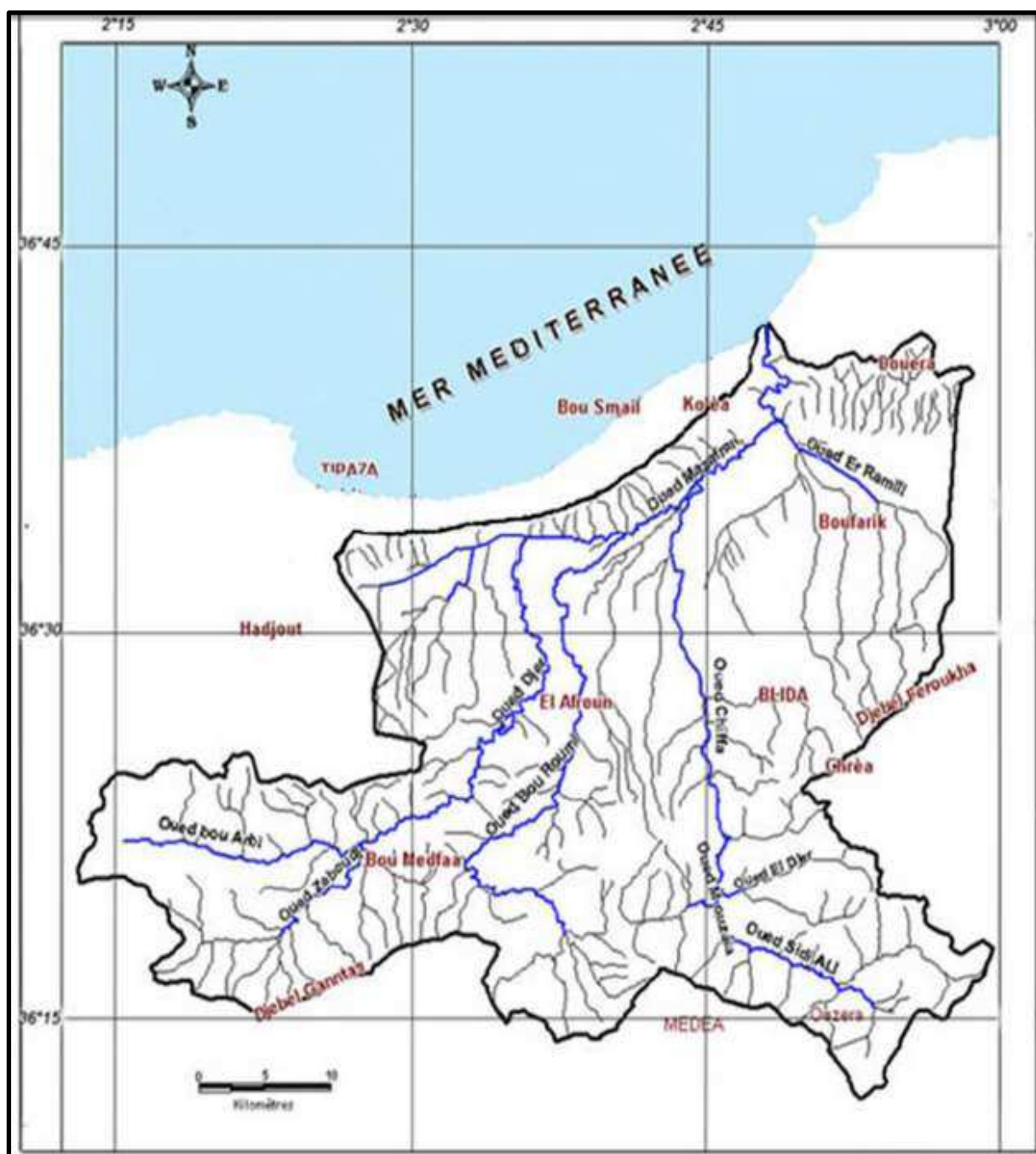
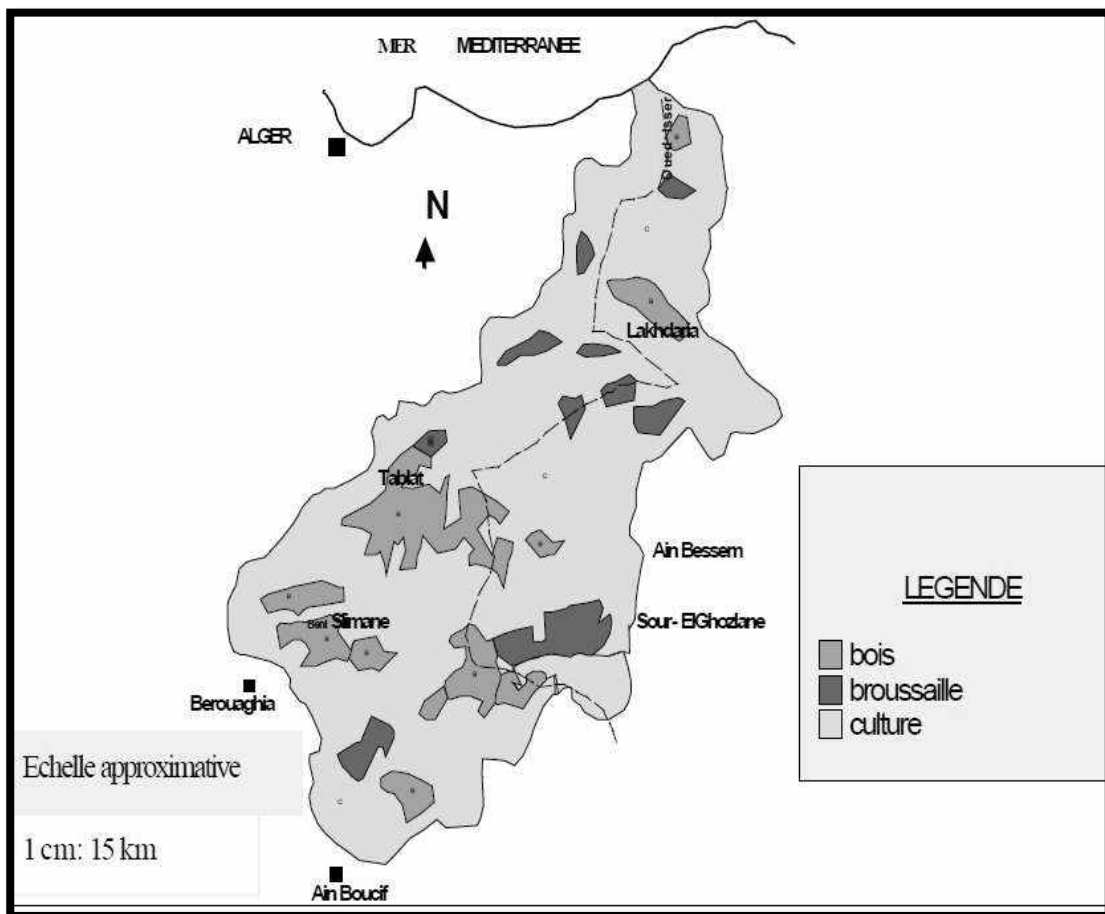


Figure. II.6. Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Mazafran (d'après l'ANRH).

## II.6. Sols et végétation

### II.6.1. Bassin versant de l'Isser :

Le bassin versant de l'Isser est formé en majeure partie de roches tendres : marnes et argiles (figure). Ces formations tendres, situées en pente, sont facilement érodables. Au regard des valeurs importantes des coefficients de territorialité ainsi que les fortes densités de drainage, le bassin versant est vulnérable aux fortes crues et à l'érosion. Il se caractérise par un couvert végétal peu dense localisé au centre et représente 20% de la superficie totale. Le reste de la surface, soit 80%, est occupé par des cultures essentiellement céréalières et fourragères. Au bas Isser, on rencontre essentiellement les cultures annuelles, et sur des superficies réduites, les cultures et l'arboriculture (figure II.7).



*Figure. II.7. Carte schématique de végétation du bassin versant de l'Oued Isser (Larfi et Remini, 2006)*

### **II.6.2. Bassin versant du Mazafran :**

Sur la partie littorale du bassin versant, les températures douces ont permis à la région d'être un immense espace agricole, et les précipitations sont suffisantes pour le développement d'une végétation naturelle et permanente. Les sols représentent des terres à haute potentialité agricole grâce à leur texture favorable. La superficie agricole totale a été estimée pour 1990 à 34 333 ha pour la région centrale de la plaine.

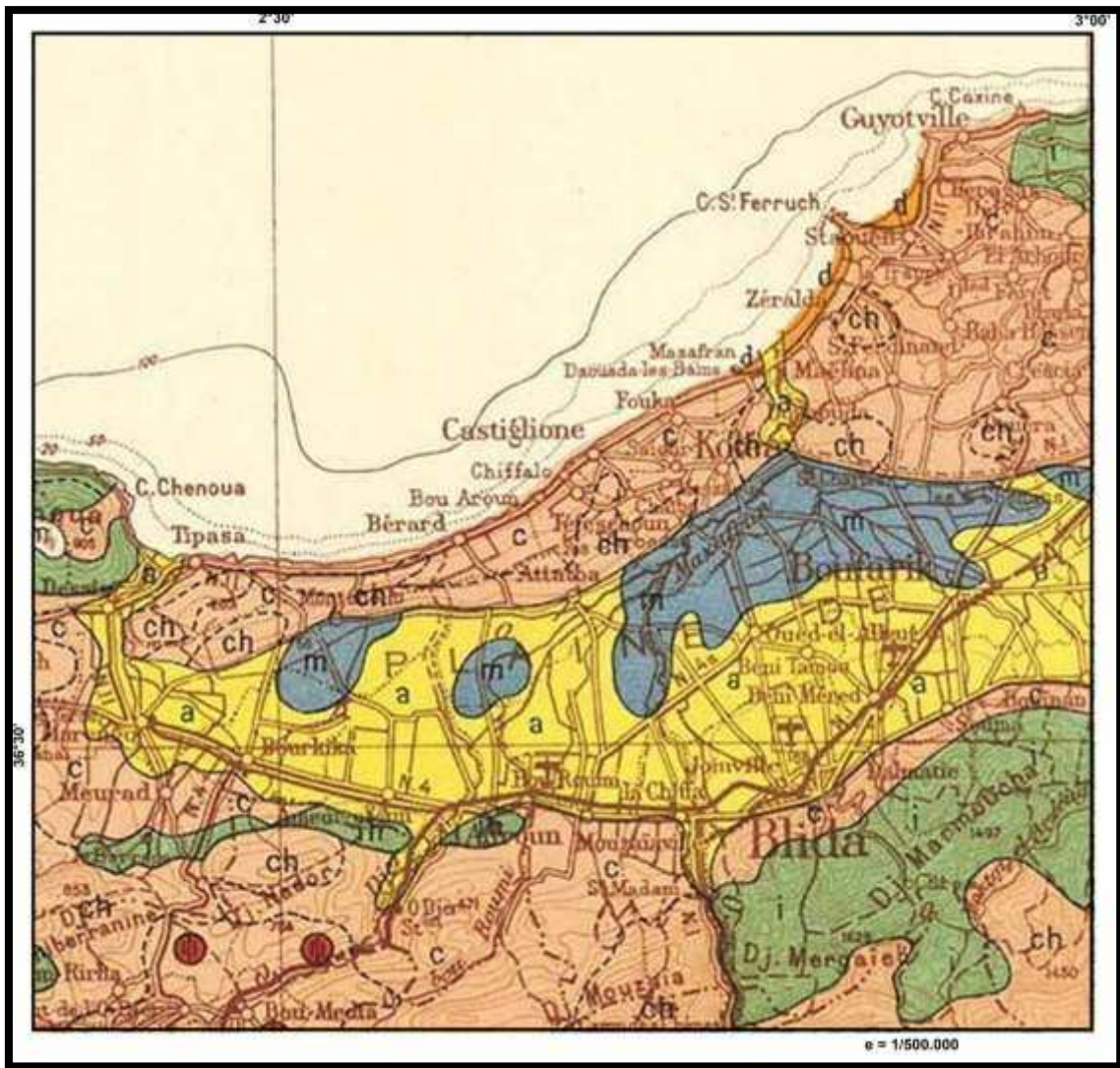
On distingue également dans le Sahel des sols à texture sableuse et argilo-sableuse surtout au niveau du piedmont de la ville de Koléa. Ces types de sols sont voués à tous types de cultures : agrumes, vignobles, cultures herbacées, cultures des céréales, les fourrages. Dans la commune de Koléa les forêts occupent une superficie de 3357 ha.

Dans les zones de contact entre le Sahel et la plaine de la Mitidja on distingue des sols fertiles dont la texture regroupe plusieurs anciens niveaux d'alluvions et cônes de déjection, constitués de débris détritiques plus ou moins grossiers et très mélangés. Les cultures pratiquées sont essentiellement les maraichères et l'arboriculture. Dans la région de piedmont de l'atlas de Blida et dans l'Atlas de Blida les sols sont à dominance argilo-sableuse propice pour la pratique de la céréaliculture, légumes sec et autre qui couvrent une superficie de 16 606 ha.










La région côtière de la baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par un couvert végétal assez varié. On y distingue les forêts de chênes assez denses qui tapissent le Sahel de part et d'autre du Mazafran ainsi que quelques boisements de pins près de la ville de Koléa. Les sols sont essentiellement calcaires, à l'exception de la partie littorale près et à l'est de l'embouchure de l'oued où l'on relève des sols dunaires. La plaine de la Mitidja est tapissée par des sols de marais et des sols alluviaux (Figure. II.8).

Malgré la fertilité des terres et la diversité du couvert végétale la région est soumise :

- À une urbanisation très intense qui couvre des espaces importants de terres fertiles ;
- Au rabattement des forêts par la propagation des incendies notamment durant l'été ;
- Au défrichage et au déboisement très marqués.



*Légende*

	Sols podzoliques		Sols alluviaux (1. Sols alluvieux acides)
	Sols insaturés		Sols de marrais
	Sols calcaires		Sols salins (1. Solontchak 2. Splonetz)
	Sols dunaires		Roche mère
	Sols en équilibre		

**Figure. II.8. Carte pédologique de la région du Sahel d'Alger (ANRH, 1973).**

## **II.7. Lithologie et géologie générale :**

La diversité géologique influe largement sur les caractéristiques de chaque région dont l'érosion, qui est tributaire à un certain degré de la résistance que développe telle ou telle formation vis-à-vis de l'érosion hydrique, en plus de la répartition des **écoulements (Ammari A, 2012)**. En effet, un bassin formé de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue aura en générale une densité de drainage faible, assurant une meilleur infiltration des eaux superficielles, par ailleurs un bassin formé de roche imperméables mais meuble est érodables, avec une végétation moyenne, présente souvent une densité de drainage élevée, ce qui favorise le ruissellement est augmente le taux d'érosion (**Chow, 1964**).

### **II.7.1. Bassin versant de l'Isser**

Pour l'étude géologique, on se limitera à une description lithologique du bassin versant afin de connaître le degré d'érodabilité et de dégradation.

#### **Le haut Isser**

Le haut ISSER est constitué à 60% de formation marneuse et marno-calcaire appartenant au crétacé inférieur, moyen et supérieur.

Les argiles et sable rouge de l'aquitainien continental occupent 13 % du bassin.

On y trouve également des alluvions en terrasses du quaternaire continental, ces formations occupent 12% de la surface du bassin des époinements triasique dans le crétacé supérieur ont provoqué la salure des eaux de l'oued Mellah.

Ces marnes qui constituent 69 % de la superficie totale, se fissurent et craquellement par déshydratation pendant la saison sèche, et elles s'altèrent sur plusieurs centimètre en formant un tapis des gravillons mêlé de poussière argilo- calcaire qui entraînent en débâche aux premières averses orageuses de la saison de pluie, ces formations sont assez facilement érodables.

### **Le moyen Isser**

La description lithologique du bas Isser et moyen Isser est extraite de la carte de géologie.

Les schistes argileuses, les marnes grise et schisteuses avec des couches de grés occupent 70.05 % du moyen ISSER ces formations appartiennent. au crétacé inférieur, moyen de supérieur.

On rencontre l'oligocène marin dont les formations sont présentées par des conglomérats, grés et marnes constituent 13.41% de superficie totale de bassin.

Le miocène inférieur est représenté par des grés et marnes, ces formations constituent 4,04% du bassin.

Les alluvions du quaternaire continentales occupent 6,90% de la superficie totale.

On note la présence des traces de trias marin ou lagunaire formant 0,6 % du bassin.

Le moyen Isser présent en général des formations meubles, facilement érodable.

### **Le bas Isser**

Le bas Isser constitué de 43.15% des formations marneuses des grés et des conglomérats, appartenant à l'oligocène marin, Le miocène inférieur marin dont les formations sont des grés et des marnes constituant 14,91% du bas Isser.

Les schistes cristallins et micacés sont respectivement des schistes à chlorite et à séricine et quartz à biotite, formant 19,84% de la superficie totale.

Le crétacé inférieur occupe 2,11 % du bassin, ces formations sont représentées par des schistes argileux, des marnes grises et des grés, les alluvions de quaternaire continentales occupent 18.6 % du bas Isser.

On y trouve des granites formant 1.93 % de la superficie totale.

Ces formations dure conglomérats et granites donnent au bas Isser la caractéristique du moins érodable en comparaison avec le haut Isser.

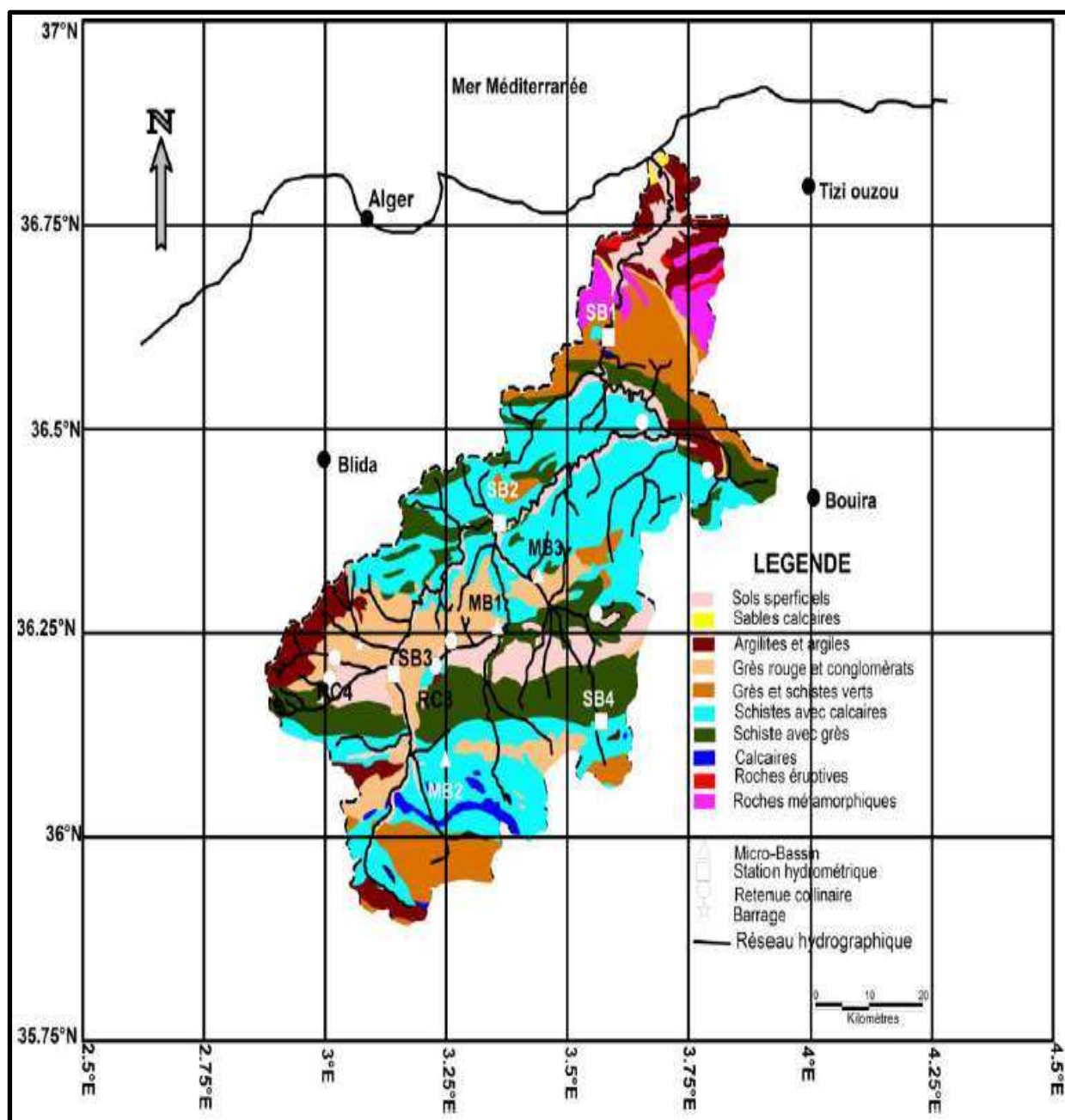
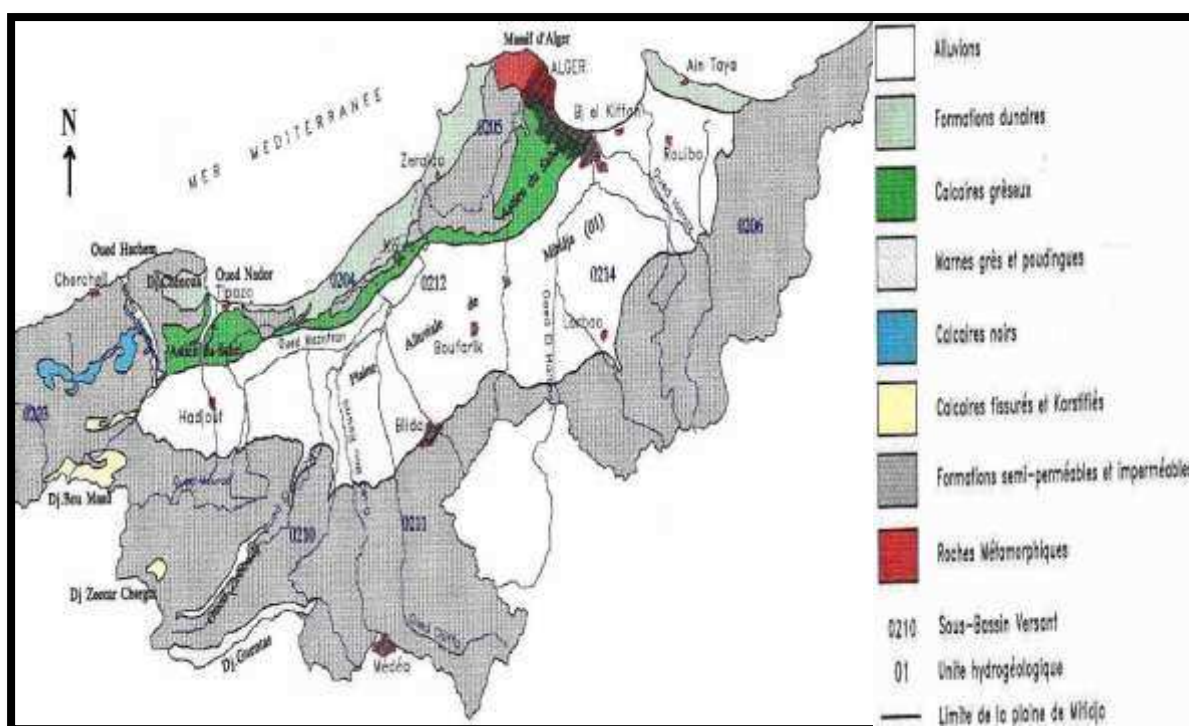


Figure. II.9. Carte lithologique du bassin versant Isser (Boussaid, 2013)

### II.7.2. Bassin versant du Mazafran

Le bassin versant de l'oued Mazafran est constitué d'une zone montagneuse (Massif de Blida), de piémonts, du Sahel d'Alger ainsi que de la plaine de la Mitidja.

