

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Hassiba Benbouali de Chlef
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques et Biotechnologie



THÈSE

Présentée pour l'obtention du diplôme de
DOCTORAT EN SCIENCES

Spécialité : Sciences Agronomiques

Par
BALLAH Abderrahmane
Thème :

**Etude de l'érosion hydrique et du transport solide en suspension
du bassin versant du côtier Algérois, nord-centre Algérie.**

Soutenue le 20/03/2023, devant le jury composé de :

Adda ABABOU	Professeur	Université Hassiba Benbouali - Chlef	Président
Mohammed ACHITE	Professeur	Université Hassiba Benbouali - Chlef	Directeur de thèse
Saaed Abdel Emir HAMOUDI	Professeur	Université Hassiba Benbouali - Chlef	Examineur
Abderazzak BOUANANI	Professeur	Université Aboubekr Belkaid - Tlemcen	Examineur
Taha Hocine DEBIECHE	Professeur	Université Mohamed Seddik Benyahia - Jijel	Examineur
Hassan Noureddine BENFETTA	Professeur	Université Abdelhamid Ibn Badis -Mostaganem	Examineur

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ أَلَمْ تَرَوْا أَنَّ اللَّهَ سَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي السَّمَاوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ وَأَسْبَغَ عَلَيْكُمْ نِعْمَهُ ظَاهِرَةً وَبَاطِنَةً

وَمِنَ النَّاسِ مَن يُجَادِلُ فِي اللَّهِ بِغَيْرِ عِلْمٍ وَلَا هُدًى وَلَا كِتَابٍ مُّنِيرٍ ﴿

سورة لقمان: الآية 20

دراسة انجراف التربة ونقل الرواسب في الحوض الهيدروغرافي لساحل الجزائر العاصمة شمال وسط الجزائر

الملخص:

إن انجراف التربة هي المصدر الرئيسي لتدهور التربة في مناطق البحر الأبيض المتوسط. ترتبط هذه الظاهرة التي تؤثر على التربة والموارد المائية للأحواض الجزائرية بالعديد من العوامل. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تحديد كمية التعرية وتقييم انتقال المواد الصلبة بالحوض الهيدروغرافي للساحل الجزائري (11958 كم²) بجوار المحطات الهيدرومترية المدروسة. تحت السطحي المتوسط للحوض الهيدروغرافي للمحطات الهيدرومترية بتطبيق النموذج (منحى معدل الترسيبات) افضى الى النتائج الآتية: وادي بغلية (149,78 طن/كم²/سنة) ، وادي الحراش (459,80 طن/كم²/سنة) ، واد مازافران (824,51 طن/كم²/سنة) ، واد بورومي (413,19 طن/كم²/سنة) ، واد بالله (246,88 طن / كم² / سنة) وواد علالة (1108,17 طن/كم²/سنة). هذا التدهور سببه بعض الظروف مثل تضاريس الأرض، الانقطاع المكاني للغطاء النباتي وعدم انتظام الهطول المكاني والزمني للأمطار. تم تطوير نماذج بين نقل الرواسب وعوامل هذه الظاهرة (معامل الجريان السطحي والمعامل الهيدروليكي) التي يمكن استخدامها لتقدير كميتها في حالة عدم وجود بيانات عن تركيزات المواد الراسبة العالقة. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن نموذج القدرة يعطي علاقة جيدة جداً بين المتغيرات المختلفة وامتصاص المواد المترسبة مع معامل ارتباط يتراوح بين 0.64 و0.98 للنماذج المحتفظ بها بين الرواسب والمعامل الهيدروليكي و معامل التحديد يتفاوت بين 0.70 و0.93 للنماذج المحتجزة بين المساهمة الرسوبية ومعامل الجريان السطحي لمنطقة دراستنا.

مفتاح الكلمات:

انجراف التربة - نقل الرواسب - نموذج - الحوض الهيدروغرافي- ساحل الجزائر العاصمة -منحى معدل الترسيبات - الجزائر

Study of soil erosion and sediment yield of the Algerian coastal basin, north-central Algeria.

Abstract:

Soil erosion is the main source of soil degradation in the Mediterranean regions. This phenomenon, which affects the soil and water resources of the Algerian basins, is linked to many interacting factors. The main objective of this work is to quantify water erosion and to evaluate the sediment transport in the suspension of the basin of the Algerian Coastal (11958 km²) to the rights of the hydrometric stations studied. The specific degradation of the basin to the right of the hydrometric stations by the application of the Sediment Rating Curve (SRC) model gave for Wadi Baghlia (Ds = 149.78 t/km²/year), Wadi El-Harrach (Ds = 459.80 t/km²/year), Wadi Mazafran (Ds = 824.51 t/km²/year), Wadi Bouroumi (Ds = 413.19 t/km²/year), Wadi Bellah (Ds = 246.88 t/km²/year) and Wadi Allalah (Ds = 1108.17 t/km²/year). Certain conditions on the ground such as the terrain's topography, the vegetation cover's spatial discontinuity and the spatio-temporal irregularity of precipitation, favor this degradation. The models developed between solid transport and the parameters conditioning this phenomenon (the flow coefficient and the hydraulicity coefficient) can be used to estimate sediment transport without data on suspended sediment concentrations. The results obtained show that the power model gives a very good correlation between the different parameters and the sediment input with a correlation coefficient that varies between 0,64 and 0,98 for the models selected between the sediment input and the hydraulicity coefficient and an R² varies between 0,70 and 0,93 for the chosen models between the sediment input and the flow coefficient for our study area.

Keywords: Soil erosion - Sediment transport - Model - Algerian coastal basin - Sediment Rating Curve – Algeria.

Etude de l'érosion hydrique et du transport solide en suspension du bassin versant du côtier Algérois, nord-centre Algérie.

Résumé :

L'érosion hydrique est la principale source de dégradation des sols dans les régions méditerranéennes. Ce phénomène, qui affecte les ressources en sol et en eau des bassins en Algérie, est lié à de nombreux facteurs qui s'interagissent. Le présent travail a pour objectif principal de quantifier l'érosion hydrique et d'évaluer le transport solide en suspension du bassin versant du Côtier Algérois (11958 km²) au droit des stations hydrométriques étudiées. La dégradation spécifique (DS) du bassin versant au droit des stations hydrométriques par l'application de modèle Sediment Rating Curve (SRC) a donnée pour Oued Baghlia (Ds = 149,78 t/km²/an), Oued El-Harrach (Ds = 459,80 t/km²/an), Oued Mazafran (Ds = 824,51 t/km²/an), Oued Bouroumi (Ds = 413,19 t/km²/an), Oued Bellah (Ds = 246,88 t/km²/an) et Oued Allalah (Ds = 1108,17 t/km²/an). Certaines conditions de terrain, telles que la topographie du terrain, la discontinuité spatiale du couvert végétal et l'irrégularité spatio-temporelle des précipitations, favorisent cette dégradation. Les modèles développés entre le transport solide et les paramètres conditionnant ce phénomène (le coefficient d'écoulement et le coefficient d'hydraulicité) pouvant être utilisés pour l'estimation du transport solide en cas d'absence de données sur les concentrations des matières en suspension. Les résultats obtenus montrent que le modèle puissance révèle une très bonne corrélation entre les différents paramètres et l'apport solide avec un coefficient de corrélation qui varie entre **0,64** et **0,98** pour les modèles retenues entre l'apport solide et le coefficient d'hydraulicité et un coefficient de détermination qui varie entre **0,70** et **0,93** pour les modèles retenues entre l'apport solide et le coefficient d'écoulement pour notre zone d'étude.

Mots clés : Erosion hydrique - Transport solide – Modèle - bassin versant du Côtier Algérois - Courbe d'évaluation des sédiments - Algérie.

❧ *Dédicaces* ❧

Je dédie ce modeste travail à tous ceux que j'aime mais surtout :

Aux êtres les plus chers sur cette terre : ma mère et mon père à qui je dois un grand respect et amour que dieu tout puissant les bénissent et me les gardes en parfaite santé ;

Aux âmes nobles de ma grand-mère maternelle, que dieu leur soit clément ;

- ♣ A ma Femme ;
- ♣ A mes chers frères ;
- ♣ A toute ma famille ;
- ♣ A tous mes amis sans exception ;
- ♣ A chaque fois qu'on achève une étape importante dans notre vie, on fait une pose pour regarder en arrière et se rappeler toutes ces personnes qui ont partagées avec nous tous les bons moments de notre existence. Ces personnes qui nous ont aidées sans le leur dire, soutenus sans réserve, aimé sans compter, ces personnes à qui notre bonheur devient directement le leur, à qui un malheur en nous, en eux se transforme en pleur.

A tous ceux qui ont aidé à la réalisation de ce travail

(Dr. TOUBAL Abderrezak Kamel et Mr Bouhraira Abdelhak).

REMERCIEMENTS

« Je remercie Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience pour accomplir ce modeste travail ».

Au terme de ce modeste travail je tiens un vif remerciement et gratitude à mon directeur de thèse **le professeur ACHITE Mohammed**, pour ces conseils et ses orientations judicieuses et précieuses qui nous ont été infiniment utiles le long de ce travail.

Un vif remerciement et gratitude à mon collègue le **docteur Toubal Abderrezak Kamel**, pour ces conseils et ses orientations judicieuses et précieuses qui nous ont été infiniment utiles le long de ce travail.

Le professeur Adda ABABOU, Université Hassiba Ben Bouali de Chlef, a assuré la présidence du jury. Vous m'honorez en présidant ce jury et en évaluant mon travail. Merci pour votre temps, et veuillez accepter ma sincère gratitude et mon respect comme preuve.

Mes remerciements s'adressent aussi aux membres du jury :

Le professeur Saaed Abdel Emir HAMOUDI, Université Hassiba Ben Bouali - Chlef ;

Le professeur Abderazzak BOUANANI ; Université Aboubekr Belkaid – Tlemcen ;

Le professeur Taha Hocine DEBIECHE ; Université Mohamed Seddik Benyahia – Jijel ;

Le professeur Hassan Noureddine BENFETTA ; Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem;

Je vous remercie d'avoir pris le temps de lire ce modeste ouvrage ; vous avez mon respect et ma gratitude sans partage.

Je remercie également tout le personnel de l'agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H) de Blida et Alger en particulier **Mr. Imessaoudene Said** et l'office National de la météorologie (O.N.M), pour avoir mis à ma disposition toutes les données utilisées dans ce travail.

Je remercie également mes amis de post – graduation en particulier : Dr. Toubal

Abderrezak Kamel & et Mr Bouhraira Abdelhak

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, à tous ceux qui m'ont encouragé, à tous ceux qui m'ont accordé leur confiance.

Enfin, je saisis cette même occasion pour remercier tous mes amis et toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail.

Merci.

BALLAH ABDERRAHMANE.

Table des matières

ملخص.....	II
Abstract.....	III
Résumé	IV
Dédicace.....	V
Remerciements	VI
Table des matières.....	VII
Liste des figures	XII
Liste des tableaux	XVI
Liste des abréviations.....	XIX
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Généralités.....	5
I.2. Définitions.....	5
I.3. Historique de l'érosion des sols	6
I.3.1 L'érosion des sols en Algérie	6
I.3.2 Répartition mondiale des risques d'érosion du sol.....	7
I.4. Processus de l'érosion hydrique.....	9
I.4.1 Détachement des particules	9
I.4.2 Transport des particules.....	11
I.4.3 Sédimentation	12
I.5 Effets néfastes de l'érosion	12
I.6. Principaux agents de l'érosion hydriques.....	14
I.6.1. Intensité et agressivité des précipitations.....	14
I.6.2. Ruissellement.....	15
I.6.3. Etat hydrique initial	17
I.7. Formes de manifestation de l'érosion hydrique	18
I.7.1 Erosion en nappe.....	18
I.7.2 Erosion linéaire	18
a. Erosion en griffes et rigoles	19
b. Erosion par ravinement	19
I.8 transport solide	20

I.8.1 Généralité.....	20
I.8.2 Transport solide par charriage	21
I.9.Procèdes de mesures de l'érosion et du transport solide.....	22
I.9.1 Procédés de mesures de l'érosion.....	22
I.9.2 Procède de mesure des matériaux en suspension.....	23
I.9.3 Procédé de quantification du débit solide	23
I.10.Modèle Sediment Rating Curve (SRC).....	25
I.10.1. Le modèle SRC dans le monde	26
I.10.2.Synthèse bibliographique des travaux sur l'érosion en Algérie.....	27
I.13.Conclusion	28

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1 Introduction.....	29
II.2.Bassin versant du Côtier Algérois	29
II.2.1 Situation géographiques.....	29
II.2.2 Caractéristiques socio-économiques et démographiques	32
II.2.3. Caractéristiques physiques.....	32
II.2.3.1.Cadres géologiques	32
II.2.3.2.Occupation du sol.....	35
II.2.3.3.Infrastructures hydrauliques	35
II.2.3.4. Cadre hydrogéologiques.....	39
II.2.3.5. Relief	40
a. Modèle numérique de terrain et altitudes	41
b. Classe des pentes	41
II.2.4.Réseau hydrométriques.....	43
II.2.5.Etude des paramètres du relief.....	46
II.2.5.1. L'indice de compacité (Kc).....	46
II.2.5.2.Rectangle équivalent	46
II.2.5.3.Courbe hypsométrique	47
II.2.5.4.Indice de pente globale Ig	48
II.2.5.5.Dénivelée spécifique Ds.....	49
II.2.5.6.Pente moyenne Im.....	49
II.2.5.7.Densité de drainage Dd	50
II.2.5.8.Temps de concentration Tc	50

II.2.6.Caractéristiques climatologiques de la zone d'étude	51
A. Station de Tizi Ouzou	52
1. Températures	52
2. Humidité relative de l'air.....	52
3. Vitesse du vent	53
4. Précipitations	54
5. Indice xérothermique de Bagnouls et Gausсен (1957).....	55
B. Station dar-el-beida.....	56
1. Températures	56
2. Humidité relative de l'air.....	57
3. Vitesse du vent	57
4. Précipitations	58
5. Indice xérothermique de Bagnouls et Gausсен (1957).....	59
II.2.7.Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger	60
II.3. Conclusion.....	61

Chapitre III : Etude du régime hydro-pluviométrique

III.1.Introduction	63
III.2.Critique et homogénéisation des données pluviométriques	63
III.3.Collecte et mise en forme des données	64
III.4.Etude du régime pluviométrique	66
III.4.1.Distribution mensuelle des précipitations.....	66
III.4.2.Paramètres statistiques des stations retenues.....	67
a/ Moyenne	67
b/ Ecart-type.....	67
c/ Coefficient de variation.....	67
III.4.3. Distribution saisonnière des précipitations.....	68
III.4.4. Régime pluviométrique saisonnier dominant.....	69
III.4.5.Paramètres statistiques des séries pluviométriques saisonnières.....	70
III.4.6.Variabilité relative des pluies annuelles	71
III.5.Tests statistiques de détection des ruptures dans les séries pluviométriques	72
III.5.1. Méthodes statistiques de détection de ruptures utilisées	73
A. Test de Pettitt	73
B. Méthode bayésienne de Lee &Heghinian	73

C. Statistique U de Buishand	74
D. Segmentation d'Hubert	74
III.6. Etude du régime hydrométrique	76
III.6.1. Précipitation/débit liquide	76
III.6.2. Paramètres statistiques des débits liquides des stations étudiées	81
III.6.3. Débits liquides moyens saisonniers	82
III.7. Conclusion	84

Chapitre IV : Collecte et Traitement des données

IV.1.Introduction.....	85
IV.2. Collecte et mise en forme des données	85
IV.2.1 Collecte des données	85
IV.2.2 Mise en forme des données	86
IV.3.Régression entre les débits solides et les débits liquides	88
A. Variation du transport solide à l'échelle annuelle des stations étudiées	91
B. Variation du transport solide à l'échelle mensuelle des stations étudiées.....	92
- Station de Baghlia	92
- Station de Roche des pigeons	94
- Station de Fer à Cheval	94
- Station d'Attatba	94
- Station de Pont RN 11.....	94
- Station de Sidi Akkacha.....	94
C. Variation du transport solide à l'échelle saisonnière des stations étudiées.....	94
- Station de Baghlia	94
- Station de Roche des pigeons	95
- Station de Fer à Cheval	95
- Station d'Attatba	96
- Station de Pont RN 11.....	96
- Station de Sidi Akkacha.....	96
IV.4. Conclusion	99

Chapitre V : Evaluation et modélisation du transport solide

V.1.Introduction	100
V.2. Quantification des apports solides et l'érosion spécifique	100

V.3.Variabilité temporelle des apports liquides et solides au niveau des stations étudiées...	102
V.3.1.Echelle mensuelle	102
V.3.2.Echelle saisonnière	104
V.3.3.Echelle annuelle.....	108
V.4. Quantification de la dégradation spécifique	110
V.4.1.Station de Baghlia.....	110
V.4.2.Station de Roche des pigeons	112
V.4.3.Station de Fer A cheval	112
V.4.4.Station d'Attatba.....	112
V.4.5.Station de Pont RN 11	113
V.4.6.Station de Sidi Akkacha.....	113
V.5.Modélisation du transport solide	118
V.5.1. Modélisation du transport solide à l'aide du coefficient de ruissellement (Ce).....	118
V.5.2. Modélisation du transport solide à l'aide du coefficient d'hydraulicité (Ki).....	119
V.6. Conclusion.....	121
Conclusion générale	122
Références bibliographiques	125
Annexe.	

Liste des figures

Chapitre I :

Synthèse bibliographique

Figure I.1 : Répartition mondiale de dégradation des sols en 1992(ESC-Montréal)	08
Figure I.2 : Formation des pellicules de battance et des croûtes d'érosion et de sédimentation sous l'effet des gouttes de pluie (Roose, 1994).	10
Figure I.3 : Deux mécanismes de l'érosion hydrique (Pham, 2008).	11
Figure I.4 : Indicateurs de l'érosion en nappe (Roose, 1977)	18
Figure I.5 : Erosion en griffes et rigoles	19
Figure I.6 : Erosion par ravinement	20
Figure I.7 : Modes de transport solide en rivière	22
Figure I.8 : Section de mesure	23
Figure I.9 : Epure des débits solides élémentaires (Verticale A)	24
Figure I.10 : Epure du débit solide.....	25

Chapitre II :

Présentation de la zone d'étude

Figure II.1 : Situation géographique de la zone d'étude	30
Figure II.2 : Situation géographique des sous bassins du Côtier Algérois	31
Figure II.3 : Carte lithologique du bassin versant du Côtier Algérois	34
Figure II.4 : Carte d'occupation du sol du bassin versant du Côtier Algérois.....	36
Figure II.5 : Image satellite des barrages (Google Earth le 28/03/2021).....	38
Figure II.6 : Répartition des ressources en eau souterraine par bassin (PDARE, 2014).	39
Figure II.7 : Carte des altitudes du bassin versant Côtier Algérois	42
Figure II.8 : Carte des pentes du bassin versant du Côtier Algérois.....	44
Figure II.9 : Carte de classification du réseau hydrographique et hydrométrique du bassin versant	45
Figure II.10 : Courbe hypsométrique du bassin versant du Côtier Algérois	47
Figure II.11 : Températures moyennes, minimales et maximales au niveau de la station de Tizi-Ouzou (1990-2016)	52

Figure II.12 : Humidité relative moyenne de l'air au niveau de la station de Tizi-Ouzou (1990-2016).....	53
Figure II.13 : Précipitations moyennes annuelles au niveau de la Station de Tizi-Ouzou (1990-2016).....	54
Figure II.14 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la station de Tizi-Ouzou (1990-2016).....	55
Figure II.15 : Températures mensuelles au niveau de la station de dar-el-beida (1996-2015).....	56
Figure II.16 : Humidité relative moyenne de l'air au niveau de la station dar-el-beida (1996-2015).....	57
Figure II.17 : Précipitations moyennes annuelles au niveau de la Station de dar-el-beida (1996-2015).....	58
Figure II.18 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la station dar-el-beida (1996-2015).....	59
Figure II.19 : Climagramme d'Emberger pour les deux stations.....	61

Chapitre III :

Etude du régime hydro-pluviométrique

Figure III.1 : Plan de situation des stations pluviométriques étudiées.....	65
Figure III.2 : Précipitations moyennes mensuelles des stations étudiées, bassin versant du Côtier Algérois (1970/71-2012/13).....	66
Figure III.3 : Précipitations moyennes saisonnières des stations étudiées bassin versant du Côtier Algérois (1970/71-2012/13).....	69
Figure III.4 : Variabilité des précipitations annuelles et droites linéaires de tendance des stations étudiées (1970/71-2012/13).....	72
Figure III.5 : Evolution mensuelle de la pluviométrie et du débit liquide des stations hydrométriques étudiées.....	77
Figure III.6 : Evolution annuelle de la pluviométrie et du débit liquide de la station hydrométrique de Baghlia (1968/69- 1998/99).....	78
Figure III.7 : Evolution annuelle de la pluviométrie et du débit liquide de la station hydrométrique de Roche des pigeons (1978/79- 1996/97).....	78

Figure III.8 : Evolution annuelle de la pluviométrie et du débit liquide de la station hydrométrique de Fer A cheval (1976/77- 1994/95)..... 78

Figure III.9 : Evolution annuelle de la pluviométrie et du débit liquide de la station hydrométrique d'Attatba (1976/77- 1994/95)..... 79

Figure III.10 : Evolution annuelle de la pluviométrie et du débit liquide de la station hydrométrique de Pont RN11 (1974/75- 2006/07) 79

Figure III.11 : Evolution annuelle de la pluviométrie et du débit liquide de la station hydrométrique de Sidi Akkacha (1983/84- 2012/13)..... 79

Figure III.12 : Débits liquides moyens saisonniers à des stations hydrométriques étudiées du bassin versant du Côtier Algérois..... 83

Chapitre IV :

Collecte et Traitement des données

Figure IV.1 : Plan de situation des stations hydrométriques étudiées..... 87

Figure IV.2 : Carte du réseau hydrographique des sous bassins étudiés. (1) Oued Sébaou-Maritime; (2) Oued El Harrach; (3) Oued Mazafran 89

Figure IV.2 : **Figure IV.2** : Carte du réseau hydrographique des sous bassins étudiés. (4) Oued Bouroumi; (5) Oued Bellah; (6) Oued Allalah (suite et fin) 90

Figure IV.3 : Relation débit liquide et débit solide observés des stations hydrométriques mises en étude 92

Figure IV.4 : Relation débit liquide et débit solide observés à l'échelle saisonnière aux stations étudiées. (a) Station de Baghlia; (b) Station de Roche des pigeons; (c) Station de Fer A cheval; (d) Station d'Attatba; (e) Station de Pont RN11; (f) Station de Sidi Akkacha..... 98

Chapitre V :

Evaluation et modélisation du transport solide

Figure V.1 : Variabilité mensuelle des apports liquide et solide au droit des stations hydrométriques. (a) Station de Baghlia; (b) Station de Roche des pigeons; (c) Station de Fer A cheval; (d) Station d'Attatba; (e) Station de Pont RN11; (f) Station de Sidi Akkacha..... 103

Figure V.2 : Contribution saisonnière des apports solides et liquides au droit de la station hydrométrique. (a) Station de Baghlia; (b) Station de Roche des pigeons; (c) Station de Fer A cheval; (d) Station d'Attatba. 106

Figure V.2 : Contribution saisonnière des apports solides et liquides au droit de la station hydrométrique. (e) Station de Pont RN11; (f) Station de Sidi Akkacha (suite et fin).....107

Figure V.3: Variabilité interannuelle des apports liquide et solide au droit des stations hydrométriques. (a) Station de Baghlia; (b) Station de Roche des pigeons; (c) Station de Fer A cheval; (d) Station d'Attatba; (e) Station de Pont RN11; (f) Station de Sidi Akkacha..... 111

Figure V.4 : Relation entre les apports solides et le coefficient d'écoulement des stations du bassin versant du Côtier Algérois..... 119

Figure V.5 Relation entre les apports solides et le coefficient d'hydraulicité des stations du bassin versant du Côtier Algérois..... 120

Liste des tableaux

Chapitre I :

Synthèse bibliographique

Tableau I.1 : Dégradation spécifique du sol (Ass) dans le Maghreb ([Hasbaia et al., 2012](#))... 13

Tableau I.2 : Evaluation du transport des sédiments en Algérie..... 28

Chapitre II :

Présentation de la zone d'étude

Tableau II.1 : Superficie des classes lithologiques du bassin versant du Côtiers Algérois. ... 33

Tableau II.2 : Superficie et pourcentage des classes d'occupation du sol..... 35

Tableau II.3 : Caractéristiques générales des barrages de notre zone d'étude 37

Tableau II.4 : Les potentialités en eau souterraine du Côtiers Algérois ([PDARE, 2014](#)). 40

Tableau II.5 : Classes des altitudes du bassin versant du Côtiers Algérois..... 41

Tableau II.6 : Classes des pentes dans le bassin versant du Côtiers Algérois..... 43

Tableau II.7 : Stations hydrométriques du bassin versant du Côtier Algérois. 43

Tableau II.8 : Répartition des superficies cumulées en fonction des classes d'altitudes 47

Tableau II.9 : Classification du relief ([Laborde, 2000](#)) 49

Tableau II.10 : Synthèse des caractéristiques générales du bassin versant du Côtiers Algérois
..... 51

Tableau II.11 : Coordonnées géographiques des stations climatologiques mises en étude.... 51

Tableau II.12 : Répartition mensuelle des températures moyennes (1990 - 2016). 52

Tableau II.13 : Humidité relative moyenne mensuelle à la station de Tizi Ouzou (1990/2016). .
.....53

Tableau II.14 : Moyennes des vitesses du vent à la station de Tizi-Ouzou (1990/2016)..... 54

Tableau II.15 : Précipitations moyennes mensuelles à la station de Tizi-Ouzou (1990-2016).54

Tableau II.16 : Moyennes mensuelles des précipitations et des températures de la station de
Tizi-Ouzou (1990/2016)..... 55

Tableau II.17 : Répartition mensuelle des températures (1996 - 2015). 56

Tableau II.18 : Humidité relative moyenne mensuelle à la station de dar-el-beida (1996-2015)	57
Tableau II.19 : Vitesse du vent moyenne à la station de dar-el-beida (1996/2015)	58
Tableau II.20 : Précipitations moyennes mensuelles (1996-2015)	58
Tableau II.21 : Moyennes mensuelles des précipitations et des températures de la station de dar-el-beida (1996/2015)	59
Tableau II.22 : Quotient pluviométrique des stations climatiques	60

Chapitre III :

Etude du régime hydro-pluviométrique

Tableau III.1 : Stations pluviométriques retenues et leurs caractéristiques (1970/71-2012/13)	64
Tableau III.2 : Précipitations moyennes mensuelles des stations choisies (1970-2012)	66
Tableau III.3 : Paramètres statistiques des séries pluviométriques mensuelles (1970-2012)	68
Tableau III.4 : Précipitations moyennes saisonnières des stations étudiées (1970-2012)	69
Tableau III.5 : Pourcentage des régimes saisonniers des stations retenues (1970-2012)	70
Tableau III.6 : Paramètres statistiques des séries pluviométriques saisonnières (1970-2012)	70
Tableau III.7 : Paramètres statistiques des séries pluviométriques annuelles (1970-2012)	71
Tableau III.8 : Résultats des tests statistiques de détection de rupture pour les stations pluviométriques (1970/71-2012/13)	75
Tableau III.9 : Les coordonnées géographiques des stations hydrométriques étudiées	76
Tableau III.10 : Paramètres statistiques des débits liquides moyens mensuels et annuels des stations étudiées	82

Chapitre IV :

Collecte et traitement des données

Tableau IV.1 : Coordonnées géographiques des stations hydrométriques étudiées	86
Tableau IV.2 : Récapitulatif des caractéristiques hydromorphologiques du sous bassin du côtier Algérois	88
Tableau IV.3 : Valeurs du Coefficient de détermination (R^2) des modèles retenus	91
Tableau IV.4 : Modèles retenus pour la totalité de la série de la station hydrométrique	91

Tableau IV.5 : Modèles obtenus et le coefficient de détermination à l'échelle mensuelle..... 93

Tableau IV.6 :Modèles obtenus et le coefficient de détermination à l'échelle saisonnière des stations hydrométriques étudiées 95

Tableau IV.7 : Récapitulation des résultats de la régression entre les débits liquides et solides des sous bassins du Côtier Algérois 99

Chapitre V :

Evaluation et modélisation du transport solide

Tableau V.1 : Valeurs du coefficient « a » et de l'exposant « b » trouvés dans la zone d'étude. 101

Tableau V.2 : Valeurs du coefficient « a » et de l'exposant « b » trouvés dans les bassins versants Algériens 101

Tableau V.3 : Modèles obtenus à l'échelle annuelle et dégradation spécifique annuelle des stations hydrométriques mises en étude 115

Tableau V.3 : Modèles obtenus à l'échelle annuelle et dégradation spécifique annuelle des stations hydrométriques mises en étude (suite)..... 116

Tableau V.3 : Modèles obtenus à l'échelle annuelle et dégradation spécifique annuelle des stations hydrométriques mises en étude (suite et fin) 117

Tableau V.4 : Modèles retenues entre l'apport solide et le coefficient d'écoulement pour les différentes stations hydrométriques 118

Tableau V.5 : Modèles retenues entre l'apport solide et le coefficient d'hydraulicité pour les différentes stations hydrométriques 121

LISTE DES ABREVIATIONS

A : surface ;

AHS : Algérois, Hodna et Soummam ;

ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transferts ;

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques ;

As : Apport solide ;

Ass : dégradation spécifique ;

C : Concentration ;

Ce : Coefficient d'écoulement moyen annuel (%) ;

CGG : Compagnie Générale de Géophysique ;

Es : Erosion spécifique ;

EU : European Union ;

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture ;

GE : Google Earth ;

GIRE : Gestion Intégrée des Ressources en Eau ;

IDL : Interactive Data Langage ;

INRF : Institut National de la Recherche Forestière ;

IRD : Institut de recherche pour le développement

JTD : Jauge de Turbidité à Diffusion ;

JTT : Jauge de Turbidité à Transmission ;

Kc : Coefficient de Compacité ;

Ki : Coefficient d'hydraulicité ;

Le : Lamme d'eau ruisselée ;

MES : Matière En Suspension ;

Mg : Milligramme

MNT : Modèle Numérique de Terrain ;

NE : Nord-Est ;

ONM : Office National de la Météorologie ;

ORLAC : Office Régional du Lait et des produits laitiers du Centre ;

ORSTOM : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer ;

P : Périmètre ;

PDARE : Plan Directeur d'Aménagement des Ressources en Eau ;

PHE : Côte Plus Hautes Eaux ;

R² : Coefficient de détermination ;

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat ;

RN : Côte retenue Normale (R.N) ;

SIG : Système d'Information Géographique ;

SRC : Sediment Rating Curve (courbe d'étalonnage) ;

SW : Sud-Ouest ;

T.O : Tizi Ouzou ;

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le sol est l'un des biens les plus précieux de l'humanité, et c'est le principal support de l'agriculture autour duquel se sont développées toutes les civilisations du monde. Cependant, ce développement s'accompagne souvent de risques de surexploitation et de gaspillage des ressources en eau et en sol. Au cours du dernier siècle, le problème de la dégradation des sols est devenu un véritable enjeu de développement.

Le sol constitue alors une interface qui conditionne la qualité de l'eau. Les questions liées à la qualité de l'eau sont donc étroitement liées à celles de la dégradation des sols (Côté et Bernard, 1993). Cette dégradation se présente comme un épuisement de la capacité de production des terres agricoles. Ce problème de dégradation, qui constitue un phénomène dynamique répandu à l'échelle de la planète, apparaît sous l'influence combinée de conditions climatiques particulières et de mauvaises gestions du sol (Coote et al., 1982 ; Tabi et al 1990 ; Wicherek et Laverdière, 1993).

L'érosion a été définie de plusieurs façons selon les auteurs. On distingue deux catégories de définitions. Une, au sens strict, considère l'érosion comme étant le mécanisme de détachement des particules sédimentaires et des autres matériaux à la surface du sol (Fleming, 1977). Une autre, au sens large, fait appel à une trilogie pour définir l'érosion (M. Derrau, 1974, P. Briot, 1981), l'arrachement, le transport et le dépôt.

L'érosion hydrique est un phénomène complexe par son caractère irrégulier, aléatoire et par sa discontinuité spatio-temporelle. En raison de son ampleur et son agressivité, elle constitue une contrainte majeure au développement de l'agriculture et à la promotion des activités rurales (Achite et al., 2006).

L'érosion hydrique naturelle est un phénomène qui résulte des interactions entre plusieurs facteurs dont les principaux sont les pluies, la topographie, la nature du substrat des sols et l'occupation du sol. Ces facteurs agissent sur le comportement hydrologique des sols qui déterminent la vitesse et la nature de l'érosion. La satisfaction des besoins domestiques, le surpâturage, le défrichement des forêts, les pratiques culturelles non adéquates ont provoqué une érosion hydrique accélérée liée à un ruissellement excessif a eu pour conséquence une

augmentation de la perte en sols. Ces derniers sont transportés et déposés dans les lits des cours d'eau, les retenues de barrages, les lacs et les zones de sédimentation (Djok , 2018).

L'érosion des sols par la pluie et le ruissellement est un phénomène largement répandu dans les différents pays de la Méditerranée, et qui continue à prendre des proportions considérables en particulier sur les pentes à cause de la nature torrentielle des pluies, de la forte vulnérabilité des terrains (roches tendres, sols fragiles, pentes raides et couvert végétal souvent dégradé), du surpâturage et de l'impact défavorable des activités humaines: déforestation, incendies, mauvaise conduite des travaux agricoles, urbanisme chaotique, exploitation des carrières, etc. Selon des études de la FAO (1990), la situation continue à se détériorer : ainsi, certains pays sont affectés par l'érosion hydrique : en Grèce 35 % des terres, au Maroc 40 % et en Turquie 50 % avec des pertes de terre de 500 à 600 millions tonnes/an en Turquie (Celik et al., 1996). En Tunisie, 45 % de la superficie du pays est menacée par l'érosion (Chevalier et al., 1995; Boussema, 1996) et en Algérie, 45 % des zones telliennes, soit 12 millions d'hectares (Chebbani et al., 1999).

L'Algérie comme les autres pays de l'Afrique du Nord (Maghreb arabe) est parmi les régions les plus érodables dans le monde (Probest et Suchet, 1992). Pour l'Algérie, les premières mesures de l'érosion hydrique et du transport solide ont débuté en 1946 à la station hydrométrique de la Traille qui contrôle le haut bassin de l'oued Isser (Medinger, 1960, Demmak, 1982). Au fur et à mesure l'installation d'autres stations, plusieurs études ont été menées pour la quantification et l'étude de l'érosion hydrique et le transport solide : (Medinger, 1960, Tixeront, 1960 ; Capolini, 1967 ; Capolini et al., 1969).

L'un des effets accessoires de l'érosion des sols par l'eau est le transport solide dans les oueds. A l'échelle spatiale et temporelle, les oueds érodent et transportent une variété de volumes et de types de particules (Achite et Ouillon, 2007). L'impact immédiat est dévastateur, qu'il s'agisse de perte de sol et de ravines en amont, ou d'inondations et de sédiments en aval (Touaïbia, 2010).

L'un des principaux objectifs des sédimentologues et des hydrologues du monde entier est d'estimer et de prévoir le transport des sédiments dans les rivières (Syvitski et al., 2000; Arthur, 2003 ; Zhang et al., 2012). Une variable importante pour déterminer le taux d'envasement d'un barrage est la charge sédimentaire annuelle dans un cours d'eau (Khanchoul et al., 2009). Plusieurs techniques d'estimation basées sur des techniques d'interpolation et d'extrapolation ont été proposées pour évaluer les charges sédimentaires d'un bassin versant (Walling et Webb,

1981; Ferguson, 1987), en l'absence de données détaillées sur les concentrations de sédiments en suspension (Barnes et Frevert, 1954).

Miller (1951) a développé le modèle Sediment Rating Curve (SRC), qui permet d'estimer le transport solide en suspension à partir des écoulements liquides.