Le Massif de Blida est caractérisé par des formations d'âge Primaire, Secondaire et Tertiaire. Les terrains d'âge Primaire affleurent dans le Zaccar et sont constitués de grés micacés, de poudingues à matrice argileuse ou marneuse. Les formations d'âges Secondaire affleurent essentiellement au Nord et à l'extrémité Ouest de l'Atlas de Blida.



*Figure. II.10. carte géologique de la Mitidja (Bennie et Partners, 1983)*

Ils sont formés de faciès schisteux épais, d'argiles noires feuilletées avec intercalation de quartzites, de marnes et de grés. Les dépôts d'âge Tertiaire affleurent le long du piémont de l'Atlas blidéen et dans le bassin de Médéa et le Chélif. On les retrouve à l'ouest de la plaine de la Mitidja, au sud ouest d'El Affroun et au sud de Hadjout jusqu'au Djebel Boumaad, formés de marnes, de calcaires, de grés, de conglomérats et de roches éruptives essentiellement de rhyolites, d'andésites et de basaltes (Aymé et al., 1953).

Le Sahel d'Alger est argileux, marneux et grésocalcaire, les terrains qui composent les sols sont en majeure partie d'âge tertiaire.

La plaine de la Mitidja est caractérisée par des dépôts d'âge Pliocène et plus récents : Villafranchien (formation d'El-Harrach), Soltano-Tensifien (formation de la Mitidja) et Rhabien (formation du Mazafran et du Halloula). Elle est riche en formations récentes dues au remblaiement Quaternaire intense d'un vaste synclinal d'orientation WSW-ENE (**Moulfi et al, 2012**) (Figure II.10).

Les formations d'âge Pliocène sont bien développées à l'Est de Koléa et à la limite Sahelplaine de la Mitidja. On distingue le Plaisancien et l'Astien. Le Plaisancien est composé de marnes et d'argiles bleues avec localement des bancs de grés dont l'épaisseur peut atteindre 200 m. L'Astien est formé de grés, de calcaires et de poudingues. Son épaisseur varie de 100 à 130 m.

Le Villafranchien constitue ce qu'on appelle la formation d'El Harrach, il est uniforme et formé d'argiles jaunâtre ou grises par endroits avec quelques cailloutis et lentilles de graviers d'une épaisseur de 2 à 6 m. Ces formations sont constituées également de marnes visibles sur le flanc Sud du Sahel et à l'extrémité occidentale de la plaine de la Mitidja.

Le Soltano-Tensifien ou formation de la Mitidja est constitué de sables, d'argiles sableuses, de graviers, et de galets souvent argileux ou limoneux ainsi que de matériaux alluvionnaires.

Le Rhabien ou formation du Mazafran et du Halloula est constitué de dépôts limoneux et argilo-limoneux de couleur généralement noir ou grise riche en humus. Leur épaisseur avoisine les 10 m. A l'Est, les formations du Mazafran se localisent le long et dans la cluse de l'oued Mazafran.

Au confin ouest du bassin versant de l'oued Mazafran au-delà de l'oued Nador, se dresse le massif du Chenoua (905 m), entité appartenant aux massifs internes Kabyles, d'âge Paléozoïque à Oligocène et composés de schistes, calcaires, dolomies et grés

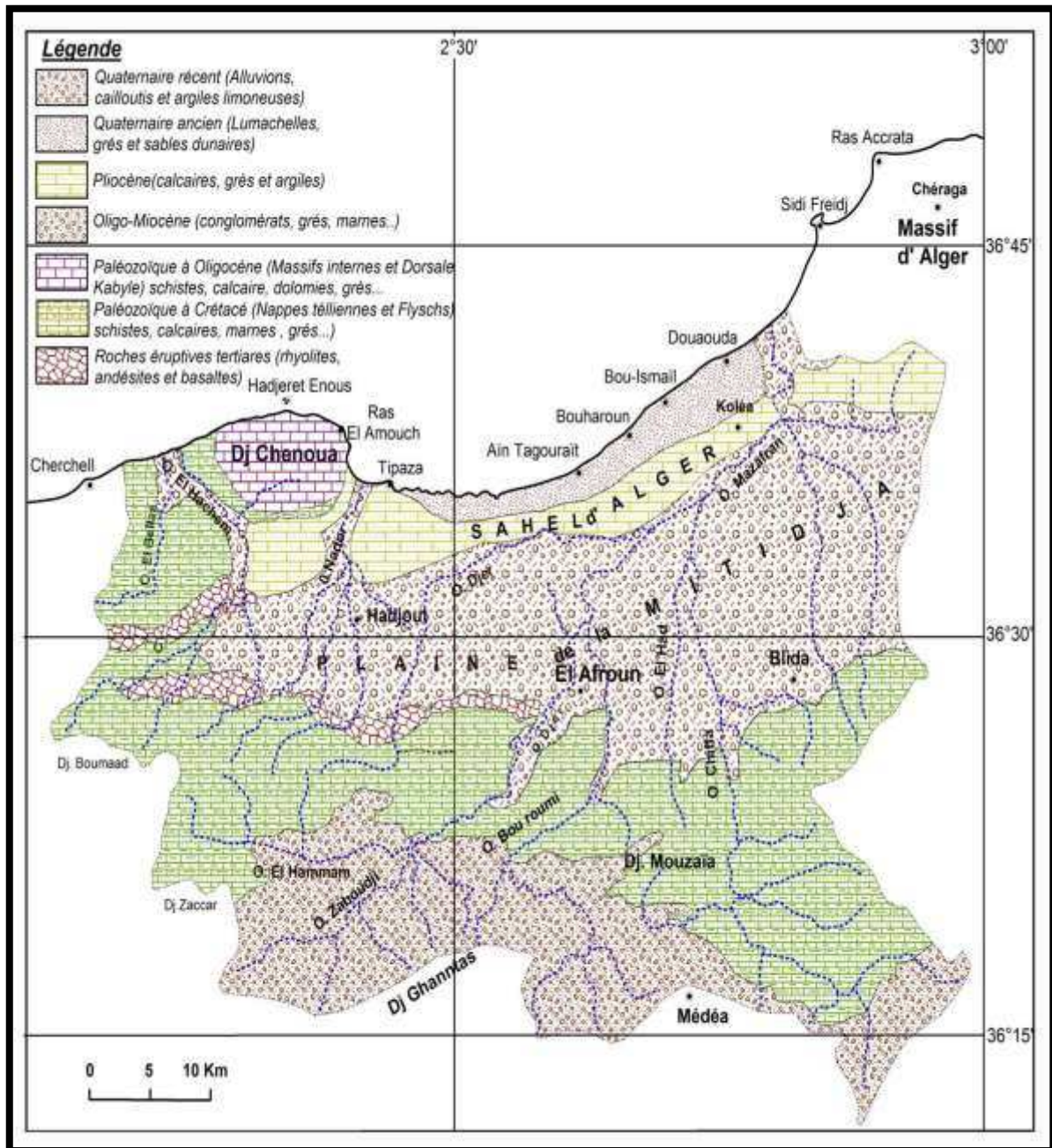


Figure. II.11. Lithologie du bassin versant de l'oued Mazafran et de la région littoral (Mouli et al, 2012).

## II.8. Barrages :

La construction d'ouvrages hydrauliques modifie localement la valeur de la dégradation spécifique moyenne et perturbe donc le régime naturel des phénomènes d'érosion, transport solide et sédimentation. C'est dans ce sens, les barrages implantés dans les deux bassins étudiés (Isser et Mazafran) vont être présentés dans ce qui suit :

### II.8.1. Barrage Bouroumi :

Le barrage Bouroumi est situé dans la wilaya de Blida à 8km à l'Est de Boumedfaa sur l'Oued Bouroumi, qui est un affluent du Mazafran.

La construction a débutée en 1979 pour s'achevée en 1985. C'est un barrage en terre de 98m de hauteur et 340m de longueur. En plus des eaux de son bassin il a été renforcé par la prise de Oued Chiffa qui transfère l'eau via une galerie. Il est destiné principalement à l'irrigation des la Mitidja Ouest ainsi qu'à l'AEP de Boumedfaa, Hammam Righa et Alger.

Les principales caractéristiques du barrage sont (source ANBT) :

- Capacité initiale : 188 Hm<sup>3</sup>.
- Capacité au dernier levé (2004) : 181,96 Hm<sup>3</sup>.
- Apport moyen annuel : 26 Hm<sup>3</sup>.
- Envasement moyen annuel : 0,8 Hm<sup>3</sup>/an.
- Surface du bassin versant : 150 km<sup>2</sup>.



*Figure. II.12. Barrage Bouroumi*

**II.8.2. Barrage de Beni Amrane :**

Le barrage prise de Beni-Amrane est situé à 15 kilomètres à l'Est de la ville de Boumerdes. Il fait partie du système Isser – Keddara – Boudouaou – Alger.

Année de construction : 1984

Année de mise en Eau : 1988

Année de surélévation : 2003

**Caractéristiques hydrologiques :**

Oued : ISSER

Capacité initiale : 16,00 hm<sup>3</sup>

Capacité dernier levé (2004) : 11,85 hm<sup>3</sup>

Apport moyen annuel : 414,00 hm<sup>3</sup>/an

Envasement : 4,10 hm<sup>3</sup>/an

Surface du bassin versant : 3 710 km<sup>2</sup>

**Destination :**

Transfert des eaux vers la retenue de KEDDARA par pompage :

Volume transféré année 2006 : 83,96 hm<sup>3</sup>



*Figure .II.13. Barrage Beni Amrane*

### II.8.3. Barrage Ladrat

Le barrage de Ladrat est situé sur l'oued Ladrat à 20 kilomètres de la ville de Médea.

Année de construction : 1981

Année de mise en Eau : 1990

#### Caractéristiques hydrologiques :

Oued : LADRAT

Capacité initiale : 10,00 hm<sup>3</sup>

Capacité dernier levé (2003) : 8,47 hm<sup>3</sup>

Apport moyen annuel : 7,8 hm<sup>3</sup>

Envasement annuel : 0,02 hm<sup>3</sup>/an

Surface du bassin versant : 73,5 km<sup>2</sup>

#### Destination :

- Irrigation des plaines de Beni-Slimane :
  - Dotation annuelle pour la campagne d'irrigation en 2007 = 3,0 hm<sup>3</sup>.



*Figure. II. 14. Barrage Ladrat*

#### **II.8.4. Koudait Acerdoune :**

Koudiat Acerdoune dans la daïra de Lakhdaria, wilaya de Bouira

#### **Caractéristiques hydrologiques**

Oued : Isser

Capacité initiale: 640 hm<sup>3</sup>



*Figure II.15. Barrage Koudait Acerdoune*

# **Chapitre III**

## ***Climat et hydrologie***

Le climat de l'Algérie est caractérisé par sa large diversité. Toute la bande côtière de l'Algérie est soumise à un climat méditerranéen alors que la partie des hauts plateaux et de l'atlas saharien est dominée par un climat semi-aride et aride dans sa partie saharienne (**Foudil Bouras, 2012**). La hauteur et l'orientation des barrières de montagne créent de nombreuses variétés locales de ce climat (**Bouanani, 2004**).

Le climat méditerranéen caractérisé par son irrégularité dans le temps et dans l'espace et son agressivité avec un hiver pluvieux et un été sec (**Ghenim, 2008**). Ces conditions climatiques ainsi que les précipitations, les ruissellements et les écoulements qui en découlent jouent un rôle fondamental dans la dégradation et la perte des sols au niveau des bassins versants. En effet la pluie par son impact sur les sols arrive à désagréger leurs particules et les ruissellements qui en découlent déterminent le mouvement des sédiments vers le réseau hydrographique (**Ahamrouni, 1996**) c'est dans ce contexte que les caractéristiques climatiques et hydrologiques des deux bassins versants étudiés (Isser et Mazafran) seront présenter dans ce qui suit.

### **III.1. données climatologiques disponibles**

Il est à noter que la finalité de chaque projet de recherche scientifique se base essentiellement sur une banque de données. La collecte de cette dernière est une phase très délicate étant donné qu'elle doit être cohérente par rapport à son objectif dans le temps et dans l'espace. Dans notre travail on s'est justement trouvé face à ces problèmes depuis l'étude climatique jusqu'au dernier point de l'impact pour les cartes sédimentaires par un manque de données ainsi que par la non coopération de certains établissements concernés.

D'autres orientations ont été suivies afin de combler les lacunes et donner au moins un certain degré de finalité à mon sujet d'étude. En effet, dans ce chapitre pour la température, tout ce qu'on a pu avoir comme données sont deux séries de 10 ans de deux stations situant hors la limite géographique de nos bassins versants mais restent encore représentatives. Pour l'Isser on a réussi à rajouter une autre série plus ancienne d'une autre station à l'intérieur du bassin à partir d'un projet de fin d'étude en géologie. A noter aussi que les efforts faits ont permis de terminer ce projet non plus à répondre à ses besoins en terme de qualité de base de données (séries compatibles dans l'espace et surtout dans le temps).

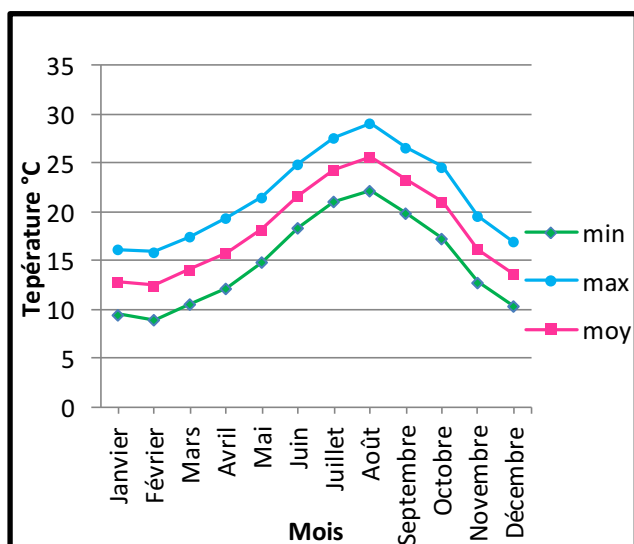
**III.1.1. Température :**

✓ **Isser**

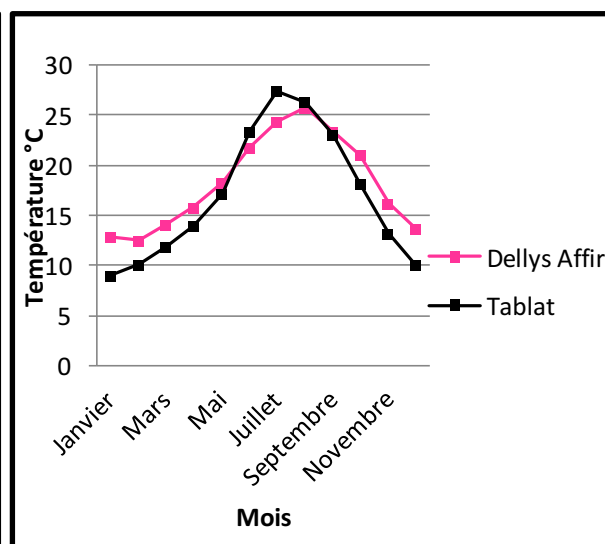
Les données de température sont celles de deux stations (ONM) ; Tablat (1977-1984) située dans le bassin versant à l’Ouest (**Daoui et Touami, 1998**) et une autre série de la station de Dellys Afir (1996-2005) située à l’extérieur Nord Est du bassin (latitude 36°55, longitude 03°57)

**Tableau.III.1. moyenne mensuelle des températures, Isser (ONM)**

Station	T °C	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuelle
Dellys Afir (1996-2005)	m	9.5	9.0	10.6	12.2	14.9	18.4	21.1	22.2	19.9	17.3	12.8	10.4	14.8
	M	16.2	15.9	17.5	19.4	21.5	24.9	27.6	29.1	26.6	24.6	19.6	17.0	21.6
	(M+m)/2	12.9	12.5	14.1	15.8	18.2	21.7	24.3	25.7	23.3	21.0	16.2	13.7	18.2
Tablat (1977-1984)	(M+m)/2	8.9	10.0	11.8	13.9	17.1	23.3	27.4	26.2	23.0	18.1	13.1	10.0	16.95



**Figure.III.1. Température moyenne mensuelle à la station de Dellys Afir**



**Figure.III.2. Température moyenne mensuelle**

A Dellys Afir, les températures moyennes mensuelles observées sur 10 ans varient de 12°C à 26°C, avec une moyenne annuelle de 18°C (Figure.III.1). La moyenne mensuelle des températures maximales la plus élevée est enregistrée en mois d’Août (29°C) et la valeur de la

moyenne mensuelle des températures minimales la plus faible est mesurée en mois de Février (9 °C).

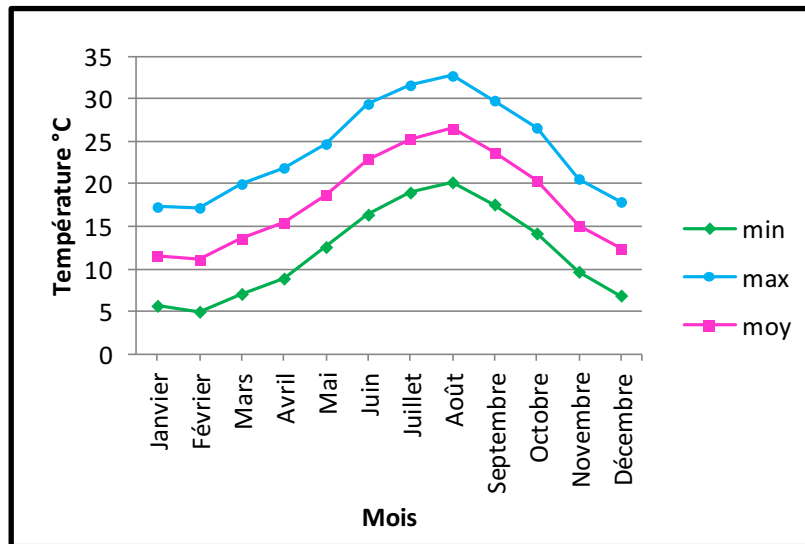
Le tracé des courbes de la figure (Figure.III.2) facilite la lecture du tableau (Tableau.III.1) et montre que les valeurs des deux stations suivent le même régime de variations avec des écarts dus essentiellement à l'influence maritime qui adoucit les températures ainsi que l'effet de l'altitude qui entraîne une diminution générale de la température.