Plusieurs travaux ont été réalisés en utilisant le modèle SRC à travers le monde notamment : en Iran : Khaleghi et Varvani (2018) ont présenté une nouvelle approche d'un modèle de type régressif pour estimer les charges sédimentaires en se basant sur la corrélation de la charge sédimentaires avec le débit et le temps. En Chine : Zhang et al (2012) ont étudié les courbes de transport sédimentaires pour analyser les variations des relations entre le débit liquide et la concentration de sédiments en suspension, sur la base des 50 dernières années. Les résultats montrent que les paramètres d'évaluation des sédiments varient significativement avec le temps. Yang et Lee (2017), ont étudié les équations du débit et le temps de déplacement des sédiments en fonction de la vitesse d'écoulement. Zheng (2018) a examiné les variations spatio-temporelles des courbes de transport sédimentaires durant la chronique 1971-2013. En Algérie : Benkhaled et Remini (2003) ont montré que les faibles valeurs de coefficient a signifieraient un état de saturation du sol, alors que les fortes valeurs de l'exposant b caractériseraient l'écoulement durant la saison d'automne.

Achite et Meddi (2005) ont montré que les valeurs maximales du transport solide sont observées en saison automnale et à la fin de la saison du printemps. Khanchoul et al. (2009) ont montré que la dégradation spécifique durant une période de 24 ans est de $562 \text{ t km}^{-2} \text{ an}^{-1}$, la partie occidentale étant la plus touchée de toute la zone. Yles et Bouanani (2012) ont estimé une dégradation spécifique de $55 \text{ t km}^{-2} \text{ an}^{-1}$, la saison automnale est impliquée en grande partie du flux sédimentaire (60%), la saison printanière vient en deuxième lieu avec 14%. Achite et Ouillon, (2016), ont étudié les changements de température, précipitations, du ruissellement fluvial et du transport de sédiments dans l'Oued Abd au nord-ouest de l'Algérie. La saison automnale est responsable du transport solide plus que les autres saisons. Megnounif et Ghenim (2016) ont étudié le lien entre l'irrégularité des précipitations et les paramètres d'évaluation des sédiments dans le bassin versant de l'Oued Sebdu. L'étude a abouti que la croissance de la végétation et les horizons organiques du sol bien développés ont réduit le ruissellement et empêché le détachement et le transport des particules.

Dans ce contexte, le présent travail a été proposé dont l'objectif principal est l'évaluation du transport solide en suspension au niveau des stations hydrométriques étudiées sur notre bassin versant du côtier Algérois, ce travail est organisé en cinq chapitres comme suit :

- Le premier chapitre correspond à une synthèse bibliographique sur la thématique étudiée. Ce dernier comportera un chapitre sur les processus de l'érosion hydrique, ses différents types, et ses conséquences néfastes tant en amont qu'en aval du bassin versant, et une partie sur les diverses méthodes utilisées pour estimer et quantifier l'érosion hydrique.
- Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation du contexte géographique, géologique, climatologique, et hydrologique du bassin étudié.
- Le troisième chapitre est consacré à l'étude du régime hydro-pluviométrique.
- Le quatrième chapitre a pour objectif principal, la collecte et le traitement des données pour aboutir à l'évaluation du transport solide en suspension par le modèle sediment rating curve (SRC) au niveau des stations hydrométriques étudiées au niveau de chaque sous bassin d'une part et d'autre part pour l'établissement de quelques modèles analytiques et descriptifs débits liquides-débits solides sur plusieurs échelles de temps.
- le dernier chapitre, sera consacré à l'évaluation et la modélisation du transport solide en suspension. Pour ce faire, le développement d'un modèle régressif (rating curve ou courbes de transport sédimentaire) liant les apports solides aux apports liquides sera établi. Dans un deuxième temps nous étudierons la variabilité temporelle des apports liquides et solides aux stations de mesure aux échelles mensuelle, saisonnière et annuelle.
- Enfin, une conclusion générale résume l'essentiel des parties précédentes et propose des recommandations à prendre en considération dans les prochains travaux.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

I.1. Généralités

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, qu'est un phénomène largement répandu et dont les conséquences peuvent entraîner des pertes de terre irréversibles et une diminution des capacités de stockage des barrages.

Les deux agents principaux de l'érosion hydrique sont les précipitations et le ruissellement superficiel. Toutefois un grand nombre de facteurs (intensité et agressivité des précipitations, 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.2. Définitions

C'est l'ensemble des actions physiques chimiques et organiques qui aboutissent à la destruction des roches et au nivellement progressif du terrain. Plus simplement l'érosion est l'usure de la partie superficielle de l'écorce terrestre ; l'eau et le vent sont les principaux agents (Greco, 1966).

Le mot " érosion " vient du latin « ERODERE » qui signifie griffer, ronger : on pense tout de suite à une maladie qui ronge la chair de la terre pour ne laisser qu'un squelette. En réalité, l'érosion comprend trois processus : l'arrachement de particules relativement petites, leur transport et leur sédimentation (Roose, 1991).

L'érosion est un phénomène naturel qui affecte l'ensemble de la couverture terrestre géopédologique et c'est l'un des facteurs importants de formation et d'évolution des milieux naturels.

L'érosion se manifeste sous deux formes, érosion hydrique ou éolienne (Dutil, 1984).

- L'érosion éolienne, se traduit par l'ablation et le transport des particules de sol (sables et limons surtout) détachées des agrégats auparavant, suite à l'absence de liant, argile ou matières organiques. Elle concerne essentiellement les sols sableux ou sablo – limoneux, à faible teneur en matières organique.

- L'érosion hydrique, par contre concerne pratiquement tous les sols. Elle commence avec la chute des gouttes de pluie sur les agrégats du sol, qui provoque un certain détachement des particules élémentaires du sol (sables et limons). Ce choc de la goutte d'eau avec détachement de particules (ou effet « splach » des anglo – saxons) est plus ou moins intense selon l'état structural du sol au moment de la pluie. Signalons qu'il ne concerne qu'une redistribution sur place des particules. Ensuite, l'action peut se poursuivre avec l'entraînement des particules détachées, d'abord en petites nappes à l'intérieur de la parcelle, puis hors de la parcelle, mais avec des intensités très variables, selon :
 - La nature des sols ;
 - La pente ;
 - Les systèmes culturaux ;
 - L'intensité de la pluie ;
 - L'état d'humidité du sol au moment où il reçoit la pluie.

I.3 Historique de l'érosion des sols

L'érosion accélérée est aussi vieille que l'agriculture. Elle remonte aux anciennes civilisations de Mésopotamie, de Grèce, de Rome et d'autres régions du Moyen-Orient (Bennett, 1939). L'effondrement de grandes civilisations anciennes en Mésopotamie le long du Tigre et de l'Euphrate illustre les conséquences de la dégradation irréversible des terres.

Les leçons du passé de l'érosion et ses conséquences sur la disparition des civilisations anciennes ont été largement citées et discutées dans plusieurs manuels scolaires. En effet, Hugh Hammond Bennett, reconnu comme le " père de la conservation des sols " aux États-Unis, a décrit en détail dans son célèbre manuel les épisodes historiques et les conséquences de l'érosion sévère (Bennett, 1939). (Troeh et al. 2004) ont également examiné les taux d'érosion passés et actuels dans le monde. La connaissance de l'érosion historique est essentielle pour comprendre la gravité et les conséquences de l'érosion et élaborer des stratégies de gestion efficace de l'érosion actuelle et future des sols.

I.3.1 L'érosion des sols en Algérie

La situation particulièrement dégradée de l'espace montagnard n'est pas récente. Elle est l'héritage d'une histoire mouvementée qui a poussé à l'extensivité de l'agriculture dans des régions surpeuplées. L'espace cultivé, à l'échelle du pays, est passé en l'espace d'un siècle de 2 à plus de 7 millions d'hectares. Les écosystèmes forestiers et steppiques ont été bouleversés ; les

surfaces forestières sont passées dans le même temps de 7 à 2,5 millions d'hectares. Si le phénomène pouvait être amorcé ici ou là, c'est surtout entre 1880 et 1920 que le grand mouvement de défrichement atteint son apogée (Cote, 1983). Ce mouvement qui a continué jusqu'à nos jours, a fragilisé à la fois les sols de versants et ceux des hauts plateaux.

La sensibilité de ces milieux est favorisée dans des zones fragiles qui sont principalement des pâturages excessivement exploités, des zones forestières dénudées, des terres en jachère, des bassins versants comportant des ravines et des rigoles et des terres marginales cultivées en céréales. En conséquence, environ 6 millions d'hectares sont exposés à une érosion active ; la dégradation spécifique dans les bassins versants atteint 2000 (t/km²/an). Ce sont donc, en moyenne, 120 millions de tonnes de sédiments qui sont emportés annuellement par les eaux.

Les conséquences directes d'un tel phénomène, sont d'une part la diminution de la fertilité des sols et la perte de surface cultivable et d'autre part l'envasement des barrages. La diminution annuelle de la capacité de stockage est actuellement évaluée à 20 millions de m³. Aujourd'hui On estime que les barrages, en exploitation totalisent une capacité d'environ 3900 milliards de m³, verront leur capacité diminuer de 24 % (Heddadj, 1997).

I.3.2 Répartition mondiale des risques d'érosion du sol

A l'échelle mondiale, l'érosion du sol reste toujours le plus grand problème de l'environnement, menaçant non seulement les pays développés mais plus les pays en développement.

Le danger d'érosion du sol a frappé l'humanité depuis l'aube de l'agriculture. Son ampleur et sa gravité ont toutefois augmenté au cours du XXe siècle en raison de l'explosion démographique et de la mauvaise gestion des sols cultivés principalement en Afrique et en Asie du Sud (Kaiser, 2004). Les taux d'érosion dans ces régions varient entre 30 et 40 (Mg /ha /an) (Pimentel, 2006b).

L'agriculture itinérante sur brûlis pour la culture en rang dans les sols marginaux, les terres en pente et les terrains montagneux est la principale cause des taux élevés d'érosion.

L'érosion des sols contribue à la malnutrition chronique et à la pauvreté rurale dans les régions du tiers monde où les agriculteurs sont trop pauvres pour mettre en place des mesures de lutte contre l'érosion. La menace d'érosion est spécifique à chaque région. Les principaux points chauds de l'érosion des sols sont actuellement l'Afrique subsaharienne,

Haïti, le plateau de Loess en Chine, la région andine, les Caraïbes (Haïti, par exemple) et l'Himalaya inférieur. L'étendue de la dégradation des sols causée par la déforestation, le surpâturage et la mauvaise gestion des sols est la plus importante en Afrique et en Asie. Sur une base globale, l'érosion des sols constitue un problème permanent. Une plus grande attention est accordée à d'autres sujets agricoles qu'à l'érosion des sols et à ses conséquences. (Pimentel, 2000) a déploré que l'érosion du sol, bien qu'actuellement critique, soit largement négligée.

A l'échelle mondiale, une estimation d'environ 1960 Mha de terres est sujette à l'érosion, ce qui représente environ 15% de la superficie totale de la terre, dont 50% sont sévèrement érodés, et une grande partie est abandonnée (Lal et al. 2004). Les taux d'érosion du sol varient entre 0,5 et 350 (Mg /ha /an). Dans certains pays, environ la moitié des terres agricoles primaires sont gravement érodées. La superficie actuelle des terres cultivées est presque égale à la superficie des terres abandonnées depuis l'aube de l'agriculture. Chaque année, environ 75×10^9 Mg de sol sont perdus dans le monde, ce qui représente environ 400 milliards de dollars US par an pour les pertes en nutriments, sol et eau, soit 70 dollars EU par personne et par an (Lal, 1998). L'érosion des sols constitue une menace majeure pour la production alimentaire, en particulier dans les régions densément peuplées et à croissance rapide du monde. Environ 6×10^9 (Mg/an) de sol sont perdus annuellement en Inde et en Chine (Pimentel, 2006b).

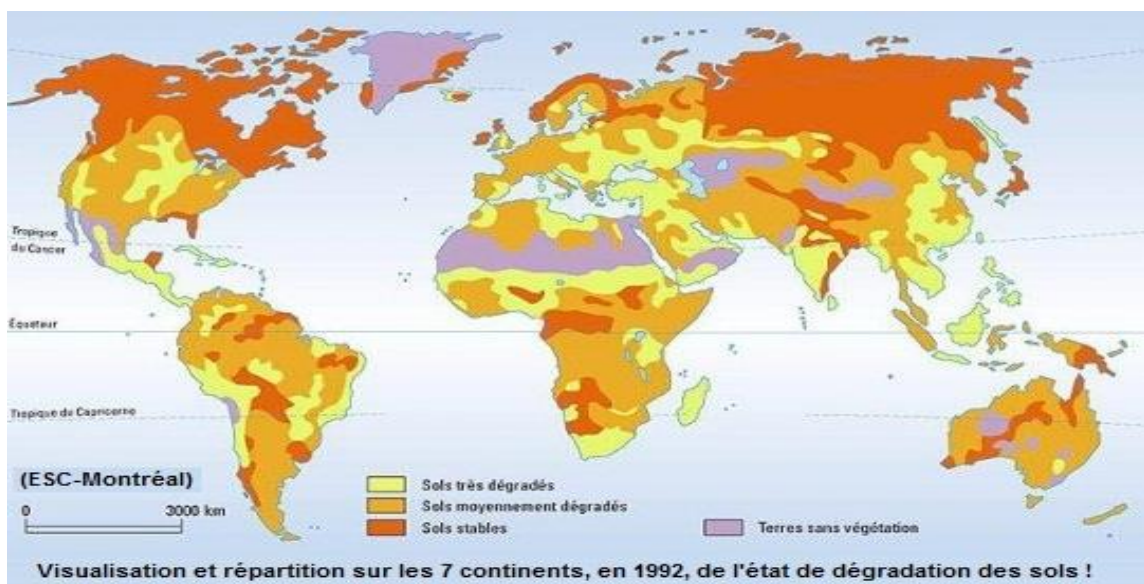


Figure I.1 : Répartition mondiale de dégradation des sols en 1992 (ESC-Montréal).

I.4. Processus de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique est un phénomène naturel complexe en trois étapes qui implique le détachement, le transport et le dépôt de particules de sol. Le processus d'érosion hydrique commence par des gouttes de pluie discrètes qui impactent la surface du sol et détachent les particules du sol, suivies par le transport. Le détachement du sol libère de fines particules de sol qui forment des joints de surface. Ces joints bouchent les pores du sol ouverts et conducteurs d'eau, réduisent l'infiltration d'eau et provoquent le ruissellement. Au niveau microscopique, une seule goutte de pluie initie l'ensemble du processus d'érosion en affaiblissant et en délogeant un agrégat qui finit par entraîner une érosion à grande échelle des sols sous d'intenses pluies torrentielles.

Les deux premiers processus impliquant la dispersion et l'enlèvement du sol définissent la quantité de sol qui est érodée, et le dernier processus (dépôt) détermine la distribution du matériau érodé le long du paysage. S'il n'y avait pas d'érosion, il n'y aurait pas de dépôt. Ainsi, le détachement et l'entraînement des particules du sol sont les principaux processus d'érosion du sol et, comme les dépôts, se produisent à n'importe quel point du sol.

EROSION = DÉTACHEMENT → TRANSPORT → SÉDIMENTATION

I.4.1. Détachement des particules

Le détachement, dans le cas de l'érosion hydrique, est principalement le fait de l'impact des gouttes de pluie et du ruissellement. Les deux ont le potentiel de détacher et de transporter les sédiments. Cependant, leur différent grandement. Ainsi, la pluie exerce son pouvoir érosif sur toute la région où elle tombe tandis que le ruissellement n'est vraiment actif que lorsqu'il est concentré ce qui diminue de beaucoup la surface touchée. Toute la pluie qui tombe possède le potentiel d'éroder mais une fraction seulement de cette pluie ruisselle à la surface du sol. Le reste peut s'infiltrer dans le sol, être intercepté ou être stocké en surface (Dudal, 1980).

Chaque goutte de pluie qui tombe est érosive, le ruissellement, par contre, n'a que peu d'effets tant que des milliers voire des millions de gouttelettes ne sont pas concentrées. La pluie et le ruissellement doivent donc être considérés comme des processus différents mais interdépendants.

Sur de petites pentes, l'effet de la pluie consiste surtout à détacher les particules de sol tandis que le ruissellement agit essentiellement comme agent de transport. Le ruissellement

se transforme cependant en agent d'érosion important et le transport par la pluie augmente sur les pentes plus abruptes (Dudal, 1980).

- **Détachement par la pluie (splash)**

C'est l'énergie cinétique de la pluie qui est en majeure partie responsable du détachement des particules de sol. Ce mécanisme est de loin le plus efficace bien que l'importance du détachement par le ruissellement ne puisse être ignorée (Israelsen et al. 1980).

Les gouttes d'eau, telles des bombes miniatures, frappent le sol avec une vitesse d'environ 30 (km/h) (E.P.A. 1971). La force d'impact d'une goutte d'eau est égale à sa décélération multipliée par sa masse tandis que son énergie est proportionnelle à sa masse et à sa vitesse au carré. En chute libre, la vitesse de cette goutte d'eau est d'autant plus grande que la goutte est grosse (Lagace et al. 1980).

Le pouvoir érosif d'une précipitation augmente avec le diamètre moyen des gouttes de pluie, une goutte véhiculant d'autant plus d'énergie qu'elle est massive. Il est important de noter que le diamètre des gouttes est lié de façon directe à l'intensité et non pas à la quantité de pluie qui tombe.

Les particules de sol ainsi détachées sont ensuite soit emportées par le ruissellement, ou si l'eau s'infiltré, déposées. Elles formeront alors une croûte (battance) qui sera de moins en moins perméable lors des prochaines précipitations (compaction).

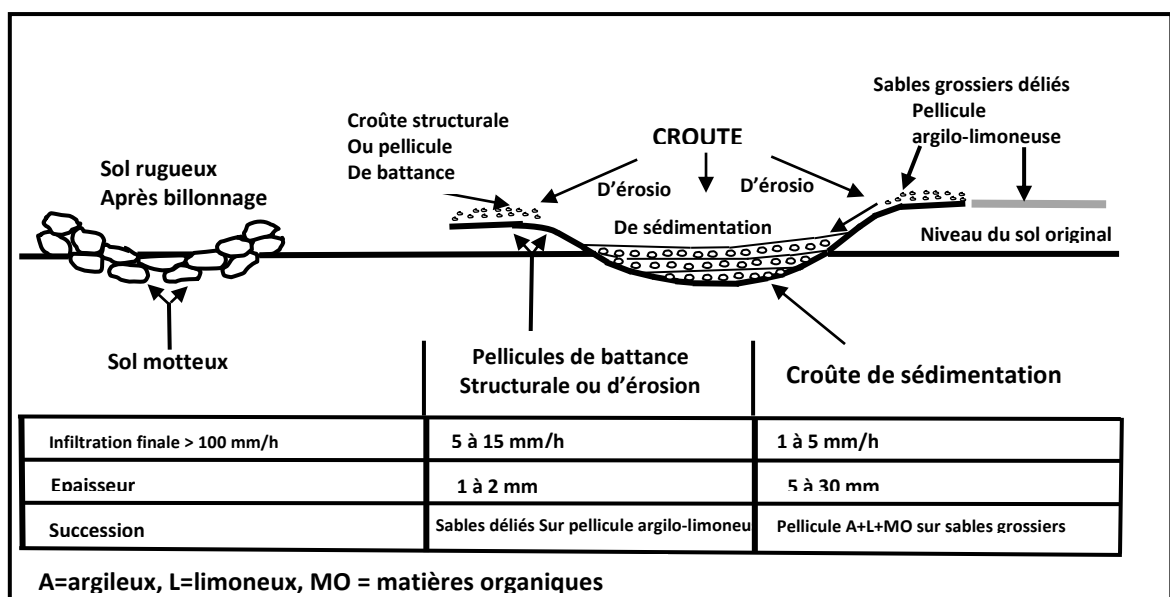


Figure I.2 : Formation des pellicules de battance et des croûtes d'érosion et de sédimentation sous l'effet des gouttes de pluie (Roose, 1994).

- **Détachement par le ruissellement**

Le ruissellement augmente au fur et à mesure que le sol est compacté par l'impact des gouttes de pluie. En effet, l'impact de la pluie tombant pendant une période de 1 à 5 minutes décroît l'infiltration à un degré tel que même dans les sols sableux, près de 98% de l'eau de pluie ruisselle en surface (Thronson, 1971).

L'effet dévastateur d'une pluie orageuse dépend, en plus de son intensité et de sa quantité, de la morphologie du terrain. Ainsi, le degré d'inclinaison et la longueur des pentes influent sur la vitesse d'écoulement de l'eau. Cette dernière, en effet, n'a pas le temps sur une pente courte d'atteindre une vitesse d'écoulement suffisante pour entraîner des particules de sol. La microtopographie du terrain, de son côté, favorise la concentration du ruissellement. Un écoulement concentré est plus dynamique et possède l'énergie nécessaire pour éroder et transporter des sédiments. Si l'énergie disponible est plus grande que la masse de sédiments transportés, l'eau en déplacement va éroder jusqu'à l'obtention d'un chargement équivalent à sa capacité de transport.

I.4.2 Transport des particules

Tel que déjà spécifié, le transport des particules de sol détachées se fait principalement par le biais du ruissellement de l'eau à la surface et particulièrement lorsque celui-ci est concentré. Cette capacité de transport provient du surplus d'énergie des forces de cisaillement qui ne sont pas dissipées sur le fond par frottement.

L'eau de pluie ne ruisselle à la surface que lorsque l'intensité de la pluie excède le taux d'infiltration du sol. Cependant, une fois que le ruissellement a débuté la quantité de particules de sol transportées est en fonction, entre autres, de la vitesse du ruissellement et de la turbulence qui sont fortement influencées par la raideur de la pente, la dimension, la forme et la densité des sédiments transportés de même que par la rugosité de la voie d'eau (Dudal, 1980).

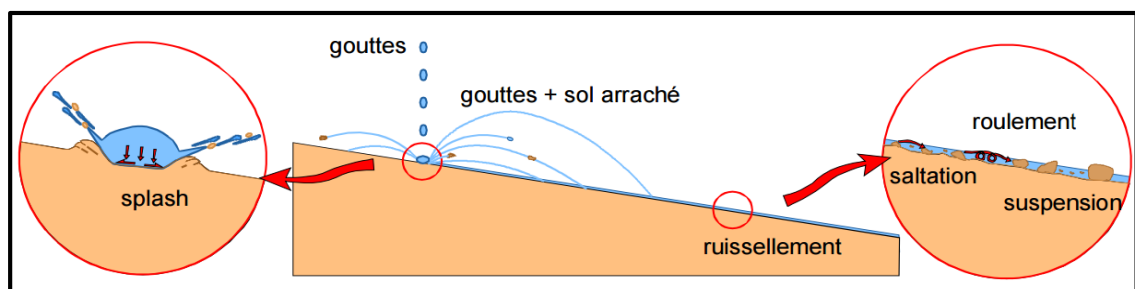


Figure I.3 : Deux mécanismes de l'érosion hydrique (Pham, 2008).

I.4.3 Sédimentation

La sédimentation ou déposition des particules érodées se produit lorsque la vitesse de l'écoulement ou la turbulence diminue de façon significative ou que le chargement en particules est supérieur à la capacité de transport du courant. Les particules transportées se déposent alors à une distance variable du site en construction dépendamment de leur grosseur, de leur densité et de la force du courant. Les particules les plus grosses et les plus denses se déposent en premier et les plus fines en dernier, puisque ces dernières peuvent demeurer en suspension fort longtemps dans le cours d'eau. Par conséquent, le fait de connaître la dimension et la densité des particules érodées permet de déterminer la fraction de sédiments qui sera déposée le long des voies d'écoulement ou dans les bassins de sédimentation et la distribution des dimensions des particules fines constituant le reste du chargement. Ces données sont très importantes dans la détermination du trajet possiblement suivi par les particules érodées dans le système d'écoulement et lors de l'évaluation de la quantité de sédiments qui seront retrouvés en bout de ligne (Dudal, 1980).

I.5. Effets néfastes de l'érosion

✓ ***là où elle se produit*** : 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 (Zaibak, 2008).

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 (Zaibak, 2008).

✓ ***hors du lieu où elle se produit*** : 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 (Zaibak, 2008).

L'Algérie comme les autres pays de l'Afrique du Nord (Maghreb arabe) est parmi les régions les plus érodables dans le monde (Probest et Suchet, 1992), plusieurs travaux ont été consacrés à l'évaluation de la dégradation des terres dans cette région (Tableau I.1) (Hasbaia et al., 2012).

Pour l'Algérie, les premières mesures de l'érosion hydrique et du transport solide ont débuté en 1946 à la station hydrométrique de la Traille qui contrôle le haut bassin de l'oued Isser (Medinger, 1960; Demmak, 1982). Au fur et à mesure de l'installation d'autres stations, plusieurs études ont été menées pour la quantification et l'étude de l'érosion hydrique et le transport solide : (Medinger, 1960 ; Tixeront, 1960 ; Capolini, 1967 ; Capolini et al., 1969)

Tableau I.1 : la dégradation spécifique du sol (A_{ss}) dans le Maghreb (Hasbaia et al., 2012).

Source	A_{ss} t/km ² /an
Fourier (1960)	60 - 600
Strakhov (1967)	10 - 50
Heusch and Milliès-Lacroix (1971)	265 - 2569
Dedkov and Mozzherin (1984)	100 - 250
Walling (1984)	1000 - 5000
Walling and Webb (1987)	> 500
Snoussi (1988) (pour le Maroc seulement)	750
Probest and Suchet (1992)	504

Ces exemples montrent l'enjeu majeur de l'érosion hydrique non seulement pour l'Algérie, mais aussi pour les pays semi-arides. Au Maroc, près de 10% du volume des barrages est comblé par les sédiments. En Tunisie, la proportion est plus forte, soit 25% (Benblidia et al., 2001). La gravité de l'érosion hydrique réside à la fois dans les taux importants en plus de la variabilité spatio-temporelle du phénomène (Hasbaia et al., 2012).

I.6. Principaux agents de l'érosion hydrique

I.6.1. 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 .

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2 \quad (I.1)$$

avec :

E_c : l'énergie cinétique (joules) ;

m : la masse de la goutte (kg) ;

V : la vitesse (m/s).

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 (Lebissonnais et al., 1998).

$$E_c = 11.9 + 8.73 \log I_p \quad (I.2)$$

avec :

E_c : l'énergie cinétique en $\text{j/m}^2/\text{mm}$;

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 à sa porosité efficace. 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).

L'impact direct des gouttes de pluie provoque non seulement le délitage et la fragmentation des agrégats du sol, mais également l'entraînement et la projection des particules dans toutes les directions. Ce rejaillissement peut être important. Plusieurs chercheurs ont essayé de quantifier cette masse de sol détachée (D_p) expérimentalement. Les relations obtenues sont en général de la forme suivante (Poesen, 1984) :

$$D_p = a \cdot E_c^b \quad (I.3)$$

avec :

D_p : la masse détachée ;

E_c : l'énergie cinétique de la pluie (J/m^2) ;

Les coefficients a et b dépendent essentiellement de la texture et de la structure du sol.

Ces processus de désagrégation de la surface du sol et d'érosion par rejaillissement conduisent à la fermeture des pores à la surface du sol et à la réduction de son infiltrabilité en formant une croûte de battance (Cerdan, 2001).

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 (Bouanani, 2004).

I.6.2. 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 terre 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 et de printemps (Chibbani 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 (Chibbani et al., 1999).

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) (Bouanani, 2004).

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) :

$$V_R = (I^{0.33} \cdot Q_R^{0.33}) / n^{0.66} \quad (I.4)$$

avec :

V_R : Vitesse de ruissellement ;

I : Pente de terrain ;

Q_R : Débit de ruissellement ;

n : Rugosité du sol.

Les facteurs qui régissent le ruissellement sont principalement :

a) Infiltration

Selon Cerdan, 2001 tous les sols sont plus au moins perméables. Le coefficient de perméable 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 se 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 (τ) montre le rôle des deux paramètres essentiels :

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (I.5)$$

avec :

c : la cohésion qui dépend des forces capillaires et de la teneur en eau du sol ;

σ : La contrainte ;

ϕ : 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, 1999). 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) Couvert végétal

Il est clair que le couvert végétal est efficace pour déduire 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 intercepté par le feuillage continue sa course jusqu'au sol. L'énergie cinétique des gouttes s'en trouve alors modifiée. L'expérience montre (Ruiz-Figueroa, 1983) 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.6.3. Etat hydrique initial

L'état hydrique du sol au moment d'une pluie à une très forte influence sur la dégradation, la formation des croûtes et la réduction de l'infiltrabilité résultante (Lebissonais, 1992). Les agrégats secs sont plus sensibles à l'éclatement. En effet l'intensité de ce processus croît avec le volume d'air piégé (Boiffin, 1984 ; Lebissonais, 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 pluies 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.7. Formes de manifestation de l'érosion hydrique

I.7.1. 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'OROSTOM ont évalué les pertes en terres par ce type d'érosion de 0,10 à 20 t/ha/an (Chibbani 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.

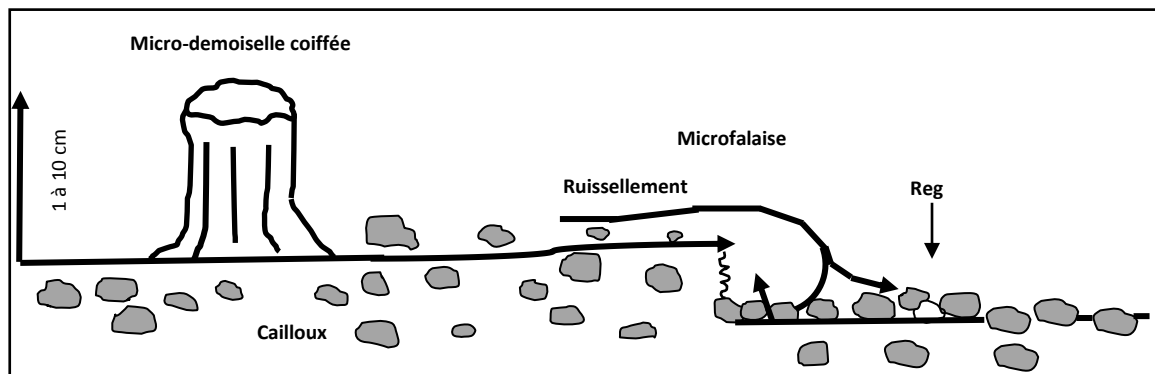


Figure I.4 : Indicateurs de l'érosion en nappe (Roose, 1977).

I.7.2. Erosion linéaire

Elle se manifeste lorsque la concentration des eaux conduits 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 (Figure I.5). 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.



Figure I.5 : Erosion en griffes et rigoles.

b. Erosion par ravinement

Les ravins suivent la ligne de plus grande pente des versants (Figure I.6). Puisque le ruissellement provenant des versants peut atteindre 50 à 80% durant les averses exceptionnelles tombant sur les terres battus ou compactées, l'essentiel du transport solide provient des ravines et des oueds (Heush, 1970).

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 ravinant 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).



Figure I.6 : Erosion par ravinement.

I.8. Transport solide

I.8.1. Généralités

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 ([Propst et al., 1989](#)). Il est évalué à 32 % de la charge total pour la Haute Tafna en Algérie ([Megnounif et al., 2003](#)).

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., 1989; Cardoso, 1994). Le mode de transport dépend essentiellement d'un paramètre fondamental : la taille du sédiment transporté.

I.8.2. 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 (Figure I.7).

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 sont 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; Duvoisin, 1989). Pour quelques bassins versants le taux de charriage a été estimé à 12.5 % de la suspension (Bouanani, 2004).

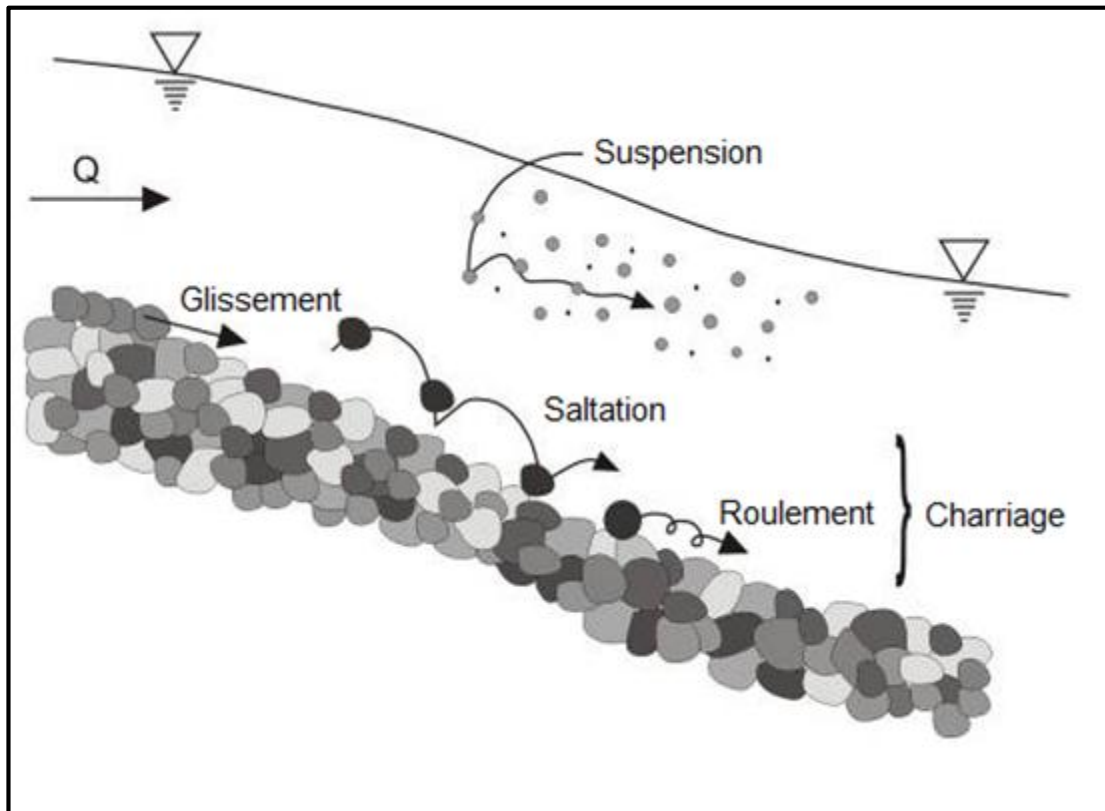


Figure I.7 : Modes de transport solide en rivière.

I.9. Procèdes de mesures de l'érosion et du transport solide

I.9.1. Procédés de mesures de l'érosion

L'érosion du sol par l'eau engendre la destruction des terres lorsqu'elle prend une forme accélérée. Elle engendre également l'envasement d'ouvrages construits par l'Homme sur le chemin de l'eau. Aussi conçoit-on aisément toute l'importance que revêt l'étude de ce phénomène.

Celui-ci débute par une phase de production d'éléments entraînable dans laquelle les précipitations atmosphériques jouent un rôle particulièrement important. Le sol se présente en effet sous une forme plus ou moins agrégée et c'est en grande partie sous l'effet du « splash » que les agrégats et les mottes se désagrègent et libèrent des éléments fins.

L'eau entraîne ensuite en suspension, en saltation et par traction, les matériaux détachés du sol. Elle ruisselle avec sa charge solide vers le bas des pentes où elle se concentre. Puis elle s'écoule des dépressions où elle s'est concentrée pour s'intégrer à un réseau hydrographique. Pendant tout son parcours, elle est également un agent érosif. L'érosion du sol doit comporter les mesures suivantes:

- La mesure du détachement d'éléments entraînaables;
- la mesure directe sur le terrain de l'ablation subie par les sols (Fournier, 1967).

I.9.2. Procédé de mesure des matériaux en suspension

Les échantillons prélevés sont pris au laboratoire. Les eaux sont filtrées. Les matériaux en suspension sont récupérés sur des filtres en papier ou des membranes cellulose préalablement pesées. Papier ou membranes chargées sont séchées à l'étuve à environ 100°C. Le filtre séché est pesé avec une balance de précision et le poids de la charge solide est ramené à l'unité de volume. La turbidité ou la concentration en éléments en suspension s'exprime en mg/l ou en g/m³.

Si l'échantillonnage a eu lieu sur une eau relativement calme et peu chargée, il convient de calciner l'ensemble papier et charge au four à moufle (500°C) afin d'éliminer les matières organiques incluses dans la charge filtrée.

I.9.3. Procédé de quantification du débit solide

Le procédé est similaire à celui de la mesure du débit liquide au moulinet. Sur un certain nombre de points répartis sur plusieurs verticales A, B, C, D,... d'une section, ils vont faire des prélèvements et déterminer aussi bien le débit liquide spécifique instantané que la concentration C en g/m³ de matériaux en suspension.

En reportant cette section, sur un système d'axe XoY, avec en abscisse la largeur de la rivière (rive gauche à rive droite) et en ordonnée les profondeurs à partir de la surface de l'eau, n'importe quel point de mesure sera identifié comme le montre la figure I.8.

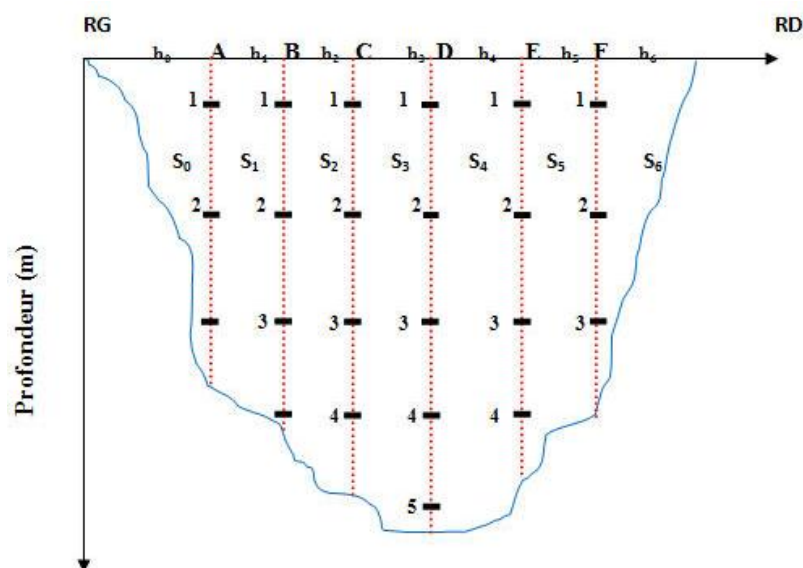


Figure I.8 : Section de mesure.

L'épure des débits solide élémentaire est tracée pour chacune des verticales comme la montre la figure. I.9 pour la verticale A prise comme exemple.

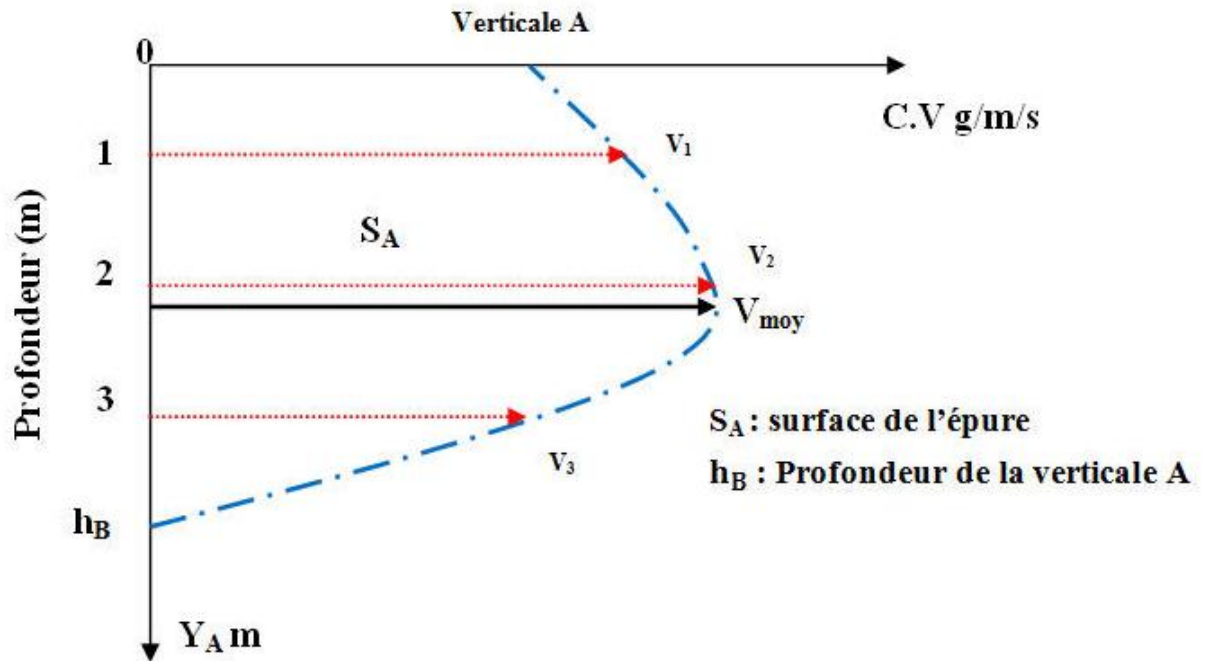


Figure I.9 : Epure des débits solides élémentaires (Verticale A).

Le débit solide élémentaire est donné par la formule suivante :

$$q_s = \int_0^{Y_A} C.V. dy \quad \text{en g/m.s} \quad (I.6)$$

Le débit solide en suspension par unité de largeur de la rivière est déterminé pour chacune des verticales. Le débit solide total Q_s exprimé en g/s n'est que l'intégration des différents débits solides élémentaires des différentes verticales (Figure. I.10).

L'épure du débit solide élémentaire donne après planimétrie, le débit solide total passant à travers la section de mesure.

Le débit solide donné à travers la section de mesure est donné par la formule :

$$Q_s = \int_0^X q_s (X) dx \quad \text{en g/s} \quad (I.7)$$

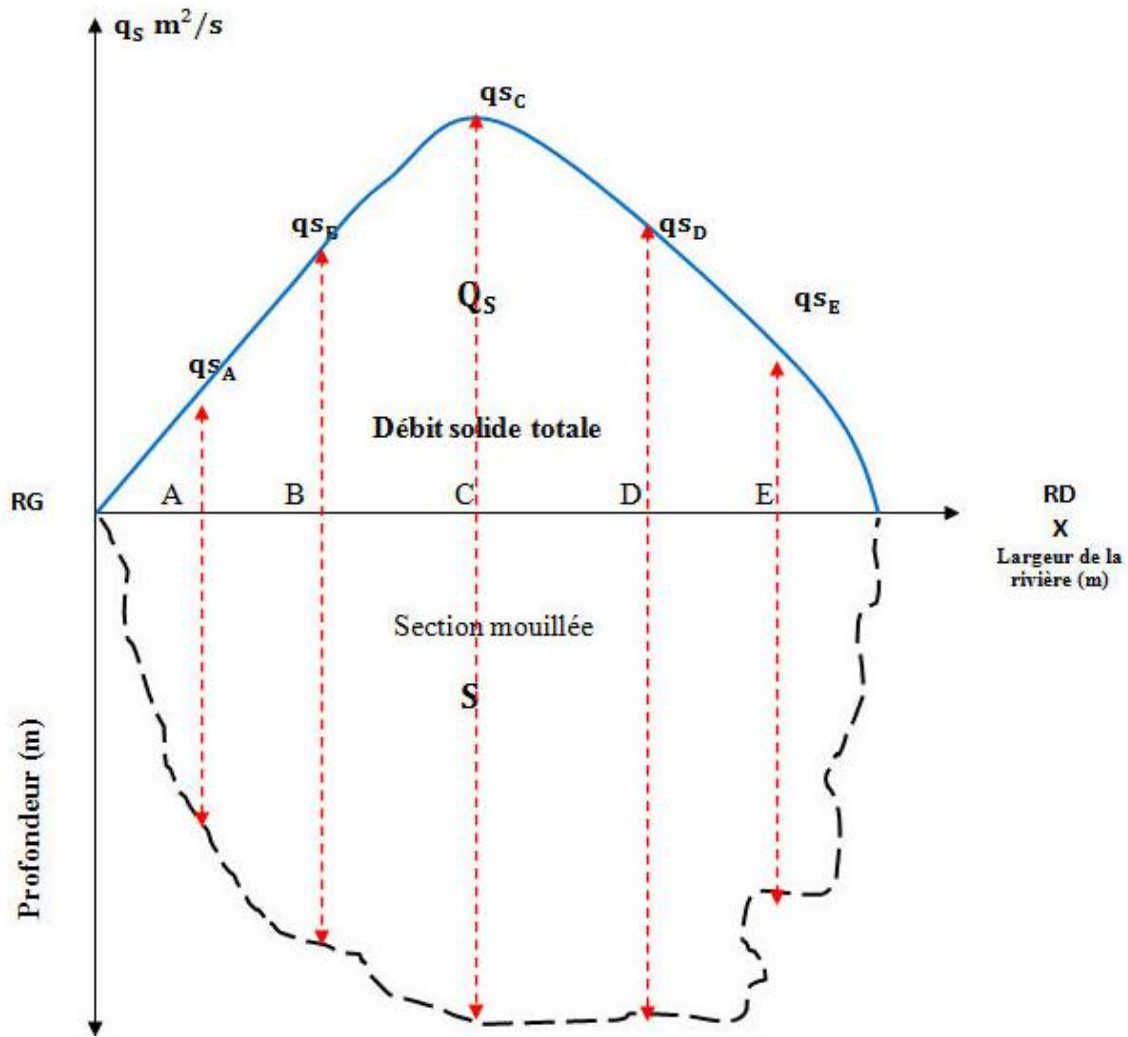


Figure I.10 : Epure du débit solide.

I.10.Modèle Sediment Rating Curve (SRC)

Au cours des dernières années, il a été observé qu'il y a un intérêt accru pour l'étude du transport des sédiments en suspension par les cours d'eau et de l'ampleur des apports de sédiments à la fois des bassins individuels et des zones plus vastes.

La principale raison de cet intérêt accru tient aux considérations sur les interactions sédiment-qualité de l'eau, la sédimentation des réservoirs, l'envasement des canaux et des ports, l'érosion et la perte des sols, les problèmes écologiques et récréatifs, l'impact de l'homme et, du point de vue du géomorphologue, les taux de l'érosion et le fonctionnement des processus fluviaux.

Le transport des matières solides en suspension est un phénomène qui a suscité d'énormes efforts de la part des nations, en matière de lutte contre la dégradation des terres arables, l'envasement

des barrages et l'effet dévastateur des cycles d'inondation et de désertification, qu'il est capable de générer (De Ploey et al., 1991).

Les chercheurs souhaitent recueillir davantage de données pour les études sur le transport des sédiments en suspension. Cependant, la surveillance de la concentration des sédiments en suspension est d'un coût prohibitif. Une autre méthode consiste à utiliser les données observées sur la concentration et le débit des sédiments et à développer la courbe d'évaluation des sédiments (Asselman, 1999 ; Asselman, 2000)

La courbe de tarage est utilisée pour estimer les concentrations de sédiments (masse par volume d'eau) à des débits connus, qui peuvent ensuite être utilisées pour calculer la charge sédimentaire (masse par temps) (Walling, 1977 ; Horowitz et al. 2001). De même, la courbe d'évaluation des sédiments peut être générée avec les données de charge de sédiments en suspension (Leopold et Maddock, 1953 ; Syvitski et al. 1987 ; Syvitski et al. 2000)

Une relation de régression est établie entre le logarithme des débits et des concentrations afin d'obtenir une courbe d'apport sédimentaire (Sediment Rating Curve). De nombreux chercheurs ont recours à la courbe de transport sédimentaire (Sediment Rating Curve, SRC) pour suivre l'évolution du débit solide en fonction du débit liquide (Demirci et Baltaci, 2013). Ce modèle, très important dans le domaine de l'hydrologie (Rajae et al., 2010), estime les concentrations (C) et les flux des matières en suspension, à partir des seuls débits liquides mesurés (Q) (El Mahi et al., 2010). La loi la plus adaptée aux séries de mesures (C,Q) est généralement une loi en puissance de type $C=a.Q^b$ (Walling, 1977a), les deux coefficients (a) et (b) étant déterminés à partir de la régression linéaire des deux paramètres sus cités (Mc Bean et Al-Nassri, 1988; Demirci et Baltaci, 2013). Le paramètre « a » est un coefficient dimensionnel et « b » est un exposant adimensionnel (Gao et Josefson, 2012). La forme courante d'une courbe de tarage est une fonction puissance (Walling, 1977 ; Asselman, 2000 ; Achite et Ouillon, 2007) du type :

$$Q_s = a.Q^b \dots\dots\dots(I.5)$$

Dans laquelle Q_s est le débit moyen journalier de sédiments en suspension en kg/s, Q est le débit moyen journalier d'eau en m³/s, et a et b sont les paramètres de la courbe de tarage.

I.10.1. Modèle SRC dans le monde :

Les utilisations de ce modèle sont nombreuses dans le monde, et nous n'en mentionnerons que quelques-unes, non pas à titre limitatif, mais par souci de clarification.

- **Qamar Sultana (2020)** : l'estimation des sédiments en suspension dans la rivière Godavari au point de jaugeage Yelli in Inde en utilisant la méthode de la courbe d'évaluation des sédiments. Cette analyse est effectuée pour les variations journalières, annuelles, mensuelles et saisonnières sur une période de 31 ans. Le paramètre d'évaluation (a) est de 0,2981 pour les sédiments en suspension quotidiens, de 7,0288 pour la période humide, de 0,91 pour les sédiments mensuels et de 7,0391 pour les données annuelles sur les sédiments. De faibles valeurs du coefficient quotidien et mensuel (a) indiquent de faibles concentrations de sédiments. On constate que la corrélation entre $\ln(a)$ et b s'avère être forte pour la courbe d'évaluation mensuelle des sédiments par rapport à celle des périodes annuelles et saisonnières.

- **Karrat et al. (2016)** : L'étude des flux de matière en suspension (MES) a nécessité des prélèvements presque hebdomadaires, au cours d'un cycle hydrologique. L'échantillonnage des eaux a en effet été réalisé tout au long de la période allant du 02/07/2004 au 31/08/2005 à la station hydrométrique Azzaba au Maroc située à 10,5 km de l'entrée du lac du barrage. Le pas d'échantillonnage étant le plus souvent de 7 jours. Les prélèvements ont été effectués au milieu du lit du cours d'eau. Le taux de dégradation spécifique estimé à 195 t/km²/an. Les points du nuage obtenus sont alignés autour de la droite de régression. Le coefficient de détermination reliant ces deux composantes R² est de 0,916. Cette relation en puissance de type ($Q_s=0,94.Q_1^{1,64}$).

I.10.2. Synthèse bibliographiques des travaux sur l'érosion en Algérie

Nous remarquons dans le (Tableau I.2) des valeurs avec une variabilité spatiale assez importante, de plus pour la même région on trouve des valeurs différentes d'un auteur à l'autre, cette différence peut s'expliquer par la méthodologie suivie par chaque auteur, la chronologie des séries hydrologiques traitées...etc. Cela met encore plus en évidence la complexité du phénomène de transport solide, et pour mieux étudier ce phénomène, la qualité et la quantité de la donnée est primordiale.

Tableau I.2 : Evaluation du transport des sédiments en Algérie.

Auteurs	Bassin versant	Période	A Km²	Ass (t/km²/an)
Meddi. 1999	Oued Ebda	-	-	1875
Terfous et al. 2001	Oued Mouilah	1977-1993	2650	126,4
Megnounif et al. 2003	Haute Tafna	1988-1993	256	24 - 4288
Achite et al. 2004	Oued Haddad	1973 - 1995	470	287
Achite et al. 2005	Takhmaret	1973 - 1995	1553	65
Achite et al. 2005	Oued Mina	1973 - 1995	4900	187
Larfi et Remini 2006	Oued Isser	1984 - 1997	3615	1100
Ghenim et al. 2007	Oued Sebdou	1985 - 1998	256	1330
Achite et Ouillon 2007	Oued Abd	1973 - 1995	2480	136
Khanchoul et Jansson 2008	Oued Mellah	1972 - 1997	550	562
Cherif et al. 2009	Oued Mekkara	1950 - 2001	4102	111
Hasbaia et al. 2010	Oued Soubella	1974-1989	183.5	126
Bouanani et al. 2012	Oued Saida	1980 - 2010	543	55-29
Benkadja et al. 2013	Oued El Ksob	1973 - 1991	1484	208
Boukhrissa et al. 2013	Oued El Kebir	1975 - 1999	681	1404
Megnounif et al. 2013	Oued Sebdou	1973 - 2004	256	343
Bouchelkia et al. 2014	Oued chellif	1972-2000	43700	94,27
Remini et al. 2015	Oued chellif	1986 - 2005	759	-
Bouguerra et al. 2016	Oued Boumessoud	1988 - 2004	118	518
Selmi et Khanchoul 2016	Mellegue	1970 - 2003	4575	589.23
Madani C et al. 2017	Oued El Hammam	1986 - 2008	7440	111
Hasbaia et al. 2017	Oued Soubella	1974 - 1989	183.5	126
Hallouz et al 2017	Oued Mina	1971 - 2002	-	211
Belarbi et al. 2018	Tafna	1997 - 2011	6900	196,11
Ballah et Achite 2019	Oued Allalah	1983-2013	293	1108

avec : A : la surface ; Ass : la dégradation spécifique (t/km²/an).

Conclusion

En termes de conclusion, ce chapitre fournit, à travers une synthèse bibliographique, un point des connaissances actuelles sur le phénomène d'érosion, leur processus et leur action en termes de granulométrie des fragments de terre mobilisés. Les différents agents érosifs sont évoqués et l'ensemble des processus et facteur érosifs qui prennent place de l'érosion hydrique ainsi que ses différents types sont présentés.

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

II.1. Introduction

L'espace physique constitue l'élément déterminant sans lequel aucune étude hydrologique n'est véritablement possible. C'est pour cette raison essentiel qu'est abordée la présentation des aspects physiques et hydrologique.

Dans ce chapitre nous présentons les limites géographiques de la zone d'étude, la géologie, la topographie, l'occupation des sols, ainsi que le réseau hydrométrique et en fin les différentes caractéristiques climatiques de la zone d'étude.

II.2. Bassin versant du Côtier Algérois

II.2.1.Situation Géographique

Le bassin du Côtiers Algérois est un bassin très important au nord algérien bien qu'il ne représente que 0,5% de la superficie globale de l'Algérie, il s'étend sur près de 500 km, de Bejaïa jusqu'à Mostaganem, sur la côte méditerranéenne pour une largeur moyenne de 24 km, d'où il tient sa grande diversité climatique, géomorphologique, géologique, pédologie, topographique...etc. En plus c'est un bassin drainé non par un seul cours d'eau principal, mais par plusieurs, on peut citer le grand Sébaou, El Harrach, le Mazafran, el Hachem, Damous...etc.

Situé au Nord centre d'Algérie, il est limité au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par le bassin hydrographique des côtiers Constantinois, au sud par le bassin de la Soummam, l'Isser et le Cheliff qui le borde à l'Ouest aussi. La limite sud est constituée principalement par la chaîne montagneuse de l'Atlas Tellien.

Le bassin des Côtiers Algérois est cerné entre la latitude 36°1' et 36°58' Nord et entre la longitude 5°6' et 0°7' Ouest. Il couvre une superficie de 11 958 km², et il est divisé par l'ANRH en vingt sous bassins hydrologique (Figure II.1 ; Figure II.2).

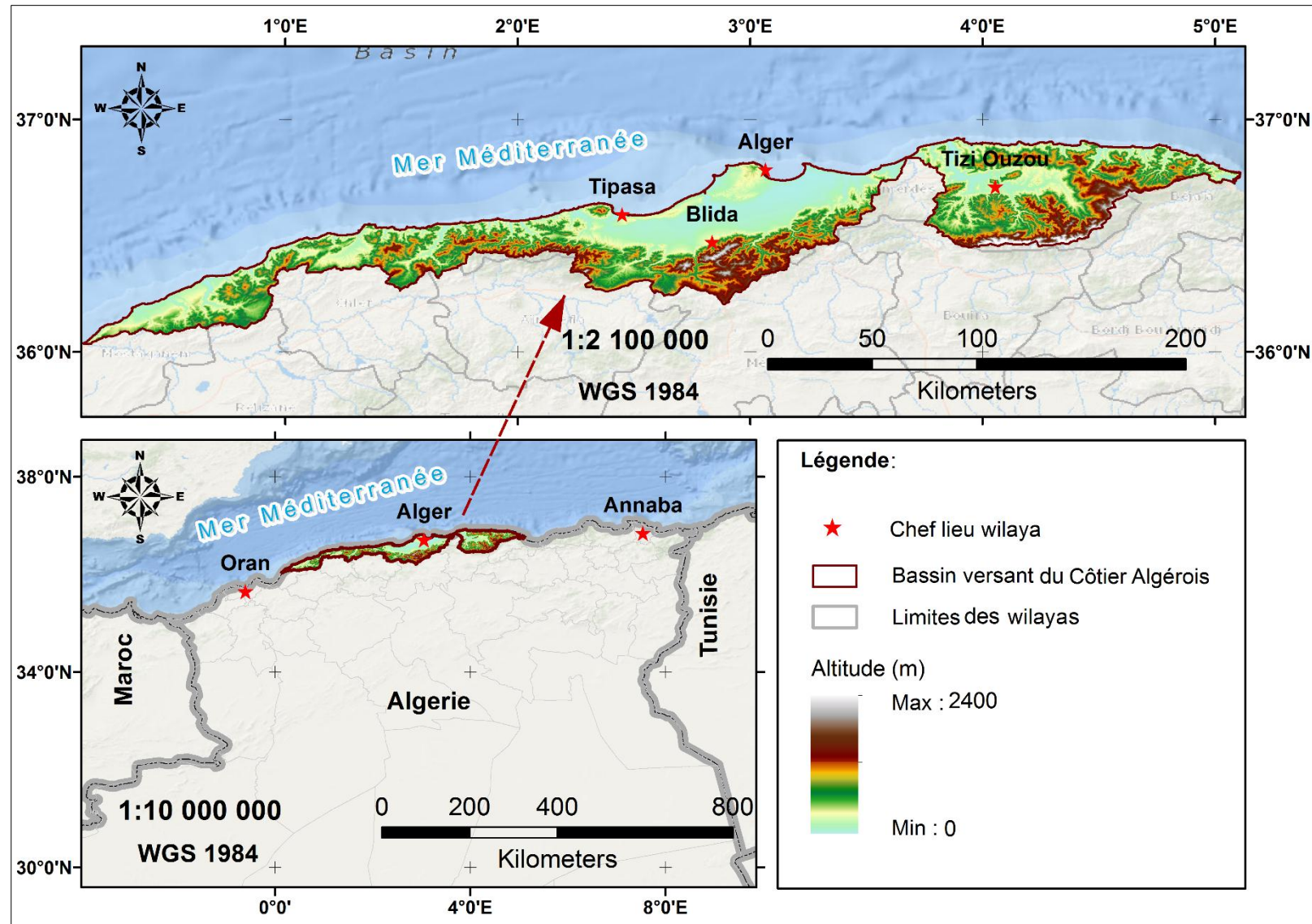


Figure II.1 : Situation géographique de la zone d'étude.

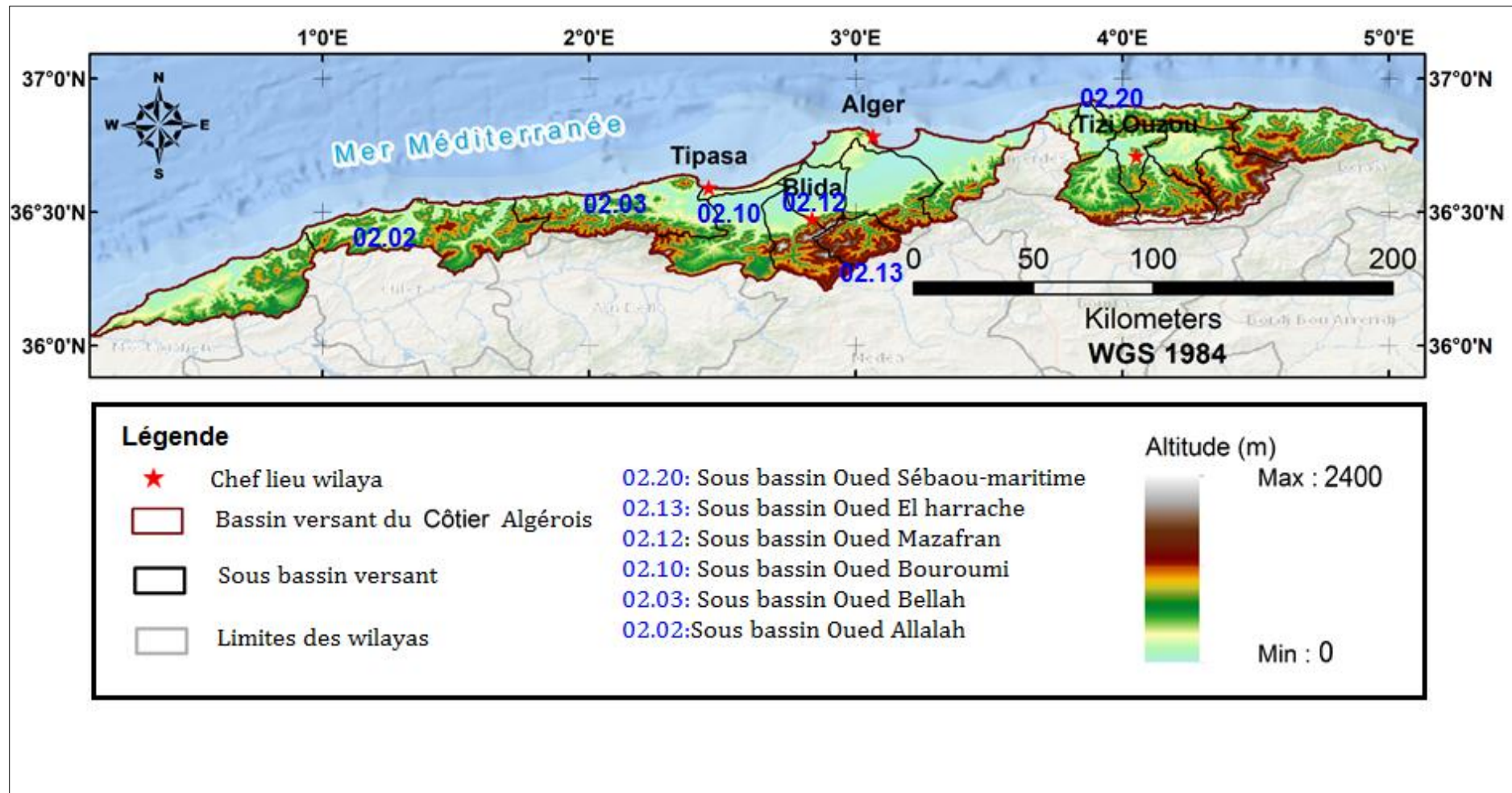


Figure II.2 : Situation géographique des sous-bassins du Côtier Algérois.

II.2.2. Caractéristiques socio- économiques et démographiques

Vue l'importance du bassin des Côtiers Algérois, le nombre d'ouvrages de stockage n'a cessé de croître afin de satisfaire les besoins d'une population qui représente près de 20% de la population totale de l'Algérie et qui vit sur une superficie égale à 0,5 % de la superficie globale, aussi pour satisfaire les besoins agricoles, sachant que le bassin comprend la Mitidja qui est la plaine la plus fertile d'Algérie. En plus de ces besoins, l'industrie prend de plus en plus d'importance dans une région qui est la plus industrialisée d'Algérie ([Ammari, 2012](#)).

Le territoire du bassin englobe Sept wilayas (Alger, Tizi Ouzou, Blida, Tipaza, Boumerdes, Ain Defla et Médéa très partiellement) sur une superficie de 11958 km², soit plus de 125 communes et de très importantes activités économiques, industrielle et agricole. La population totale actuelle de 5,152 millions dont 94 % agglomérée, est surtout concentrée sur la wilaya d'Alger 57% (2,93 millions) ([GIRE algérois, 2013](#)).

II.2.3. Caractéristiques physiques

II.2.3.1. Cadre géologique

Sur la carte géologique du Côtiers Algérois (Gouvernement général de l'Algérie : [Direction du commerce, de l'énergie et de l'industrie, 1951-1952](#)) (Figure II.3, Tableau II.1) on voit clairement une diversité géologique sur toute notre zone d'étude, chose qui 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. En effet, un bassin formé de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue aura en générale une densité de drainage faible, assurant une meilleure infiltration des eaux superficielles, par ailleurs un bassin formé de roches imperméables mais meubles est érodable, avec une végétation moyenne, présente souvent une densité de drainage élevée, ce qui favorise le ruissellement et augmente le taux d'érosion ([Chow, 1964](#)).

Du côté du Sébaou on distingue l'unité tellienne de Dellys située dans le secteur de Baghlija. Du côté d'Azazga et Ain el Hammam, une formation d'olistostrome (Argiles à blocs) affleure, cette formation est constituée d'une matrice tendre (argileuse, marneuse ou pélitique).

Les formations post nappe regroupent les terrains d'âge miocène et pliocène, le miocène occupe une grande zone synclinale entre Azazga et Dellys, où il présente des marnes puis des

conglomérats qui se terminent par des marnes. Quant aux formations quaternaires, elles sont représentées par des dépôts alluvionnaires anciens et récents de limons de surface, d'Alluvions grossiers (sable, gravier et galet) et de substratum marneux.

A l'Ouest du Sébaou, du côté de la Mitidja, on constate une sédimentation actives dans les éléments proviennent des reliefs de l'Atlas Blidéen, dans cette zone à la fin du pliocène et au quaternaire ; deux réservoirs aquifères se sont individualisés, l'Astien formé de calcaire et de grés et le quaternaire formé de galets et de graviers.

On peut voir que la Mitidja est composé essentiellement d'Alluvions perméables, ce qui signifie que cette zone est une zone de dépôts de sédiments charriés par les cours d'eau qui la traversent. On remarque aussi l'absence de formations résistantes, ce qui peut, associer à d'autres facteurs, engendrer un taux d'abrasion assez considérable, et la présence d'une telle plaine en est un témoignage.

Tableau II.1 : Superficie des classes lithologiques du bassin versant du Côtiers Algérois.

Description		S (km ²)	S (%)
A	Alluvions actuelles	50,60	0,40
D	Dunes récentes	50,20	0,40
qt	Quaternaire continental	1626,00	13,60
qm	Quaternaire marin	258,70	2,20
qc	Calabrien	515,70	4,30
qv	Villafranchien	240,00	2,00
P	Pliocène marin	536,30	4,50
ms	Miocène terminal marin et lagunaire	59,10	0,50
mm	Miocène supérieur marin	442,60	3,70
mi	Miocène inférieur	1035,60	8,70
o	Oligocène marin	2200,60	18,40
em	Eocène marin	37,30	0,30
ei	Eocène inférieur marin	21,50	0,20
cs	Crétacé supérieur marin	1298,50	10,90
cm	Crétacé moyen	415,90	3,50
ci	Crétacé inférieur	1720,10	14,40
Js	Jurassique supérieur non divisé	24,00	0,20
Ji	Jurassique inférieur marin	102,80	0,90
t	Trias marin ou lagunaire	2,80	0,00
Pt	Permo-Trias	86,40	0,70
z	Micaschistes	837,10	7,00
£	Gneiss	316,30	2,60
ρ	Rhyolites	80,40	0,70
Total		11958,00	100,00

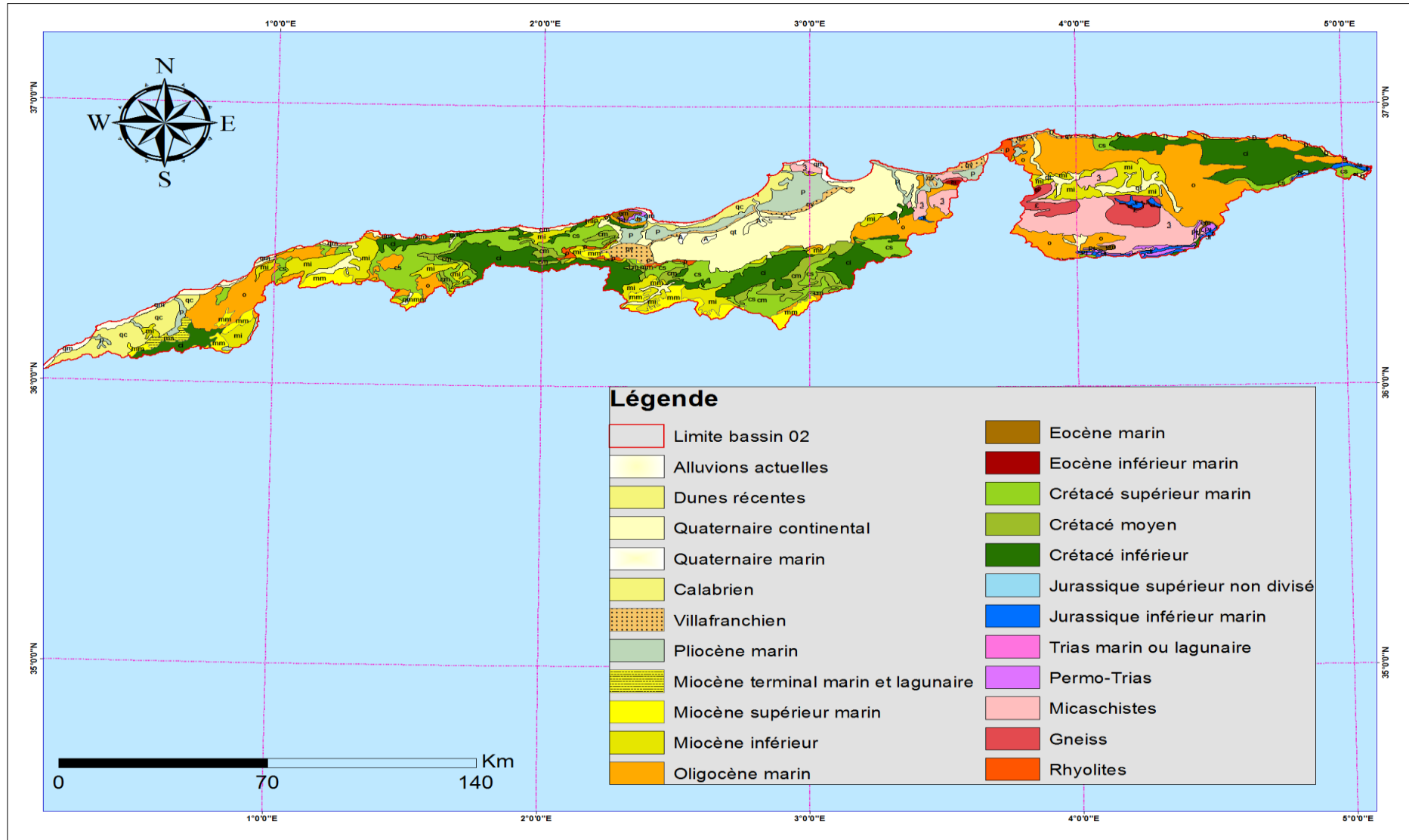


Figure II.3 : Carte lithologique du bassin versant du Côtier Algérois (Direction du commerce, de l'énergie et de l'industrie, 1951-1952)

II.2.3.2. Occupation du sol

Les techniques utilisés pour la réalisation d'une carte d'occupation du sol sont deux supervisée et non supervisée. Les résultats obtenus à travers une classification non supervisée à l'aide du logiciel « **ArcGIS 10.3** », nous ont permis de délimiter 6 zones (Figure II.4 ; Tableau II.2) de caractéristiques différentes, à savoir : sols labourés ; sol nu ; plan d'eau, végétation dense ou claire.