✓ **Mazafran**

Pour le Mazafran on va exploiter les données de la station de Dar El Beida située à l'extérieur Nord Est du bassin (latitude 36°14, longitude 03°13).

*Tableau.III.2. moyenne mensuelle des températures, Mazafran (ONM)*

Station	T °C	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuelle
Dar El Beida (1996-2005)	m	5.7	5.0	7.1	8.9	12.6	16.4	19.0	20.2	17.6	14.2	9.7	6.9	12.0
	M	17.3	17.2	20.2	21.9	24.7	29.4	31.6	32.7	29.8	26.6	20.6	17.9	24.2
	(M+m)/2	11.5	11.1	13.6	15.4	18.7	22.9	25.3	26.5	23.7	20.4	15.1	12.4	18.1



*Figure.III.3. Température moyenne mensuelle à la station de Dar El Beida*

Les températures moyennes mensuelles observées varient de 12°C à 27°C, avec une moyenne annuelle de 18°C (Figure.III.3). La moyenne mensuelle des températures maximales la plus élevée est enregistrée en mois d'Août (33°C) et la valeur de la moyenne mensuelle des températures minimales la plus faible est mesurée en mois de Février (5 °C).

- Ainsi pour les deux bassins on distingue pratiquement deux périodes distinctes, la période estivale caractérisée par des températures moyennes assez élevées et une hivernale où les températures sont basses.

### III.1.2. précipitations

La pluviométrie est un axe très important du cycle de l'eau, qui conditionne non seulement l'écoulement liquide dans les cours d'eau, mais aussi le taux de transport solide (**Ammari, 2012**)

Pour connaître le comportement de la variation des précipitations au niveau des deux bassins Isser et Mazafran, nous disposons des valeurs des précipitations mensuelles des deux stations pluviométriques ; Lakhdaria pour le bassin de l'Isser et la station de Fer à Cheval pour le Mazafran. La période d'étude s'étend de 1972/73-1999/00 pour la station de Lakhdaria (Isser) et de 1974/75-1994/95 pour la station de Fer à Cheval (Mazafran).

Pour évaluer la variabilité des précipitations sur la région, nous avons employé le coefficient de variation exprimé en pourcentage (%) sachant que :

$$Cv = \frac{\sigma}{\bar{p}}$$

Avec :

$\bar{p}$  : Moyenne de la série;       $\sigma$ : Écart type.

Le coefficient de variation des pluies est une mesure assez efficace de la variabilité par rapport à la moyenne d'un échantillon (**Baloul, 2012**)

**Tableau.III.3. Paramètres d'échantillon**

Station	Max	Min	Ecart type	Moy	Cv (%)
Lakhdaria	1189.2	342.5	201	692.75	29
Fer à Cheval	838.9	320.8	163.14	531	30.3

Le tableau caractérise l'importance de l'écart existant entre l'année la plus humide et l'année la plus sèche au niveau des deux stations. Les coefficients de variation pour la période d'étude sont autour les 30% ce qui indique une variabilité interannuelle plus ou moins faible par rapport à la variation mensuelle.

D'après la figure Figure.III.4 et Figure.III.5, la pluviométrie annuelle (1974/75-1994/95) varie de 320 à 839 mm pour la station de Fer à cheval, alors qu'à la station de Lakhdaria (1972/73-1999/00), les précipitations annuelles enregistrées sont plus élevées, allant de 342 à 1189 mm, avec une moyenne de ~ 693 mm.

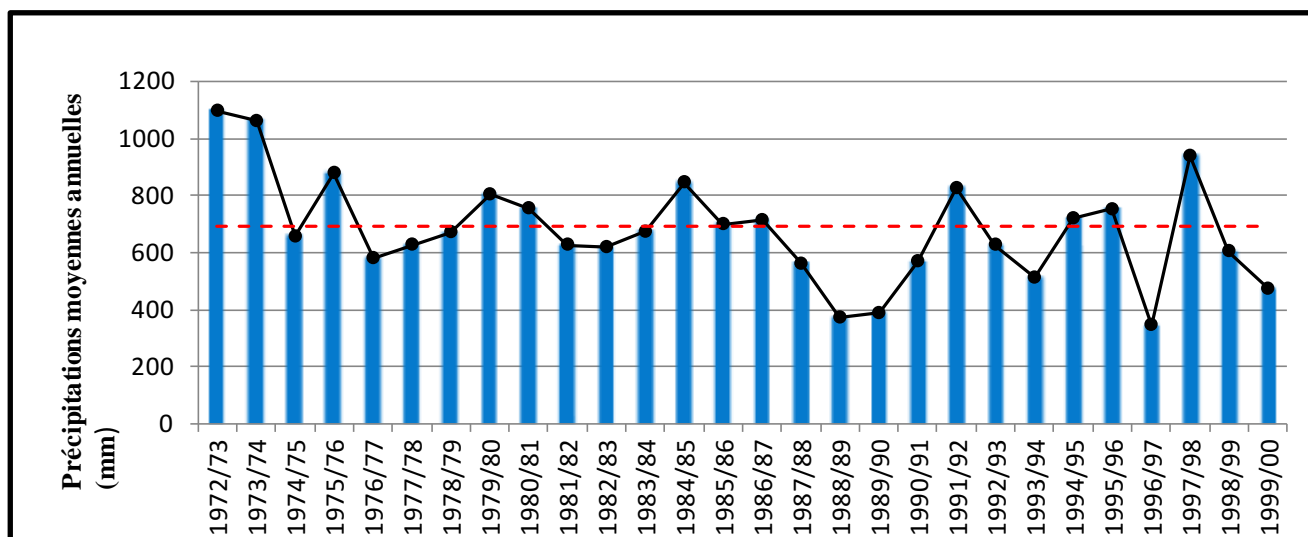


Figure.III.4. Variation interannuelle des précipitations au niveau de Lakhdaria

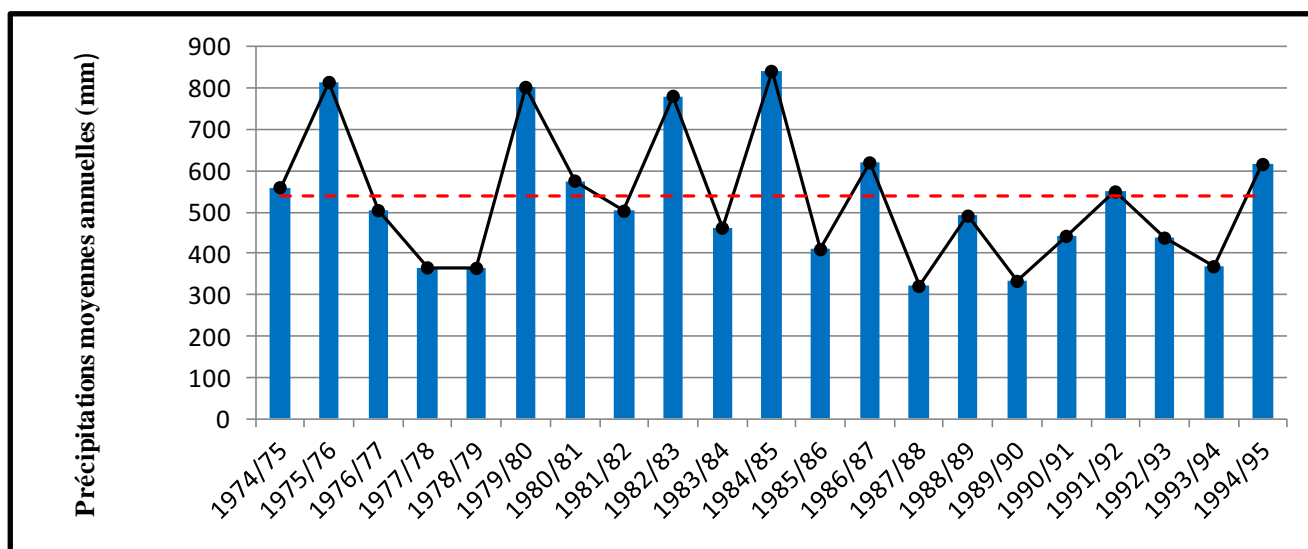
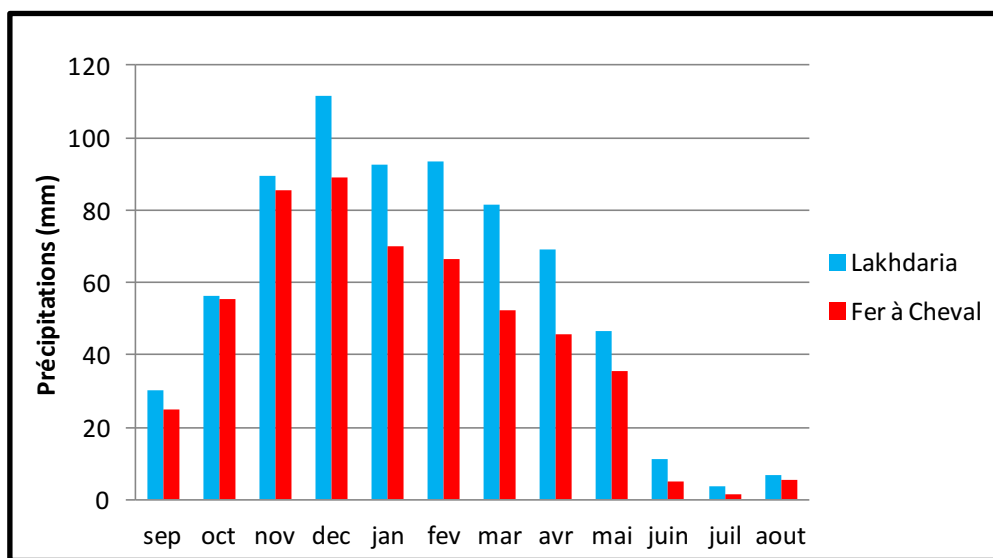


Figure.III.5. Variation interannuelle des précipitations au niveau de Fer à Cheval

La présentation sous forme d'histogramme des précipitations mensuelles des deux stations montre une irrégularité mensuelle des précipitations caractérisées par le mois Décembre le plus arrosé au niveau des deux stations avec une saison d'hiver plus pluvieuse que l'automne et le printemps. Le mois le plus sec de l'année au niveau de ces deux bassins correspond au moins de Juillet.



*Figure. III.6. Précipitations moyennes mensuelles aux stations de Lakhdoria et Fer à Cheval.*

### III.2. Relation entre lame d'eau écoulee et lame d'eau précipitée :

L'analyse de l'interaction temporelle entre lame d'eau précipitée et lame d'eau écoulee indique une grande dépendance expliquée par une variation presque synchronique (figure III.7, III.8).

Généralement, l'écoulement est en fonction des pluies : les années les plus pluvieuses sont les plus abondantes en écoulements, à titre d'exemple l'année (1975/76) au niveau de la station du mazafran enregistre une lame d'eau précipitée élevée (presque un maximum) avec le plus important écoulement enregistré pour la série d'étude. Ainsi l'année la moins pluvieuse au niveau de Lakhdoria (1996/97) correspond à la lame d'eau écoulee la moins faible ~ 4mm.

Cependant cette hypothèse n'est pas souvent vérifiée, de faite que l'année (1880/81) pour l'Isser enregistre des pluies autour la moyenne de la série avec ~755 mm qui marque le pic de la lame d'eau écoulee avec ~402mm.

Aussi pour les années successives 1977/78 et 1978/79 marquent presque les mêmes précipitations avec une lame d'eau écoulee pour l'année (1978/79) ~ 115mm plus abondante que l'autre ~49 mm.

Cette réponse en intervention de la lame d'eau précipitée sur la lame d'eau écoulee est gérée par d'autres paramètres tels que la phase infiltration des sols, l'évapotranspiration ainsi que la contribution des eaux souterraines au régime d'écoulement superficiel.

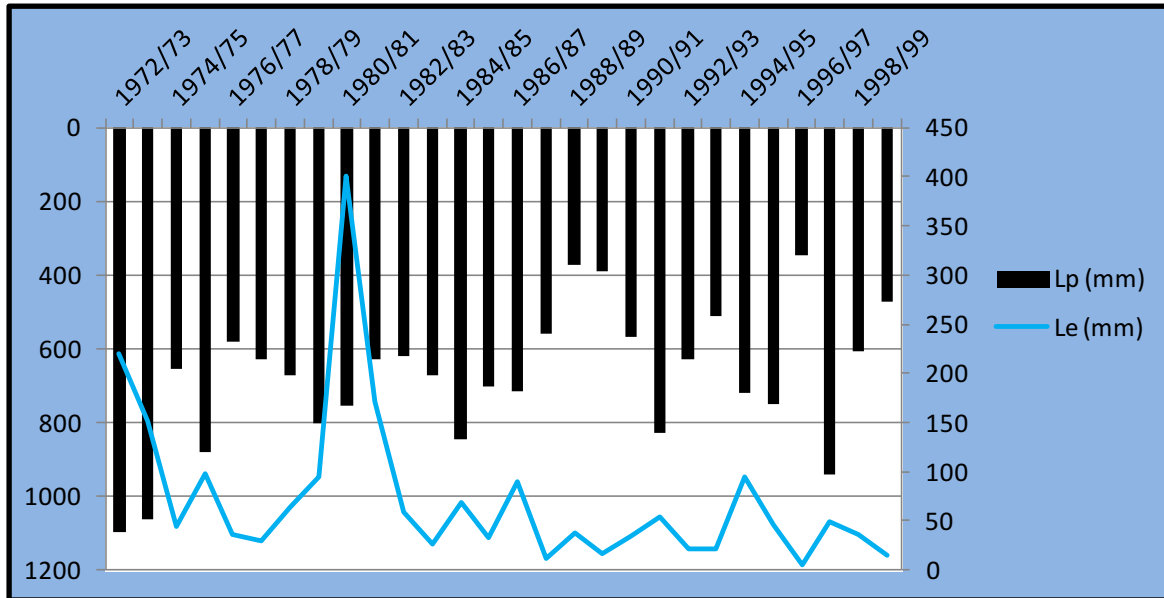


Figure. III.7. Intervention annuelle de la lame d'eau précipitée sur la lame d'eau écoulee (Lakhdaria)

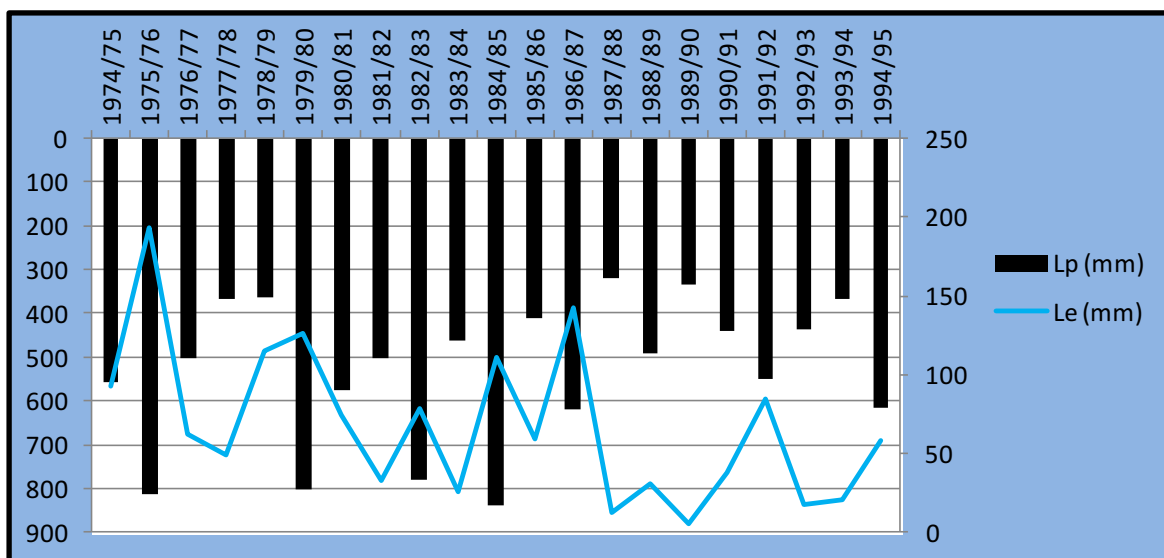


Figure. III.8. Intervention annuelle de la lame d'eau précipitée sur la lame d'eau écoulee (Fer à Cheval)

# **Chapitre IV**

## ***Erosion et Transport solide***

#### IV.1. Etude du débit solide en suspension et mise en forme des données de base :

La quantification des matières transportées par les cours d'eau est une tâche délicate à cause du caractère irrégulier du régime hydrologique et du manque de données du aux difficultés inhérentes à des prélèvements effectués au cours de crues violentes et brèves (**El mahi et al, 2012**).

Sur cette problématique dont l'étude est devenue essentielle, dans ce chapitre nous allons présenter une synthèse de l'étude du phénomène de transport solide, une estimation des dégradations spécifiques avec une comparaison à différentes échelles spatiales.

##### IV.1.1. Données hydrologiques et méthodes de quantification :

L'étude est réalisée à partir des données collectées au niveau des deux bassins étudiés Isser et Mazafran, constituées des débits instantanés et des concentrations des sédiments en suspension.

Les données nous ont été fournies par les services hydrologiques de l'ANRH et concernent les deux stations hydrométriques Lakhdaria et Fer à Cheval dont le choix de ces stations est dicté par :

- ✓ La disponibilité de données de mesure des concentrations des matières en suspension
- ✓ La proximité de l'embouchure afin d'avoir la meilleure évaluation des quantités des sédiments transportés vers la mer.

**Tableau IV. 1. caractéristiques des stations hydrométriques et périodes de mesure**

Bassin Versant	Oued	Station	Code	X	Y	Période
Isser	Isser	Lakhdaria	090501	579.10	368.75	1972-1999
Mazafran	Mazafran	Fer à Cheval	021201	510.05	373.20	1976-1995

L'étude est basée sur les mesures instantanées, des débits liquides  $Q_l$  ( $m^3/s$ ) et des concentrations  $C$  ( $g/L$ ), réalisées par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). Les débits liquides sont obtenus de deux façons:

- sur la base de la courbe de tarage à partir des hauteurs d'eau lues sur une échelle limnimétrique d'une part,
- et par dépouillement des hauteurs d'eau enregistrées par un limnigraphe à flotteur, d'autre part.

La concentration est obtenue d'après le protocole suivant. A chaque lecture de hauteur d'eau, on prélève un échantillon d'eau, chargée, sur la rive à la surface de l'oued au moyen d'un flacon de 50 cL. Les sédiments filtrés sur papier-filtre sont ensuite séchés à l'étuve pendant 30 min à une température de 105°C. Ramenée à l'unité de volume (1 L), cette charge est attribuée à la concentration en suspension instantanée véhiculée par le cours d'eau en g/L. La cadence de prise des mesures varie selon l'ampleur de l'événement. En période de crue, les prises sont intensifiées jusqu'à des intervalles de temps d'une heure ou même de 30 min en fonction de la vitesse de l'augmentation des débits liquides. En période d'écoulement normal ou en période d'étiage, on se contente d'une prise quotidienne effectuée généralement à midi.

La mobilisation des matériaux solides sur les versants et leur transport éventuel par les cours d'eau, représentent deux phénomènes distincts, mais liés entre eux. Le débit solide en suspension est alors calculé par la relation:  $Q_s = C * Q_l$  où,

$Q_s$  : représente le débit solide (en kg/s)

$C$  : la concentration des sédiments en suspension (en g/L) et

$Q_l$  : le débit liquide journalier (en m<sup>3</sup>/s)

On va essayer dans cette partie d'étude de corrélérer les débits solides aux débits liquides et de déterminer une relation qui permettra d'estimer les premiers à partir des seconds.

### IV.1.2. Analyse des débits liquides instantanés – débits solides instantanés

#### IV.1.2.1. ensemble de données (relation interannuelle) :

L'étude porte sur les valeurs instantanées des débits liquides en m<sup>3</sup>/s et des débits solides en kg/s mesurés au niveau des bassins des deux oueds Isser et Mazafran, respectivement aux stations Lakhdaria (Isser) et Fer à Cheval (Mazafran).

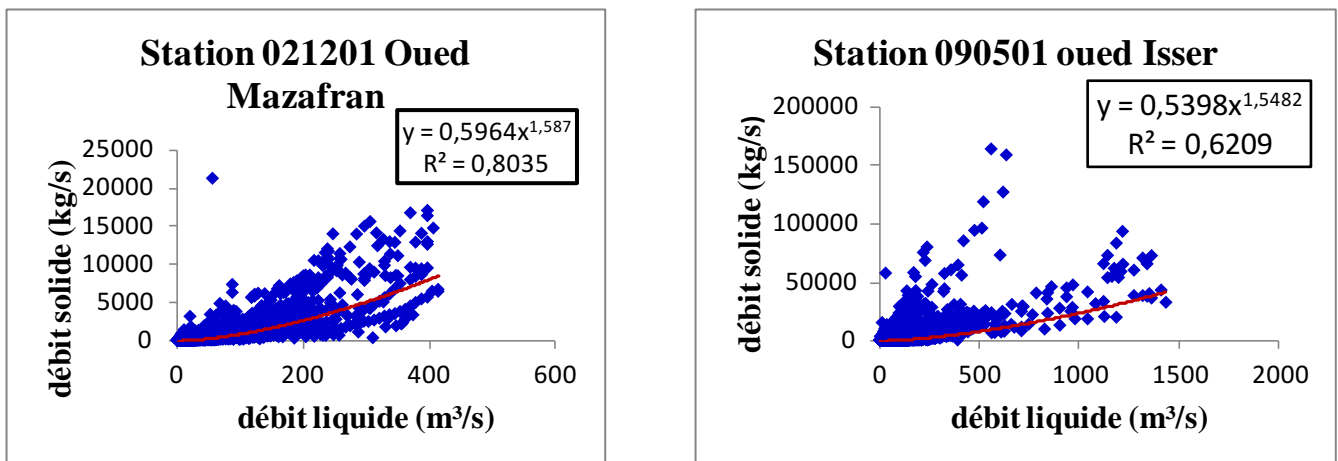
Le choix d'un modèle de régression est dicté par le coefficient de détermination R<sup>2</sup> obtenu après traitement des données des couples débit liquide-débit solide mis en graphe pour la totalité des données (figure. IV.1).

Les résultats obtenus montrent qu'il existe une bonne corrélation entre les deux grandeurs représentant la dynamique sédimentaire de l'Isser et Mazafran par la validité de la relation en puissance (tableau IV.2), c'est-à-dire que le débit solide est lié au débit liquide par la relation  $Q_s = a \cdot Q_l^b$ .

**Tableau IV.2. Les valeurs de R<sup>2</sup> pour l'ensemble des données**

Echelle temporelle	Type de modèle	<b>02 12 01</b>	<b>09 05 01</b>
<b>Relations interannuelles</b>	Linéaire	0.6154	0.4557
	Logarithmique	0.3140	0.1268
	Polynomiale	0.6226	0.4596
	Puissance	0.8035	0.6209
	Exponentiel	0.5400	0.2694

Une première analyse graphique montre qu'à de faibles débits liquides généralement estivaux peuvent être associés de fortes débits solides, déclenchés sûrement à la suite d'orages violents. De même, de fortes valeurs de débits liquides n'ont engendré qu'un faible transport solide dû à la vidange des nappes survenue à la suite d'une crue importante.



**Figure IV.1.** Relation débits solides en fonction des débits liquides dans les bassins des oueds Isser et Mazafran

- Les valeurs des paramètres a et b de la relation  $Q_s = a \cdot Q_l^b$  (tableau IV.3) varient peu de l'Isser à Mazafran. Pour le paramètre a, il varie de 0.53 pour l'Isser à 0.59 pour le Mazafran. L'exposant b est de 1.54 pour le mazafran et de 1.58 pour le Mazafran.

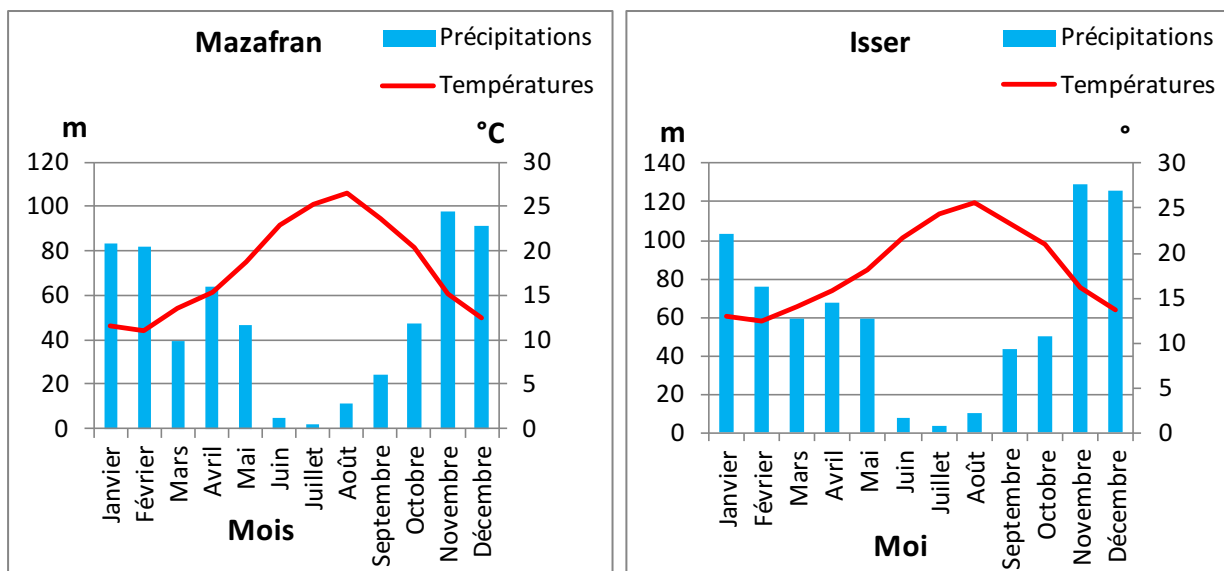
**Tableau. IV. 3.** Paramètres de la relation débit solide-débit liquide

Bassin	Periode	a	b	Coef de corrélation
Isser	1972/99	0.5398	1.5482	0.6209
Mazafran	1976/95	0.55964	1.587	0.8035

Toutefois, il ya quelques spécificités pour chaque saison.

**IV.1.2.2. relation saisonnière :**

Pour étudier les réponses des deux bassins aux débits liquides et matières en suspension au cours de l'année hydrologique, et compte tenu de l'influence saisonnière sur le phénomène du transport solide, des relations entre débits liquides et débits solides sont établies. Deux groupements de saison ont été effectués, le premier, selon les saisons conventionnelles (Automne, Hiver, Printemps et Été), le second selon le partage de l'année en deux saisons (Humide et Sèche) identifiées suite à la base du diagramme Ombrothermique (figure. IV.2); la saison humide s'étend de Novembre à Avril et la saison Sèche de Mai à Octobre.



**Figure .IV.2. Diagramme Ombrothermique des oueds Mazafran et Isser**

**Le tableau. IV. 4. Estimation de coefficient de détermination et de relation retenue Qs-Ql : regroupement par saison**

Bassins	Isser		Mazafran	
	Coef de corrélation	Relations retenues	Coef de corrélation	Relations retenues
Automne	0.6263	$y = 1.4904x^{1.6043}$	0.8385	$y = 1.101x^{21.5386}$
Hiver	0.7163	$y = 0.273 x^{1.661}$	0.8306	$y = 0.329x^{1.6964}$
Printemps	0.5966	$y = 0.24 x^{1.6713}$	0.8256	$y = 0.2943x^{1.7654}$
Été	0.6316	$y = 0.1732x^{2.0394}$	0.7401	$y = 5.7818x^{1.5158}$
Saison humide	0.6767	$y = 0.3201x^{1.61172}$	0.8296	$y = 0.3689x^{1.6939}$
Saison sèche	0.6000	$y = 0.7378x^{1.7223}$	0.737	$y = 2.1863x^{1.3726}$

**Hiver** : en hiver, période de transition entre les deux saisons humides, bien que la pluviométrie soit importante, les écoulements le seront encore plus, ce qui est dû essentiellement aux réserves importantes en eau, emmagasinées dans le sol, suite aux fortes pluies de l'automne. Ces écoulements entraînent des transports importants en matières solides pour les deux bassins versants.

**Automne** : après la saison sèche d'été ou le sol se fissure et perd sa cohésion, succède l'automne avec des averses plus ou moins violentes sur un sol fragilisé. Il se traduit alors dans l'Isser pour faibles écoulements des apports solides importants. Pour le mazafran la figure IV.4, montre que les nuages de points sont alignés harmonieusement autour la droite de régression ce qui signifie une forte corrélation entre les débits en cette saison.

**Printemps** : pour les deux bassins des débits solides relativement moyens à faibles par rapport à leurs débits liquides ; l'état du sol et la couverture végétale font que l'action érosive se trouve diminuée par rapport aux écoulements abondants.

**Été** : l'été se distingue des autres saisons par ses valeurs dispersées. On trouve (figure IV.3 et IV.4) un premier nuage dense regroupant les débits les plus faibles de l'année, et une deuxième nuage éparpillé représentant les débits solides les relativement forts, associés à des débits liquides faibles dus, sûrement aux orages estivaux.

**La saison Sèche** est marquée par un faible coefficient de corrélation par rapport à **la saison humide** ; les crues sont très rares et leur comportement est assez complexe et imprévisible.

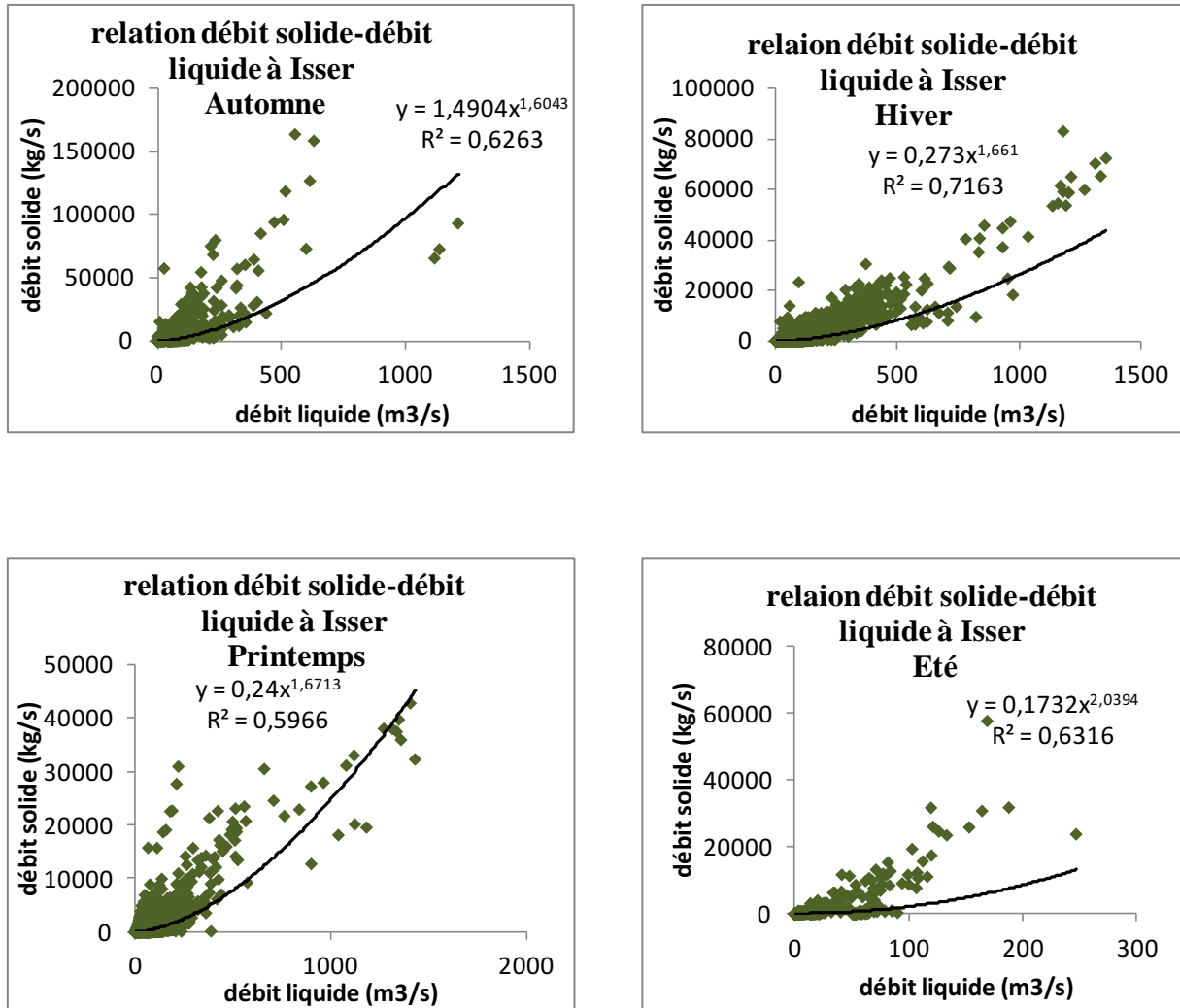


Figure. IV.3. Relation débit liquide – débit solide instantané à la station de Lakhdaria (Echelle Saisonnière)

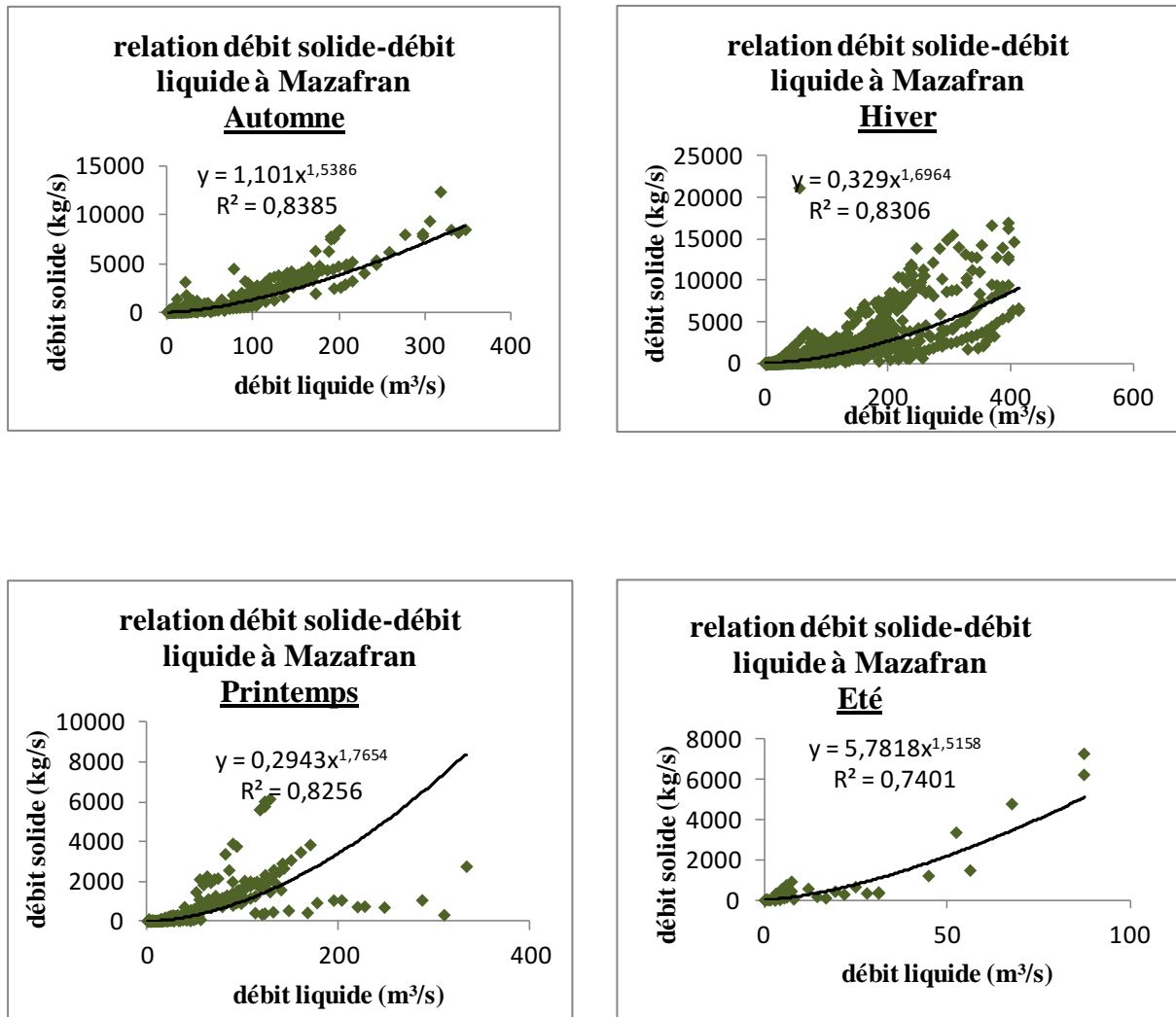


Figure. IV.4. Relation débit liquide – débit solide instantané à la station de Fer à Cheval (Echelle Saisonnière)

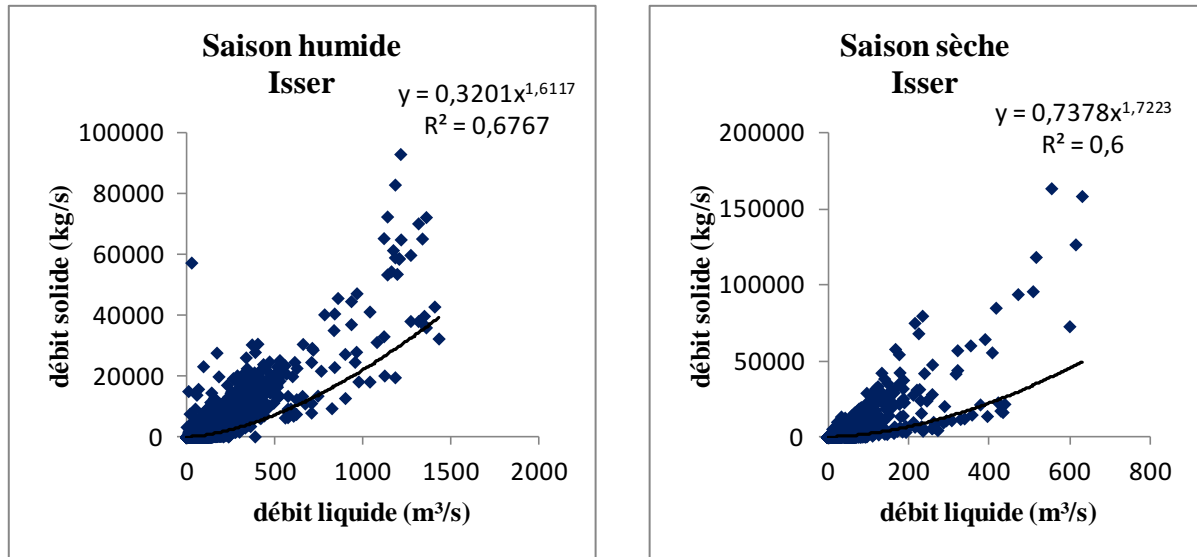


Figure. IV.5. Relation débit liquide – débit solide instantané à la station de Lakhdaria (Echelle saison Sèche - Humide)

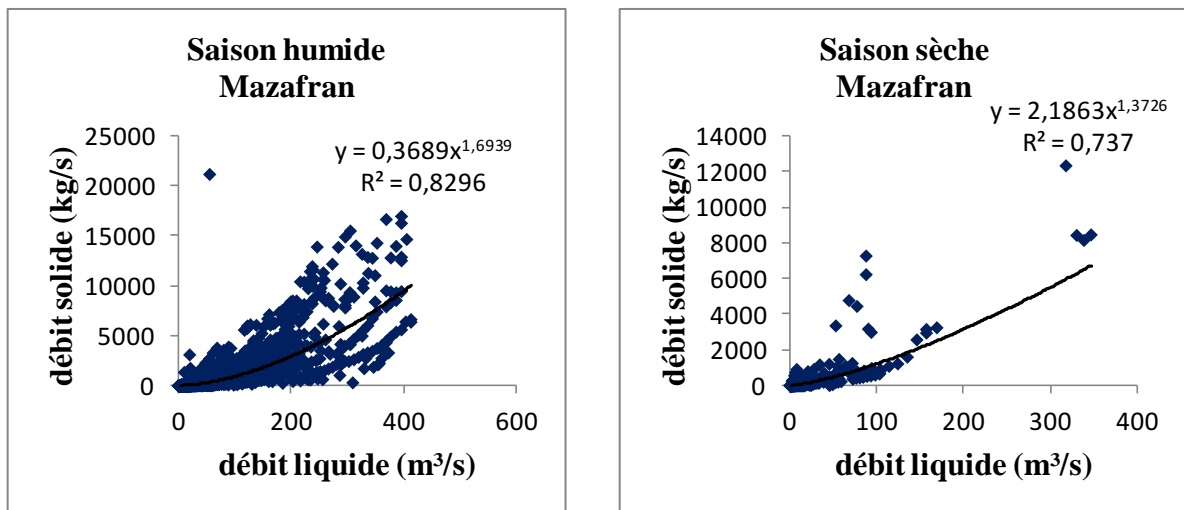


Figure .IV.6. Relation débit liquide – débit solide instantané à la station de Fer à Cheval (Echelle saison Sèche - Humide)

## IV.2. Erosion et transport solide :

Sur la base des mesures continues de la charge en suspension réalisées dans les deux bassins du Mazafran et Isser les résultats obtenus, nous allons interpréter le phénomène du transport solide en quantifiant les apports solides et le calcul de l'érosion spécifique.