Tableau II.2 : Superficie et pourcentage des classes d'occupation du sol.

N° de classe	Occupation du sol	Superficie (km ²)	Superficie (%)
1	Végétation dense	2603,06	21,77
2	Végétation claire	3819,73	31,94
3	Plan d'eau	1247,75	10,43
4	Sol nu	1982,42	16,58
5	Sol labouré	1302,16	10,89
6	Habitations	1002,88	8,39
Total		11958,00	100,00

II.2.3.3. Infrastructures hydrauliques

Le regroupement des caractéristiques générales des barrages de notre zone d'étude sont regroupées dans le tableau suivant (Tableau II.3) et Figure II.5.

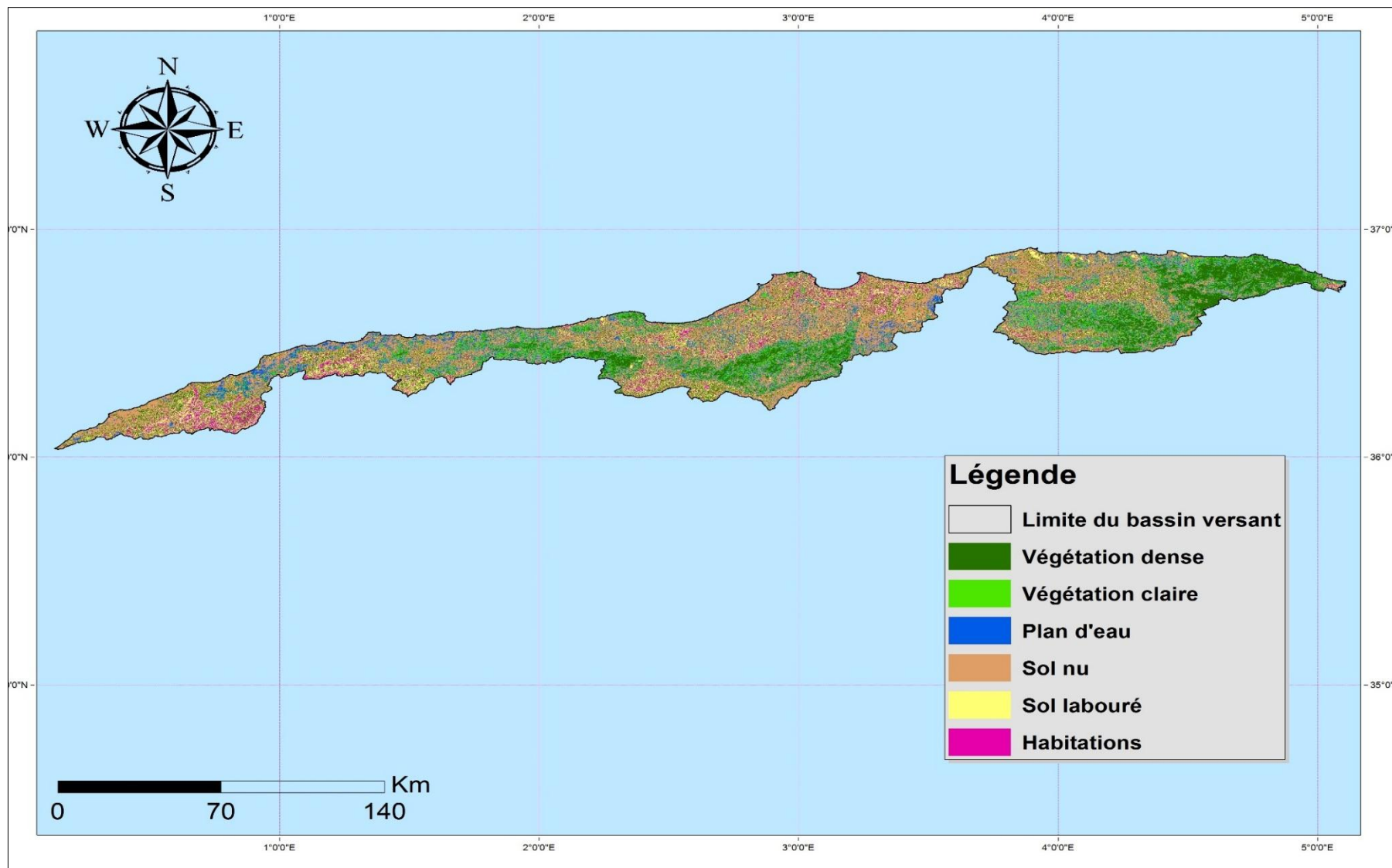


Figure II.4 : Carte d'occupation du sol de bassin versant du Côtier Algérois.

Tableau II.3 : Caractéristiques générales des barrages de notre zone d'étude.

Barrages	Taksebt	Keddara	El Hamiz	Bouroumi	Meurad	Boukerdene	
Caractéristiques hydrologiques							
Oued principal	Aissi	Boudouaou	Arbatach	Bouroumi	Boudjabroun	El Hachem	
Capacité initiale	175,00 hm ³	145,60 hm ³	14 hm ³	188,00 hm ³	1,20 hm ³	97,00 hm ³	
Capacité après surélévation	/	/	21 hm ³	/	/	/	
Capacité au dernier levé bathymétrique (2004)	181,02 hm ³	142,39 hm ³	15,53 hm ³	181,86 hm ³	0,20 hm ³	104,99 hm ³	
Apport moyen annuel	196,00 hm ³	32,30 hm ³ /an	55 hm ³ /an	26,0 hm ³	1,50 hm ³ /an	35,0 hm ³	
Envasement moyen annuel	0,27 hm ³ /an	2,2 hm ³ /an	0,35 hm ³ /an	3,27 hm ³ /an	0,005 hm ³ /an	0,21 hm ³ /an	
Surface du bassin versant drainée	448 km ²	93 km ²	139 Km ²	150km ²	18 km ²	156 km ²	
Caractéristiques du barrage							
Type	Terre	Terre	Poids	Terre	Terre	Terre	
Hauteur	94 m	106,00 m	50 m	98,0 m	30 m	74,41 m	
Longueur	515 m	468,00 m	222 m	340,0 m	106 m	609, 98 m	
Côte de la retenue Normale (R.N)	165,00 m	145,00 m	174,10 m	323,30 m	256,15 m	119,50 m	
Côte des Plus Hautes Eaux (P.H.E)	169,62	147,32 m	175,00 m	327,30 m	258,00 m	123,00 m	
Déversoir :	à seuil libre	2500 m ³ /s	750 m ³ /s	/	400 m ³ /s	1,5 m ³ /s	1 000 m ³ /s
	vanne cylindrique	/	/	930 m ³ /s	/	/	/
Vidange de Fond	210 m ³ /s	55 m ³ /s	2 x 35 m ³ /s	160 m ³ /s	3,5 m ³ /s	150 m ³ /s	
Destination							
Alimentation en Eau Potable	Tizi-Ouzou et Alger	la ville d'Alger	/	Boumedfaa, Hammam-Regha et Alger	/	Tipasa, Cherchell et Alger	
Transfert des eaux	/	/	vers la retenue de Keddara par la galerie	/	/	/	
Irrigation	/	/	périmètre Mitidja Ouest	périmètre Mitidja Ouest	les vergers de Hadjout	périmètre Mitidja Ouest	
Construction							
Début des travaux / mise en eau	1994/2001	1982/1986	1879/1935	1979/1985	1852/1861	1986/1992	



Figure II.5 : Image satellite des barrages (*Google Earth le 28/03/2021*)

II.2.3.4. Cadre hydrogéologique

Les eaux souterraines constituent une ressource en eau stratégique et joue un rôle important dans le développement socioéconomique de la région. 46 systèmes aquifères appartenant totalement ou partiellement à la zone d'étude ont été identifiés. Les ressources renouvelables utilisables sont évaluées à environ 792 Hm³ (Tableau II.4).

L'essentiel des ressources souterraines de la zone d'étude est localisé dans les bassins de l'algérois (46%) suivi du bassin d'El-Hodna (31%) (Figure II.6).

Les nappes de la Mitidja, du Chott El-Hodna et de la plaine de Sétif sont les plus importantes de la zone d'étude. Elles totalisent à elles seules plus de 58% des potentialités en eau souterraines.

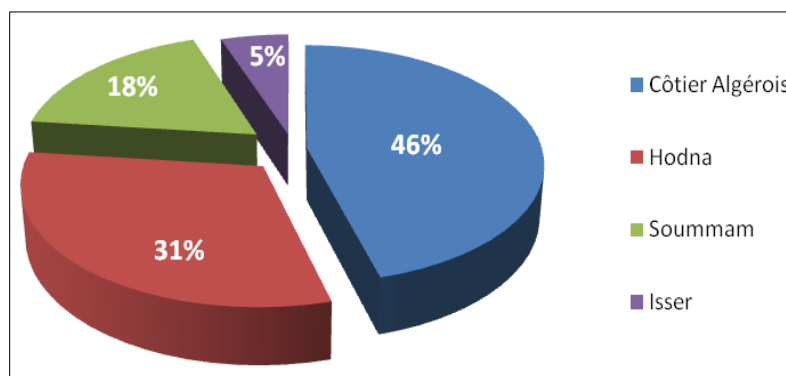


Figure II.6 : Répartition des ressources en eau souterraines par bassin (PDARE, 2014).

Il y a lieu de signaler qu'une partie de ces ressources sont gérées d'une manière non durable. En effet, le suivi de l'évolution des niveaux d'eau de certaines nappes montre une baisse continue atteignant parfois des valeurs préoccupantes, cas de la nappe de la Mitidja (région du Hamiz), du bas Sébaou et de la nappe du Hodna.

Ceci conduit à une nécessité accrue de concevoir des mécanismes et de mettre en place les instruments adéquats pour faire face à cet usage non durable de la ressource.

Il est bien vrai que ces instruments ne sont pas simples à concevoir et mettre en œuvre mais il faut agir dès à présent au vu des risques environnementaux, économiques et sociaux, et des impacts importants qu'induit la surexploitation de la ressource.

Tableau II.4 : Les potentialités en eau souterraine du Côtiers Algérois (PDARE, 2014).

Nom unité hydrogéologique	Superficie totale de la nappe (Km ²)	Potentialités en eau totales (Hm ³)	Potentialités en eau dans AHS (Hm ³)
Djebel hammam madine	68,58	1,29	1,02
Oued Bellah	1,92	0,14	0,13
Oued Hachem	23,01	1,85	1,85
Djebel Boumaad	24,84	2,53	2,03
Djebel Zaccar chergui	3,24	0,57	0,57
Oued Nador	10,44	0,76	0,76
Oued Zeboudj	21,95	1,94	1,94
Dunes du sahel	156,80	11,41	9,01
Plaine alluviale de la Mitidja	1 492,00	259,26	259,26
Oued Mazafran	6,40	0,28	0,27
Dj. Guerroumene	157,40	6,97	6,97
Oued Arara	5,25	0,37	0,32
Vallée du bas sebaou	73,11	30,12	30,12
Vallée du haut sebaou	65,40	26,12	26,12
Chaine du Djurdjura	201,10	20,42	20,42
Calcaires de Toudja	12,81	1,45	1,45
Calcaires de Bougie	12,67	0,92	0,72
Djebel Zaccar Gherbi	26,20	5,87	0,16

II.2.3.5. Relief

Le relief dans les bassins versant est un facteur essentiel dans le cycle hydrologique ; la forme du bassin versant est la configuration géométrique telle qu'elle est projetée sur un plan horizontal, elle influence le temps de réponse du bassin, c'est-à-dire le temps de parcours de l'eau à travers le réseau de drainage et par conséquent sur l'hydrogramme de crues, quant au relief il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration, l'évaporation et même la puissance érosive de l'eau. Ce sont des éléments capitaux dans un processus hydrologique d'un bassin.

a. Modèle numérique de terrain

La carte des altitudes dérive directement du modèle numérique de terrain. Elle présente la répartition des classes d'altitudes en fonction des superficies élémentaires. L'étude hypsométrique du bassin montre que les zones d'altitude comprise entre 200 et 400 m dominant avec 57,20 % de la superficie totale, et que la classe la plus haute (2000 à 2400 m) est minoritaire (Figure II.7 ; Tableau II.5). L'altitude moyenne est évaluée à 1228,57 m.

Tableau II.5 : Classes des altitudes du bassin versant du Côtiers Algérois.

Classes d'altitudes (m)	A (Km ²)	A (%)
0 – 200	9,08	0,08
200 – 400	6838,93	57,20
400 – 800	3727,35	31,18
800 – 1200	1113,51	9,31
1200 – 1600	218,44	1,83
1600 – 2000	45,25	0,38
2000 – 2400	3,17	0,03
Total	11958,00	100,00

b. Classe des pentes

La carte des pentes (Figure II.8), exprimées en pourcentage, dérive directement du Modèle Numérique de Terrain. Elle révèle la domination des pentes modérées (3 – 12,5%) qui concernent 34,69% de la superficie totale. Les terrains à faibles pentes (0 - 3%) recouvrent 31,13% du bassin situés principalement dans la plaine de la Mitidja. Les fortes pentes comprises entre 12,5 et 25% se situent à l'Est et dans la partie centrale ; elles occupent 23,68% du bassin et présentent un risque d'érosion très élevé. Les terrains à pentes supérieures à 25% couvrent 10,50% de l'aire totale et se situent principalement dans la partie Est du bassin (monts de Djurdjura).

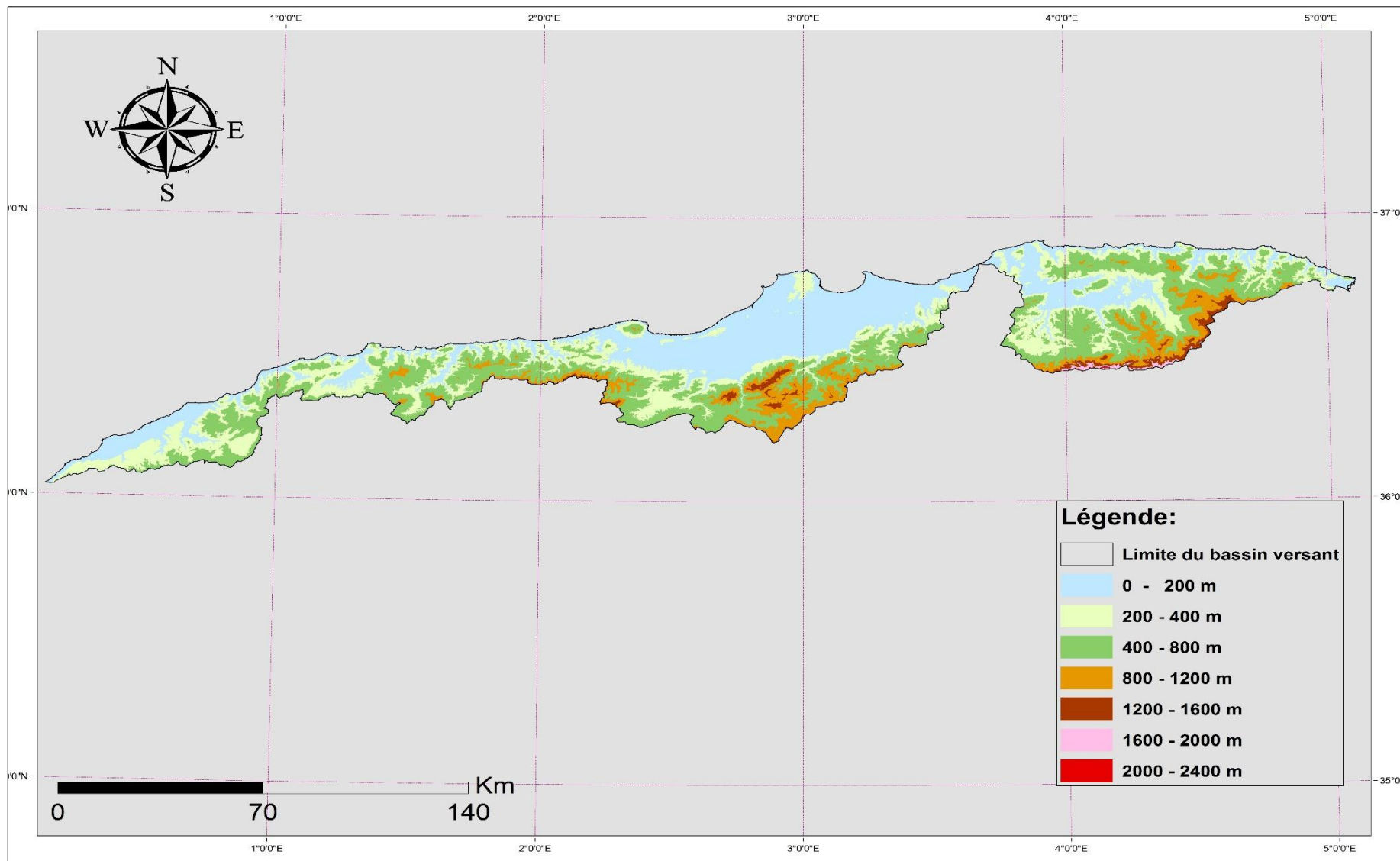


Figure II.7 : Carte des altitudes du bassin versant Côtiers Algérois.

Tableau II.6 : Classes des pentes dans le bassin versant du Côtiers Algérois.

Classes (%)	A (Km ²)	A (%)
0 - 3	3722,43	31,13
3 - 12,5	4148,65	34,69
12,5 - 25	2832,13	23,68
> 25	1255,12	10,50
Total	11958	100,00

II.2.4 Réseau hydrométrique

Le bassin versant du côtiers Algérois est contrôlé par six stations hydrométriques (figure II.9), dont les coordonnées sont données au tableau II.7.

Tableau II.7 : Stations hydrométriques du bassin versant du Côtiers Algérois.

Code de la Station	Nom de la station	Coordonnées géographiques	
		longitude	latitude
020207	Sidi Akkacha	1,3'12,777"E	36,4'86,944"N
020323	Pont RN11	2,4'29,444"E	36,5'29,722"N
021011	Attatba	2,6'84,166"E	36,5'66,388"N
021201	Fer A cheval	2,8'12,222"E	36,6'59,722"N
021301	Roche des pigeons	3,0'57,777"E	36,4'93,055"N
022002	Baghlia	3,8'62,222"E	36,8'06,111"N

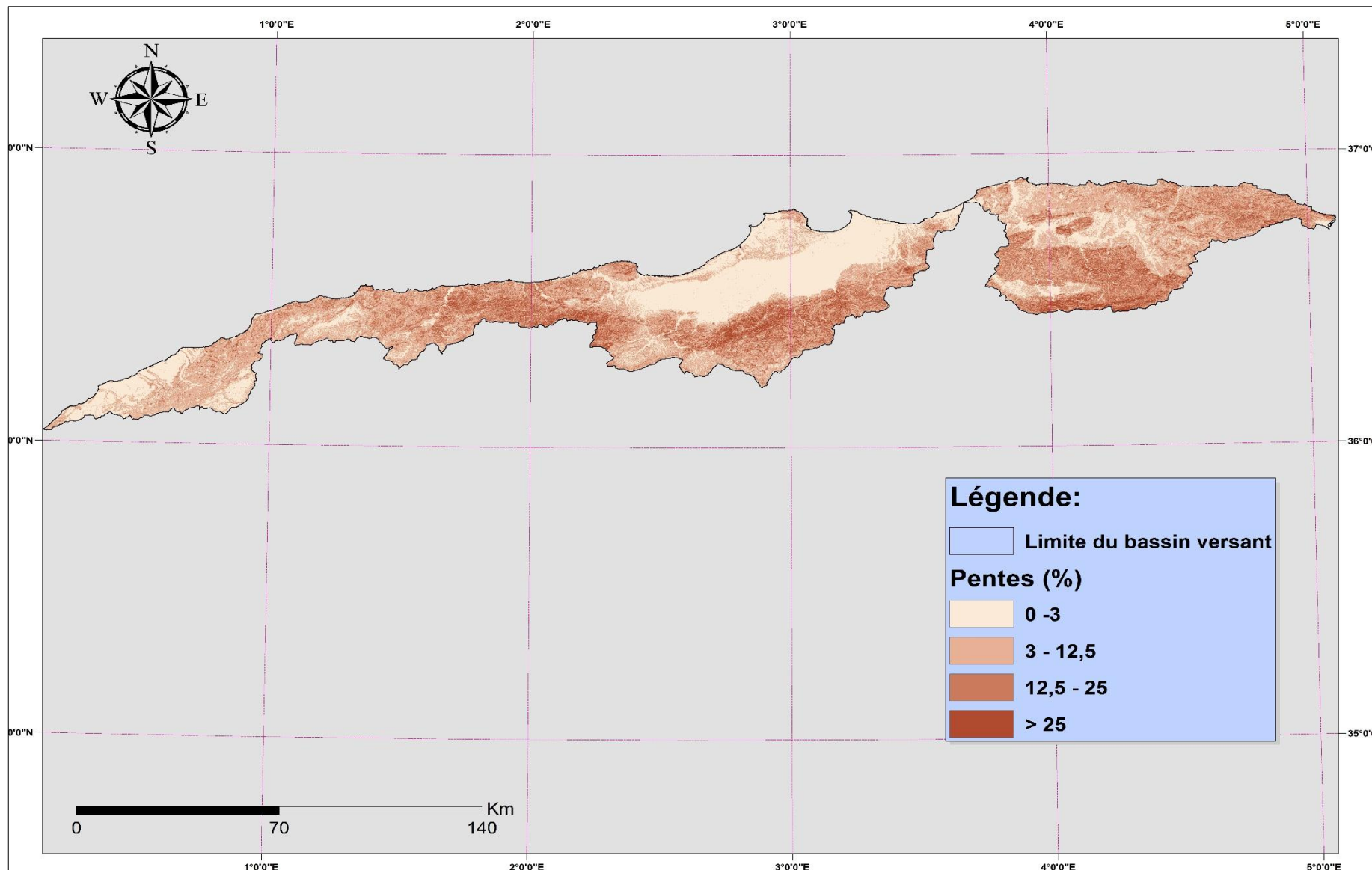


Figure II.8 : Carte des pentes du bassin versant du Côtiers Algérois.

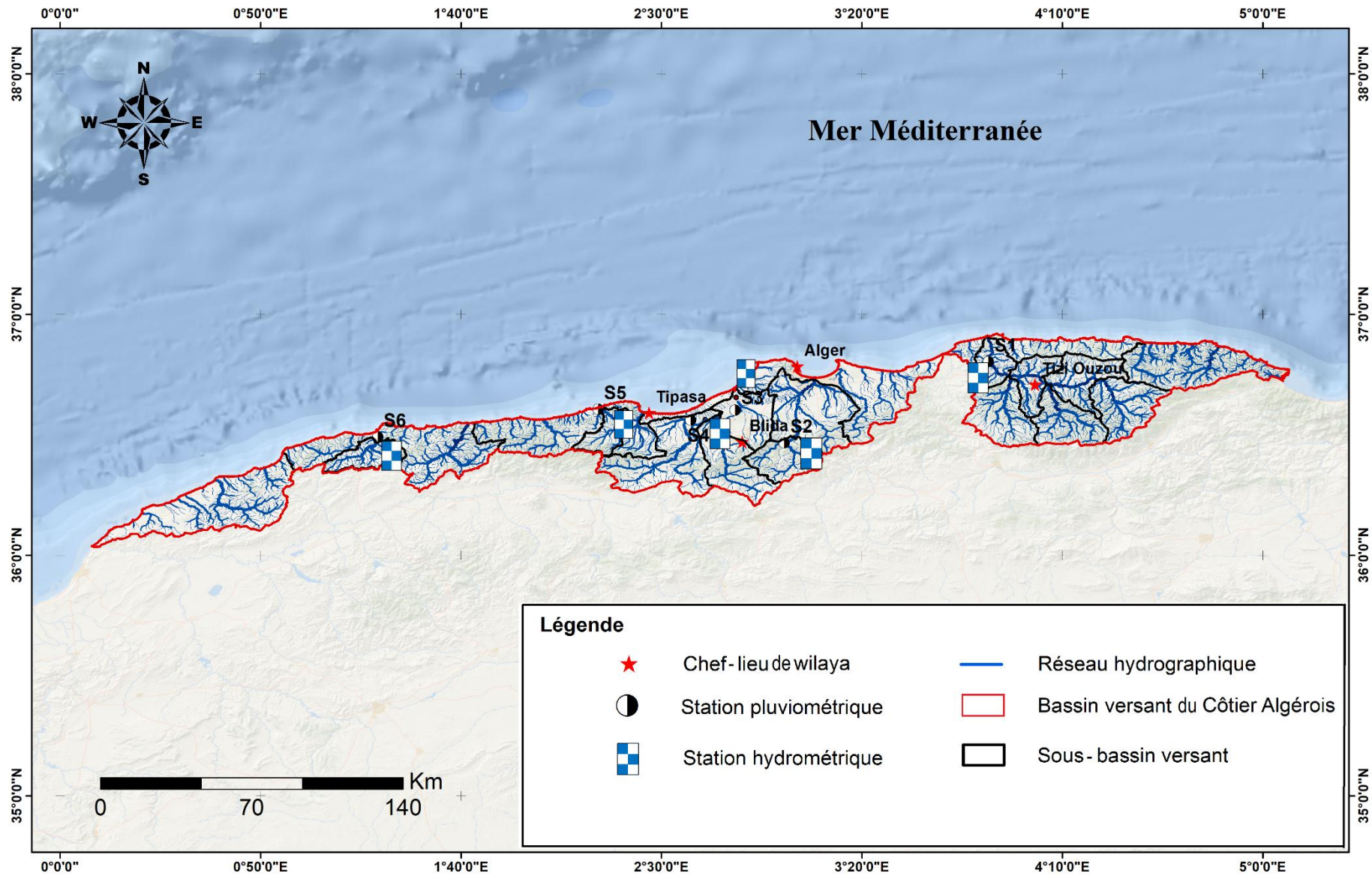


Figure II.9 : Carte de classification du réseau hydrographique et hydrométrique du bassin versant.

II.2.5. Etude des paramètres du relief

II.2.5.1. L'indice de compacité (K_c)

Le K_c sert à mesurer la compacité du bassin, c'est-à-dire, qu'il est sensé rendre de la plus au moins grande vitesse de concentration à l'exutoire des eaux de ruissellement en provenance des diverses parties du bassin. Ce coefficient, trouvé par Gravelius (1914), est le rapport entre le périmètre du bassin (P) et la circonférence du cercle ayant la même superficie que le bassin (A) Formule (II.1):

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{II.1})$$

avec :

K_c : Coefficient de Gravelius;

A : Superficie du bassin versant (Km^2);

P : Périmètre du bassin versant (Km).

Selon la valeur de K_c , on peut caractériser la forme du bassin versant comme suit :

- $K_c < 1 \Rightarrow$ bassin de forme ramassée ;
- $K_c = 1 \Rightarrow$ bassin de forme circulaire ;
- $K_c > 1 \Rightarrow$ bassin versant de forme allongée.

Le bassin du Côtiers Algérois avec une valeur de $K_c = 3,43$ présente donc une forme allongée.

II.2.5.2. Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent s'identifie par une simple transformation géométrique du contour du bassin en un rectangle de même surface A , de périmètre P , de longueur L , de largeur l , d'indice de compacité K_c , et avec la même courbe hypsométrique que le bassin versant étudié, les courbes de niveaux devenant des droites parallèles aux petites côtes et les exutoires du bassin versant étant assimilées à l'un de ces petits côtés du rectangle (Formules (II.2) et (II.3)).

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad (\text{II.2})$$

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad (\text{II.3})$$

avec :

L : Longueur du rectangle équivalent (Km);

l : Largeur du rectangle équivalent (Km);

K_c : Indice de compacité de Gravelius;

A : Superficie du bassin versant (Km²).

Après application numérique, les valeurs du rectangle équivalent sont les suivantes :

$L = 647,50 \text{ Km}$ et $l = 18,46 \text{ Km}$.

II.2.5.3. Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique est une caractéristique importante de la topographie d'un bassin versant. En abscisse, elle présente les superficies cumulées et en ordonnées, les altitudes correspondant en pourcentage (Tableau II.8 ; Figure II.10).

Tableau II.8 : Répartition des superficies cumulées en fonction des classes d'altitudes.

Classe	Superficie partielle		Superficie cumulée		Altitude moyenne (m)
	A (km ²)	A (%)	A (km ²)	A (%)	
2000 – 2400	4,17	0,03	4,17	0,03	2200,00
1600 – 2000	45,25	0,38	49,42	0,41	1800,00
1200 – 1600	218,44	1,83	267,86	2,24	1400,00
800 – 1200	1113,51	9,31	1381,37	11,55	1000,00
400 – 800	3727,35	31,18	5108,72	42,72	600,00
200 – 400	6838,93	57,19	11947,65	99,91	300,00
0 – 200	10,08	0,08	11958,00	100,00	100,00
Total	11958,00	100,00			

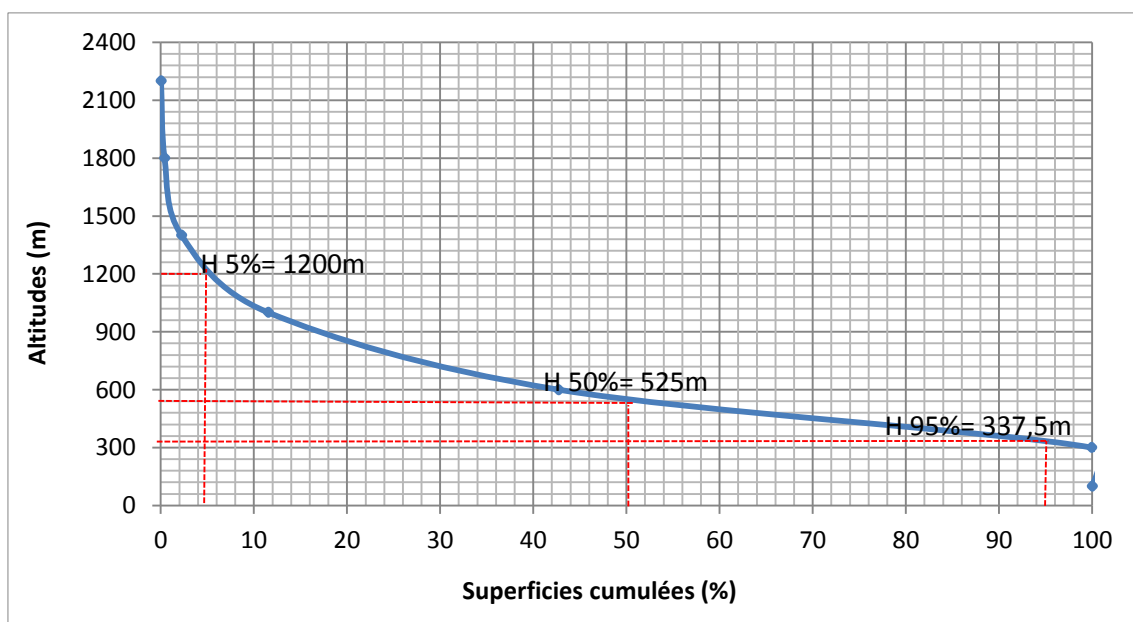


Figure II.10 : Courbe hypsométrique du bassin versant du Côtiers Algérois.

- **Altitude médiane** : Elle correspond à l'altitude liée au point d'abscisse 50 % de la superficie totale du bassin. Sur la courbe hypsométrique, $H_{50\%} = 525$ m;
- **Altitude à 5% de la superficie** $H_{5\%} = 1200$ m;
- **Altitude à 95% de la superficie** $H_{95\%} = 337,5$ m;
- **Altitude maximale** : $H_{(\max)} = 2400$ m;
- **Altitude minimale** : $H_{(\min)} = 0$ m;
- **Altitude moyenne** :

L'altitude moyenne d'un bassin versant exprime le rapport entre les superficies élémentaires et leurs altitudes moyennes comprises entre deux courbes de niveaux à la superficie totale du même bassin versant (Formule II.4), suivant :

$$H_{moy} = \frac{\sum Ai.Di}{A} \quad (\text{II.4})$$

avec :

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant (m);

A : Superficie du bassin versant (Km²);

Ai : Aire comprise entre deux courbes de niveaux (Km²);

Di : Altitude moyenne entre deux courbes de niveaux successives (m).

En appliquant la formule (II.4) on obtient une altitude moyenne $H_{moy} = 484,85$ m.

II.2.5.4. Indice de pente globale I_g

L'indice de pente global I_g est exprimé par le rapport entre la dénivelée utile et la longueur du rectangle équivalent (Formule II.5), suivant :

$$I_g = \frac{(H_{5\%} - H_{95\%})}{L} \quad (\text{II.5})$$

avec :

I_g : Indice de pente globale;

L : Longueur du rectangle équivalent (Km);

$H_{5\%}$: Altitude correspondant à 5 % de la surface totale du bassin étudié sur la courbe hypsométrique (m);

$H_{95\%}$: Altitude correspondant au point d'abscisse 95 % de la surface totale du bassin étudié sur la courbe hypsométrique (m).

En appliquant la formule (II.5) on obtient un indice de pente globale $I_g = 1,33$

II.2.5.5. Dénivelée spécifique D_s

La dénivelée spécifique caractérise le type de relief d'un bassin versant selon des classes bien déterminées. Le tableau (II.9) présente la classification de l'O.R.S.T.O.M (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer) (Laborde, 2000) du relief en fonction de la dénivelée spécifique calculée par la formule (II.6) suivante :

$$D_s = I_g \sqrt{A} \quad (\text{II.6})$$

avec :

D_s : Dénivelée spécifique (m);

I_g : Indice de pente globale (%);

A : Superficie du bassin versant (km²).

Tableau II.9 : Classification du relief (Laborde, 2000).

R1	Relief très faible	$D_s < 10 \text{ m}$
R2	Relief faible	$10 \text{ m} < D_s < 25 \text{ m}$
R3	Relief assez faible	$25 \text{ m} < D_s < 50 \text{ m}$
R4	Relief modéré	$50 \text{ m} < D_s < 100 \text{ m}$
R5	Relief assez fort	$100 \text{ m} < D_s < 250 \text{ m}$
R6	Relief fort	$250 \text{ m} < D_s < 500 \text{ m}$
R7	Relief très fort	$500 \text{ m} < D_s$

Sur le bassin du Côtiers Algérois, on obtient une dénivelée spécifique $D_s = 145,43 \text{ m}$ (relief assez fort).

II.2.5.6. Pente moyenne I_m

La pente moyenne du bassin est donnée par la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires pour lesquelles on peut considérer que la ligne de plus grande pente est constante (Roche, 1963). Elle est donnée par la formule (II.7) :

$$I_m = \frac{D.L}{A} \quad (\text{II.7})$$

avec :

I_m : Pente moyenne du bassin considéré (m/Km ou ‰);

D : Equidistance entre deux courbes de niveaux (m);

L : Longueur du rectangle équivalent (Km);

A : Surface du bassin versant (Km²).

En appliquant la formule (II.7) on obtient une pente moyenne $I_m = 0,22\%$.

II.2.5.7. Densité de drainage D_d

La densité de drainage exprime le rapport entre la longueur totale de tous les cours d'eaux et la superficie du bassin versant en question (formule II.8).

$$D_d = \frac{(\sum_1^n L_i)}{A} \quad (\text{II.8})$$

avec :

D_d : Densité de drainage (Km/Km²);

L_i : Longueur des cours d'eau (Km);

A : Superficie du bassin versant (Km²).

En appliquant la formule (II.8) on obtient une densité de drainage $D_d = 0,78 \text{ km/km}^2$.

II.2.5.8. Temps de concentration T_c

Le temps de concentration est défini comme le temps nécessaire à une particule d'eau pour parcourir le plus long chemin hydraulique depuis la limite du bassin jusqu'à l'exutoire (Hydratec, 2007).

Dans le contexte algérien et pour les grands bassins versants, il peut être notamment calculé par l'ancienne formule de Giandotti (1937) (formule II.9) (Touaibia, 2004).

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + (1,5L_{cp})}{0,8 \sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (\text{II.9})$$

avec :

T_c : Temps de concentration du bassin versant (heures);

A : Surface du bassin versant (Km²);

L_{cp} : Longueur du cours d'eau principal (Km);

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant (m);

H_{min} : Altitude minimale du bassin versant (m).