### IV.2.1. Quantification des apports solides et l'érosion spécifique

La relation liant les débits liquides aux débits solides en suspension pour nos sous bassins est de type puissance de forme générale ( $Q_s = a \cdot Q_l^b$ ).

Nous utilisons cette relation à différentes échelles temporelles pour le comblement des lacunes d'observations et par suite, l'évaluation des apports solides à différents pas de temps.

#### IV.2.1.1. L'apport solide

##### • *L'apport solide journalier*

Soit :

$$Q_{smj} = a Q_{imj}^b$$

$Q_{smj}$  : Débit solide moyen journalier (Kg/s) ;

$Q_{imj}$  : Débit liquide moyenne journalière ( $m^3 /s$ ) ;

a et b : Coefficient d'ajustement du modèle.

$$A_{sj} = Q_{smj}T$$

avec :

$A_{sj}$  : Apport solide moyen journalier (Tonne) ;

$Q_{smj}$  : Débit solide moyen journalier (Kg /s) ;

T : Temps (s).

• **L'apport solide mensuel**

$$A_{sm} = Q_{sj}N$$

avec :

$A_{sm}$  : Apport solide mensuel (tonne) ;

$A_{sj}$  : Apport solide journalier (tonne) ;

N : Nombre de jours dans le mois.

• **L'apport solide annuel**

La quantité totale transportée annuellement est :  $A_{sann.} = \sum_{i=1}^{12} A_{sm.}$

Où :

$A_{sann.}$  : Apport solide annuel (tonne) ;

$A_{sm}$  : Apport solide mensuel (tonne).

• **L'apport solide inter annuel**

L'apport solide moyen inter annuel est déterminé par la relation suivante :

$$A_{sin\ ter} = \frac{\sum_{i=1}^N A_{sann}}{N}$$

avec :

$A_{sin\ ter.}$  : Apport solide moyen inter annuel (tonne) ;

N : Nombre d'années d'observations.

#### IV.2.1.2. L'érosion spécifique

L'érosion spécifique moyenne ( $E_s$ ) d'un bassin versant est définie comme étant le rapport entre l'apport solide ( $A_s$ ) et la surface (S) du bassin versant.

soit :

$$E_s = \frac{A_s}{S}$$

La quantification de l'apport solide moyen interannuel et de l'érosion spécifique moyenne interannuelle donne une idée sur l'importance du transport solide et l'état de dégradation du sol du bassin.

**Tableau. IV. 5. Apport solide et érosion spécifique interannuel pour l' Isser et Mazafran**

Années	Isser			Mazafran		
	Al (Hm <sup>3</sup> )	As (*10 <sup>6</sup> )	Es (T/h)	Al (Hm <sup>3</sup> )	As (*10 <sup>6</sup> )	Es (T/h)
1972/73	910.25	15.335	42.56			
1973/74	631.93	19.527	54.20			
1974/75	182.34	0.990	2.75			
1975/76	409.12	3.283	9.11			
1976/77	151.50	0.614	1.70	117.85	0.313	1.64
1977/78	125.25	0.853	2.37	92.70	0.402	2.11
1978/79	263.44	3.472	9.63	218.98	1.807	9.51
1979/80	391.48	3.815	10.59	238.75	1.713	9.01
1980/81	1664.34	0.939	2.60	140.76	0.733	3.85
1981/82	716.14	0.672	1.87	61.74	0.232	1.22
1982/83	246.21	0.446	0.12	148.93	1.038	5.41
1983/84	105.35	0.012	0.03	49.48	0.083	0.44
1984/85	281.90	0.343	0.83	210.30	1.470	7.74
1985/86	136.59	1.734	4.81	212.38	0.473	2.49
1986/87	369.40	1.829	5.07	270.80	0.951	5.00
1987/88	47.86	0.083	0.23	24.19	0.042	0.22
1988/89	153.10	1.265	3.51	58.78	0.427	2.25
1989/90	66.22	7.463	20.71	10.44	0.013	0.06
1990/91	145.30	1.624	4.50	72.07	0.762	4.01
1991/92	225.80	5.123	14.22	161.50	1.883	9.91
1992/93	91.60	0.549	1.52	34.07	0.045	0.23
1993/94	85.91	1.224	3.40	39.43	1.273	6.70
1994/95	390.80	7.285	20.22	110.90	1.477	7.77
1995/96	191.20	3.234	8.97			
1996/97	18.31	0.199	0.55			
1997/98	200.52	4.391	12.19			
1998/1999	147.00	1.297	3.60			

#### IV.2.2. Variabilité interannuelle des apports liquides et solides :

Suite à une précipitation, les eaux de ruissellement sont la plupart du temps, chargées en matières solides. Le transport solide est donc indissociable d'un transport liquide. Cependant les charges solides sont fortement contrôlées par d'autres facteurs. **Kankpenandja et al (2012)** ont montré qu'avec des débits liquides identiques, les rivières de Kara et Kéran en Togo et Bénin (pays d'Afrique occidentale) évacuent annuellement des quantités de matières solides assez différentes du fait de la diversité lithologique, le relief et l'indice global de pente.

Dans ce paragraphe, on se propose d'établir les relations entre les transports liquides et les transports solides et de caractériser la réponse érosive des deux bassins versants.

L'analyse du tableau IV.5 et les figures IV.7, IV.8 permet de constater que la variation interannuelle des apports solides ne se fait pas parallèlement à celles des apports liquides.

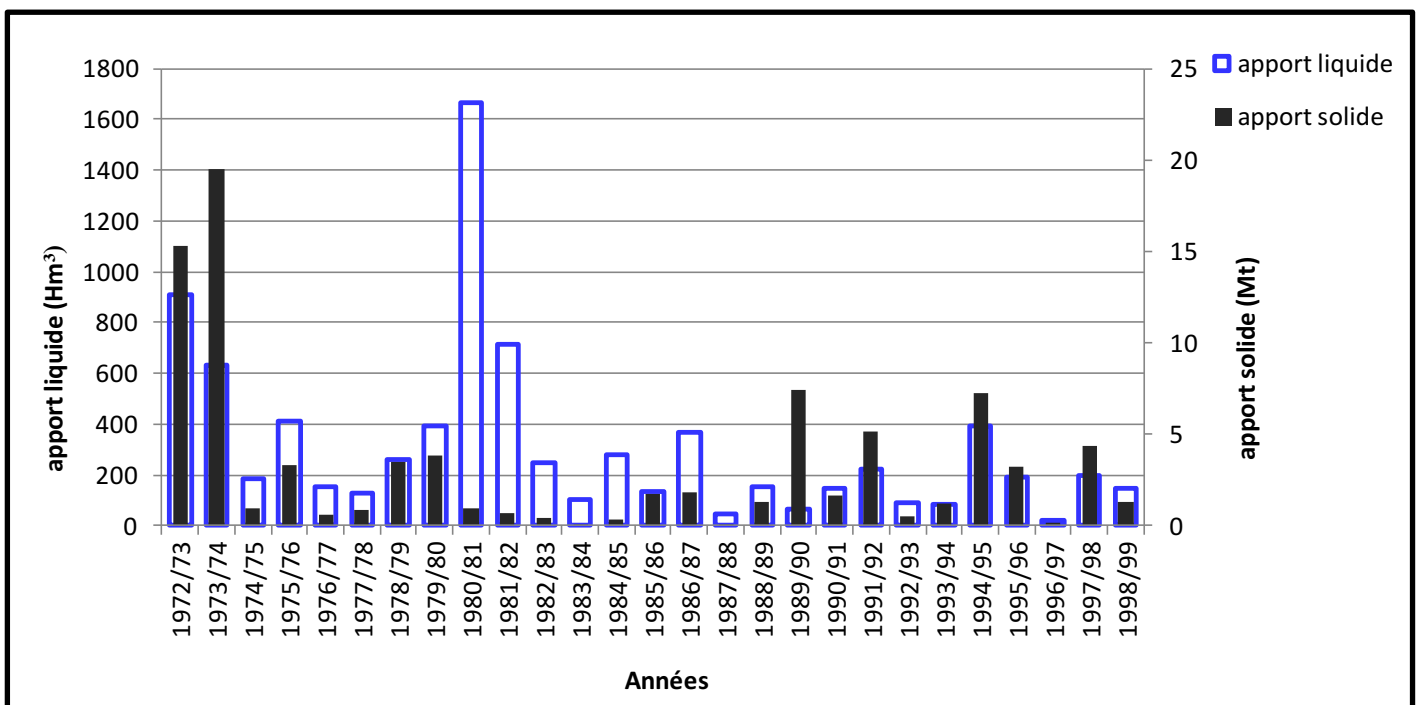


Figure. IV.7. Apports liquides et solides annuels de l'Oued Isser

l'année hydrologique (1980/81) se distingue par le plus grand apport liquide de 1664 Hm<sup>3</sup> qui engendre 0.94 millions de tonnes de sédiments en suspension, une valeur très faible par rapport à celle estimée par l'année 1973/74 de 19.5 millions de tonnes véhiculée par un apport liquide de 632 Hm<sup>3</sup>. Et celle estimée pour l'année 1972/73 avec un apport liquide de 910 Hm<sup>3</sup> et un apport solide de 15.3 Hm<sup>3</sup> millions de tonnes. Ces deux années hydrologiques quoique leurs apports liquides ne sont pas maximaux enregistrent les dégradations spécifiques les plus élevées (5420 et 4256 tonnes/km<sup>2</sup>/an).

Le plus faible apport liquide est enregistré pendant l'année 1996/97 avec 18.3 Hm<sup>3</sup> apportant un apport solide de 0.2 millions de tonnes tandis que le plus faible apport solide correspond à un apport liquide de 105Hm<sup>3</sup> pendant l'année 1983/84.

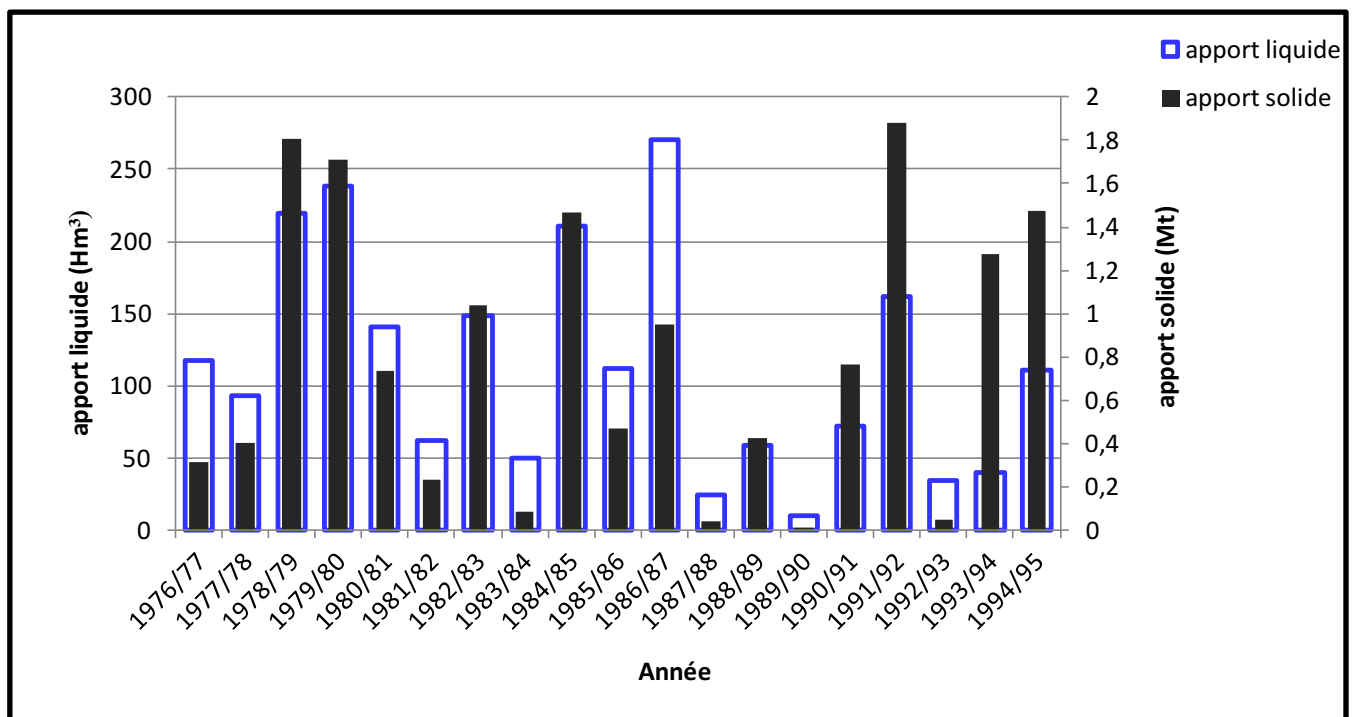
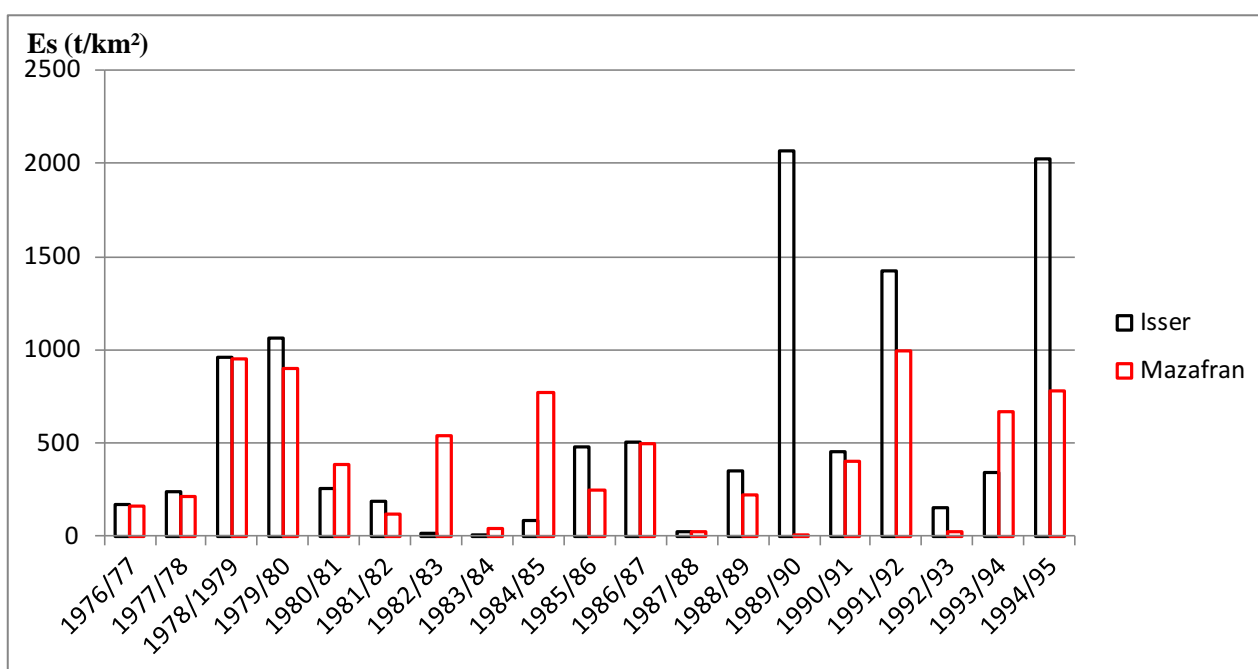


Figure. IV.8. Apport liquides et solides annuels de l'Oued Mazafran

Les apports liquides et solides interannuels pour le Mazafran sont plus ou moins contrastés d'une année à une autre. En effet le bilan des apports laisse apparaître que le plus fort apport liquide annuel de 271 Hm<sup>3</sup> a été enregistré durant l'année (1986/87) engendrant un apport solide de 0.95 millions de tonnes alors que l'apport maximal qui a été estimé de 1.88 millions de tonnes et favorisé par une érosion active qui se manifeste par une dégradation spécifique élevée de l'ordre de 1000 t/km<sup>2</sup>/an a été engendré par un apport liquide de 161.5 Hm<sup>3</sup>.

Le plus faible transport de matière solide correspond au plus faible apport liquide marqués en (1989/90) avec 0.01 millions de tonnes et 10.4 Hm<sup>3</sup>.



**Figure IV. 9. Erosion spécifique estimée dans les deux bassins versants Isser et Mazafran**

En resituant nos résultats d'érosion spécifique du bassin versant de l'Isser et les comparants à ceux du mazafran. Pour la même période d'étude (1976/ 1995) la figure. IV.7. Montre que le bassin versant de l'Isser est représentatif d'un maximum d'érosion beaucoup plus élevé à celui du Mazafran avec 2071 tonnes /km<sup>2</sup>/an. Cependant les deux bassins représentent des dégradations spécifiques moyennes proches de 568 et 419 tonnes /km<sup>2</sup>/an respectivement, dû essentiellement à l'irrégularité des cours d'eau qui se superpose inversement à la dégradation spécifique.

### Des bilans d'érosion annuels très irréguliers

La différence de comportement morphologique et de fonctionnement hydrologique sont exprimés nettement par le rapport entre la valeur maximale de l'apport solide et celle la plus faible pour chacun des deux cours d'eau pour la même période tableau IV.6, témoignant de l'irrégularité des transferts en matière solide en suspension.

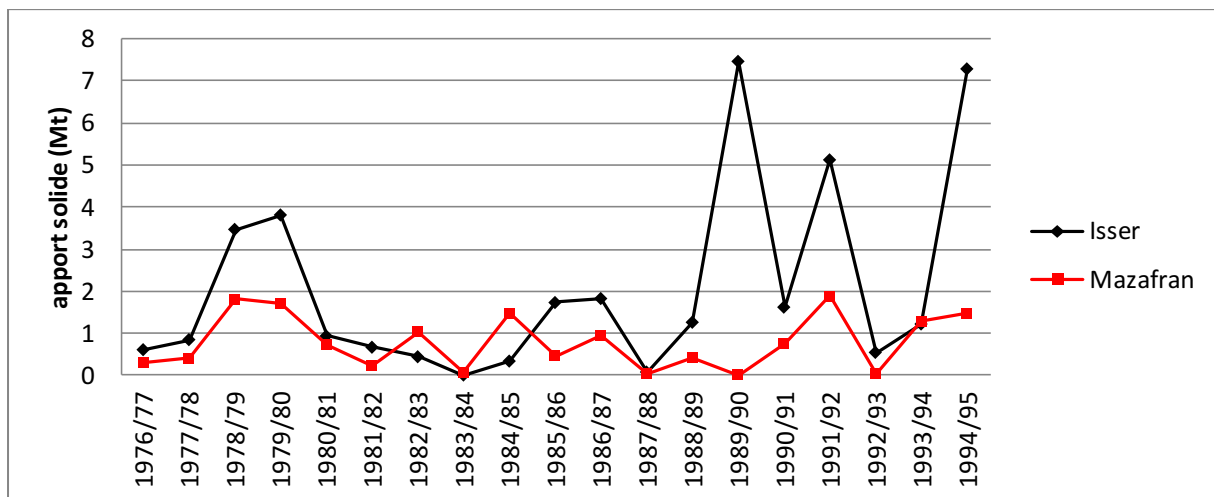


Figure. IV.10. les apports solides annuels des deux Oueds

Tableau. IV. 6. Coefficient de régularité des oueds Isser et Mazafran pour la période 1976/1995

Bassin	As min (MT)	As max (MT)	Coef de régularité de l'oued
Isser	0.012	7.463	0.001
Mazafran	0.013	1.883	0.007

Ce coefficient calculé montre une faible valeur pour les deux oueds, en effet sur la période d'étude, les apports solides sont caractérisés par une grande irrégularité surtout pour le bassin de l'Isser (0.001), cette dernière peut être mise en évidence dans le temps par le régime des précipitations, et dans l'espace par les formations lithologiques, la morphométrie et la couverture végétale de chaque bassin.

### IV.2.3. Conclusion sur le régime des transports sur les deux bassins versants :

Cette partie d'étude est fondée essentiellement sur une analyse graphique simple des données des apports liquides et les résultats obtenus sur les transports solides et les dégradations spécifiques. Cette analyse a reflété une différence des réponses traduites par chaque bassin versant, ceci nous a guidé à mieux cerner le phénomène complexe du transport solide.

-les différences de comportement érosif (charge solide) et du fonctionnement hydrologique (les apports liquides) sont exprimés nettement dans les deux bassins, cette différence fait apparaître l'influence spatiale sur le phénomène. C'est-à-dire la répartition des précipitations et les écoulements sur les bassins et par conséquent les sédiments transportés sont le produit d'une dynamique érosive qui peut affecter des zones d'apports limitées et pas obligatoirement la totalité du bassin.

En outre ; les taux de transport solide spécifique est plus important dans le bassin versant de l'Isser et plus irrégulier, ce dernier réunit beaucoup de conditions permanentes favorables à une morphogénèse intense, avec des roches tendres marneuses et argileuses situées en pente. Au regard des valeurs importantes des coefficients de torrentialité ainsi que la faible couverture végétale.

Enfin durant les périodes d'étude ; (1972/1999) pour l'Isser et (1974/1996) pour le Mazafran, les quantités de matières solides transportées sont estimées à 88 Mt pour l'Isser et 15 Mt respectivement. Au niveau du bassin versant de l'Isser une partie va être piégée par le barrage de Beni Amrane, situé en aval de la station hydrométrique. Pour le Mazafran, les apports solides de matières en suspension qui ont été mesurés de la station fer à cheval, vont être rejetés directement à la mer.

#### IV.2.4. Classement des deux oueds étudiés en fonction de leurs charges annuels transportées :

Les résultats présentés dans ce chapitre illustrent la complexité des processus érosifs hydriques. Ces derniers dépendent de caractères actifs (intensité de précipitation, etc.). En terme de risque, les caractères actifs peuvent être assimilés à l'aléa et les caractères passifs à une partie de vulnérabilité qu'il est possible de regrouper l'appellation de sensibilité à l'érosion. En effet, les milieux naturels réagissent différemment. Cette différence peut être manifestée par les oueds ; qui sont définis comme éléments caractéristiques principaux des transports solides qui reflètent l'état d'érosion des bassins.

En Algérie, le réseau hydrographique aboutissant à la mer compte environ 31 oueds, dont les plus importants sont les oueds Cheliff, Soummam, Mazafran, Sébaou, Isser, Seybouse, Tafna, El Kébir,.....ce réseau alimente le milieu marin en apports terrigènes. (**Grimes, 2004**).

Dans notre travail les résultats obtenus nous ont permis de comparer les deux bassins versants (Isser et Mazafran) entre eux. Mais pour classer les deux vecteurs en termes d'importance de charge solide transportée vers la mer, des recherches poussées sur l'érodabilité des sols, leur infiltrabilité et l'érosivité des pluies apporteraient des informations complémentaires permettant d'évaluer le transport solide par les différents cours d'eau.

**Bourouba en 2002**, dans une étude de synthèse a montré l'ampleur de ce fléau, tout en justifiant par la présentation des chiffres de dégradation spécifique dans le Nord de l'Algérie. Prenant en considération les superficies des bassins versants des stations hydrométriques, on a établi le tableau (IV.7) des apports solides en matière en suspension.

**Tableau. IV. 7. Valeurs maximales de l'érosion spécifique des plus importants bassins Nord Algérie**

Bassin versant	Tss (t/km <sup>2</sup> /an)	Superficie du bassin (km <sup>2</sup> )	As (t/an)
Tafna (16)	406	7245	2.941.470
Mazafran (0210, 11, 12)	1160	1900	2.204.000
Isser (09)	3990	4149	16.554.510
Soummam (15)	490	8420	4.125.800
Côtier constantinois (Djen Djen, 0304)	10375	530	5.498.750
Kébir Rhumel (10)	782	8111	6.342.802
Seybouse (14)	742	6471	4.801.482

Les bassins versants de l'Algérie septentrionale constituent un domaine méditerranéen particulièrement riche en formes d'érosion. La plupart des oueds algériens des bassins versants inscrits dans un relief jeune et accidenté où la diversité des terrains dépend d'une structure géologique très complexe. Les transports solides spécifiques (tableau IV.7) reflètent nettement l'érodabilité de chaque bassin versant. Ils permettent aussi la comparaison des oueds exoréiques en fonction de leur taux de flux sédimentaires.

De cette comparaison, il apparaît que dans l'ensemble, les bassins Isser et Mazafran sont parmi les plus dégradés (3990 et 1990 t/km<sup>2</sup>). Exceptionnellement pour les flux particuliers, il ressort que le maximum est atteint dans la zone de Djen Djen (côtier constantinois) avec 10375t/km<sup>2</sup>/an, dans laquelle la réunion d'une relative rareté du couvert végétal et des précipitations encore assez importantes présentent une situation particulièrement favorable à une très forte érosion.

Comme conséquence de ces dégradations, la part des sédiments qui se diverse annuellement dans la mer est ainsi contrôlée par la superficie drainée (tableau IV.7), les quantités de matière exportées en suspension sont toujours importante à énormes. La charge solide en suspension la plus élevée a été entraînée par l'oued Isser avec 16.5 Mt/ ans (Figure IV.9).

Parmi les oueds présentés le Mazafran entraîne vers la mer la moindre charge en matière solide expliquée par la taille de son bassin, en effet cette dernière sous tous les climats fait diminuer le transport solide spécifique.

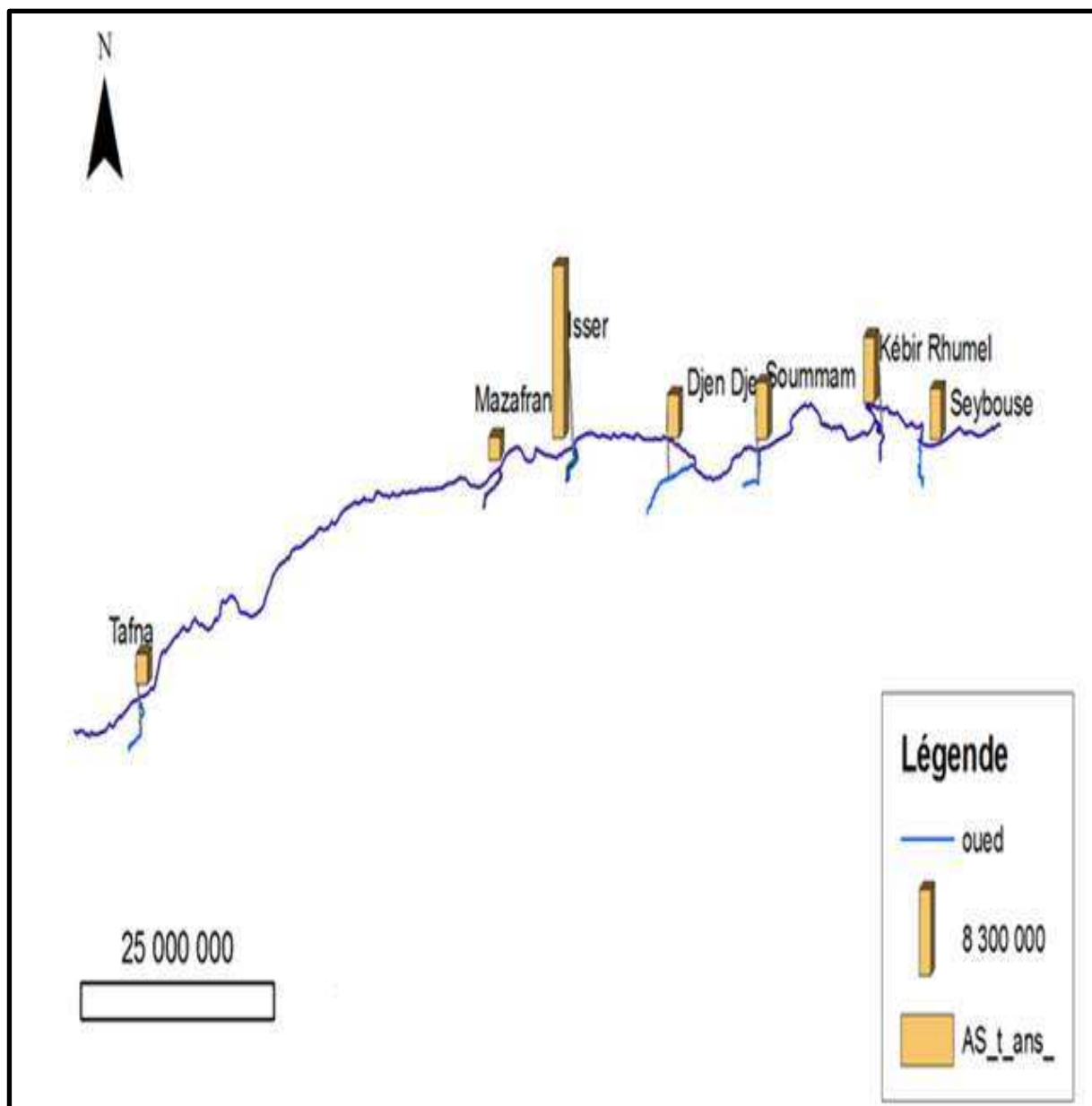


Figure .IV.11. Les apports solides des différents oueds exoréiques

## *Chapitre V*

*Répartition sédimentaire dans  
la baie de Zemmouri et la baie  
de Bou-Ismaïl*

L'étude de l'embouchure des cours d'eaux côtiers est un grand intérêt dans le domaine de l'environnement côtier. Ces zones intermédiaires entre les eaux douces et marines, jouent le rôle de filtre pour les apports des bassins versants. Ce sont des interfaces entre les milieux terrestre, atmosphérique et marin. Les cours d'eau, ou oueds peuvent transporter selon le débit, d'importance quantités de sédiments vers la mer.

La connaissance des paramètres relatifs aux bassins versants des deux oueds (Isser et Mazafran) à savoir le climat, la pluviométrie, les apports liquides et solides, peuvent permettre à caractériser le type de dépôts observés en milieu marin. L'érosion des formations du bassin versant de l'oued Isser a alimenté en matériaux détritiques la baie de Zemmouri ainsi l'oued Mazafran pour la baie de Bou-Ismaïl. Ces matériaux détritiques sont constitués : de sables, de silts et d'argiles.

## **V.1. Conditions climatiques sur le littoral à l'embouchure de l'Oued Isser et Mazafran**

### **V.1.1.Direction des vents**

#### **✓ Baie de Zemmouri :**

En période hivernale, les vents du secteur S à SW prédominent. On note par ailleurs une présence marquée des vents de direction W à NW. Les vents des autres secteurs sont négligeables. En mars et avril les vents du secteur E à SW disparaissent au profit des vents du secteur E à SE, ces mois servent à la transition de la période hivernale à la période estivale, néanmoins cette période est dominée par les vents du secteur W à NW.

En période estivale, les vents du secteur E à SE deviennent nettement dominants. Toutefois les vents du secteur W à NW demeurent encore présents (**Benslama, 2001**).

#### **✓ Baie de Bou Ismaïl :**

Les vents les plus fréquents sont de direction Ouest. La période hivernale est caractérisée par une dominance des vents d'Ouest. Lors de la saison estivale les vents les plus fréquents sont les vents d'Est. La vitesse des vents les plus fréquents est comprises entre 3 à 5 m/s. les vents les plus violents sont issus du secteur Ouest (**Bakalem, 2008**).

### **V.1.2. Les houles :**

Le régime des houles dans les deux baies selon Leclair (1972) est le suivant :

Les houles présentent des variations saisonnières très nettes :

\* en hiver, les houles dominantes sont de direction ouest et nord-ouest. Ces houles arrivent perpendiculairement à la côte et quelle que soit la morphologie de fonds elles engendrent seulement une remise en suspension des éléments fins du sédiment ;

\* en été, les houles dominantes sont de direction nord et nord-est. Ces houles ont une direction presque tangente à la côte, cela induit une dérive littorale de l'est vers l'ouest qui étale le sédiment sur le fond ou l'achemine vers les régions situées à l'ouest.

## **V.2. Morphologie et sédimentologie**

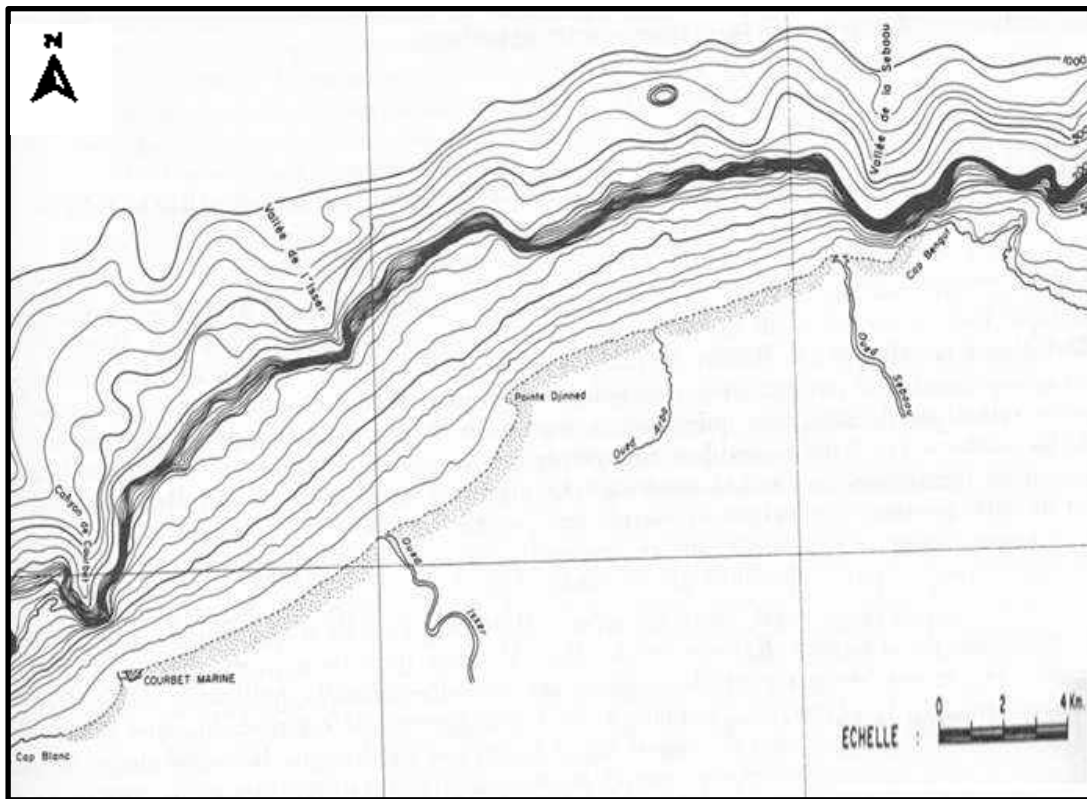
### **V.2.1. Morphologie**

#### **✓ Baie de Zemmouri :**

La carte bathymétrique établie par Leclair (1972) dans la baie de Zemmouri montre des isobathes parallèles au rivage et une topographie sous marine à pente douce, dépourvue de perturbations morphologiques du fond (figure V.1)

Au droit de l'embouchure de l'oued Isser le plateau continental présente une extension de 12,29 km du rivage, pour la ligne isobathe 100m.

De part et d'autre de l'oued Isser, le plateau continental est beaucoup plus réduit.

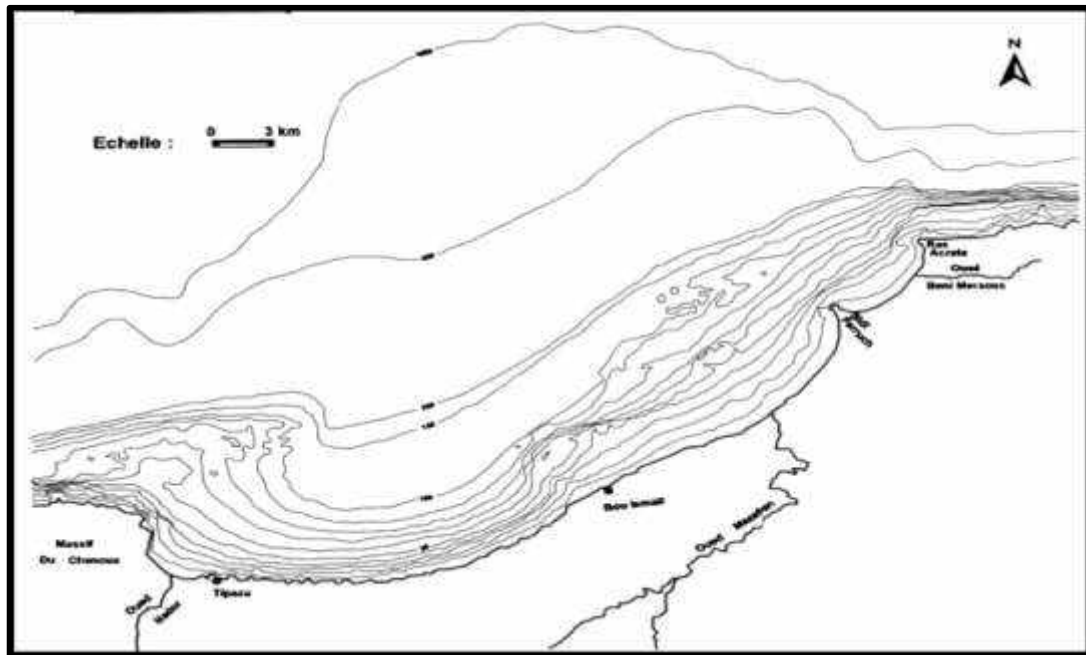


*Figure. V. 2. Topographie de la baie de Zemmouri (Leclaire, 1972)*

✓ **Baie de Bou Ismail :**

Le plateau continental est très étroit à proximité des massifs : 4 km en face du massif du Chenoua, moins de 2 km au droit du massif de La Bouzaréah. La marge continentale s'élargit au sein de la baie avec une extension maximale de 55 km. Le plateau continental a une largeur de 11 km au droit de l'embouchure du Mazafran.

Le plateau continental est en pente régulière et faible (environ 1%) ; sa déclivité augmente après la première rupture de pente (-120 m) marquant la limite de ce plateau, au-delà la décroissance est également régulière avec une pente plus forte (plus de 1%)



*Figure. V. 2. Topographie de la baie de Bou-Ismaïl (Leclaire, 1972)*

## V.2.2. Nature des sédiments et origine des dépôts

La détermination de la nature granulométrique des éléments transportés en suspension et la part des éléments (en %) permettent de mieux reconnaître l'origine des dépôts.

### V.2.2.1. Description lithologique des sédiments superficiels :

D'après les travaux de Bouhamadouche (2012) menés dans la Baie de Zemmouri, des analyses granulométriques des sédiments superficiels de la zone côtière orientale montre une couverture de sables fins et grossiers, des particules silto-argileuses, des silts et des minéraux argileux.

Pour la baie de Bou Ismaïl des recherches moins avancées ont montré la répartition des sables côtiers (Moufi, 1995). Les caractéristiques des sédiments superficiels en ce qui concerne la teneur en fraction péltique ont été rajoutées par les travaux de Anane et Dahmani, 1997.

### V.2.2.2. Répartition des faciès superficiels

- Répartition des sables :

La figure IV. 3. représente la répartition de la fraction sableuse dans le plateau continental de la zone orientale de la baie de Zemmouri. Cette répartition présente nettement un grain-classement décroissant de la côte vers le large. Il est assuré par les courants transversaux, qui déposent lors du déferlement les particules grossières près de la côte et au niveau de la plage sous marine peu profonde. Les particules fines sont transportées par les courants de retour perpendiculaires au rivage de la côte vers le large.