En appliquant la formule (II.9) on obtient un temps de concentration $T_c = 33,62 \text{ heures}$.

Le tableau (II.10) synthétise la différente caractéristique morphométrique, topographique et hydrologique du bassin versant du Côtiers Algérois.

Tableau II.10: Synthèse des caractéristiques générales du bassin versant du Côtiers Algérois

Type	Type de paramètre	Symbole	Unité	Valeur
Caractéristiques Morphométriques	Superficie	A	Km ²	11958,00
	Périmètre	P	Km	1341,00
	Indice de compacité de Gravelius	K_c	/	3,43
	Longueur du rectangle équivalent	L	Km	647,50
	Largeur du rectangle équivalent	l	Km	18,46
Caractéristiques Topographiques	Altitude maximale	H_{max}	m	2400,00
	Altitude Minimale	H_{min}	m	0,00
	Altitude moyenne	H_{moy}	m	484,85
	Altitude Médiane	H_{50%}	m	525,00
	Altitude à 5 % de la surface	H_{5%}	m	1200,00
	Altitude à 95 % de la surface	H_{95%}	m	337,50
	Indice de pente globale	I_g	m/km	1,33
	Dénivelée spécifique	D_s	m	145,43
Caractéristiques hydrologiques	Densité de drainage	D_d	Km/Km ²	0,78
	Longueur du cours d'eau principal	L_{cp}	Km	101,00
	Temps de concentration	T_c	heures	33,62

II.2.6. Caractéristiques climatologiques de la zone d'étude

Les données climatiques recueillies et utilisées sont celle fournies par l'O.N.M (Office Nationale de Météorologie) de la station de Tizi-Ouzou, DAR-EL-BEIDA, portant sur les périodes (1990-2016) et (1996-2015) respectivement. Dont les coordonnées géographiques sont :

Tableau II.11 : Coordonnées géographiques des stations climatologiques mises en étude.

Nom de la station	Période	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Tizi-Ouzou	1990-2016	36°42' N	04°08'E	153,40
Dar El Beida	1996-2015	36°41 N	03°13 E	25,00

A. Station de Tizi Ouzou

1. Températures

La température est l'un des principaux facteurs conditionnant le partage des eaux météorique. Une forte amplitude thermique aura des conséquences particulièrement sur l'accélération du déficit hydrique engendré par le phénomène d'évaporation, d'une part, mais aussi sur les sols. Le tableau II.12 et la figure II.11 donnent la répartition mensuelle des valeurs moyennes des températures sur 27 ans en degrés Celsius (°C).

Tableau II.12 : Répartition mensuelle des températures (1990 - 2016).

Mois T°C	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
Max.	31,40	27,00	19,90	16,40	15,50	16,40	19,40	21,80	26,20	31,60	35,60	36,00
Moy.	24,40	20,30	14,70	11,60	10,30	10,80	13,40	15,60	19,40	24,20	27,70	28,00
Min.	18,80	15,50	11,00	7,50	6,40	6,60	8,50	10,50	14,00	18,00	21,10	21,80

Source (ONM, 2017)

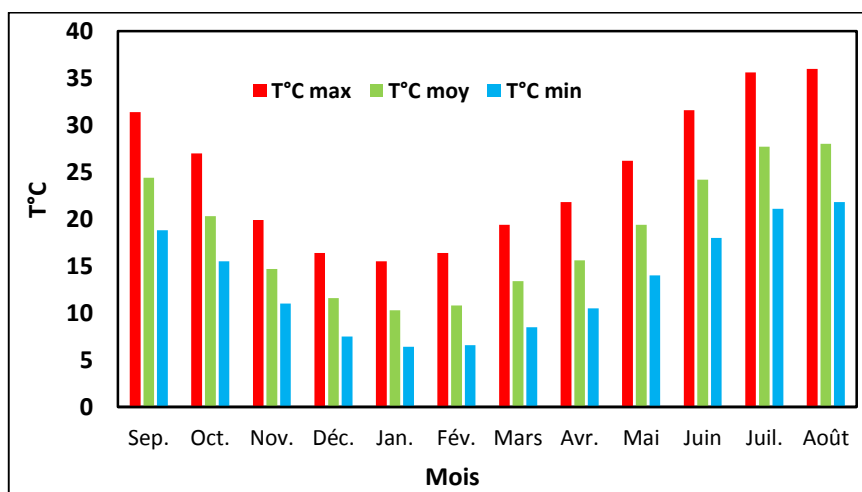


Figure II.11 : Températures moyennes, minimales et maximales au niveau de la station de Tizi-Ouzou (1990-2016).

L'analyse des données montre que les températures minimales sont observées en janvier, avec une moyenne interannuelle de **13,31°C**. Les températures maximales sont relevées en juillet avec une pointe au mois d'août soit une moyenne de **24,77°C** et un maximum de **36°C**. Durant la période (1990 – 2016), la valeur moyenne est de **18,37°C**.

2. Humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en %, de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante. C'est un élément atmosphérique très important puisqu'il

donne le taux de condensation de l'atmosphère. Les résultats des humidités relatives enregistrées au niveau de la station de Tizi-Ouzou pour une période de 27 ans (1990/2016) et dont les valeurs sont consignées dans le tableau II.13 et la figure II.12.

Tableau II.13 : Humidité relative moyenne mensuelle à la station de Tizi Ouzou (1990/2016).

Mois Hr %	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
Max.	85	90	92	94	94	94	93	93	91	85	80	80
Moy.	63	70	77	80	80	78	75	72	70	61	54	54
Min.	31	36	44	49	57	44	40	39	38	30	25	25

Source :(ONM, 2017)

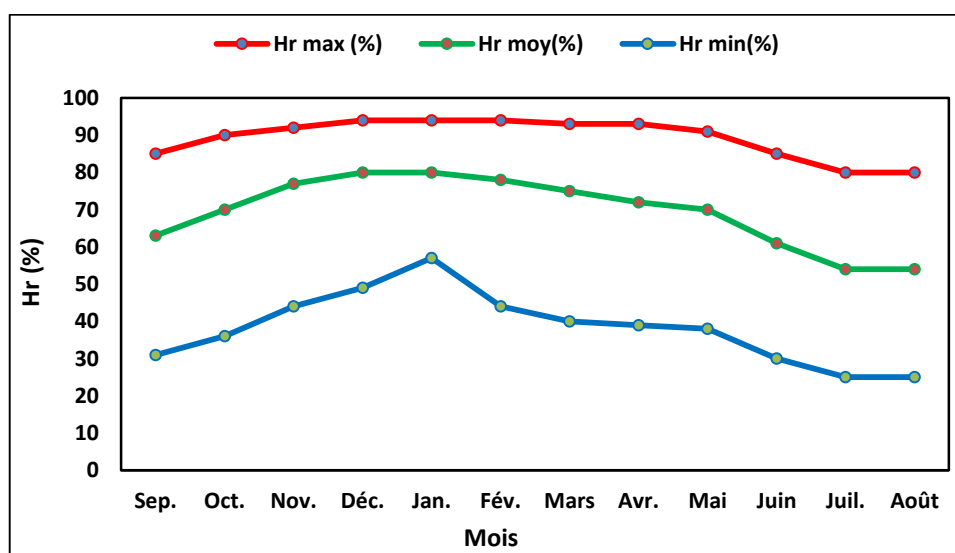


Figure II.12 : Humidité relative moyenne de l'air au niveau de la station de Tizi-Ouzou (1990-2016).

L'analyse des données montre que les humidités minimales sont observées en juillet et août, avec un moyen interannuel 26,67%. Les valeurs maximales sont relevées en décembre, janvier et février avec une moyenne de 94 %. Durant la période (1990 – 2016), la valeur moyenne est de 69,50 %.

3. Vitesse du vent

Les vents sont l'un des éléments caractéristiques du climat régissant l'évaporation à la surface du sol et de la végétation. Les résultats des moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrés au niveau de la station de Tizi-Ouzou sont présentés dans le tableau II.14.

Tableau II.14 : Moyennes des vitesses du vent à la station de Tizi-Ouzou (1990/2016).

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent (m/s)	1,20	1,40	1,60	1,70	1,80	2,10	2,10	2,00	1,60	1,40	1,30	1,40

Source (ONM, 2017)

Le tableau montre que la fréquence maximale de jour du sirocco s'observe au mois de juin et juillet et la fréquence minimale est observée au moins de janvier.

La durée du sirocco est très variable, mais il souffle rarement sans interruption pendant plusieurs jours. Les vents dominants semblent de direction SO-NE.

4. Précipitations

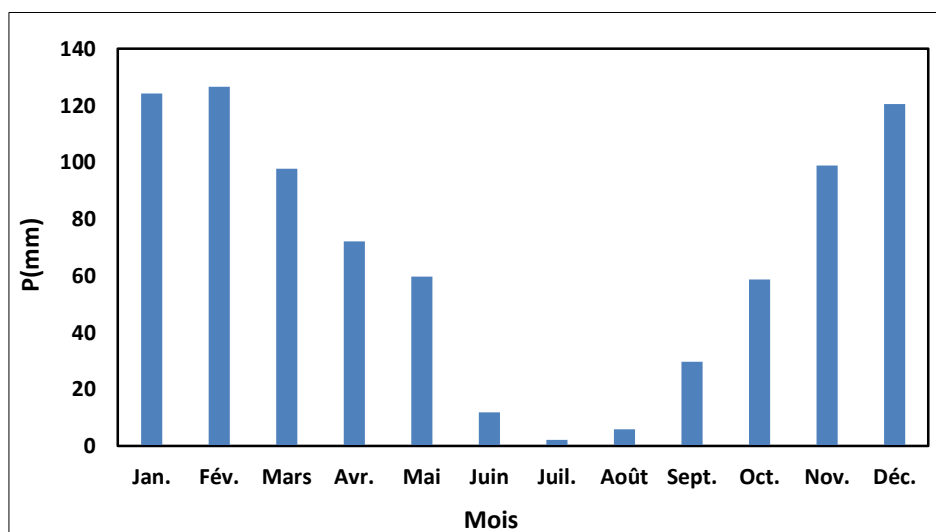
La pluie constitue la cause et la source d'énergie érosive. Ce sont les gouttes de pluie, les eaux de ruissellement sur les terrains en pente et les vents violents qui détachent et entraînent les particules terreuses. La répartition des précipitations moyennes mensuelles est représentée dans le tableau II.15 et la figure II.13.

Tableau II.15 : Précipitations moyennes mensuelles à la station de Tizi-Ouzou (1990-2016).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
P (mm)	124,20	126,60	97,70	72,00	59,60	11,80	2,10	5,80	29,60	58,60	98,80	120,40

Source (ONM, 2017)

La pluviométrie moyenne annuelle calculée dans la région durant la période (1990-2016) est de **807,20 mm** concentrée sur une période pluvieuse de Novembre à Janvier avec une valeur maximale au mois de Février 126,6 mm (figure II.13).

**Figure II.13** : Précipitations moyennes annuelles au niveau de la station de Tizi-Ouzou (1990-2016).

5. Indice xérothermique de Bagnouls et Gausсен (1957)

L'indice I_x , est calculé en retranchant du nombre de jours de la période sèche (suite de mois secs) le nombre de jours pluvieux ou supposés humides (degré hygrométrique élevé). Les valeurs obtenues représentent le nombre de jours au cours de la période sèche. Cet indice complète le diagramme ombrothermique (Figure II.14) qui montre l'importance de la période sèche.

Tableau II.16 : Moyennes mensuelles des précipitations et des températures de la station de Tizi-Ouzou (1990/2016).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
P (mm)	124,20	126,60	97,70	72,00	59,60	11,80	2,10	5,80	29,60	58,60	98,80	120,40
T (°C)	10,30	10,80	13,40	15,60	19,40	24,20	27,70	28,00	24,40	20,30	14,70	11,60

Source (ONM, 2017)

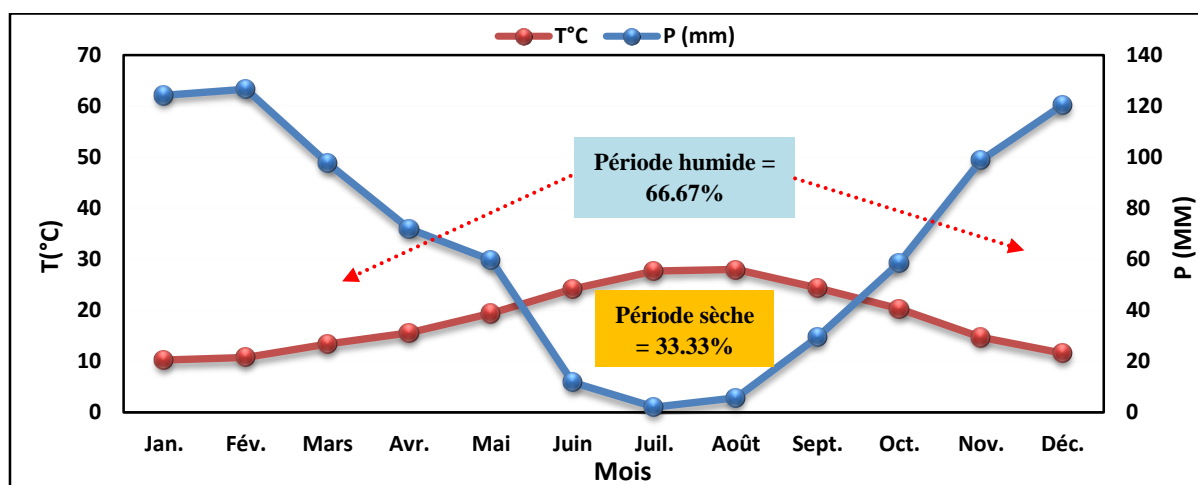


Figure II.14: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la station de Tizi Ouzou (1990/2016).

Nous pouvons conclure qu'au niveau de la région, le climat est caractérisé par l'alternance au cours de l'année de deux saisons à savoir :

- ✓ Une saison sèche, qui débute à la fin du mois de mai et se termine à la fin du mois de septembre. Elle est caractérisée par une pluviométrie faible et des températures supérieures à la moyenne annuelle 18,37 °C ;

- ✓ Une saison humide, qui débute au mois d'octobre et se termine à la fin du mois de mai. Elle est caractérisée par une pluviométrie importante et des températures situées au - dessous de la moyenne annuelle.

B. Station dar-el-beida

1. Températures

Le tableau II.17 et la figure II.15 donnent la répartition mensuelle des valeurs moyennes des températures sur 20 ans en degrés Celsius (°C).

Tableau II.17 : Répartition mensuelle des températures (1996 - 2015).

Mois T°C	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
Max.	29,70	26,80	21,00	18,00	17,10	17,10	19,80	22,10	25,10	29,30	32,00	32,70
Moy.	23,80	20,60	15,50	12,40	11,40	11,20	13,60	15,80	18,90	22,80	25,70	26,50
Min.	17,80	14,40	10,00	6,80	5,60	5,40	7,40	9,50	12,70	16,40	19,30	20,20

Source : (ONM, 2017)

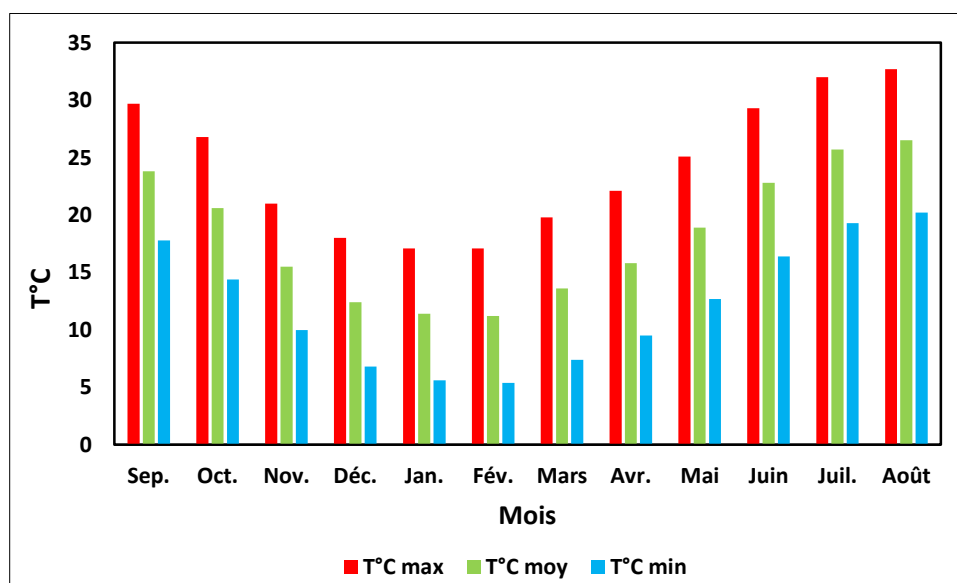


Figure II.15 : Températures mensuelles au niveau de la station de dar-el-beida (1996-2015).

L'analyse des données montre que la température la plus basse se produit en février, avec une température moyenne annuelle de **12,10°C**. Les températures les plus élevées sont enregistrées en juillet et culminent en août avec une moyenne de **24,20°C** et un maximum de **32,70°C**. Durant cette période (1996-2015), la moyenne était de **18,20°C**.

2. Humidité relative de l'air

À la station dar-el-beida, des résultats d'humidité relative ont été enregistrés pendant 20 ans (1996-2015), dont les valeurs sont enregistrées dans le tableau II.18 et la figure II.16

Tableau II.18 : Humidité relative moyenne mensuelle à la station de dar-el-beida (1996-2015).

Mois Hr %	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
Moy.	72,50	74,50	78,50	80,00	80,00	79,50	77,50	76,00	76,00	71,50	70,00	70,00

Source (ONM, 2017)

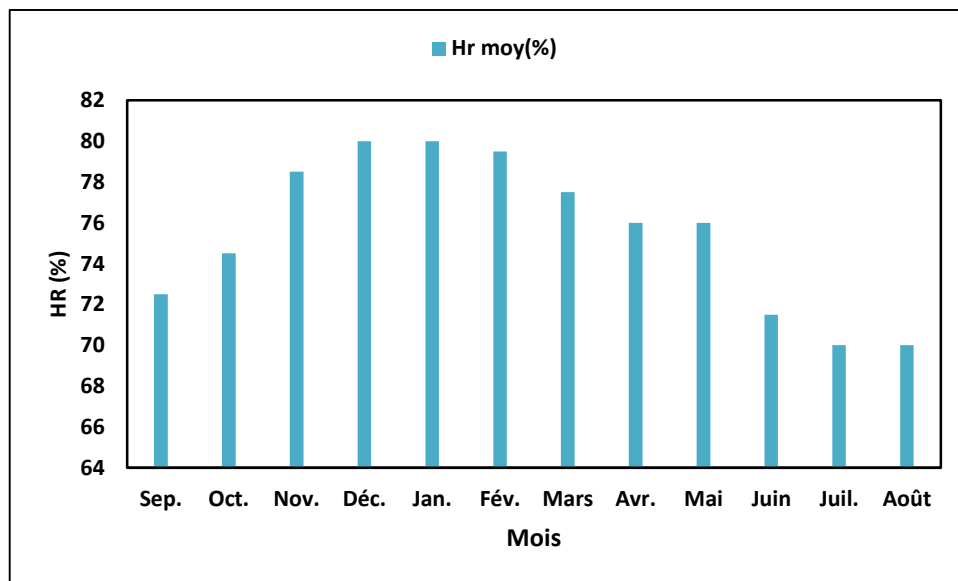


Figure II.16 : Humidité relative moyenne de l'air au niveau de la station de dar-el-beida (1996-2015).

L'humidité la plus élevée est enregistrée en décembre, janvier et février, avec une moyenne de 79,83 %. Au cours de la période (1996-2015), la moyenne était de 75,50 %.

3. Vitesse du vent

Au niveau de la station dar-el-beida pour une période de 20 ans (1996-2015) les résultats des moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistré sont présentés dans le tableau II.19.

Tableau II.19 : Vitesse du vent moyenne à la station de dar-el-beida (1996/2015).

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent (m/s)	2,40	2,50	2,60	2,80	2,70	2,80	2,80	2,60	2,50	2,00	2,40	2,30

Source (ONM, 2017)

Le tableau II.19 montre que la fréquence diurne maximale de sirocco se produit en juin et juillet, tandis que la fréquence minimale se produit en octobre.

La durée des vents de sirocco varie considérablement, mais il souffle rarement pendant des jours consécutifs. Les vents dominants semblent être de direction sud-ouest-nord-est.

4. Précipitations

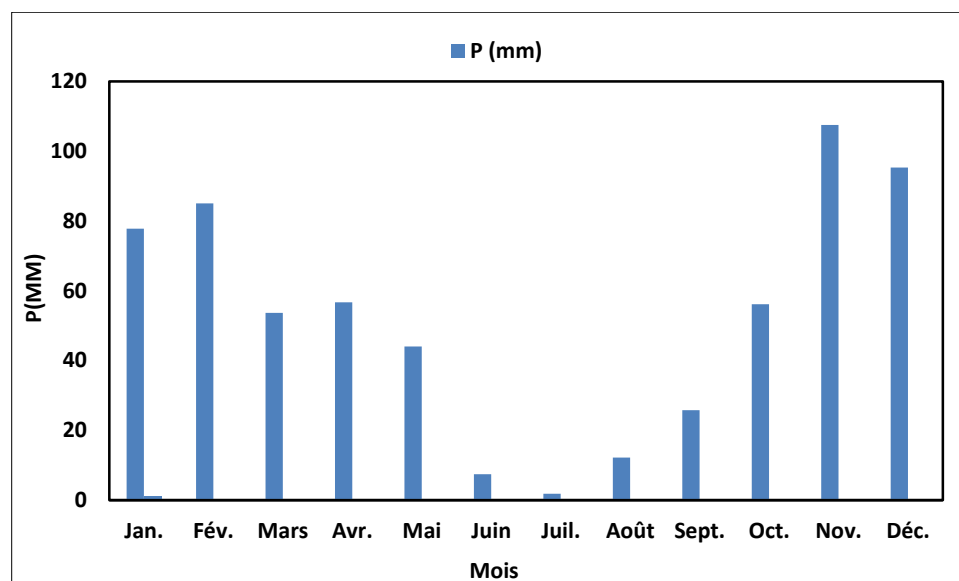
Le tableau II.20 et la figure II.17 représentent la répartition des précipitations moyennes mensuelles

Tableau II.20 : Précipitations moyennes mensuelles (1996-2015).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
P (mm)	77,80	85,00	53,60	56,70	44,00	7,40	1,80	12,20	25,70	56,10	107,50	95,30

Source (ONM, 2017)

La région a connu **623,10 mm** de précipitations annuelles en moyenne de 1996 à 2015, concentrées principalement en saison humide de novembre à février avec un pic de **107,50 mm** en novembre (Figure II.17).

**Figure II.17** : Précipitations moyennes mensuelles au niveau de la station de dar-el-beida (1996-2015).

5. Indice xérothermique de Bagnouls et Gausсен (1957)

L'indice I_x , est calculé en retranchant du nombre de jours de la période sèche (suite de mois secs) le nombre de jours pluvieux ou supposés humides (degré hygrométrique élevé). Les valeurs obtenues représentent le nombre de jours au cours de la période sèche. Cet indice complète le diagramme ombrothermique (Figure II.18) qui montre l'importance de la période sèche.

Tableau II.21: Moyennes mensuelles des précipitations et des températures de la station de dar-el-beida (1996/2015).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
P (mm)	77,80	85,00	53,60	56,70	44,00	7,40	1,80	12,20	25,70	56,10	107,50	95,30
T (°C)	11,40	11,20	13,60	15,80	18,90	22,80	25,70	26,50	23,80	20,60	15,50	12,40

Source (ONM, 2017)

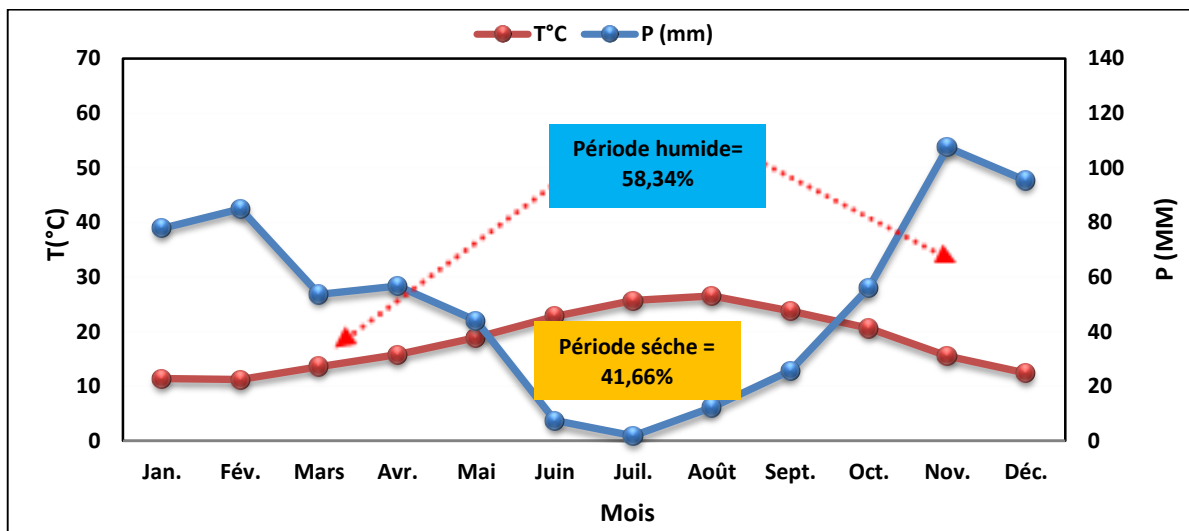


Figure II.18 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la station de dar-el-beida (1996/2015).

On peut donc dire que le climat au niveau régional est défini par l'alternance de deux saisons tout au long de l'année, à savoir :

- ✓ Une saison sèche, qui commence fin mai et se termine fin septembre. De faibles précipitations et des températures supérieures à la moyenne de 18,2°C pour l'année la caractérisent.
- ✓ Il a également une saison des pluies qui dure de début octobre à fin mai. Des précipitations importantes et des températures inférieures à la moyenne sont ses caractéristiques déterminantes.

II.7.6. Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger

L'indice d'Emberger est spécifique au climat méditerranéen (Tableau II.27). Il est utilisé pour la classification bioclimatique d'une zone donnée sur la base des températures et des précipitations selon la formule (II.10) suivante :

$$Q_2 = \frac{1000 \cdot P}{\frac{(M+m)(M-m)}{2}} \quad (\text{II.10})$$

avec :

Q_2 : Quotient pluviométrique ;

P : Pluviométrie annuelle (mm) ;

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud ;

m: Moyenne des minimas du mois le plus froid.

Pour l'Algérie, Stewart (1969) a simplifié cet indice par la formule suivante :

$$Q_2 = 3.43 \frac{P}{M-m} \quad (\text{II.11})$$

Les quotients pluviométriques des stations climatiques étudiées sont représentés dans le tableau (II.22).

Tableau II.22 : Quotient pluviométrique des stations climatiques

Paramètres	période	P (mm)	M°C	m°C	Q_2
Station Tizi-Ouzou	1990-2016	807,20	36,00	6,40	93,54
Station DAR-EL-BEIDA	1996-2015	623,10	32,70	5,40	78,29

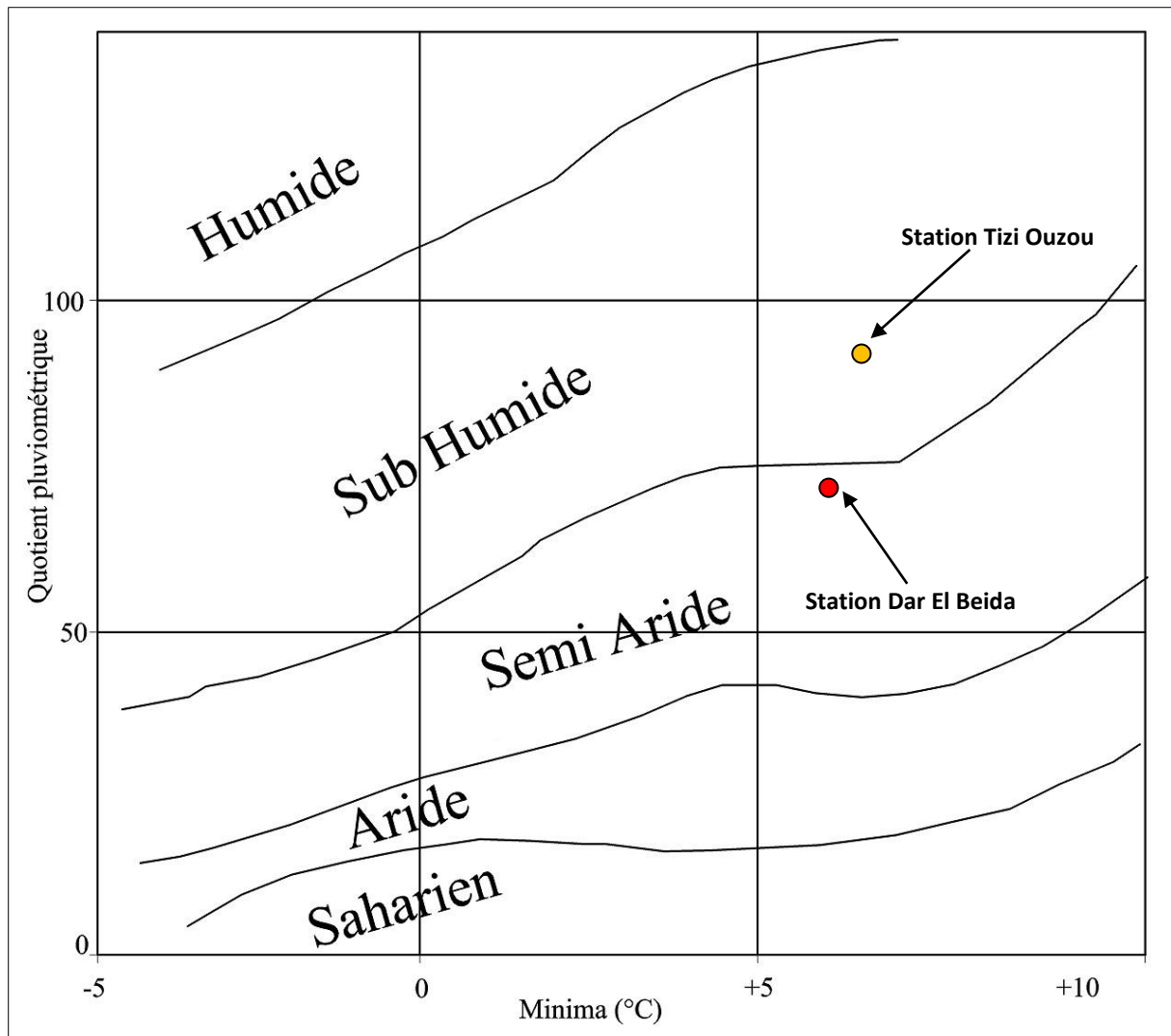


Figure II.19 : Climagramme d'Emberger pour les deux stations.

Selon le climatogramme d'Emberger établi, nous pouvons classer notre zone d'étude dans :

- l'étage bioclimatique Sub-humide à hiver doux (Station de Tizi-Ouzou) ;
- l'étage bioclimatique Semi-aride à hiver doux (Station de DAR-EL-BEIDA) (Figure II.19).

II.3. Conclusion

La détermination des divers paramètres morphométriques du bassin versant du Côtiers Algérois ($A=11958\text{km}^2$ et $P=1341\text{km}$) nous a permis d'éclaircir les particularités topographiques. Il en sort, une altitude minimale et maximale de 200,00 m et 2400,00 m, l'altitude moyenne est de 484,85m, avec un temps de concentration de 33,62 heures. L'indice de Gravelius est de 3,43 montre une forme allongée. Selon la classification de

l'O.R.S.T.O.M., le bassin versant est classé comme relief assez fort avec une dénivelée spécifique de 145,43 m.

L'analyse des données climatiques au niveau de la station climatique de Tizi-Ouzou et Dar El-Beida durant les périodes (1990-2016) et (1996-2015) successivement donne une température moyenne interannuelle de 18,37 °C et 18,20 °C respectivement. La pluviométrie moyenne interannuelle s'élève à 807,10 mm et 623,10 mm pour la station de Tizi-Ouzou et Dar El-Beida, la combinaison entre la température et la précipitation par l'utilisation de l'indice d'Emberger a montré que la station de Tizi-Ouzou est sous un étage bioclimatique Sub-humide à hiver doux par contre la station de Dar El-Beida est sous un étage bioclimatique Semi-aride à hiver doux.

Chapitre III

Etude du régime hydro-pluviométrique

III.1. Introduction

Plus encore que les facteurs morphologiques, lithologiques et biogéographiques, les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau (Roche, 1963; Cosande, 2001). Ce sont les précipitations qui constituent le facteur essentiel intervenant par :

- leur hauteur totale annuelle qui détermine l'abondance fluviale,
- leur répartition mensuelle et saisonnière qui influence directement les régimes hydrologiques,
- leurs totaux journaliers et surtout les averses génératrices des crues (Krimil,2009 ;p23)

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon l'effet combiné des autres paramètres physiques et climatiques (températures et évapotranspiration). Mais, contrairement aux paramètres proprement physiques permettent une interprétation seulement qualitative du comportement hydrologique des bassins, les précipitations et les facteurs climatiques dans leur ensemble, variables aléatoires dans le temps et l'espace, permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large (Krimil,2009 ; p23).

C'est pourquoi nous consacrerons, à travers ce chapitre, un développement particulier aux précipitations qui sont les plus importantes influençant directement l'alimentation pluviale de l'écoulement dans le bassin versant du côtier Algérois.

III.2. Critique et homogénéisation des données pluviométriques

La critique et le contrôle de la qualité des données hydrologiques sont donc des traitements qui doivent être effectués par l'hydrologue pour s'assurer de l'homogénéité et la fiabilité des séries pluviométriques à utiliser dans une étude hydrologique donnée. Ces traitements peuvent consister en un simple traitement primaire comme ils peuvent consister en un comblement de données manquantes, en une extension de séries courtes, ou en une homogénéisation des séries hétérogènes par le biais de méthodes statistiques, numériques ou graphiques (Serhir, 2011).

Les précipitations représentent le facteur déterminant du régime hydrologique, pour le cas du bassin versant du Côtier Algérois elles représentent la source principale de l'approvisionnement en eau.

Avant d'exploiter les données des pluies fournies par les services gestionnaires (ANRH), il est plus prudent de tester leur qualité et combler les lacunes d'observation.

Avant toute étude hydrologique ou statistique, il est recommandé de faire un traitement primaire de données brutes recueillies par un observateur ou un instrument de mesures. Ce traitement consiste à rendre l'information brute lisible et exploitable. Il comprend également un contrôle primaire des données, par exemple déceler d'éventuelles erreurs de saisie, à l'exclusion de tous traitements statistique ou graphique qui consistent à vérifier si la série des pluies sur laquelle on veut travailler est homogène.

III.3. Collecte et mise en forme des données

Les données fournies au niveau des organismes concernés ne sont pas utilisés directement (Mestre, 2000), elles peuvent être entachées d'erreurs qui peuvent être accidentelles ou systématiques. L'emploi d'outils statistiques et graphiques est nécessaire pour contrôler la qualité des échantillons pluviométriques et déceler l'anomalie qui pourrait les affecter en vue de leur homogénéisation. La caractéristique des fluctuations du régime pluviométrique repose sur l'analyse statistique des séries chronologiques des pluies dans des sites différents et sur des périodes les plus longues possibles. Nous avons opté pour le choix des stations pluviométriques on se basant sur la qualité et la quantité des données disponibles pour une bonne homogénéisation des données. Le bassin versant du Côtier Algérois est couvert par des stations pluviométriques dont la durée d'observation allant de 1970 jusqu'à 2012. Six stations ont été retenues pour notre étude pour les raisons suivantes :

- un nombre de lacunes faibles ;
- la durée d'observation est commune.