Les faibles teneurs semblent souligner la morphologie de canyon de Zemmouri

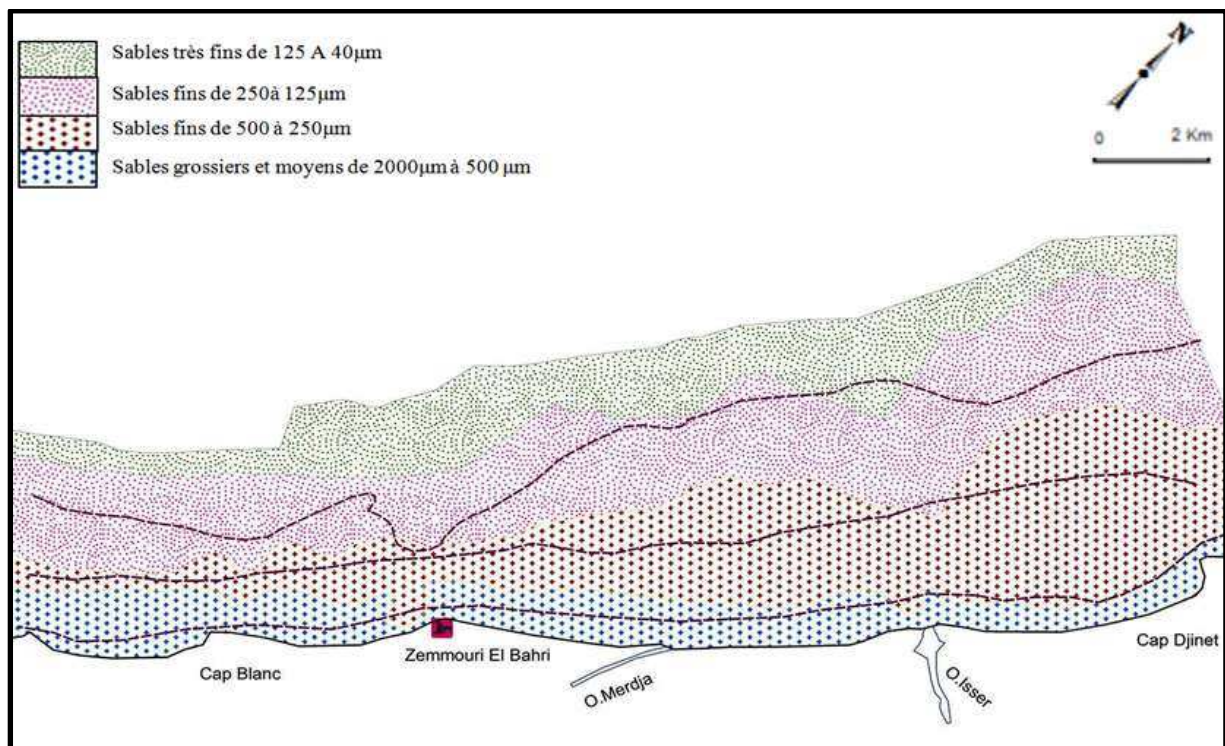
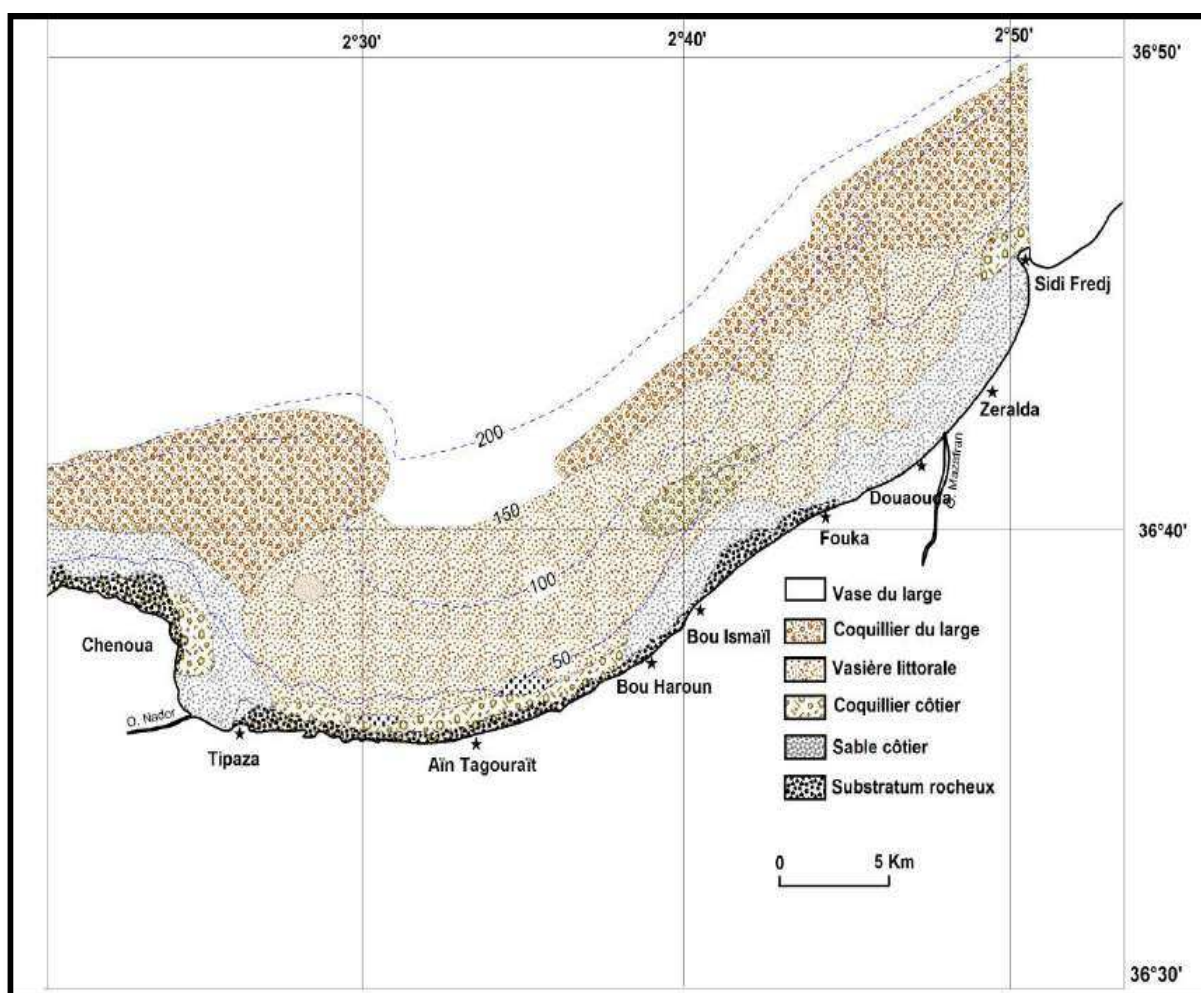


Figure. V.3. Carte des faciès sableux de la zone orientale du plateau continental de la baie de Zemmouri (Bouhamadouche, 2012 ; modifiée)

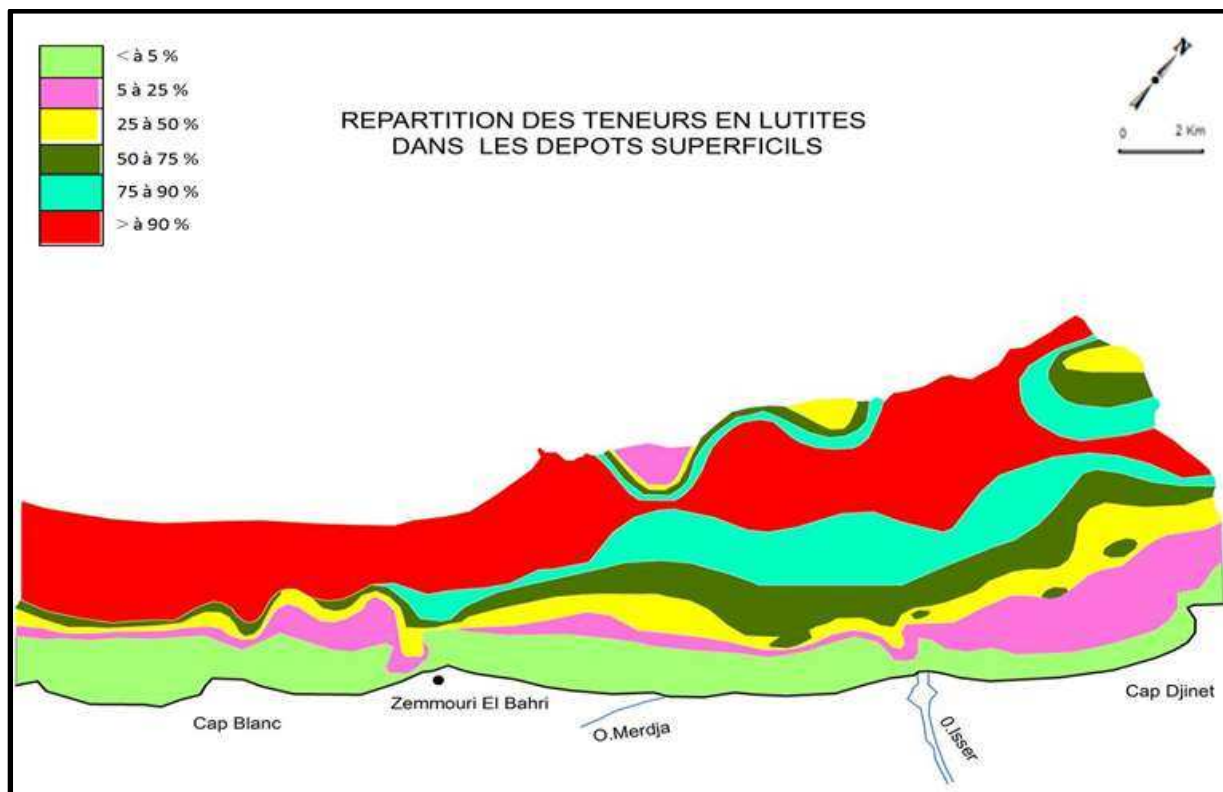
Pour la baie de Bou Ismail le faciès sableux est constitué de sables grossiers à fins localisés essentiellement près des côtes (sable côtier) notamment entre la pointe de Sidi-Fredj et Fouka Marine, zone d'embouchure du Mazafran responsable des apports terrigènes dans ce secteur de la baie. Ce type de sédiment est caractéristique d'un milieu infra littoral agité sous l'action permanente des houles et courants côtiers qui empêchent le dépôt de particules fines.



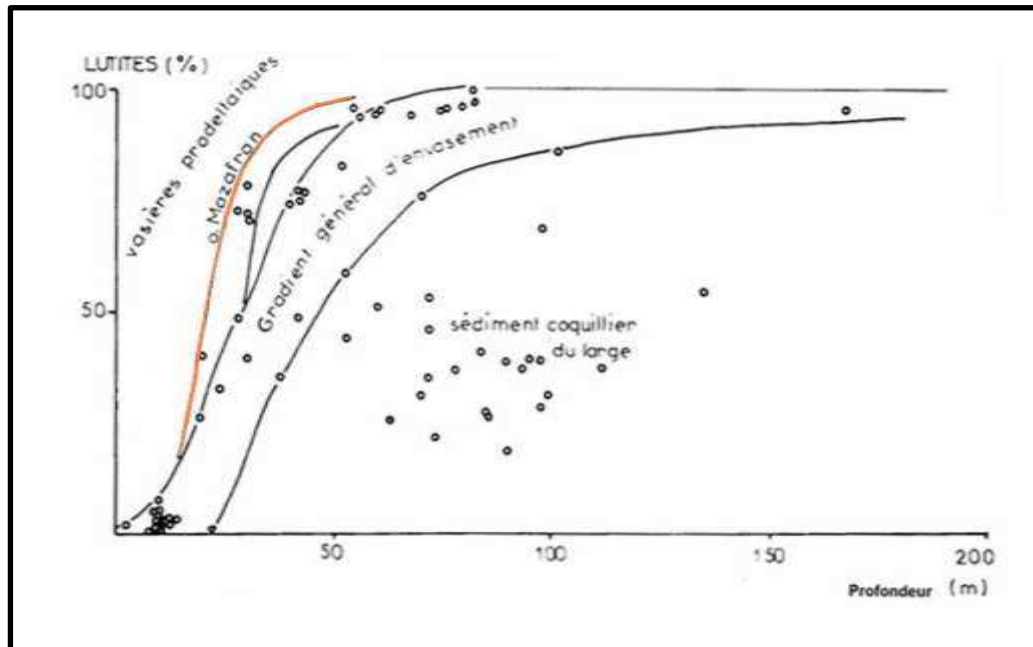
*Figure V. 4. Carte des faciès de la baie de Bou-Ismail (Moulfi, 2008).*

- Répartition des lutites

La fraction lutitique est bien représentée au sein de la partie orientale de la baie de Zemmouri au delà les 20 mètres (figure. IV.5), elle représente une évolution proportionnelle à la profondeur (Belkessa, 1991), ainsi sa répartition dans la partie orientale de la baie de Bou Ismail montre plusieurs plages d'envasements précoces situés principalement devant l'oued mazafran (Pauc et al, 1987). Le gradient d'envasement général souligne cette anomalie au droit de l'embouchure de l'oued mazafran (figure. IV. 6)

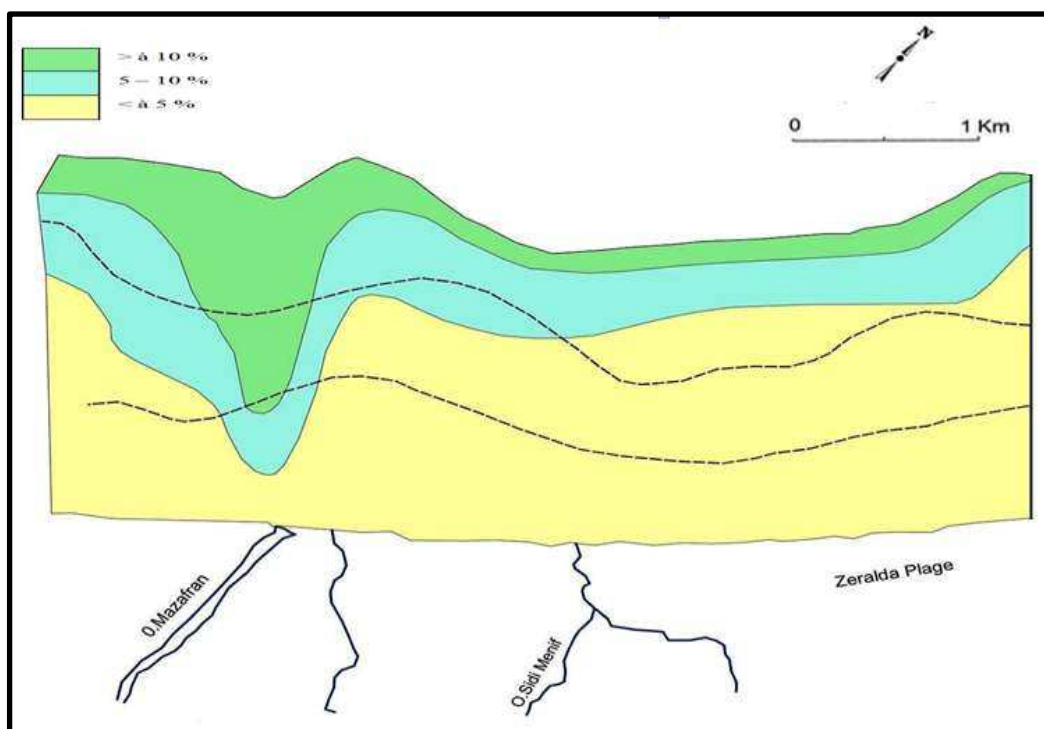


*Figure. V.5. carte de la répartition des lutites dans la zone orientale du plateau continental de la baie de Zemmouri (Bouhamadouche, 2012 ; modifiée)*



**Figure. V.6. Gradient d'envasement près de l'oued Mazafran (Pauc et al, 1987 ; modifié).**

Cet envasement est représenté par Anane et Dahmani (1997), par le rapprochement des lignes d'isoteneurs vers la côte devant l'embouchure du mazafran (figure. IV. 7) qui constitue la principale source d'apport de matériel détritique qui alimente la plage en pélites.



**Figure. V. 7. Carte de répartition des lutites (fraction inférieure à 40 µm) sur le littoral du Mazafran (Anane et Dahmani, 199 ; modifiée).**

A la limite du plateau continental Est de la baie de Zemmouri, on trouve une bande parallèle à la côte des isoteneurs faible en silts.

L'abondance en silt grossier s'étale seulement au delà de 50 mètres de profondeur et se concentre dans l'ouest.

Pour les silts fins les fortes teneurs marquent ainsi la zone de l'embouchure de l'Isser après les 10 mètres de profondeur, ce témoigne d'un dépôt par excès de charge, est une suite de la diminution de la compétence d'agent de transport (**Maanan, 2003**).

- **Répartition des argiles :**

La grande majorité des silts et argiles provient de l'érosion continentale. Ces matériaux fins sont généralement transportés en suspension par les cours d'eau et déposés dans des environnements calmes ; en effet la plaine côtière récente est représentée par un ensemble de vasières marines (argiles).

Les apports détritiques fins de l'oued mazafran constitue ce qu'on appelle la vasière littorale qui s'étale d'Est en Ouest dans la partie médiane de la baie de Bou Ismail, les vases du large occupent le plateau continental à partir de l'isobathe -150 m et s'étalent au delà sur la pente (**Foudil Bouras, 2012**)

Dans la partie étudiée de la baie de Zemmouri les argiles suivent sensiblement la même répartition que celle des lutites. Les fortes teneurs en argiles sont marquées par forts pourcentages en lutites (**Bouhamadouche, 2012**)

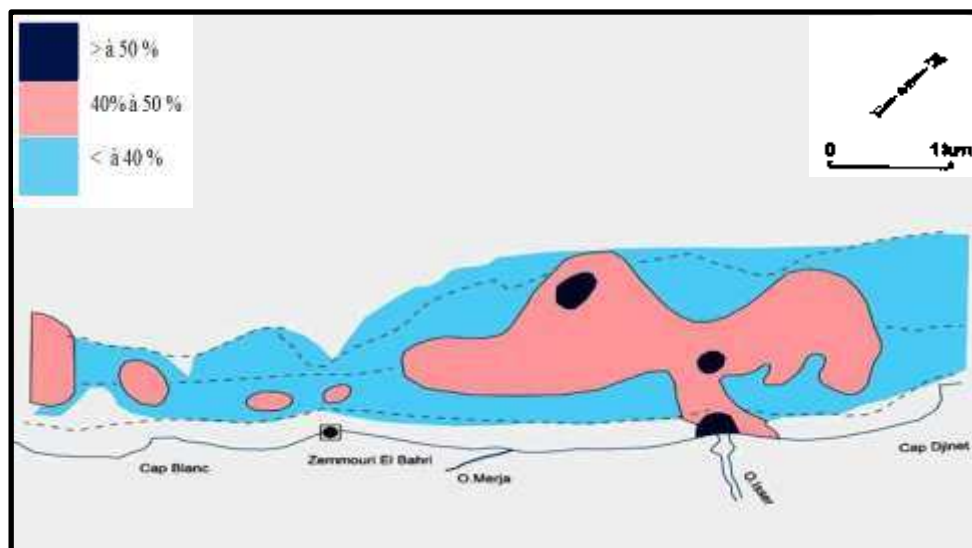
En fonction des roches mères et du climat, les minéraux argileux résultant sont différents. En climat froid : l'altération est faible, les minéraux argileux sont identiques ou peu différents des minéraux de la roche (illite et chlorite), ils sont hérités de la roche d'origine. En climat chaud et humide, l'hydrolyse est poussée, la kaolinite se forme en milieu drainé, les smectites en milieu confiné. En climat tempéré, humide, l'altération est modérée, il apparaît des interstratifiés, des illites et chlorites dégradées, de la vermiculite.

La répartition de ces minéraux sur le plateau continental Est de la baie de Zemmouri est significative, étant donné la présence des apports de l'oued Isser drainant des formations néogènes issus de son bassin versant.

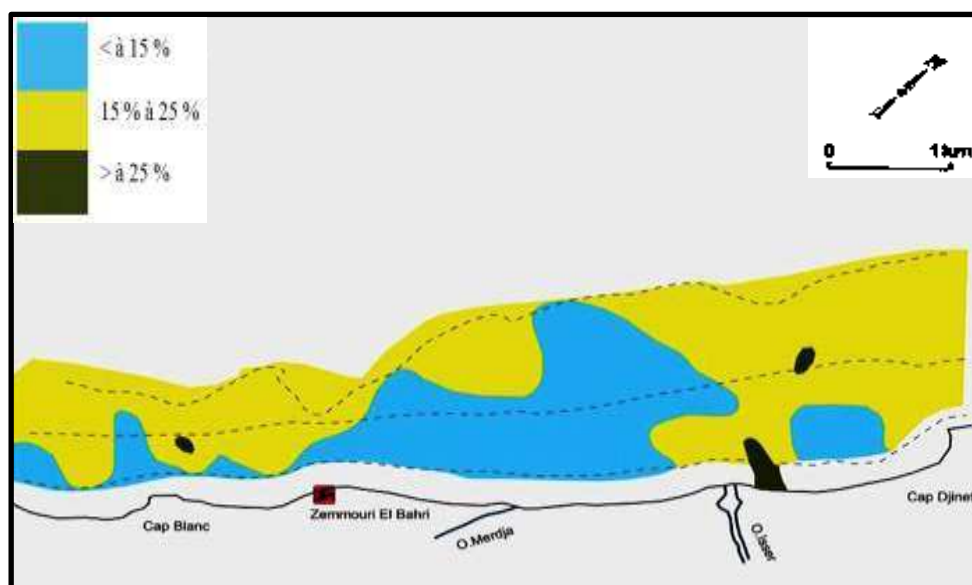
L'interprétation des cartes de la répartition des pourcentages de ces minéraux argileux (Figure. IV. 8) a conduit aux conclusions suivantes :

La kaolinite, héritée des formations géologiques du bassin Isser est présente dans tous les sédiments de la surface, sa forte présence est marquée avec une aréole à l'embouchure avec des pourcentages supérieurs à 50 %. Les plus fortes teneurs sont enregistrées dans l'axe médian de l'oued Isser et à proximité de son embouchure. Ce minéral est associé aux sédiments ayant un faciès typique de décantation (faible hydrodynamisme).

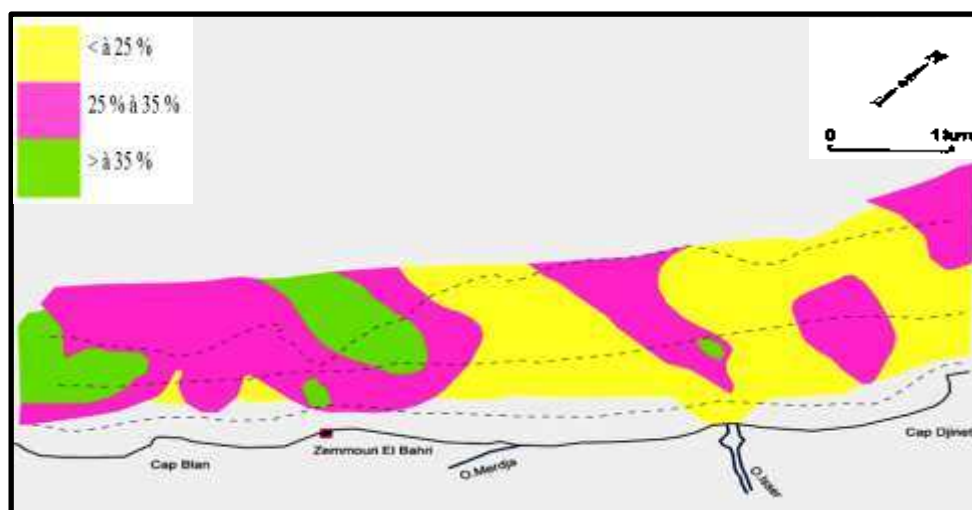
Les teneurs en chlorite selon la carte V.8.B sont minimales à faible et ne dépassent pas les 25 pour cent dans presque toute la zone de sédimentation de l'oued Isser. Pour l'illite elle se présente avec des pourcentages plus significatifs et marque l'axe de l'embouchure de l'oued et la zone occidentale (figure V.8.C).



A



B



C

Figure. V. 8. Répartition des minéraux argileux dans la zone orientale de la baie de Zemmouri, A= kaolinite, B= chlorite, c= illite (Bouhamadouche, 2012 ; modifiées)

## Conclusion

Dans l'ensemble, la synthèse de la répartition granulométrique et de la composition minéralogique de sédiment de surface traduit l'importance des apports terrigènes des mazafran et Isser. Cette répartition montre des spécificités pour chaque zone tant par les proportions des fractions que par la nature des minéraux. On se basant sur les données disponibles des cartes des différents faciès, l'analyse de la répartition dans l'espace des pourcentages des faciès présentés des deux zones surtout à proximité des embouchures montre l'importance des apports en matières solides présentée dans le chapitre précédent ainsi le faciès pélitique dans la baie de Zemmouri est beaucoup plus important atteignant des pourcentages supérieurs à 90% à l'isobathe -100 mètres.

Les argiles sont un constituant important des boues hémipélagiques. Les espèces minérales les plus abondantes sont l'illite, la kaolinite et la chlorite, sont également assez répandus. D'une manière générale, ces minéraux sont issus des terres émergées et reflètent de manière assez précise la nature des argiles compris dans les formations continentales superficielles.

Les processions argileuses issues de l'altération des différentes formations géologiques de la partie amont de l'Oued Isser sont caractérisées par la présence toujours majoritaire de kaolinite.

# *Conclusion générale*

## Conclusion générale

Au terme de cette étude, nous pensons avoir contribué à la connaissance des problèmes de transport solide en suspension en particulier dans les deux bassins versants d'oued Isser et Mazafran. On parvient aux conclusions suivantes :

Tout d'abord, en ce qui concerne la synthèse bibliographique et qui a traité les différents aspects relatifs au transport solide en suspension. Au travers de cette étude bibliographique nous avons donc pu nous rendre compte des connaissances acquises dans ce domaine. Mais des lacunes subsistent dans la connaissance des processus de transport solide. Il apparaît que le transport solide dans les cours d'eau ne correspond pas à une propriété facilement mesurable. Il est maintenant considéré comme une combinaison de réponses complexes influencées par les caractéristiques intrinsèques des sols et des variables extrinsèques environnementales (pluviométrie, lithologie, couvert végétal, pente).

Dans ce travail on a procédé à l'analyse des paramètres suivants:

- Les paramètres hydromorphométriques de base des deux bassins versants ; les paramètres physiographiques montrent que le bassin versant de l'Isser présente une forme assez allongée avec un  $K_c = 1.80$ , un relief fort, temps de concentration beaucoup plus important supérieur à 27 heures
- Modélisation débit liquide-débit solide ; l'aboutissement logique d'une analyse de données est la modélisation. Pour ce faire, nous avons orienté cette partie en fonction de la disponibilité de débits liquides et de mesures de concentrations en matières en suspension. La relation liant les débits liquides aux débits solides en suspension pour nos deux bassins versants est de type puissance de forme générale  $Q_s = a \cdot Q_l^b$   
Les modèles instantanés (totalité des données) montrent que les valeurs de paramètres  $a$  (0.53, 0.55) et  $b$  (1.54, 1.58) varie peu de l'Isser au Mazafran.  
Cette relation, nous a servi pour combler les lacunes d'observations et éventuellement étendre les séries courtes de débits solides.
- Erosion et transport solide, il ressort des estimations que l'action érosive est différente du Mazafran à l'Isser, en effet les dégradations spécifiques sont en général plus importantes dans l'Isser. Pour cette variabilité spatiale s'ajoute la variabilité temporelle et on enregistre une irrégularité importante des apports des deux oueds, principalement au niveau de l'oued Isser.

- En se fondant sur les travaux réalisés par Bourouba (2002), la comparaison des valeurs des dégradations spécifiques et des apports solides révèle une disparité spatiale du taux d'érosion. Cette disparité résulte principalement de la différence de lithologie, du couvert végétal, de la pente et de la taille des bassins. A cet égard les deux bassins étudiés sont classés parmi les plus érodés au nord algérien. Néanmoins pour les apports solides, le Mazafran transporte des quantités modérées de matière solide en suspension contrairement à l'Isser qui engendre la plus importante masse en charge solide.
- Une synthèse des données sédimentologiques pour permettre le suivi qualitative de la répartition des apports dans le domaine marin, les sédiments rencontrés dans la partie orientale de la baie de Zemmouri sont constitués de sables grossiers, moyens et fin, de silts et des argiles. Les faciès sédimentaires dans la baie de Bou Ismail étaient moins abondants présentés par des sables, fraction pélique et de la vase.

Enfin ;

La réalisation de ce travail depuis l'étude physiographique de base des bassins versants, le transport solide jusqu'à la phase synthétique de la sédimentation montre que :

Les caractéristiques climatiques, morphométriques et morphologiques diffèrent d'une région à une autre ou d'un bassin à un autre. Ces caractéristiques influent sur le degré d'érosion, la nature des apports solides et par conséquent les formations superficielles meubles dans la plate forme continentale.

# *Références bibliographiques*

**Achite M. et Meddi M., 2005.** Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi-aride. Cas du bassin versant de l'Oued Mina (Nord-Ouest Algérien). *Revue des sciences de l'eau*, 18: 37-56.

**Achite M. et Ouillon S., 2007.** Suspended sediment transport in a semiarid watershed, Wadi Abd, Algeria (1973–1995). *Journal of Hydrology*, 343, pp. 187–202.

**Ahamrouni J., 1996.** Erosion hydrique dans le bassin versant de la Moulouya (Maroc oriental), recherche des zones sources d'envasement de la retenue du barrage Mohamed V. *doctorat de 3<sup>e</sup> cycle, université de Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 190p.*

**Ammari A., 2012.** Vulnérabilité à l'envasement des barrages (cas du bassin hydrographique des côtiers algérois). *Thèse de doctorat en sciences hydrauliques, université Mohamed Khider-Biskra. 172p.*

**Anane T. et Dahmani A., 1997.** La dynamique sédimentaire dans la zone côtière du Mazafran a Palm-Beach (Ouest Algérois) : relation morphologie- sédimentologie. *Mémoire D'ingénieur en Géologie Marine, USTHB, 82 p.*

**Antipolis S., 2003.** Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens. Etude bibliographique. *Plan Bleu. Centre d'activités régionales, 70 p.*

**Arabi M. et Roose E., 1989.** Influence du système de production et du sol sur l'érosion et le ruissellement en nappe en milieu montagnard méditerranéen (station de Ouzera). *Bulletin Réseau Erosion N°, IRD, Montpellier (France).*

**Bakalem A., 2008.** Contribution à l'étude des peuplements benthiques du plateau continental algérien. *Thèse de doctorat en océanographie, USTHB, Algérie, 583p.*

**Baloul D., 2012.** Développement, interprétation et évaluation de la précision de la relation entre concentration des sédiments en suspension et le débit liquide, étude de cas : sous bassin versant de l'oued Tafna et d'oued Isser. *Mémoire de magister, université de Tlemcen. 125P.*

**Belkessa R., 1991.** Evolution géomorphologique et sédimentologique du bas Isser et de son embouchure. *Thèse de magister en géomorphologie et aménagement des côtes, ISMAL, Algérie, 148p.*

**Benkhadra H., 1997.** Battance, ruissellement et érosion diffuse sur les sols limoneux cultivés-Déterminisme et transfert d'échelle de la parcelle au petit bassin versant. *Thèse de Doctorat de l'université d'Orléans, France.*

**Benslama H., 2001.** Apports détritiques de l'oued Isser et rôle du canyon d'Alger dans la dynamique des sédiments du plateau continental de la baie de Zemmouri El Bahri, *Mémoire de Magister, USTHB, Algérie, 107p.*

**Boiffin J., 1984.** La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. *Thèse pour le titre de Docteur ingénieur, Sciences Agronomiques, INA-PG, Paris Grignon, 320 p.*

**Bou Kheir R., Girard M-Cl., Khawlie M. ET Abadallah C., 2001.** Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens. *Une revue bibliographique, Etude et Gestion des Sols Volume 8, 4, 2001-Pp 231-245.*

**Bouanani A., 2004.** Hydrologie, Transport solide et Modélisation: Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie). *Thèse de doctorat d'état en géologie appliquée, Université de Tlemcen, 250 p.*

**Bouhamadouche M., 2012.** Contribution à l'étude géologique et sédimentologique de la grande baie de Zemmouri (Cap-Matifou Cap-Djinet). *Thèse de docteur d'état en géologie marine, USTHB, Algérie, 151p.*

**Bourouba M., 2002.** Comparaison de la charge solide en suspension dans les oueds Algériens: Essai de synthèse. *Bulletin réseau Erosion 21, IRD Montpellier (France), 358-374.*

**Bravard J P. et Pettit F., 2000.** Les cours d'eau : dynamique du système fluvial. *Paris Colin, 2e édition, 222 p.*

**Campbell I A., 1977.** Stream discharge, suspended sediment and erosion rates in the Red Deer river basin, *Alberta, Canada, 244-259.*

**Chebbani R., Djilli K. et Roose E., 1999.** Étude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser. *Bull. ORSTOM, Rés. Eros., 19, 85-95.*

**Cheggour A., 2008.** Mesures de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales dans un bassin montagneux semi-aride et spatialisé par des S.I.G : application au bassin versant de la rhéraya, Maroc. *Thèse de docteur en géologie, faculté de Marrakech, Maroc, 186p.*

**Chow Ven T., 1964.** Handbook of Applied Hydrology. *McGraw-Hill Book Co., Inc. Toronto.*

**Daoui S. et Taouami S., 1998.** Sédimentologie et minéralogie de la fraction fine dans le bassin versant de l'Isser et la baie de Zemmouri. *Mémoire d'ingénieur d'état en géologie, USTHB, 83P.*

**Demmak A., 1982.** Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en suspension en Algérie septentrionale. *Thèse de docteur-Ingénieur, Univ Paris IV, France. Faculté des Sciences de Pans. 302 p.*

**Demmak A., 1984.** Recherche d'une relation empirique entre apports solides spécifiques et paramètres physico-climatiques des bassins: application au cas Algérien. *Challenges in African hydrology and water resources, IAHS pub, 144: 403-414.*

**El Mahi A., Meddi M. et Bravard J-P., 2012.** Analyse du transport solide en suspension dans le bassin versant de l'Oued El Hammam (Algérie du Nord). *Hydrological Sciences Journal, 57:8, 1642-1661*

**Foudil Bouras A., 2012.** Approche géochimique d'un hydrosystème côtier algérois : transfert de matière organique de l'oued Mazafran vers la baie de Bou-Ismaïl. *Thèse de doctorat d'état, USTHB, Algérie, 175P.*

**Fournier F., 1960.** Climat et érosion. La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. *Presse universitaire de France, Paris, 197 p*

**Ghenim A., 2008.** Etude des écoulements et des transports solides dans les régions semi-arides méditerranéennes. *Thèse de Doctorat, université de Tlemcen, 134 p.*

**Giordano A. et Marchisio C., 1992.** Analysis and Correlation of Soil erosion Maps in the Mediterranean Basin. *Quaderni di Scienza del Suolo No.4 CNR. Firenze*

**Graf W H., 1971.** Hydraulics of sediment transport. *Mc Graw-Hill Book Company.*

**Gratiot N., 2010.** Impact des sédiments cohésifs sur l'écosystème. *Habilitation à diriger des recherches école doctorale terre univers environnemen, Chargé de recherches à l'IRD LTHE (UMR 5564), Equipe river CERMO. Grenoble Cedex 9, 92 p.*

**Grégoire C., 2004.** Cours de l'hydrologie de surface. *Cours de l'ENGEES.*

**Grimes S., 2004.** Biodiversité marine et littorale Algérienne. *Edition : Aldjazair, Alger, 362P.*

**Hamza A., 1992.** Quantification des pertes en terre du territoire tunisien. *Bull. Réseau Erosion 13: 188-192.*

**Henin S. et Gobillot., 1950.** L'érosion par l'eau en France métropolitaine. *CR. Acad. Sci. Série D. vol. 230. pp. 128130.*

**Heusch B., 1970.** L'érosion du Pré Rif occidental : une étude quantitative de l'érosion hydrique. *Ann de la Recherche Forestière du Maroc 12 : 9-176.*

**Hug M., 1975.** Mécanique des fluides appliquée aux problèmes d'aménagement et d'énergétique. *Eyrolles. Paris, 1195 p.*

**Kankpénandja L., Tchalaré B. et Badamélik., 2012.** Flux de matières solides en suspension dans des paysages dégradés sous climat Sud-Soudanien au nord du Togo et du Bénin : l'exemple des rivières Kara et Kéran. *Regards scientifiques croisés sur le changement global et le développement - Langue, environnement, culture : Actes du Colloque international de Ouagadougou, 125-141.*

**Khanchoul K. et Jansson M B., 2008.** Sediment rating curves developed on stage and seasonal means in discharge classes for the mellah wadi, algeria. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography Volume 90, Issue 3, pages 227–236.*

**Kouri L. et Vogt H., 1996.** Détermination de la sensibilité des terrains marneux au ravinement au moyen de SIG: le cas du bassin versant de l'oued Mina (Tell oranais). *Bulletin de l'ORSTOM 16, 412 - 438.*

**Laouina A., 1998,** L'environnement des montagnes du Nord : atouts, contraintes et processus de dégradation. *Le développement du Maroc Septentrional, Points de Vue de Géographes, Nahost und Nordafrika, p. 15-59*

**Laouina A., Chaker M., Naciri R. et Nafaa R., 1993.** L'érosion anthropique en pays méditerranéen, le cas du Maroc Septentrional. *Bull. Assoc. Des géographes français, N° 5.*

**Layan B., Dridi A., Benaabidate L. et Zemzami M., 2012.** Détermination des crues de projet par les aspects du débit de pointe et de l'hydrogramme de crue au niveau de la commune Ain Boukhellal, bassin versant de l'oued Larbaa, Maroc. *European scientific journal, December edition vol. 8, No. 29.*

**Le Bissonnais Y., 1988.** Analyse des mécanismes de désagrégation et de mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies. Thèse *de doctorat, Université d'Orléans, France.*

**Le Bissonnais Y., 1996.** Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Eur J Soil Sci* ; 47 : 425-37.

**Leclaire L., 1972.** La sédimentation holocène sur le versant Méridional du bassin Algéro-Baléares (Précontinent Algérien). *Tome XXIV. Edition de Muséum, Paris, France, 391 P.*

**Lekfir A., Benkaci Ali T. et Dechmi N., 2006.** Quantification du transport solide par la technique floue, application au barrage de Beni Amrane (Algérie). *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science Volume 19, numéro 3, p. 247-257*

**Maanan M., 2003.** Etude sédimentologique du remplissage de la lagune de sidi moussa (côte atlantique marocaine) caractérisations granulométrique, minéralogique et géochimique. *Thèse de Doctorat en Géologie, université de Chouiab Doukkali, Maroc, 144p.*

**Mancer N T., 1999.** Contribution à la cartographie hydrogéologique de la plaine alluviale de l'oued Isser (Tronçon : Kadiria- Embouchure). *Mémoire de Magister, USTHB, Algérie, 141p.*

**Meddi M., 1992.** Hydro pluviométrie et transport solide dans le bassin versant de l'oued Mina Algérie. *Thèse de Doctorat, Uni.. Louis-Pasteur, Strasbourg, France, 390 p.*

**Meddi M., 1999.** Etude du transport solide dans le bassin versant de l'oued Ebda (Algérie). *Zeitschrift für geomorphologie, 43,167-183.*

**Megnounif A., Terfous A. et Bouanani A., 2000.** Etude du transport solide dans l'Oued Mouilah (Nord-Ouest Algérien). *Colloque Méditerranéen Eau-Environnement (Alger), 128-132.*

**Megnounif A., Terfous A. et Bouanani A., 2003.** Production et transport des matières en suspension dans le bassin versant de la Haute-Tafna (Nord-Ouest Algérien). *Revue des sciences de l'eau, 16 (3): 369-380.*

**Meguenni K. et Remini B., 2008.** Evaluation du débit solide dans le bassin versant de Harreza (Algerie). *Larhyss journal, 7: 7-19.*

**Messaoud Nacer N., 1987.** Hydrologie et pollution des eaux, exemple du bassin versant du Mazafran, Mitidja (Algérie). *Thèse de Docteur-Ingénieur, université de Grenoble, 215p.*

**Moulfi A., 1995.** Les mécanismes de sédimentation récente et les propriétés géotechniques des dépôts de la partie occidentale de la baie de Bou Ismail. *Thèse de Magister, IST/USTHB, Alger. 187 p.*

**Moulfi L. 2008.** Etude des foraminifères benthiques actuels de la marge continentale de la Méditerranée occidentale. *Thèse d'Etat en géologie marine, FSTGA, USTHB, 174 p.*

**Pauc H. et Ait-Kaci D., 1987.** La sédimentation en baie de Bou-Ismaïl et les apports en suspension de l'oued Mazafran (Algérie) – Variations saisonnières. *Géologie Méditerranéenne Tome XIV, n°3 pp, 175-179.*

**Probst J L. et Amiotte Suchet P., 1992.** Fluvial Sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa). *Journal des Sciences Hydrologiques. 37.6.12: 621-637.*

**Probst J L. et Bazerbachi A., 1986.** Transports en solution et en suspension par la Garonne supérieure. *Sci. Géol. Bull. 39(1) : 79-98.*

**Probst J L. et Amiotte Suchet P., 1992.** Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb. *Hydro. Sci. J. 37(6), pp: 621-637.*

**Remy J-C. et Le Bissonais Y., 1998.** Comparaison des phénomènes d'érosion entre le nord et le sud de l'Europe : ampleur des phénomènes et nature des mécanismes. *Colloque : l'eau et la fertilité des sols. Deux ressources à gérer ensemble. Bulletin réseau érosion, 18, pp. 15-31.*

**Roche M., 1963.** Hydrologie de surface Gauthier villars. *Édit Paris, 430 p.*

**Roose E., 1991.** Conservation des sols en zones méditerranéennes synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de lutte antiérosive. *Cah Orstom, sér. Pédol., XXVI (2): 145-181.*

**Roose E., Chebbani R. et Bourougaa L., 1999.** Ravinement en Algérie: Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. *Bull. Réseau Erosion n°19. 17 p*

**Roose E., De Noni G. et Lamachère J.M., 1998.** L'érosion à l'ORSTOM: 40 ans de recherches multidisciplinaires. *Bulletin Réseau Erosion, 1998, p. 54-66.*

**Ruiz Figueroa J F., 1983.** Les micro-organisations pelliculaires superficielles formées sous pluie simulée sur des sols ferrallitiques des savanes (centre nord de la Côte d'Ivoire). Comportement hydrodynamique et mécanique de ces pellicules de battance en relation avec la

texture, la couverture du sol, et la levée du riz pluvial. *Thèse de docteur ingénieur, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 167p.*

**Sogreah., 1983.** Erosion et transport solide au Maghreb. Analyse bibliographique. *Rap. Proj. RAB/80/011/PNUD.*

**Strahler A N., 1952.** Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin, vol. 63, n° 11, p. 1117-1143.*

**Terfous A., Megnounif A. et Bouanani A., 2001.** Etude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord Ouest Algérien). *Revue des sciences de l'eau, 14 (2): 173- 185.*

**Tixeront J., 1960.** Débit solide des cours d'eau en Algérie et en Tunisie. *In IAHS Publ., 53 : 26-42.*

**Topraksu Koyisleri ve Kooperatifler Bakanligi., 1981.** Erosion map of Turkey. *Harita Mdrİlgnde Hazınranmis ve Basılmistir.*

**Touabia B., Aidaoui A., Gomer Dieter. et Achite M., 2001.** Quantification et variabilité de l'écoulement solide en zone semi aride, de l'Algérie du Nord. *Revue des sciences hydrologiques, 46(1), pp : 41-53.*

**Touaïbia B., 2004.** Manuel Pratique d'Hydrologie. *Edition Madani. Blida. Algérie.176p.*

**Van Rijn L., 1984.** Sediment transport, part II, suspended load transport. *Journal of hydraulic engineering, v. 110, p. 1613-1641.*

**Wischmeier W H. et Smith D D., 1978.** Predicting Rainfall Erosion Losses, a Guide to Conservation Planning. *Agr. Handbook, n° 537. Washington (DC): USDA, 58 p.*

**Xiaoqing Y., 2003.** Manual of sediment management and measurement. *World meteorological organization operational, Geneva. Switzerland, 948: 159 p.*