Le tableau (III.1) présente les coordonnées des 06 postes pluviométriques retenus. Leur répartition spatiale dans le bassin est illustré en figure III.1.

Tableau III.1 : Stations pluviométriques retenues et leurs caractéristiques (1970/71-2012/13).

N°	Nom	Code	Longitude (Km)	Latitude (Km)	Altitude (m)
S1	BAGHLIA VILLAGE	02.20.02	603,6	390,0	30
S2	LA PASSERELLE	02.13.07	528,0	352,0	260
S3	FER A CHEVAL	02.12.01	509,9	373,2	10
S4	ATTATBA CAVE	02.10.22	495,4	363,1	60
S5	BELLAH RN 11	02.03.19	458,8	367,5	20
S6	SIDI-AKKACHA	02.02.11	376,7	355,5	86

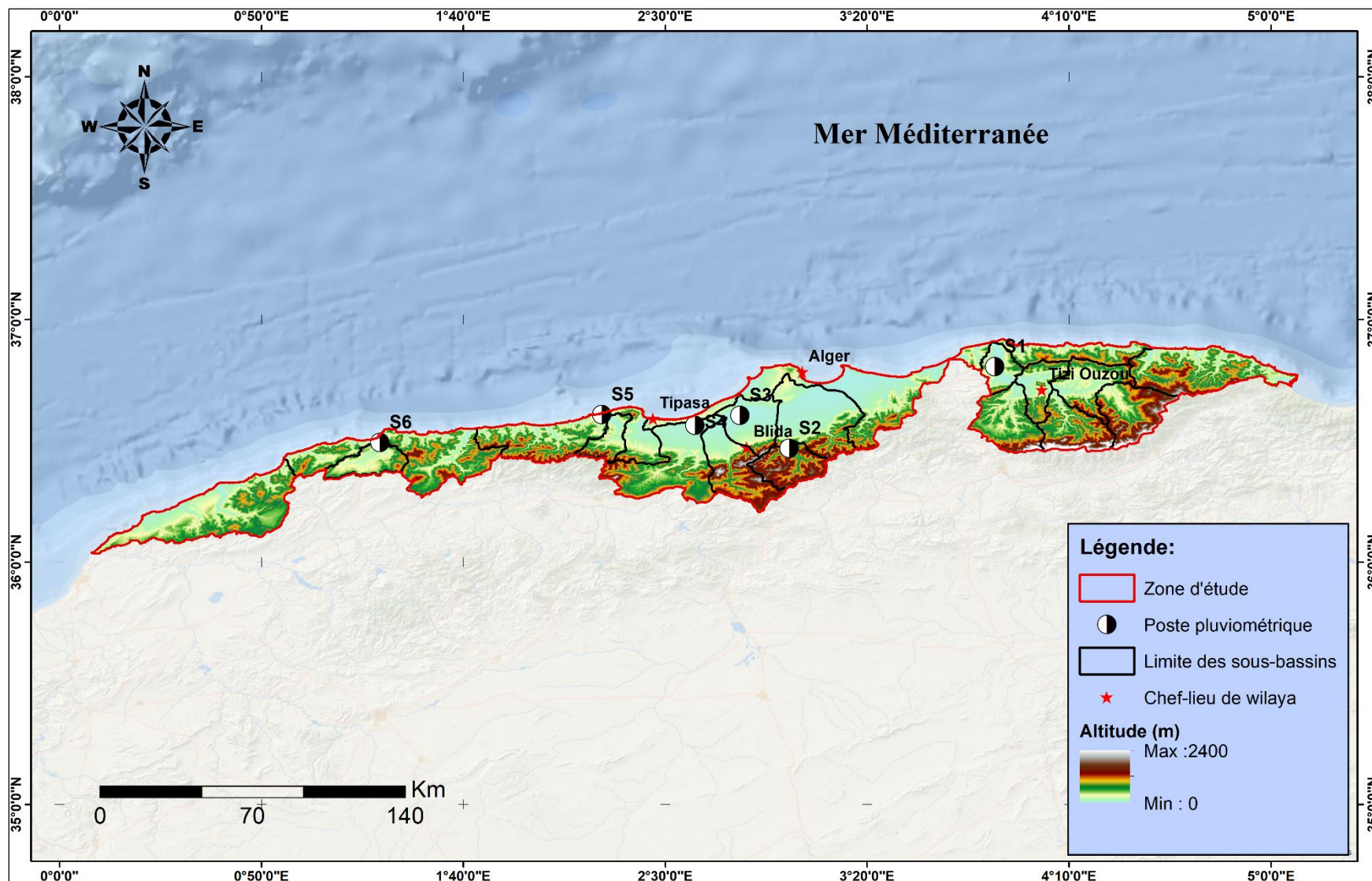


Figure III.1 : Plan de situation des stations pluviométriques étudiées.

III.4. Etude du régime pluviométrique

III.4.1. Distribution mensuelle des précipitations

L'analyse des précipitations mensuelles montre que le mois de décembre présente une abondance de précipitations, avec un maximum de 125,2 mm à la station S1 et un minimum évalué à 1,0 mm en juillet à la station S6 (Tableau III.2).

Tableau III.2 : Précipitations moyennes mensuelles des stations choisies (1970-2012).

N°	Nom	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui.	Août
S1	Baghlia village	38,0	68,6	110,0	125,2	106,6	102,0	81,8	76,4	55,0	9,1	3,1	8,4
S2	La Passerelle	39,1	65,8	90,9	110,8	100,7	102,2	88,7	78,8	58,5	10,6	4,2	7,3
S3	Fer A cheval	23,8	54,8	88,0	89,2	71,1	69,1	56,9	45,7	37,4	5,8	1,6	9,6
S4	Attatba cave	30,7	56,6	88,1	93,6	82,3	77,9	63,6	55,2	42,0	7,1	2,3	5,3
S5	Bellah RN11	30,1	55,2	89,2	88,3	70,7	75,3	59,3	47,4	40,1	7,0	1,7	5,6
S6	Sidi Akkacha	21,9	48,1	82,9	78,6	67,1	70,1	54,0	49,4	40,2	5,2	1,0	2,9

La figure (III.2) montre deux périodes différentes de l'année :

- ✓ La saison humide, qui dure de septembre à mai ;
- ✓ La saison sèche correspondant à la période estivale (l'été), caractérisée par des précipitations inférieures à 10,6 mm.

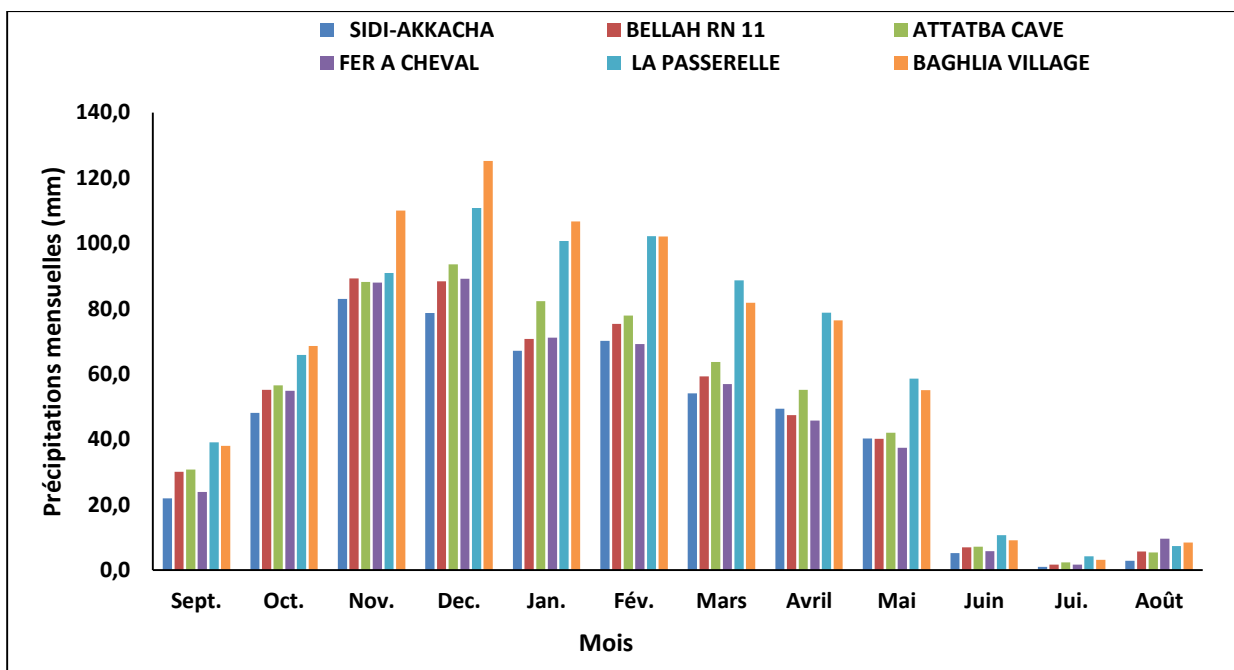


Figure III.2 : Précipitations moyennes mensuelles des stations étudiées, bassin versant du Côtier Algérois (1970/71-2012/13).

III.4.2. Paramètres statistiques des stations retenues

a/ Moyenne

La moyenne arithmétique (\bar{x}) est égale à la somme des valeurs prises par la série divisée par le nombre de valeurs observées (formule III.1).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} \quad (\text{III.1})$$

avec :

x_i : Précipitation observée ;

N : Taille de la série (nombre d'années observées).

b/ Ecart-type

L'écart type (S) est un paramètre statistique souvent utilisé, qui précise la dispersion de la série de valeurs autour de la moyenne et traduit les fluctuations de la série (formule III.2).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (\text{III.2})$$

Dans laquelle \bar{x} désigne la moyenne des données de l'échantillon et N désigne le nombre de données considérées.

c/ Coefficient de variation

Le phénomène de variabilité interannuelle des modules pluviométriques bien exprimé par le coefficient de variation (C_v) traduit la dispersion relative des pluies (formule III.3).

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (\text{III.3})$$

Les valeurs extrêmes affectent l'écart type et le coefficient de variation, qui augmente dans le sens inverse de la moyenne. Des valeurs élevées du coefficient de variation ont été observées sur presque tous les sites en été, avec une valeur extrême de 418,1% au site S3 en juillet. Cette variation de hauteur pendant les mois secs peut s'expliquer par la faible pluviométrie estivale et ses caractéristiques orageuses.

La valeur minimale du coefficient de variation a été enregistrée pendant la saison humide, avec une valeur minimale de 58,4% à la station S1 en décembre (tableau III.3).

Tableau III.3 : Paramètres statistiques des séries pluviométriques mensuelles (1970/71-2012/13).

Station	Par	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui.	Août
S1	Min	0,0	0,0	4,4	11,5	3,0	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	Max	176,6	254,9	390,0	285,0	267,4	318,8	341,5	212,1	269,2	48,6	42,0	38,9
	Moy	35,4	63,9	106,5	127,5	108,6	92,1	64,0	80,7	60,4	9,1	3,2	6,9
	σ	39,0	48,1	79,1	74,8	66,6	81,0	66,1	47,2	57,9	11,3	8,0	11,7
	Cv(%)	110,1	75,3	74,2	58,4	61,3	87,9	103,3	58,5	96,0	124,4	247,2	168,7
S2	Min	0,0	0,5	16,2	9,8	0,1	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0
	Max	137,6	199,4	248,2	283,7	287,8	255,5	237,9	236,4	162,7	50,8	52,7	68,1
	Moy	38,7	63,3	87,9	108,7	106,5	96,1	69,7	78,5	55,1	9,1	4,2	8,3
	σ	30,4	45,1	52,4	73,0	74,0	72,6	62,4	52,6	49,9	12,6	10,8	12,0
	Cv(%)	78,5	71,2	59,6	67,2	69,5	75,6	89,6	67,1	90,6	138,1	260,4	144,7
S3	Min	0,0	4,1	8,2	2,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Max	99,8	209,3	304,6	231,4	177,6	246,4	199,9	166,7	157,9	34,4	30,0	47,2
	Moy	23,4	44,5	87,0	80,2	69,0	67,2	44,7	45,6	34,2	4,2	1,1	10,0
	σ	27,9	45,0	64,5	61,4	47,2	51,5	38,4	33,8	40,3	8,4	4,8	13,5
	Cv(%)	119,3	101,1	74,1	76,5	68,3	76,7	85,8	74,1	117,9	201,8	418,1	135,3
S4	Min	0,0	5,9	0,0	2,5	3,1	0,0	1,5	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0
	Max	143,2	218,1	277,1	274,9	221,8	250,0	253,7	182,8	173,9	41,6	16,9	32,0
	Moy	33,3	47,3	85,9	83,5	82,5	72,3	48,3	54,5	39,0	6,2	1,7	5,5
	σ	35,7	45,1	62,3	64,2	51,4	62,2	52,8	41,7	40,7	9,6	4,0	8,7
	Cv(%)	107,2	95,3	72,5	76,9	62,3	86,0	109,4	76,5	104,3	154,5	241,6	158,4
S5	Min	0,0	0,7	0,0	0,6	0,5	3,9	0,3	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
	Max	127,3	167,2	249,8	294,8	183,1	245,3	148,9	168,9	181,6	49,6	11,7	63,7
	Moy	33,9	44,4	94,9	84,9	66,1	70,4	48,4	48,6	41,4	5,9	1,7	6,6
	σ	31,1	49,2	58,7	67,5	44,4	53,4	35,4	33,2	43,8	10,4	2,9	11,4
	Cv(%)	91,6	110,8	61,8	79,5	67,2	75,9	73,1	68,3	105,9	177,0	171,8	172,1
S6	Min	0,0	0,0	0,0	2,2	0,2	0,0	0,5	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	Max	100,0	178,9	343,4	250,3	186,7	191,8	142,5	142,2	146,4	34,0	7,8	61,7
	Moy	20,5	39,3	89,9	72,6	63,6	61,1	44,4	48,1	36,2	5,1	1,1	3,9
	σ	24,3	39,2	61,8	60,9	40,9	49,5	39,7	38,0	36,9	8,1	2,0	9,6
	Cv(%)	118,6	99,9	68,8	83,9	64,2	81,0	89,4	78,9	101,9	159,1	181,3	244,7

III.4.3. Distribution saisonnière des précipitations

L'étude des régimes saisonniers est essentielle pour détecter les diminutions et les augmentations des régimes pluviométriques. Les précipitations saisonnières moyennes des stations étudiées sont présentées dans le tableau III.4 et la figure III.3. Le déficit d'eau en été est très évident. La différence de précipitations entre l'automne, l'hiver et le printemps est faible.

Tableau III.4 : Précipitations moyennes saisonnières des stations étudiées (1970/71-2012/13).

N°	Code	Nom	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Régime dominant
S1	02.20.02	Baghlia village	216,6	333,9	213,2	20,6	HAPE
S2	02.13.07	La Passerelle	195,8	313,7	226,0	22,1	HPAE
S3	02.12.01	Fer A cheval	166,6	229,4	140,1	17,0	HAPE
S4	02.10.22	Attatba cave	175,4	253,7	160,8	14,8	HAPE
S5	02.03.19	Bellah RN11	174,4	234,3	146,8	14,3	HAPE
S6	02.02.11	Sidi Akkacha	152,9	215,9	143,7	9,0	HAPE

H : Hiver ; P : Printemps ; A : Automne ; E : Eté.

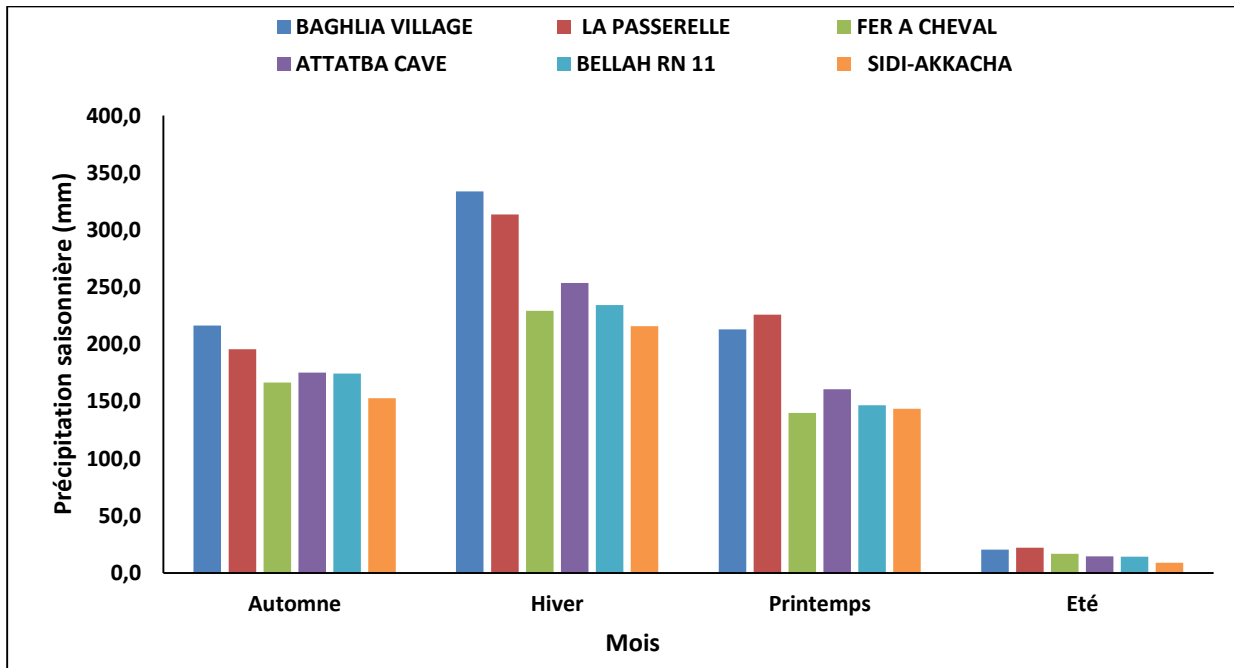


Figure III.3 : Précipitations moyennes saisonnières des stations étudiées bassin versant du Côtier Algérois (1970/71-2012/13).

III.4.4 Régime pluviométrique saisonnier dominant

Pour identifier les mécanismes saisonniers dominants dans la zone d'étude, les précipitations mensuelles cumulées pour chaque saison ont été calculées, puis les quatre saisons ont été classées par ordre décroissant de précipitations. Les quatre initiales des saisons sont ainsi classées pour former les " Indicatif saisonnier" (Tableau III.5), et le système avec le pourcentage le plus élevé est considéré comme dominant dans la région.

Tableau III.5 : Pourcentage des régimes saisonniers des stations retenues (1970/71-2012/13).

S1	HAPE	HPAE	AHPE	PHAE	APHE	PAHE
	32,6	25,6	14,0	14,0	9,3	4,7
S2	HPAE	HAPE	PHAE	PAHE	APHE	AHPE
	39,5	23,3	14,0	9,3	9,3	4,7
S3	HAPE	HPAE	AHPE	PAHE	APHE	PHAE
	41,9	27,9	11,6	9,3	7,0	2,3
S4	HAPE	HPAE	PHAE	AHPE	APHE	PAHE
	39,5	27,9	11,6	11,6	7,0	2,3
S5	HAPE	HPAE	AHPE	PHAE	APHE	PAHE
	41,9	20,9	16,3	14,0	4,7	2,3
S6	HAPE	HPAE	PHAE	APHE	PAHE	AHPE
	37,2	23,3	16,3	9,3	7,0	7,0

D'après les résultats obtenus nous pouvons dire que le régime le plus dominant dans la zone d'étude est de type **HAPE**.

III.4.5. Paramètres statistiques des séries pluviométriques saisonnières

En analysant le tableau III.6 des coefficients de variation pour chaque saison pour les 06 stations étudiées, on note :

- Toutes les stations présentent une forte variation, avec un maximum de 128,8 % pour la station S6 en été. Ces résultats sont cohérents avec les résultats précédents sur une échelle mensuelle.
- Le minimum est en hiver, à 38,2 % à S1.

Tableau III.6 : Paramètres statistiques des séries pluviométriques saisonnières (1970/71-2012/13).

Station	Par	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Station	Par	Automne	Hiver	Printemps	Eté
S1	Min	47,2	108,5	60,0	0,0	S4	Min	33,2	106,2	32,3	0,0
	Max	517,6	607,7	465,0	55,8		Max	387,6	685,3	367,2	58,4
	Moy	205,9	328,2	205,1	19,3		Moy	166,5	238,4	141,8	13,3
		93,7	125,5	111,0	17,9		σ	84,3	107,0	79,4	14,4
	Cv(%)	45,5	38,2	54,1	93,0		Cv(%)	50,6	44,9	56,0	108,1
S2	Min	55,0	66,5	78,5	0,0	S5	Min	48,8	77,7	33,1	0,0
	Max	424,0	673,8	424,3	95,8		Max	449,6	479,4	340,0	79,9
	Moy	189,9	311,3	203,3	21,6		Moy	173,1	221,4	138,4	14,2
	σ	79,9	135,5	93,0	19,9		σ	83,1	93,7	64,1	17,0
	Cv(%)	42,1	43,5	45,7	92,3		Cv(%)	48,0	42,3	46,3	120,0
S3	Min	42,5	70,1	30,1	0,0	S6	Min	6,5	57,5	21,9	0,0
	Max	436,2	560,5	295,9	78,9		Max	358,7	429,5	256,4	66,1
	Moy	154,9	216,4	124,6	15,3		Moy	149,6	197,3	128,7	10,1
	σ	86,7	96,7	65,6	18,4		σ	70,0	83,3	61,2	13,1
	Cv(%)	56,0	44,7	52,7	120,6		Cv(%)	46,8	42,2	47,5	128,8

III.4.6. Variabilité relative des pluies annuelles

Pour caractériser la variabilité interannuelle des pluies dans le bassin d'étude, nous avons défini les différentes caractéristiques descriptives des stations pluviométriques étudiées pour la période d'observations comprise entre 1970/71-2012/13 (Tableau III.7).

Selon le tableau III.7, le maximum est enregistré à la station S1 (1359,6 mm/an). La zone la plus arrosée correspond l'Est du bassin avec une décroissance de la pluviométrie de l'Ouest vers l'Est.

Le coefficient de variation des fluctuations interannuelles des précipitations varie entre 22,6 % à la station S6 et 28,7 % à la station S3 selon l'analyse le CV moyen est de 26,6 %. Les fluctuations annuelles des précipitations étant inférieures aux variations mensuelles, cette analyse statistique révèle que le coefficient de variation est inversement proportionnel à l'échelle analysée (Tableau III.7).

Tableau III.7 : Paramètres statistiques des séries pluviométriques annuelles (1970/71-2012/13).

Station	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Cv(%)
S1	456,9	1359,6	784,3	201,2	25,6
S2	414,8	1300,1	758,2	205,2	27,1
S3	285,8	898,7	553,1	158,8	28,7
S4	308,1	1083,2	604,7	166,1	27,5
S5	288,7	934,8	569,8	158,3	27,8
S6	312,3	768,3	521,5	117,8	22,6

Pour identifier la variabilité interannuelle des sites sélectionnés, nous avons procédé à l'analyse des courbes de tendance (Figure III.4). Le graphique montre une baisse tendance indiquée par des pentes négatives sur les 06 stations. Selon les équations de la courbe de tendance on observe très bien que chaque fois nous allons d'est en ouest.



Figure III.4 : Variabilité des précipitations annuelles et droites linéaires de tendance des stations étudiées (1970/71-2012/13).

III.5. Tests statistiques de détection des ruptures dans les séries pluviométriques

Une « rupture » peut être définie par un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives définissent les séries chronologiques étudiées (Lubés *et al.*, 1994).

Le choix des méthodes retenues repose sur les conclusions d'une étude de simulation de séries aléatoires artificiellement perturbées. Elles permettent de détecter un changement dans la moyenne de la variable traitée dans la série (Bonneaud, 1994).

A l'exception de l'approche de Pettitt « elles supposent un non-changement de la variance de la série étudiée ».

III.5.1. Méthodes statistiques de détection de ruptures utilisées

A. Test de Pettitt (Pettitt, 1979)

L'approche de Pettitt est non paramétrique et dérive du test de Mann-Whitney. L'absence de rupture dans la série (x_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N , les séries chronologiques (x_i) $i = 1$ à t et $t + 1$ à N appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t,N}$ définie par :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \quad (III.1)$$

Où $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$

Avec $\text{sgn}(x) = 1$ si $x > 0$; 0 si $x = 0$ et -1 si $x < 0$

Si l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant t définissant le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t,N}$.

B. Méthode bayésienne de Lee & Heghinian (Lee et al., 1977)

La méthode bayésienne de Lee & Heghinian propose une approche paramétrique. Elle nécessite une distribution normale des valeurs de la série. L'absence de rupture dans la série constitue l'hypothèse nulle.

Le modèle de base de la procédure est le suivant :

$$X_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i = 1, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & i = \tau + 1, \dots, N \end{cases} \quad (III.2)$$

Les ε_i sont indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance σ^2 ; τ et d représentent respectivement la position dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de moyenne. La méthode établit la distribution de probabilité a posteriori de la position dans le temps d'un changement. Lorsque la distribution est unimodale, la date de la rupture est estimée par le mode avec d'autant plus de précision que la dispersion de la distribution est faible.

C. Statistique U de Buishand (Buishand, 1982, 1984)

La procédure de Buishand fait référence au même modèle et aux mêmes hypothèses que l'approche de Lee et Heghinian.

En supposant une distribution a priori uniforme pour la position du point de rupture t , la statistique U de Buishand est définie par :

$$U = \frac{\sum_{k=1}^{N-1} \left(\frac{S_k^*}{D_x} \right)^2}{N(N+1)} \quad (III.3)$$

Où

$$S_k = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x}) \quad (III.4)$$

Pour $k = 1, \dots, N$, D_x désigne l'écart type de la série.

En cas de rejet de l'hypothèse nulle, aucune estimation de la date de rupture n'est proposée par ce test. Outre cette procédure, la construction d'une ellipse de contrôle permet d'analyser l'homogénéité de la série de (x_i) . La variable S_k , définie au-dessus, suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance $k(N-k)N^{-1}\sigma^2$, $K = 0, \dots, N$ sous l'hypothèse nulle d'homogénéité de la série des (x_i) . Il est donc possible de définir une région de confiance dite ellipse de contrôle associée à un seuil de confiance contenant la série des S_K .

D. Segmentation d'Hubert (Hubert et al., 1989)

La procédure de segmentation de séries chronologiques est quant à elle appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne. Elle fournit au moyen d'un algorithme spécifique une ou plusieurs date de rupture (éventuellement aucune) qui séparent des segments contigus dont les moyennes sont significativement différentes au regard du test de Scheffé (Dagnélie, 1975).

Les tests statistiques de Pettitt (1979), de Lee Heghinian (1977), U de Buishand (1984) et la méthode de segmentation d'Hubert (1989), permettant de déceler d'éventuels changements dans le régime pluviométrique, sont regroupés dans le logiciel Khronostat réalisé par l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et l'université de Montpellier (Boyer, 1998).

Les résultats du test de rupture expliquent l'étude des tendances sur l'ensemble de la période d'étude visualisée en figure III.4.

Le tableau (III.8) résume le calcul des tests de ruptures pour les 06 stations pluviométriques durant la période (1970/71 - 2012/13).

Tableau III. 8 : Résultats des tests statistiques de détection de ruptures pour les stations pluviométriques (1970/71 – 2012/13).

station	Test de Buishand	Test de Pettitt	Moyenne avant la rupture	Moyenne après la rupture	Rapport entre les deux Moy. (%)	Test de Lee et Heghinian	Moyenne avant la rupture	Moyenne après la rupture	Rapport entre les deux moy. (%)	Test de Hubert	Moyenne avant la rupture	Moyenne après la rupture	Rapport entre les deux moy. (%)
S1	Non	2001	746,5	849,5	12,1	1973	1131,1	744,8	-51,9	1973	1131,1	691,5	- 63,6
										2001	691,5	894,4	22,7
S2	Non	Non	/	/	/	1973	923,9	740,5	-24,8	Non	/	/	/
S3	Non	Non	/	/	/	1975	729,7	524,4	- 39,1	1984	638,1	462,9	-37,8
										2006	462,9	670,9	31,0
S4	Non	Non	/	/	/	1975	810,8	571,2	-41,9	1975	810,8	571,2	- 41,9
S5	Non	Non	/	/	/	1973	812,6	544,8	-49,1	1973	812,6	508,5	-59,8
										2003	508,5	666,1	23,6
S6	Non	1980	627,9	484,9	-29,5	1980	627,9	484,9	-29,5	1980	627,9	484,9	-29,5

Il est intéressant de noter que le test de Buishand (Tableau III.8) n'apporte aucune information, que le test de Pettitt permet d'identifier des ruptures sur 02 stations (rupture en 2001 pour la station S1 et rupture en 1980 pour la station S2), et que le test de Lee et Heghinian permet d'identifier une année de rupture pour 03 stations sur 06 (03 stations (S1+S2+S5) pour l'année 1973, 02 rupture pour l'année 1975 correspondant aux stations S3 +S4 et un rupture en 1980 à la station S6.

Les stations sur lesquelles nous avons obtenu une tendance négative mettaient surtout en évidence un découpage de la période d'étude en trois grandes périodes : une première période de pluies importantes jusque vers le milieu des années 1970 et 1980, une dernière période de pluies à nouveau abondantes dans les années 2000. Le test d'Hubert nous permet de vérifier que ce comportement a été quasiment général au niveau du bassin versant. Les séries de mesure font apparaître au minimum une des deux ruptures. L'année de la première rupture s'échelonne entre 1973 et 1975. L'année de la deuxième rupture s'échelonne entre 2001 et 2006.

L'Algérie du Nord, durant ces dernières décennies, a connu une succession de périodes à déficits et à excédents pluviométriques. Il apparaît d'une façon générale une tendance à la hausse couvrant les années 1930 et 1950. La baisse de la pluviométrie était en revanche marquée pendant le début des années 1940 et le milieu des années 1970 (Meddi et al., 2009).

La détection d'une rupture dans les séries permet de mettre en évidence l'évolution du régime pluviométrique de la région étudiée. Cette évolution, négative ou positive, intéresse les utilisateurs et les gestionnaires des ressources hydrauliques.

III.6. Etude du régime hydrométrique

Le choix des stations est basé essentiellement sur leurs positionnements dans le bassin versant et d'autre part sur la disponibilité des données hydrométriques au niveau de l'ANRH ainsi que la durée d'informations disponibles et plus accessibles.

Les caractéristiques générales de la base des données des stations hydrométriques utilisées dans notre étude sont illustrées dans le tableau (III.9).

Tableau III.9 : Coordonnées géographiques des stations hydrométriques étudiées.

Nom	Station hydrométrique	Code	Oued	Coordonnées géographiques		Période d'étude
				longitude	latitude	
H1	Baghlia	022002	Sébaou	3°8'62,222"E	36°8'06,111"N	1968-1999
H2	Roche des pigeons	021301	El Harrach	3°0'57,777"E	36°4'93,055"N	1978-1995
H3	Fer A cheval	021201	Mazafran	2°8'12,222"E	36°6'59,722"N	1976-1995
H4	Attatba	021011	Bouroumi	2°6'84,166"E	36°5'66,388"N	1976-1994
H5	Pont RN11	020323	Bellah	2°4'29,444"E	36°5'29,722"N	1974-2007
H6	Sidi Akkacha	020207	Allalah	1°3'12,777"E	36°4'86,944"N	1983-2013

III.6.1. Précipitation/débit liquide

L'analyse des précipitations moyennes mensuelles aux stations étudiées a révélé deux périodes distinctes, la saison humide de septembre à mai et la saison sèche de juin à août. L'analyse du débit liquide à la station hydrométrique montre un comportement presque proportionnel aux précipitations (Figure III.5).

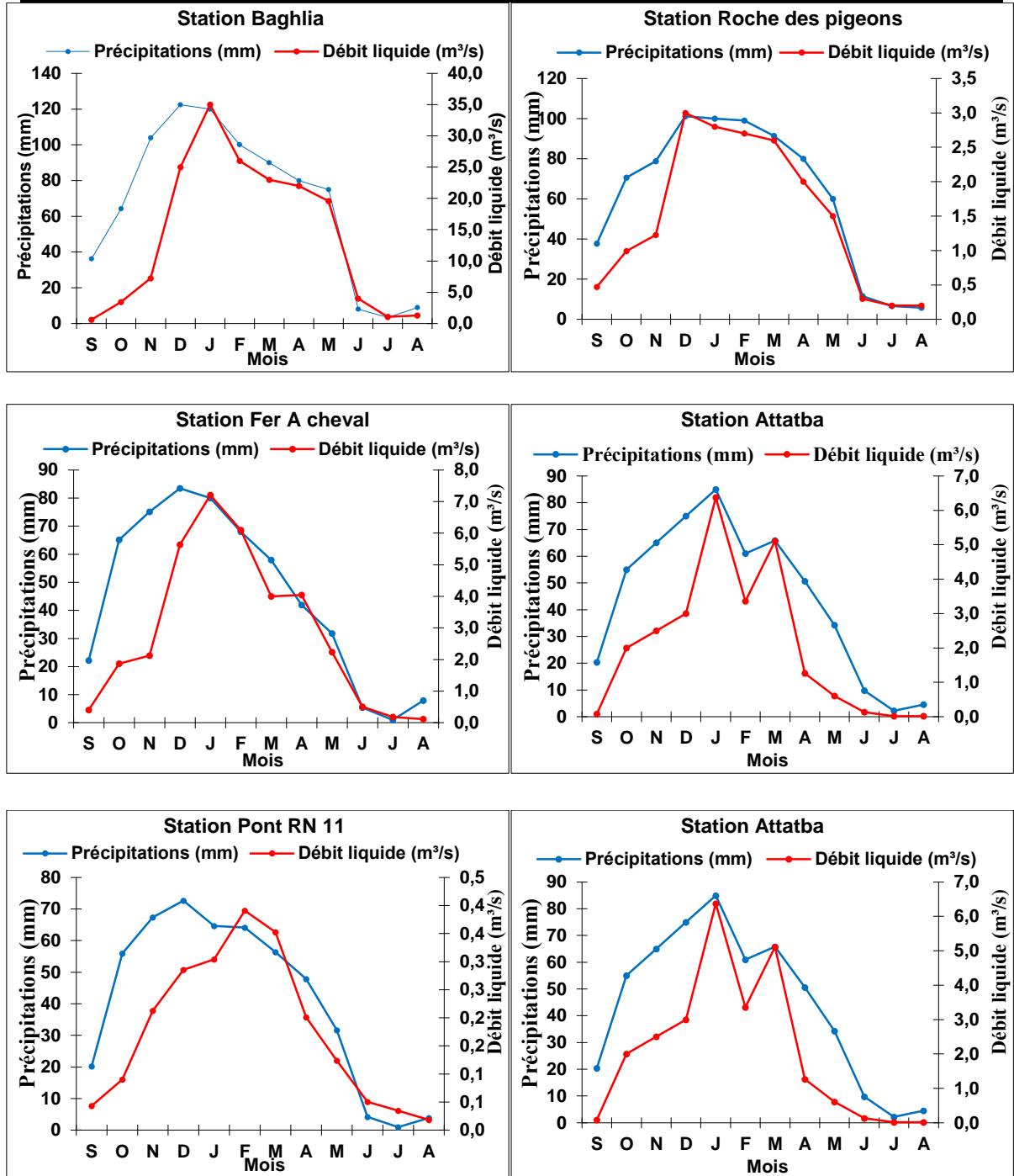


Figure III.5 : Evolution mensuelle de la pluviométrie et du débit liquide des stations hydrométriques étudiées.

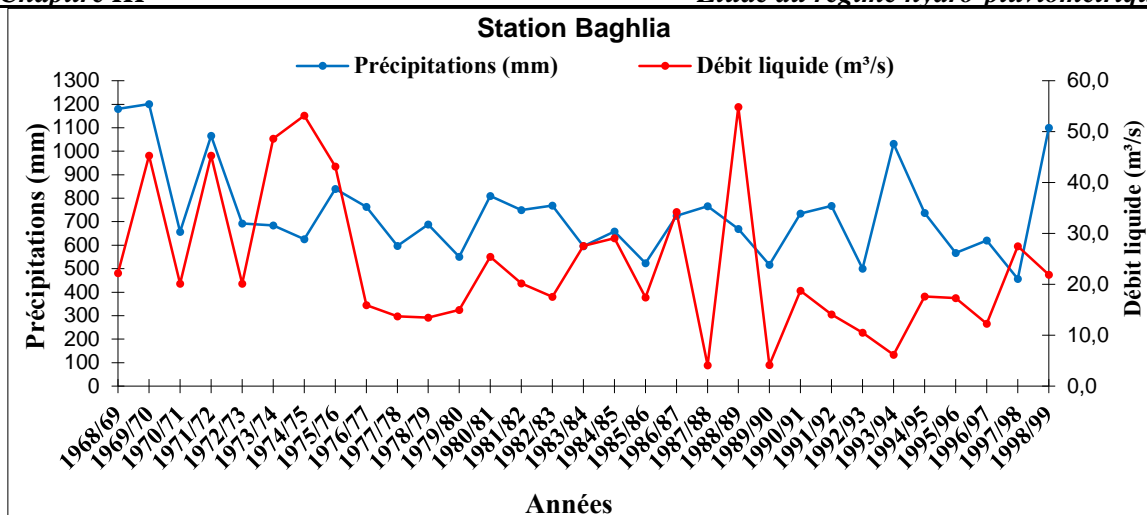


Figure III.6 : Evolution annuelle de la pluviométrie et du débit liquide de la station hydrométrique de Baghlia (1968/69- 1998/99).

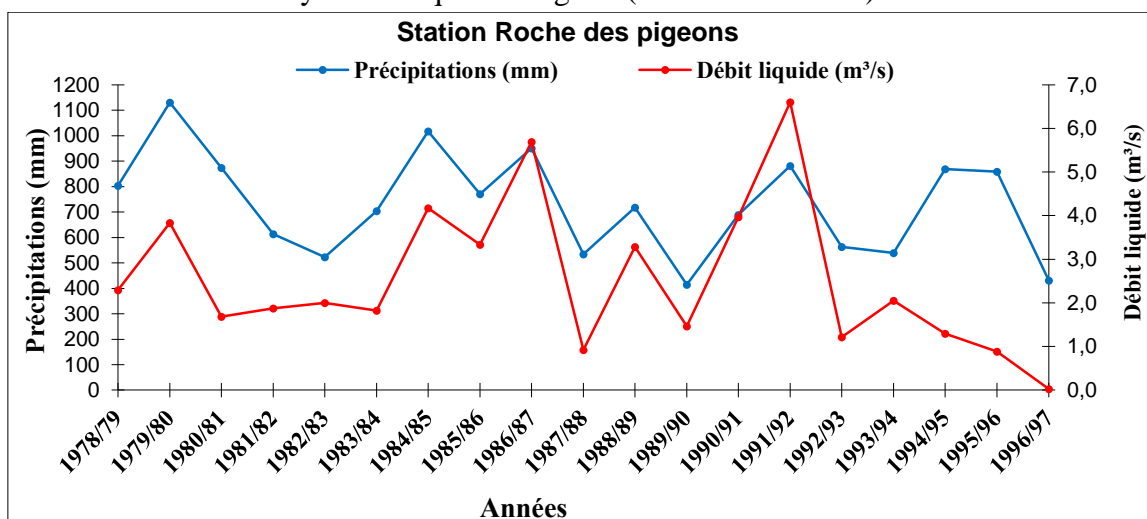


Figure III.7 : Evolution annuelle de la pluviométrie et du débit liquide de la station hydrométrique de Roche des pigeons (1978/79- 1996/97).

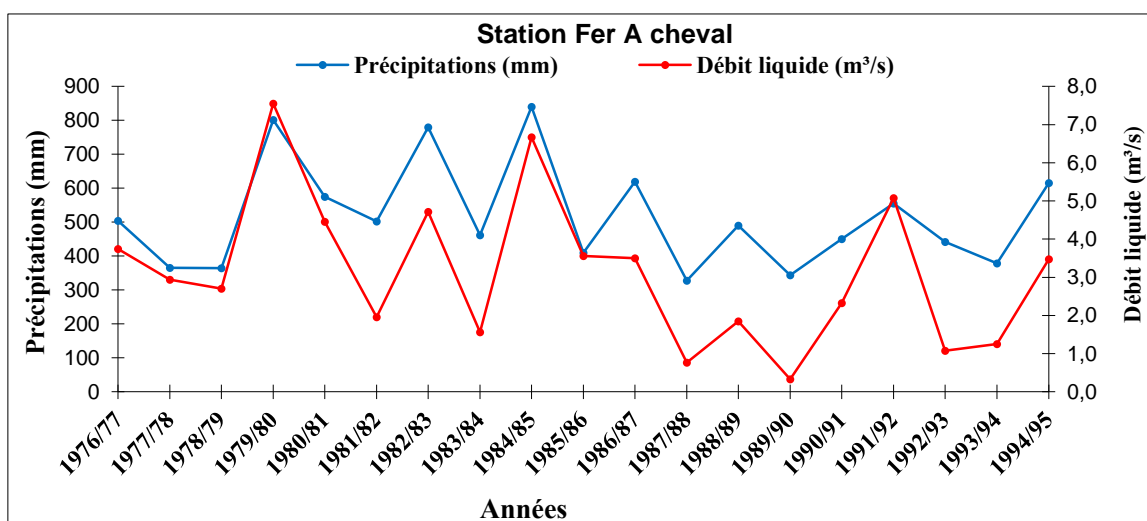


Figure III.8 : Evolution annuelle de la pluviométrie et du débit liquide de la station hydrométrique de Fer A cheval (1976/77- 1994/95).

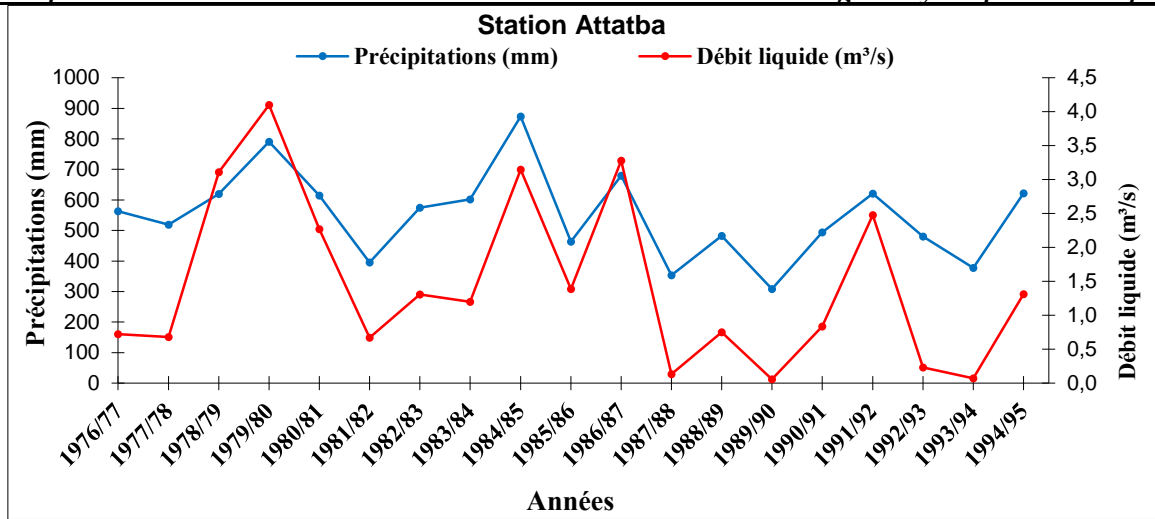


Figure III.9 : Evolution annuelle de la pluviométrie et du débit liquide de la station hydrométrique d'Attatba (1976/77- 1994/95).

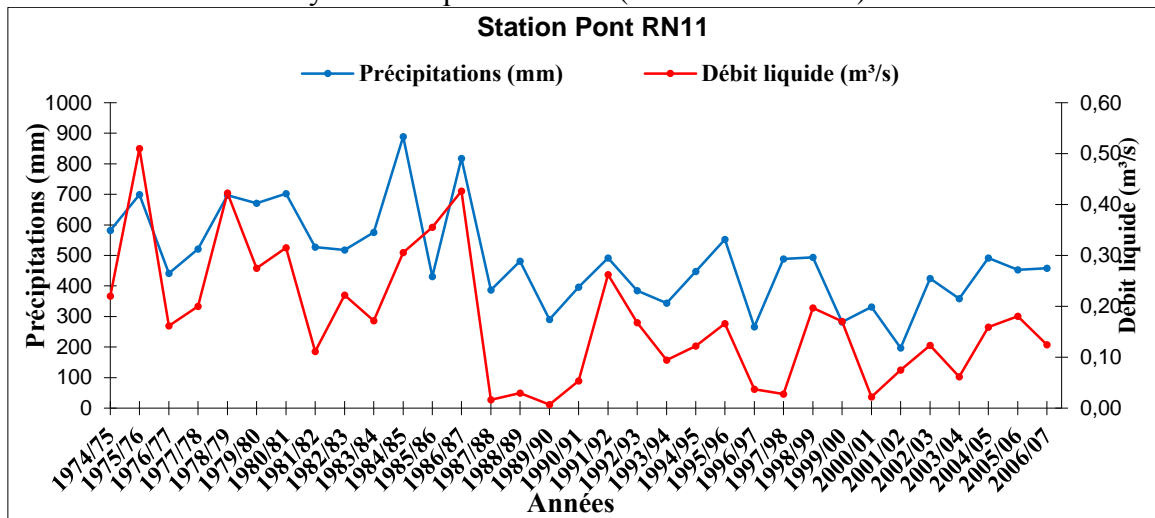


Figure III.10 : Evolution annuelle de la pluviométrie et du débit liquide de la station hydrométrique de Pont RN11 (1974/75- 2006/07).

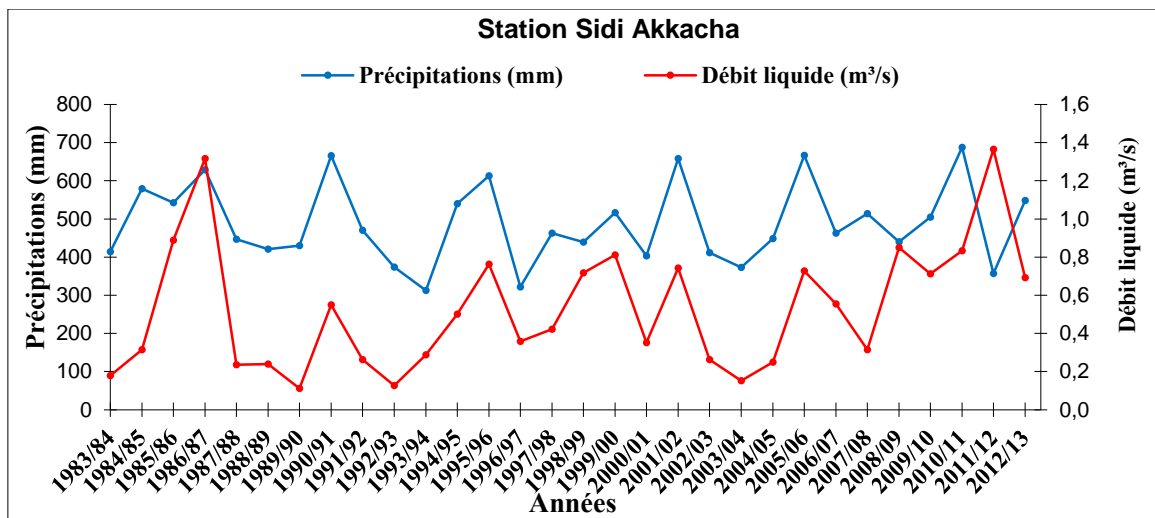


Figure III.11 : Evolution annuelle de la pluviométrie et du débit liquide de la station hydrométrique de Sidi Akkacha (1983/84- 2012/13).

L'analyse des précipitations annuelles de la station pluviométrique (Figure III.6) de l'oued Sébaou (1968/69 - 1998/99) révèle un minimum de 457 mm (1997/98) et un maximum de 1200 mm (1969/70) ce qui reflète une forte variation interannuelle, la pluviométrie moyenne interannuelle s'élève à 737 mm. Les années de sécheresse consécutives les plus marquantes sont situées entre (1992/93) et (1997/98). Le débit liquide moyen annuel de la station hydrométrique de Baghlia est de 23,8 m³/s avec un minimum de 4,1 m³/s (1989/90) et un maximum de 54,9 m³/s (1988/89). Ses variations interannuelles présentent un coefficient de variation $C_v = 59,2 \%$. Pour la station de Roche des pigeons (1978/79 - 1996/97) l'irrégularité interannuelle des précipitations (Figure III.7) est marquée par un minimum de 415 mm (1989/90), un maximum de 1130 mm (1979/80) et une moyenne interannuelle de 731 mm. Les débits liquides connaissent une tendance à la baisse et de même pour les précipitations. Le débit moyen annuel est de 2,5 m³/s, avec un minimum de 0,03 m³/s (1996/97) et un maximum de 6,6 m³/s (1991/92). La variation interannuelle des débits liquides se caractérise par un coefficient de variation $C_v = 68 \%$.

Les précipitations annuelles (1976/77 - 1994/95) de la station pluviométrique Fer A cheval (Figure III.8) située au niveau du sous bassin hydrographique de l'oued Mazafran montrent un minimum de 327 mm et un maximum de 840 mm pendant les années (1987/88) et (1984/85) successivement. Elles indiquent une variation interannuelle importante ; la pluviométrie interannuelle moyenne est de 517 mm. Le débit liquide annuel moyen de la station hydrométrique du sous bassin est de 3,1 m³/s, avec un minimum de 0,3 m³/s (1989/90) et un maximum de 7,6 m³/s (1979/80). Le coefficient de variation (C_v) à l'échelle interannuelles est de 62,9 %.

L'irrégularité interannuelle des précipitations à la station d'Attatba (Figure III.9) se distingue par un minimum de 308 mm (1989/90), un maximum de 874 mm (1984/85) et une moyenne interannuelle de 549 mm. Les débits liquides diminuent et les précipitations diminuent également. Le débit annuel est en moyenne de 1,5 m³/s, avec un minimum de 0,05 m³/s en 1989/90 et un maximum de 4,1 m³/s en 1979/80. Le coefficient de variation $C_v = 82,6\%$ décrit la fluctuation interannuelle des débits liquides.

Pour la Station de Pont RN11 (Figure III.10), les précipitations interannuelles irrégulières varient de 197 mm en 2001/02 à 889 mm en 1984/85, avec une moyenne annuelle de 487 mm. Le débit liquide a diminué, en fonction des précipitations. Avec un minimum de 0,01 m³/s en 1989/90 et

un maximum de 0,51 m³/s en 1975/76, le débit moyen annuel était de 0,18 m³/s. Les variations interannuelles du débit liquide sont expliquées par le coefficient de variation $C_v = 72,2 \%$.

La Figure (III.11) explique l'évolution annuelle de la pluviométrie et du débit liquide de la station hydrométrique de Sidi Akkacha (1983/84 - 2012/13). L'irrégularité interannuelle des précipitations se distingue par un minimum et un maximum de l'ordre de 312 mm (1993/94) et 687 mm (2010/11) respectivement. La moyenne interannuelle des précipitations est de 549 mm. La diminution des précipitations et les débits liquides est remarquable. Le débit annuel est en moyenne de 0,53 m³/s, avec un minimum de 0,1 m³/s en 1989/90 et un maximum de 1,4 m³/s en 2011/12. Le coefficient de variation $C_v = 62,3\%$ décrit la fluctuation interannuelle des débits liquides.

III.6.2. Paramètres statistiques des débits liquides des stations étudiées

Les études statistiques du débit liquide aux stations hydrométriques étudiées montrent qu'il y a une variation très prononcée dans les mois de l'année, le coefficient de variation augmentant en été jusqu'à atteindre un maximum en août, à 254,5 % et 465,6 % respectivement Attatba et Baghlia De leur côté, les évolutions les plus importantes ont été observées aux niveaux des stations Roche des pigeons et Pont RN 11, atteignant respectivement des valeurs de 102,2 % et 263,4 % en juillet (Tableau III.10).

Tableau III.10 : Paramètres statistiques des débits liquides moyens mensuels et annuels des stations étudiées

Débit (m ³ /s)	Station de Baghlia												
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
Paramètre	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
Min	0,0	0,0	0,0	0,2	6,5	5,9	3,2	2,4	1,1	0,0	0,0	0,0	4,1
Max	7,6	39,9	41,8	202,4	190,9	222,4	212,1	106,5	79,4	116,5	11,5	33,2	54,9
Moy	0,6	3,4	7,2	48,0	52,8	49,8	54,8	38,0	19,6	9,1	1,1	1,3	23,8
Ecart-type	1,4	9,8	12,1	56,2	45,6	51,1	44,0	31,3	19,6	21,5	2,1	5,9	14,1
Cv(%)	238,0	284,0	168,0	117,1	86,4	102,6	80,3	82,2	99,8	236,8	196,5	465,6	59,2
Station de Roche des pigeons													
Paramètre	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
Max	1,1	5,2	3,7	25,0	35,2	35,3	16,3	17,6	9,0	3,2	2,6	1,2	6,6
Moy	0,5	1,0	1,2	3,3	5,2	5,3	5,3	3,6	2,7	1,1	0,7	0,5	2,5
Ecart-type	0,3	1,1	1,0	5,8	7,9	8,1	5,0	4,0	2,4	1,0	0,7	0,3	1,7
Cv(%)	67,8	115,8	84,8	174,1	151,7	151,9	93,5	109,0	89,7	86,1	102,2	74,2	68,0
Station de Fer A cheval													
Paramètre	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
Min	0,0	0,0	0,1	0,2	0,6	0,4	0,4	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0	0,3
Max	2,2	17,3	12,1	25,7	29,4	47,2	47,4	15,9	7,7	1,6	0,5	0,5	7,6
Moy	0,4	1,9	2,1	5,6	7,9	7,6	11,1	4,0	2,2	0,5	0,2	0,1	3,1
Ecart-type	0,6	3,9	2,8	7,1	8,4	10,6	12,9	4,3	1,9	0,4	0,1	0,1	1,95
Cv(%)	158,5	206,7	133,4	126,4	105,9	139,4	116,7	107,0	86,9	76,5	76,2	126,2	62,9
Station d'Attatba													
Paramètre	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,05
Max	0,6	8,8	3,8	8,3	73,0	19,2	25,1	6,3	2,9	0,6	0,1	0,2	4,1
Moy	0,1	0,6	0,5	2,0	6,4	3,4	5,1	1,3	0,6	0,1	0,0	0,0	1,5
Ecart-type	0,2	2,0	0,9	3,0	16,5	4,8	6,8	1,5	0,7	0,2	0,0	0,0	1,24
Cv(%)	186,9	334,4	182,5	146,1	258,3	144,0	133,2	121,3	122,2	128,6	210,4	254,5	82,6
Station de Pont RN 11													
Paramètre	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01
Max	0,3	0,5	1,1	1,4	1,2	2,6	2,0	1,1	0,7	0,4	0,4	0,2	0,51
Moy	0,0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,18
Ecart-type	0,1	0,1	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,13
Cv(%)	169,6	164,0	135,7	131,1	87,7	137,5	129,3	135,6	126,2	206,0	263,4	191,5	72,2
Station de Sidi Akkacha													
Paramètre	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1
Max	1,08	1,80	7,01	7,92	4,39	11,32	3,31	4,08	1,46	0,79	0,04	0,16	1,4
Moy	0,06	0,23	0,78	1,01	0,99	1,53	0,82	0,61	0,29	0,04	0,00	0,01	0,53
Ecart-type	0,20	0,41	1,32	1,66	1,18	2,64	0,82	1,04	0,39	0,14	0,01	0,03	0,33
Cv(%)	352,3	178,5	169,6	164,5	119,2	172,3	100,6	171,5	135,7	364,1	184,0	360,1	62,3

III.6.3. Débits liquides moyens saisonniers

L'analyse du débit liquide saisonnier moyen aux stations (Figure III.12) montre que l'hiver est la saison prédominante pour toutes les stations, ajoutant à la forte sensibilité à l'érosion au cours de cette saison (Achite et Meddi, 2005). Les averses légères et le couvert végétal

favorisent les conditions de pertes en sol. Cela est dû au pourcentage des précipitations dans cette saison en particulier. En plus de la saison printanière, lorsque la région est connue pour ses fortes pluies et la fonte des neiges dans notre bassin du côtier Algérois. Il convient également de noter que le pourcentage de précipitations diminue toujours d'est en ouest et augmente en fonction de l'altitude de la zone et le couvert végétal.

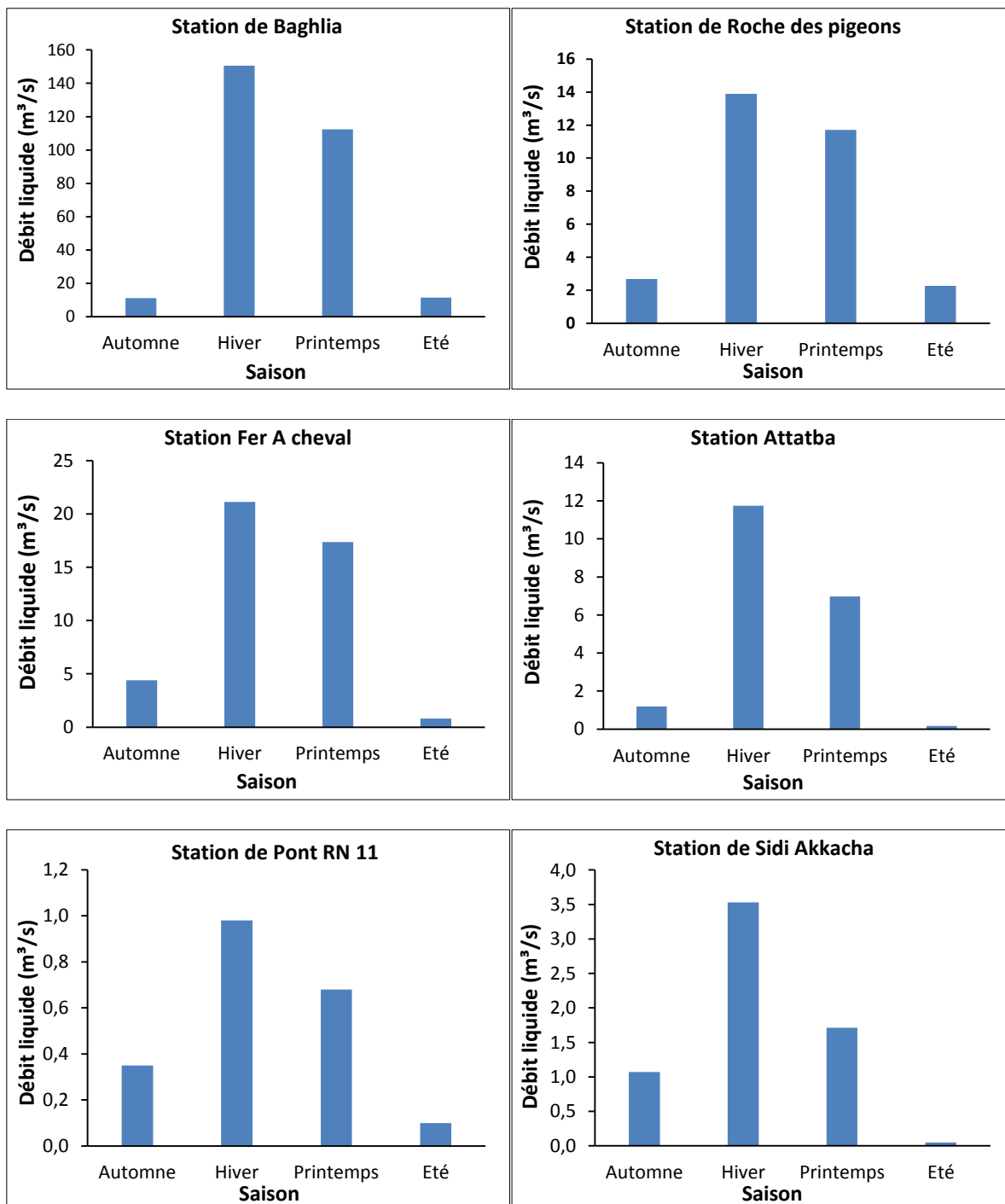


Figure III.12 : Débits liquides moyens saisonniers à des stations hydrométriques étudiées du bassin versant du Côtier Algérois.

III.7. Conclusion

Les précipitations représentent le facteur déterminant du régime hydrologique, pour le cas du bassin versant du Côtier Algérois elles représentent la source principale de l'approvisionnement en eau. Nous avons opté pour le choix des stations pluviométriques on se basant sur la qualité et la quantité des données disponibles pour une bonne homogénéisation des données.

La variabilité temporelle est inversement proportionnelle à la taille de l'étude, car le coefficient de variation augmente à mesure que l'échelle de l'étude diminue.

D'après les résultats obtenus nous pouvons dire que le régime le plus dominant dans la zone d'étude est de type **HAPE**. L'application des tests statistiques de détection des ruptures révèle que les stations étudiées ont une tendance à la baisse.

La mise en étude des stations hydrométriques montre un débit moyen interannuel variant entre (0,18 et 23,8 m³/s).

Chapitre IV

Collecte et traitement des données

IV.1. Introduction

Selon Achite et Ouillon (2007), le transport solide dans les oueds est une conséquence de l'érosion hydrique des sols. Le volume et les types de particules érodées et transportées par les oueds présentent une grande variabilité spatio-temporelle. Les répercussions directes sont dévastatrices, tant en amont par des pertes de sols et des ravinelements qu'à l'aval par des inondations et des dépôts sédimentaires (Touaïbia, 2010).

L'objectif principal de ce chapitre c'est la collecte et le traitement des données pour faire l'évaluation du transport solide en suspension par le modèle sediment rating curve (SRC) au niveau des stations hydrométriques étudiées au niveau de chaque sous bassin.

IV.2. Collecte et mise en forme des données

La collecte et la mise en forme des données est la phase la plus délicate et la plus difficile en hydrologie, comme elle constitue aussi la phase initiale de toute étude statistique. Duband (1989), affirme sans exagération qu'elle représente 30 à 50 % du travail.

IV.2.1. Collecte des données

Les données utilisées dans notre travail proviennent de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H), elles sont prélevées aux droits des stations hydrométriques. Le mode de prélèvement suivi consiste à faire des prélèvements quotidiens d'échantillon d'eau dans des flacons, à analyser au laboratoire pour la détermination des matières en suspension. Le prélèvement est donc ponctuel avec multiplication du nombre de prélèvement en période de crue. Le prélèvement se fait manuellement par l'opérateur de la station.

Cette étape titanesque et impérieuse a constitué l'une des étapes les plus importantes vu que la solidité de tout modèle statistique en dépend. La collecte des données a consisté à établir des fichiers de :

- Débits liquides instantanés (m^3/s) ;
- Concentrations C (g/l) : obtenue à partir des fiches d'analyse des eaux ;
- Débits solides instantanés (kg/s) ;
- Débits moyens journaliers (m^3/s) à partir des annuaires.

Il est essentiel de collecter un nombre suffisant de données fiables afin de rechercher un modèle en vue de le caler pour estimer correctement les apports solides.

IV.2.2. mise en forme des données

Bien que le bassin hydrographique des Côtiers Algérois soit un bassin de grande importance du point de vue des ressources en eau qui peuvent être mobilisées (2,760 milliard de m³), le nombre des populations qui dépasse les 7 millions et sa position géographique (comprend la capitale) (Ammari, 2012). Malgré tous cela l'acquisition de données reste très limitée. C'est pour cette raison, nous avons retenu que les 06 stations hydrométriques.

Dans notre bassin d'étude. Les mesures hydrométriques proviennent de 6 stations de jaugeage en se basant sur La disponibilité des données hydrométriques (débit liquide instantané, débit moyen journalier et concentrations instantanées).

Les données d'observations sont mises sous forme d'un fichier contenant : le numéro de l'observation, la date, l'heure, la hauteur d'eau, la concentration, le débit liquide et le débit solide observé. Chaque fichier, correspond à une station hydrométrique, sur une période d'observation. Nous avons opté pour le choix des stations hydrométriques on se basant d'une part sur leurs positionnements dans le bassin versant et d'autre part sur la qualité et la quantité des données disponibles pour une bonne homogénéisation des données.

L'approche méthodologique adoptée dans cette partie consiste à développer un modèle régressif «sediment rating curve» (SRC) pour l'évaluation du débit solide (QS) journalier à partir du débit liquide (Ql) observé. Les caractéristiques générales de la base de données des stations hydrométriques utilisées dans notre étude sont illustrées dans le tableau (IV.1) et la figure (IV.1)

Tableau IV.1 : Coordonnées géographiques des stations hydrométriques étudiées.

Nom	Station hydrométrique	Code	Oued	Coordonnées géographiques		Période d'étude
				Longitude (°)	latitude	
H1	Baghlia	022002	Sébaou- Maritime	3°8'62,222"E	36°8'06,111"N	1968-1999
H2	Roche des pigeons	021301	El Harrach	3°0'57,777"E	36°4'93,055"N	1978-1995
H3	Fer A cheval	021201	Mazafran	2°8'12,222"E	36°6'59,722"N	1976-1995
H4	Attatba	021011	Bouroumi	2°6'84,166"E	36°5'66,388"N	1976-1994
H5	Pont RN11	020323	Bellah	2°4'29,444"E	36°5'29,722"N	1974-2007
H6	Sidi Akkacha	020207	Allalah	1°3'12,777"E	36°4'86,944"N	1983-2013

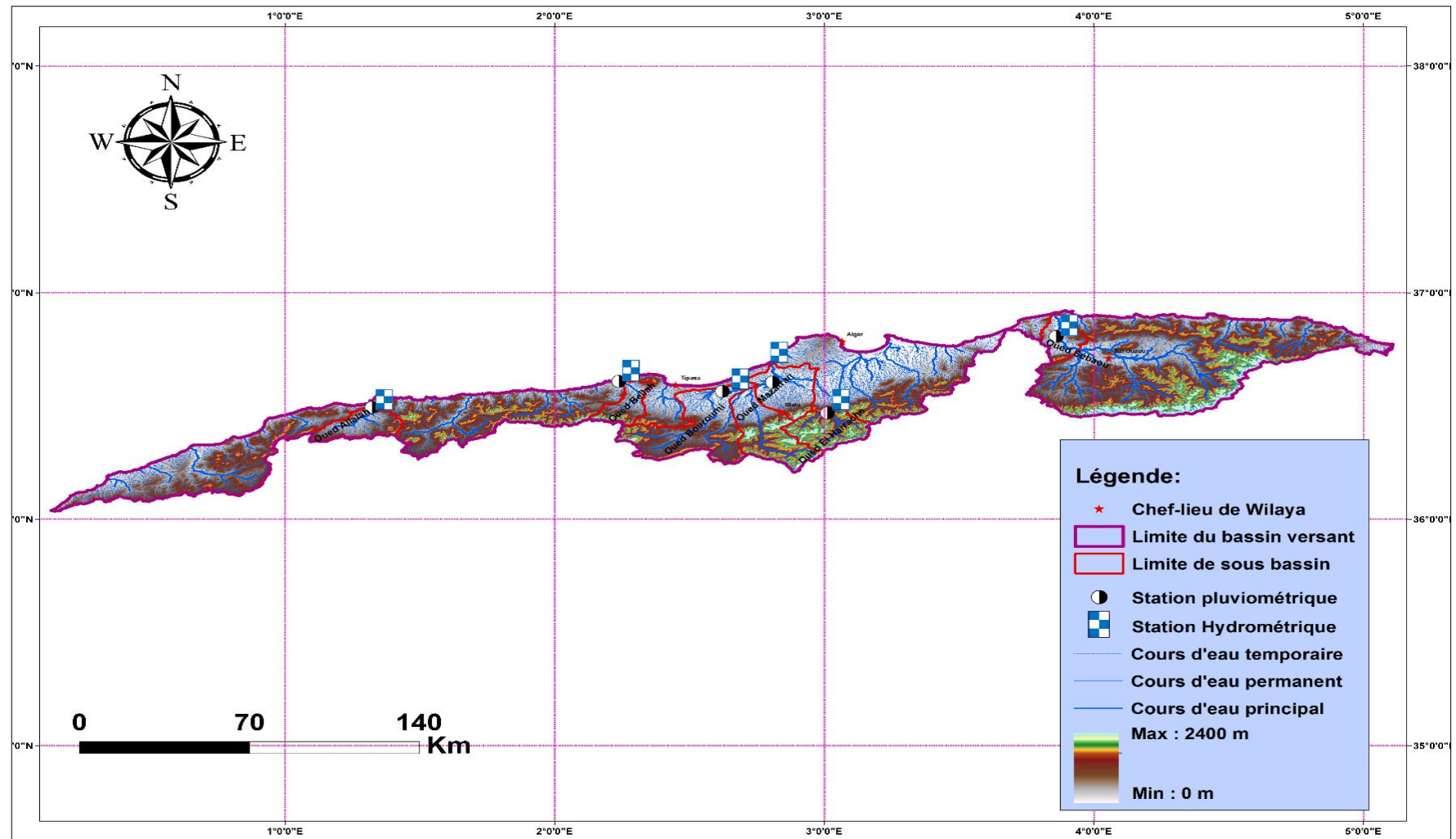


Figure IV.1 : Plan de situation des stations hydrométriques étudiées.

IV.3.Régression entre les débits solides et les débits liquides

Les caractéristiques morphométriques des sous bassins du côtier Algérois au droit des 6 stations hydrométriques sont résumées dans le tableau (IV.2) et la figure (IV.2).

Tableau IV.2 : Récapitulatif des caractéristiques hydromorphologiques du sous-bassin du côtier Algérois

Type	Type de paramètre	Symbole	Unité	Valeur					
				O. Sébaou	O. El Harrach	O. Mazafran	O. Bouroumi	O. Bellah	O. Allalah
Caractéristiques Morphométriques	Superficie	A	Km ²	228,00	387,00	427,00	898,78	218,88	293,00
	Périmètre	P	Km	70,00	92,00	99,00	194,47	88,75	96,60
	Indice de compacité de Gravelius	K_c	/	1,30	1,31	1,34	1,82	1,68	1,58
	Longueur du rectangle équivalent	L	Km	26,28	29,01	38,04	86,58	134,06	41,30
	Largeur du rectangle équivalent	l	Km	08,68	13,34	11,22	10,38	1,63	07,00
Caractéristiques Topographiques	Altitude maximale	H_{max}	m	878,00	1609,00	1491,00	1525,00	1401,00	986,00
	Altitude Minimale	H_{min}	m	0,00	148,00	0,00	13,00	0,00	79,00
	Altitude moyenne	H_{moy}	m	364,83	813,08	590,92	544,83	575,08	326,00
	Altitude Médiane	H_{50%}	m	260,00	1080,00	240,00	560,00	480,00	294,70
	Altitude à 5 % de la surface	H_{5%}	m	840,00	1600,00	1040,00	1320,00	1360,00	666,00
	Altitude à 95 % de la surface	H_{95%}	m	20,00	600,00	120,00	120,00	200,00	109,00
	Indice de pente globale	I_g	m/km	31,20	34,47	24,18	13,86	08,65	13,49
	Dénivelée spécifique	D_s	m	471,12	678,02	499,56	415,52	127,93	230,95
Pente Moyenne	I_m	%	1,15	1,50	2,67	1,93	1,22	1,41	
Caractéristiques hydrologiques	Densité de drainage	D_d	Km/Km ²	0,55	0,47	0,79	0,64	0,56	0,94
	Longueur du cours d'eau principal	L_{cp}	Km	25,63	18,19	17,96	50,92	21,00	43,00
	Temps de concentration	T_c	heures	06,47	5,14	5,61	10,64	4,72	10,61

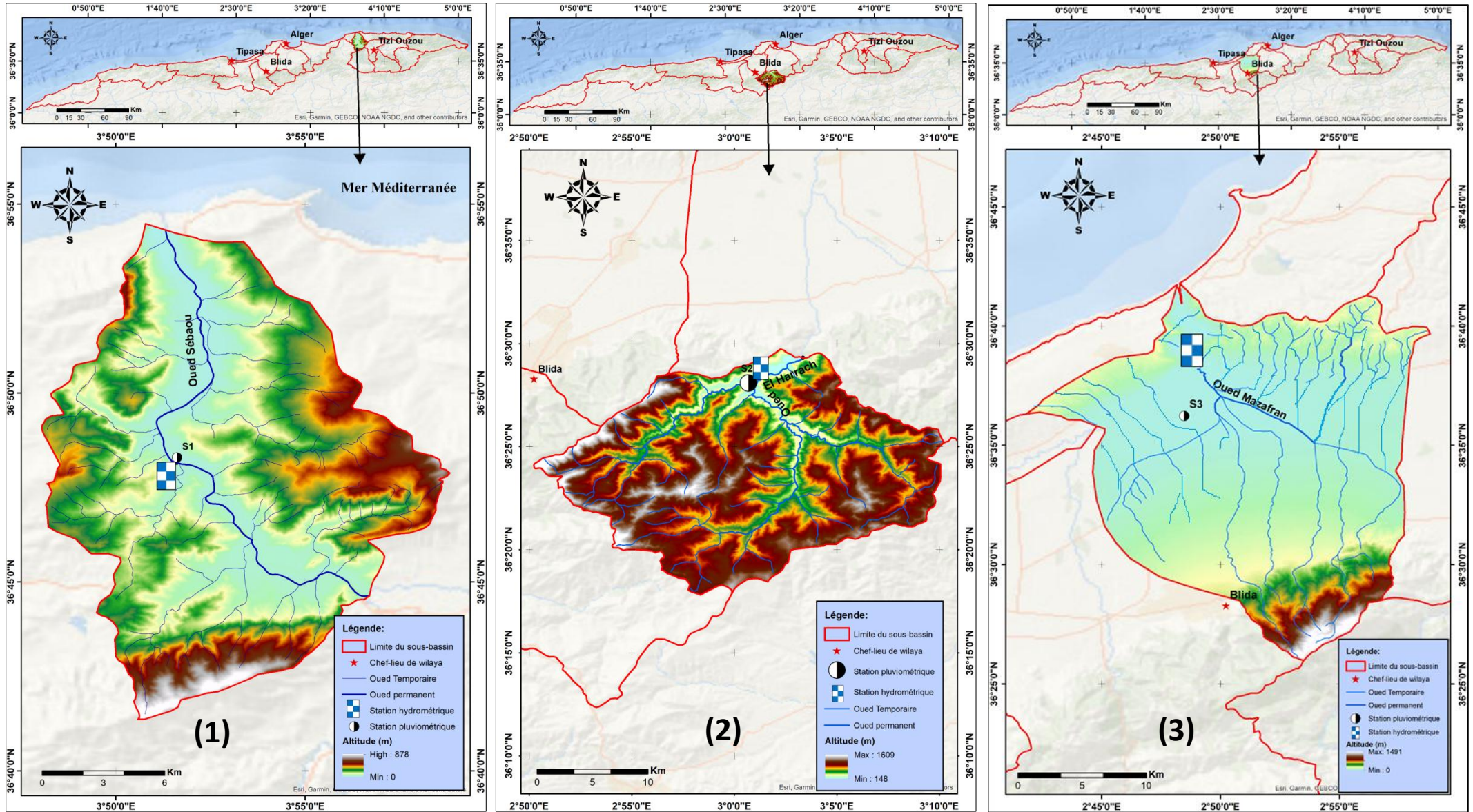


Figure IV.2 : Carte du réseau hydrographique des sous bassins étudiés. (1) Oued Sébaou-Maritime; (2) Oued El Harrach; (3) Oued Mazafran

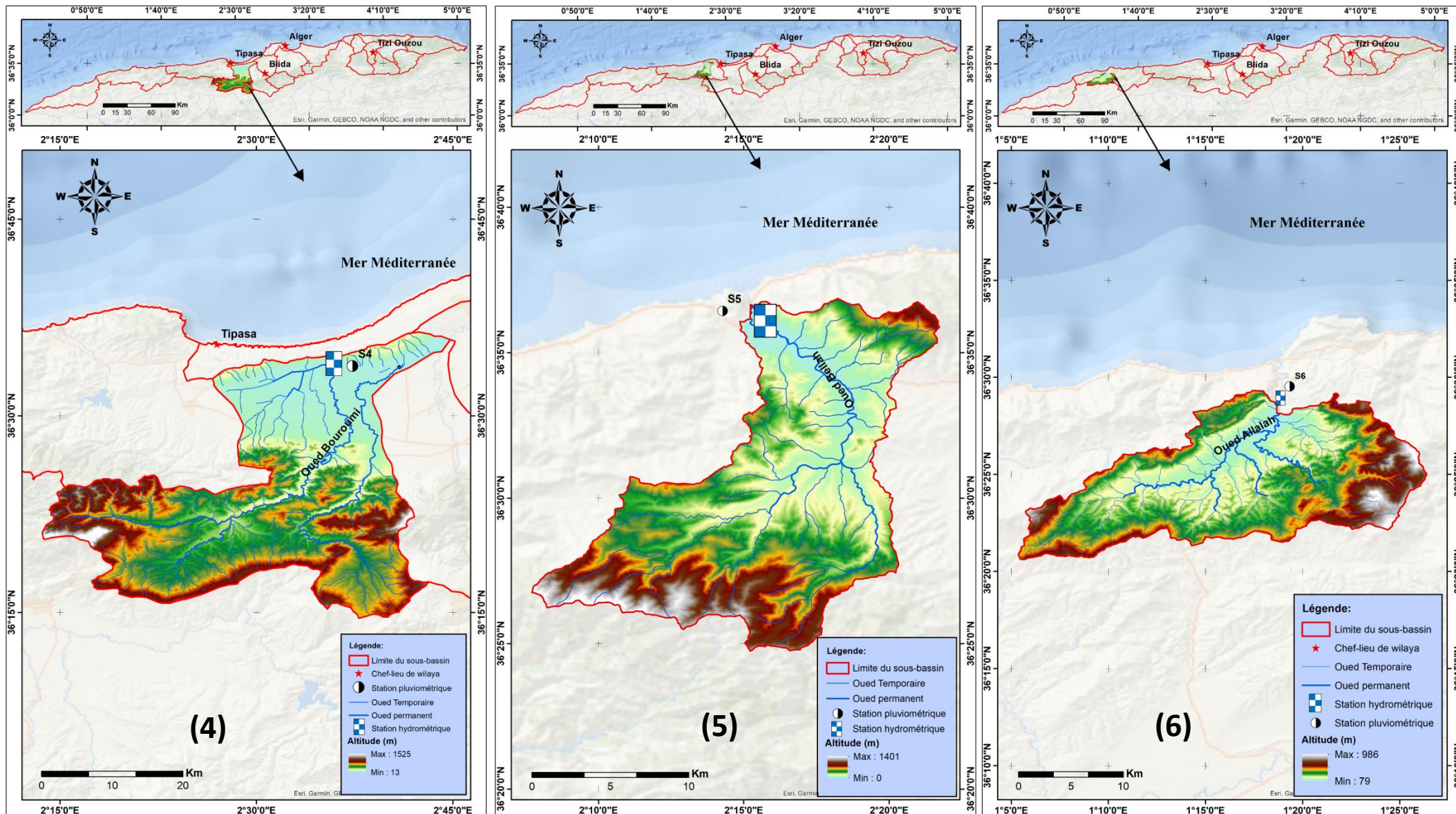


Figure IV.2 : Carte du réseau hydrographique des sous bassins étudiés. (4) Oued Bouroumi; (5) Oued Bellah; (6) Oued Allalah (suite et fin).

A. Variation du transport solide à l'échelle annuelle des stations étudiées

Dans le but de l'homogénéisation des données, nous avons recherché des modèles régressifs entre deux paramètres de mesure du débit liquide et du débit solide. A cet effet les données sont mises en graphe et leur allure oriente le choix du modèle régressif. Les modèles utilisées sont : linéaire, logarithmique, parabolique, puissance et exponentiel. Selon le coefficient de détermination R^2 , plusieurs modèles ont été ajustés (Tableau IV.3),

Tableau IV.3 : Valeurs du Coefficient de détermination (R^2) des modèles retenus.

Station	Type d'ajustement	R^2	Station	Type d'ajustement	R^2
Baghlia 022002	Linéaire	0,72	Attatba 021011	Linéaire	0,62
	Logarithmique	0,05		Logarithmique	0,17
	Parabolique	0,85		Parabolique	0,67
	Puissance*	0,89		Puissance*	0,73
	Exponentiel	0,32		Exponentiel	0,38
Roche des pigeons. 021301	Linéaire	0,57	Pont RN11 020323	Linéaire	0,56
	Logarithmique	0,13		Logarithmique	0,19
	Parabolique	0,57		Parabolique	0,67
	Puissance*	0,70		Puissance*	0,70
	Exponentiel	0,23		Exponentiel	0,35
Fer A cheval 021201	Linéaire	0,52	Sidi Akkacha 020207	Linéaire	0,69
	Logarithmique	0,23		Logarithmique	0,09
	Parabolique	0,69		Parabolique	0,70
	Puissance*	0,70		Puissance*	0,77
	Exponentiel	0,45		Exponentiel	0,22

* Modèle retenu

Le modèle puissance ($Q_s = a \cdot Q_l^b$) étant le plus adapté pour représenter et donc estimer les apports solides à différentes échelles (Tableau IV.4, Figure IV.3).

Tableau IV.4 : Modèle retenu pour la totalité de la série des stations hydrométriques.

Station hydrométrique	N	Modèle retenu	R^2
Baghlia	2838	$Q_s = 0,04 Q_l^{1,52}$	0,89
Roche des pigeons.	739	$Q_s = 0,97 Q_l^{1,27}$	0,70
Fer A cheval	618	$Q_s = 0,66 Q_l^{1,48}$	0,70
Attatba	459	$Q_s = 2,14 Q_l^{1,25}$	0,73
Pont RN 11	961	$Q_s = 2,20 Q_l^{1,30}$	0,70
Sidi Akkacha	961	$Q_s = 2,53 Q_l^{1,72}$	0,77

avec : **N** : Nombre de mesures journalières ; **Q_l** : Débit liquide moyen journalier (m^3/s) ; **Q_s** : Débit solide moyen journalier (kg/s).

L'allure du graphe (Figure IV.3), explique que le modèle puissance est le mieux ajusté pour les stations étudiées.

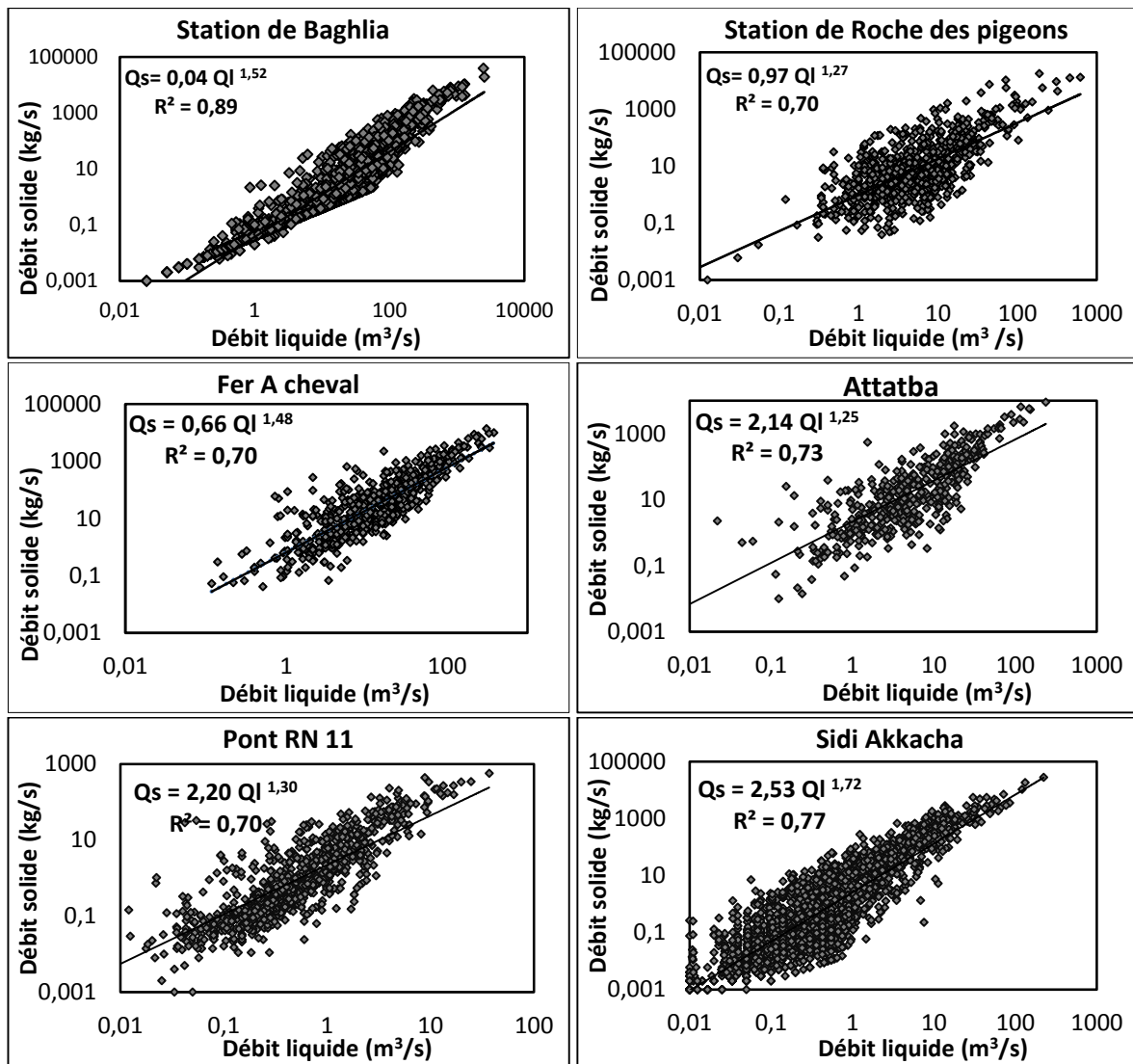


Figure IV.3 : Relation débit liquide/débit solide observés des stations hydrométriques mises en étude.

B. Variation du transport solide à l'échelle mensuelle des stations étudiées

- Station de Baghlia

Les calculs de la régression sous différentes formes ont permis de conclure que la forme puissance est la plus acceptable, car elle présente le meilleur coefficient de détermination (R^2) pour toutes les stations (Tableau IV.5).

Durant toute la période d'étude nous remarquons pour la station de Baghlia que l'exposant « b » varie entre 1,02 et 2,23 et le coefficient de régression « a » varie entre 0,01 et 0,05. La valeur maximale de l'exposant (b) est observée au mois de Mars ($b=2,23$) et la valeur minimale ($b=1,02$) est observée en Juillet.

Tableau IV.5 : Modèles obtenus et le coefficient de détermination à l'échelle mensuelle

St.	Mois	Nbre d'obs	Modèles retenus	R ²	St.	Nbre d'obs	Modèles retenus	R ²	St.	Nbre d'obs	Modèles retenus	R ²
Baghlia	Sept.	165	Qs = 0,05 Ql ^{1,24}	0,87	Roche des pigeons.	37	Qs = 4,04 Ql ^{1,67}	0,75	Fer A Cheval	24	Qs = 2,89 Ql ^{1,75}	0,70
	Oct.	171	Qs = 0,05 Ql ^{1,32}	0,81		80	Qs = 2,92 Ql ^{1,64}	0,69		47	Qs = 1,48 Ql ^{1,57}	0,74
	Nov.	216	Qs = 0,04 Ql ^{1,67}	0,85		74	Qs = 1,33 Ql ^{1,49}	0,50		58	Qs = 0,38 Ql ^{1,97}	0,78
	Déc.	302	Qs = 0,02 Ql ^{1,82}	0,86		100	Qs = 0,48 Ql ^{1,56}	0,58		81	Qs = 0,33 Ql ^{1,75}	0,79
	Jan.	358	Qs = 0,01 Ql ^{1,89}	0,85		84	Qs = 0,30 Ql ^{1,58}	0,75		134	Qs = 0,41 Ql ^{1,61}	0,77
	Fév.	360	Qs = 0,01 Ql ^{1,93}	0,84		100	Qs = 0,30 Ql ^{1,60}	0,50		104	Qs = 0,37 Ql ^{1,64}	0,76
	Mar.	343	Qs = 0,02 Ql ^{2,23}	0,84		109	Qs = 0,14 Ql ^{1,82}	0,55		110	Qs = 0,15 Ql ^{1,76}	0,74
	Avr.	278	Qs = 0,02 Ql ^{2,21}	0,83		69	Qs = 0,30 Ql ^{1,56}	0,58		33	Qs = 0,11 Ql ^{1,94}	0,86
	Mai	188	Qs = 0,01 Ql ^{1,96}	0,87		67	Qs = 0,58 Ql ^{1,54}	0,54		25	Qs = 0,61 Ql ^{1,43}	0,64
	Jui.	144	Qs = 0,04 Ql ^{1,05}	0,89		08	Qs = 3,64 Ql ^{2,58}	0,64		/	/	/
	Juil.	179	Qs = 0,05 Ql ^{1,02}	0,80		06	Qs = 0,41 Ql ^{2,32}	0,96		2	Qs = 67,00 Ql ^{1,30}	1
Août	134	Qs = 0,04 Ql ^{1,04}	0,74	05	Qs = 1,97 Ql ^{7,15}	0,98	/	/	/			
St.	Mois	Nbre d'obs	Modèles retenus	R ²	St.	Nbre d'obs	Modèles retenus	R ²	St.	Nbre d'obs	Modèles retenus	R ²
Attatba	Sept.	14	Qs = 8,44 Ql ^{1,40}	0,59	Pont RN 11	10	Qs = 23,23 Ql ^{1,08}	0,79	Sidi Akkacha	20	Qs = 11,52 Ql ^{1,67}	0,90
	Oct.	47	Qs = 6,02 Ql ^{1,09}	0,64		15	Qs = 8,70 Ql ^{1,32}	0,67		83	Qs = 15,92 Ql ^{1,80}	0,88
	Nov.	46	Qs = 2,34 Ql ^{1,64}	0,72		59	Qs = 7,15 Ql ^{1,19}	0,68		201	Qs = 7,09 Ql ^{1,75}	0,83
	Déc.	67	Qs = 1,02 Ql ^{1,72}	0,82		147	Qs = 3,95 Ql ^{1,49}	0,82		347	Qs = 3,09 Ql ^{1,80}	0,83
	Jan.	85	Qs = 1,35 Ql ^{1,41}	0,68		233	Qs = 2,41 Ql ^{1,59}	0,82		366	Qs = 2,76 Ql ^{1,83}	0,76
	Fév.	94	Qs = 0,97 Ql ^{1,41}	0,59		189	Qs = 1,58 Ql ^{1,29}	0,72		356	Qs = 1,58 Ql ^{1,71}	0,82
	Mar.	56	Qs = 0,44 Ql ^{1,77}	0,71		182	Qs = 1,31 Ql ^{1,10}	0,70		398	Qs = 1,72 Ql ^{1,71}	0,71
	Avr.	22	Qs = 0,75 Ql ^{1,83}	0,80		93	Qs = 1,25 Ql ^{1,18}	0,68		281	Qs = 1,75 Ql ^{1,74}	0,68
	Mai	27	Qs = 0,82 Ql ^{1,51}	0,63		31	Qs = 2,84 Ql ^{1,64}	0,65		156	Qs = 3,17 Ql ^{1,80}	0,79
	Jui.	1	/	/		/	/	/		31	Qs = 6,05 Ql ^{1,78}	0,76
	Juil.	/	/	/		1	/	/		0	/	/
Août	/	/	/	1	/	/	1	/	/			

avec : (/) mois non observé

- Station de Roche des pigeons.

On remarque que pour les stations de Roche des Pigeons l'exposant "b" est compris entre 1,49 et 7,15, et le coefficient de régression "a" est compris entre 0,14 et 4,04. La valeur maximale de l'exposant (b) est observée en août ($b = 7,15$), ce qui résulte la rareté des pluies en période estivale, et la valeur minimale ($b = 1,49$) est observée en novembre.

- Station de Fer à Cheval

Tout au long de la période d'étude, nous avons remarqué que l'indice "b" pour la station Fer A cheval varie entre 1,97 et 1,30, et que le coefficient de régression "a" varie entre 67,00 et 0,11. L'indice (b) a une valeur maximale en novembre ($b=1,97$) et une valeur minimale ($b=1,30$) en juillet.

- Station d'Attatba

L'exposant « b » varie entre 1,83 et 1,09, tandis que le coefficient de régression « a » varie entre 8,44 et 0,44 pour la station Attatba. La valeur d'exposition maximale (b) a été observée en avril ($b=1,83$) tandis que la valeur minimale ($b=1,09$) a été observée en octobre. Pour les mois d'été de juin, juillet et août.

- Station de Pont RN 11

L'exposant « b » pour la station de Pont RN 11 varie entre 1,64 et 1,08 sur la période d'étude, alors que le coefficient de régression « a » évolue entre 23,23 et 1,25. En mai, l'exposant (b) atteint sa valeur la plus élevée ($b=1,64$), tandis qu'en septembre, il atteint sa valeur la plus basse ($b=1,08$). Pendant les mois d'été de juin, juillet et août, il y a une pénurie d'échantillonnage. Cela est dû aux vacances d'observation et aux caractéristiques particulières de la période.

- Station de Sidi Akkacha

D'après l'analyse des résultats, on note que l'exposant « b » évolue entre 1,83 et 1,67, tandis que le coefficient de régression « a » varie entre 15,92 et 1,58 pour la station Sidi Akkacha. En janvier, l'exposant (b) atteint sa valeur la plus élevée ($b=1,83$), tandis qu'en septembre, il atteint sa valeur la plus basse ($b=1,67$)

C. Variation du transport solide à l'échelle saisonnière des stations étudiées**- Station de Baghlia**

Les résultats de la régression entre les débits liquides et solides montrent qu'en hiver et l'été, le coefficient de régression présente la valeur maximale par rapport aux autres saisons, du fait de l'importance de l'érosion hydrique en ces périodes de l'année. La zone d'étude est également caractérisée par un étage bioclimatique sub-humide à hiver doux. Une période de

sécheresse suivie d'une période humide est propice au détachement des particules de sol et à leur transport ; de plus en saison estivale les sols sont souvent dépourvus de végétation, à partir de ce moment, le phénomène d'érosion est accentué du fait de l'averse forte. La valeur maximale de l'exposant ($b = 1,65$) est à la saison d'hiver et printemps (Tableau IV.6 et Figure IV.4).

Tableau IV.6 : Modèles obtenus et coefficient de détermination à l'échelle saisonnière des stations hydrométriques étudiées.

Station	Saison	Nbre d'obs.	Modèles retenus	R ²	Station	Nbre d'obs.	Modèles retenus	R ²
Baghlia	Aut.	552	$Q_s = 0,05 Q_l^{1,48}$	0,87	Roche des pigeons	191	$Q_s = 2,32 Q_l^{1,52}$	0,63
	Hiv.	1020	$Q_s = 0,01 Q_l^{1,85}$	0,85		284	$Q_s = 0,37 Q_l^{1,56}$	0,70
	Print.	809	$Q_s = 0,01 Q_l^{2,06}$	0,85		245	$Q_s = 0,34 Q_l^{1,56}$	0,69
	Eté	457	$Q_s = 0,05 Q_l^{1,06}$	0,90		19	$Q_s = 1,93 Q_l^{2,13}$	0,69
Fer A cheval	Aut.	129	$Q_s = 1,27 Q_l^{1,59}$	0,70	Attatba	107	$Q_s = 4,88 Q_l^{1,17}$	0,62
	Hiv.	319	$Q_s = 0,38 Q_l^{1,65}$	0,78		246	$Q_s = 1,13 Q_l^{1,48}$	0,68
	Print.	168	$Q_s = 0,25 Q_l^{1,65}$	0,74		105	$Q_s = 0,62 Q_l^{1,70}$	0,73
	Eté	02	$Q_s = 67,00 Q_l^{1,30}$	1,00		01	/	/
Pont RN 11	Aut.	84	$Q_s = 8,65 Q_l^{1,21}$	0,68	Sidi Akkacha	304	$Q_s = 9,07 Q_l^{1,76}$	0,84
	Hiv.	569	$Q_s = 2,31 Q_l^{1,45}$	0,77		1069	$Q_s = 2,59 Q_l^{1,75}$	0,80
	Print.	306	$Q_s = 1,41 Q_l^{1,16}$	0,69		835	$Q_s = 1,90 Q_l^{1,73}$	0,72
	Eté	02	$Q_s = 14,21 Q_l^{2,29}$	1,00		32	$Q_s = 8,03 Q_l^{1,83}$	0,75

- Station Roche des pigeons

Les résultats montrent qu'en hiver et au printemps le coefficient de détermination est à son maximum par rapport aux autres saisons, du fait de l'importance de l'érosion hydrique à ces périodes de l'année. La zone d'étude est également caractérisée par une phase bioclimatique semi-sèche avec des hivers doux. Une période de sécheresse suivie d'une période humide favorise le détachement des particules de sol et leur transport ; de plus, en été, les sols sont souvent dépourvus de végétation, et dès lors, le phénomène d'érosion s'accroît du fait des fortes pluies orageuses. La valeur maximale de l'exposant ($b = 2,13$) est relevée en saison estivale.

- Station de Fer A Cheval

Les résultats de la régression des écoulements liquides et solides montrent que le coefficient de détermination présente un maximum en hiver et au printemps par rapport aux autres saisons en raison de l'importance de l'érosion hydrique à ces périodes de l'année. La zone d'étude présente également un étage bioclimatique semi-aride avec des hivers doux. La saison des pluies après la saison sèche est propice au détachement et à la migration des particules de sol ; de plus, en été, le sol est souvent dépourvu de végétation, et à partir de ce moment, du

fait des fortes averses, l'érosion est plus sévère. La valeur maximale de l'indice ($b = 1,65$) est en hiver et au printemps. Le coefficient de détermination $R^2 = 1$ en été est dû au fait que la taille de l'échantillon est la plus petite au cours de l'année.

- **Station d'Attatba**

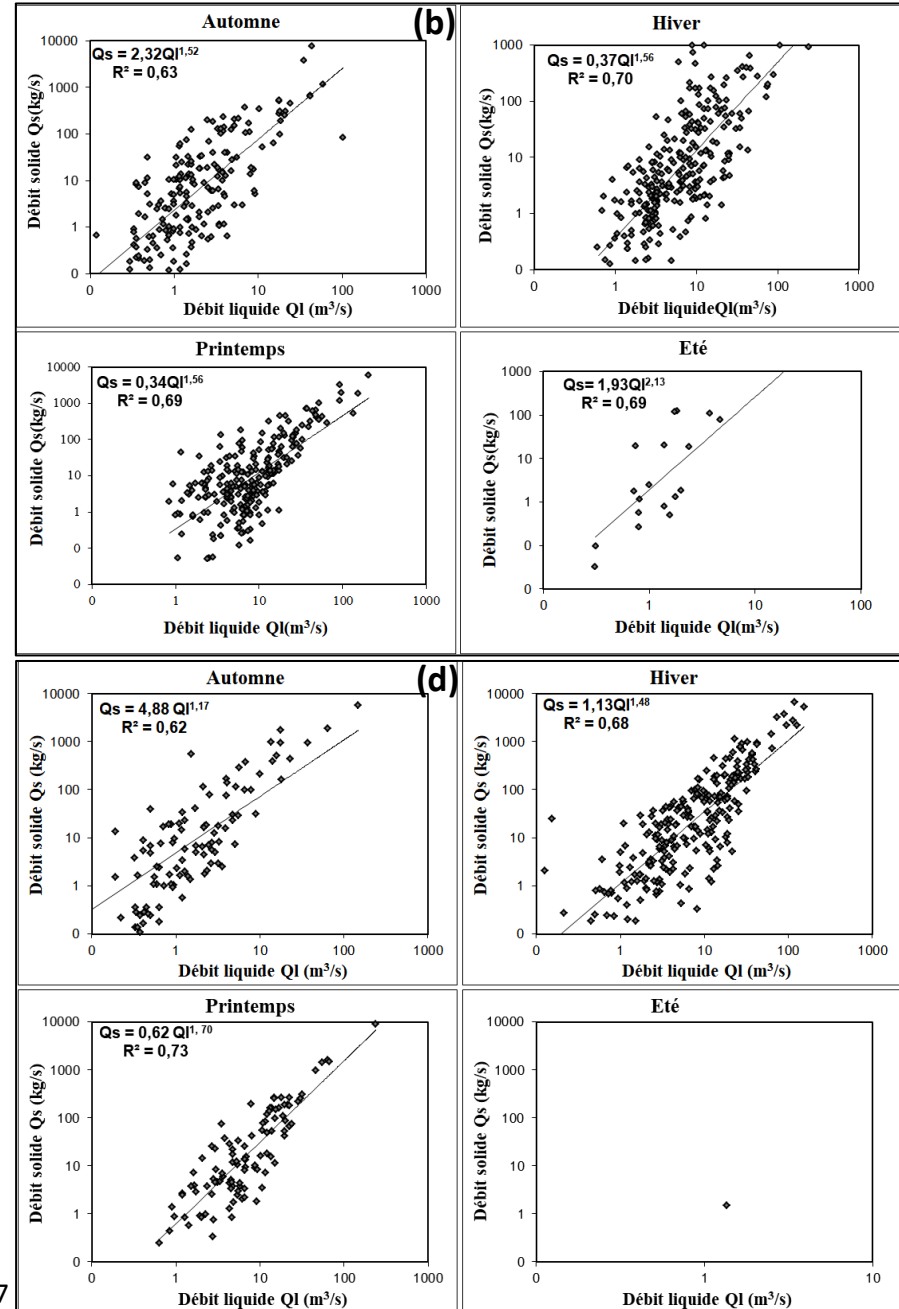
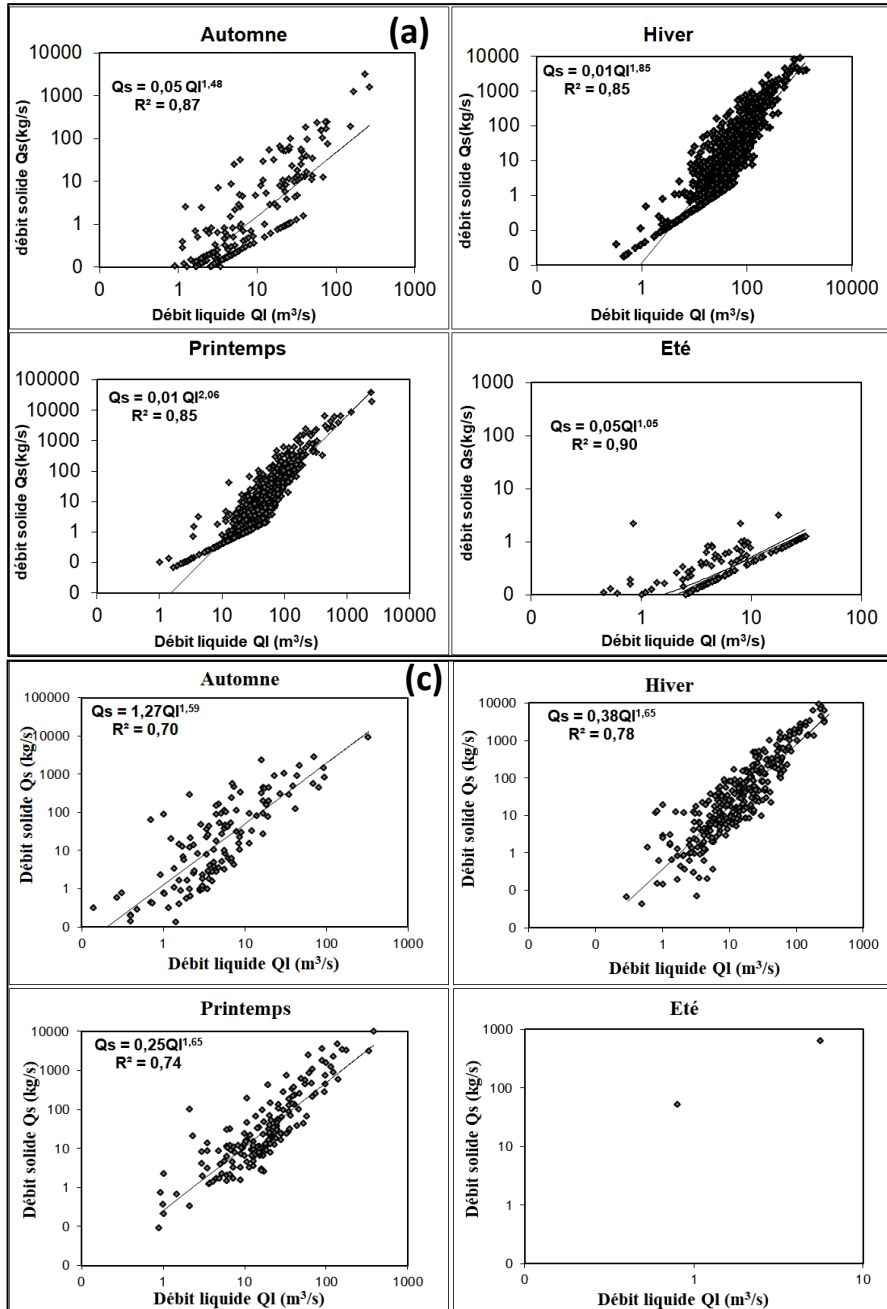
Les résultats de la régression des écoulements liquide-solide montrent que le coefficient de détermination est le plus élevé en hiver et au printemps par rapport aux autres saisons, ce qui est dû à l'importance de l'érosion hydrique à ces saisons. Un étage bioclimatique semi-aride à hivers doux est également présent dans la zone d'étude. Une période de sécheresse suivie d'une période de forte humidité est propice à la séparation et au mouvement des particules de sol ; de plus, pendant l'été, les sols sont souvent dépourvus de végétation, ce qui accélère le processus érosif. La valeur d'exposition maximale ($b = 1,70$) se produit au printemps. En raison du plus faible nombre d'échantillons tout au long de l'année, aucune observation n'a été faite pour la saison estivale.

- **Station de Pont RN 11**

Dans la zone d'étude un étage bioclimatique semi-aride à hivers doux est également présent. Une période de sécheresse suivie d'une période de pluie est favorable au détachement et au mouvement des particules du sol ; de plus, en été, les sols sont souvent dépourvus de végétation et l'érosion est exacerbée par les fortes averses. En été, l'exposant atteint son point le plus élevé ($b = 2,29$). En raison du plus faible nombre d'échantillons au cours de l'année, le coefficient de détermination $R^2 = 1$ pour la saison estivale.

- **Station de Sidi Akkacha**

L'hiver est la première saison d'érosion dans le bassin d'étude avec un apport solide de $194,12 \cdot 10^6$ t soit 60% de la charge globale, pour une rentrée de fonds aussi importante $9,10 \text{ hm}^3$ soit 55% du total volume annuel. En effet, les pluies de printemps, assez abondantes, après un hiver froid et pluvieux avec une succession de gels et dégel favorisant la déstabilisation de la structure du sol et le rendant plus vulnérable à l'érosion, trouver un sol meuble puis déclencher des flux très chargés avec une contribution de 18% de la charge totale est un apport liquide de 27%. En automne, les valeurs enregistrées pendant cette saison en raison de fortes pluies après un été très chaud, avec 22% de transport solide. L'été reste une saison sèche avec un transport de charges solides de 1%. Les résultats de la régression entre les débits liquides et solides montrent qu'en hiver et printemps, le coefficient de détermination présente la valeur maximale par rapport aux autres saisons, du fait de l'importance de l'érosion hydrique en ces périodes de l'année.



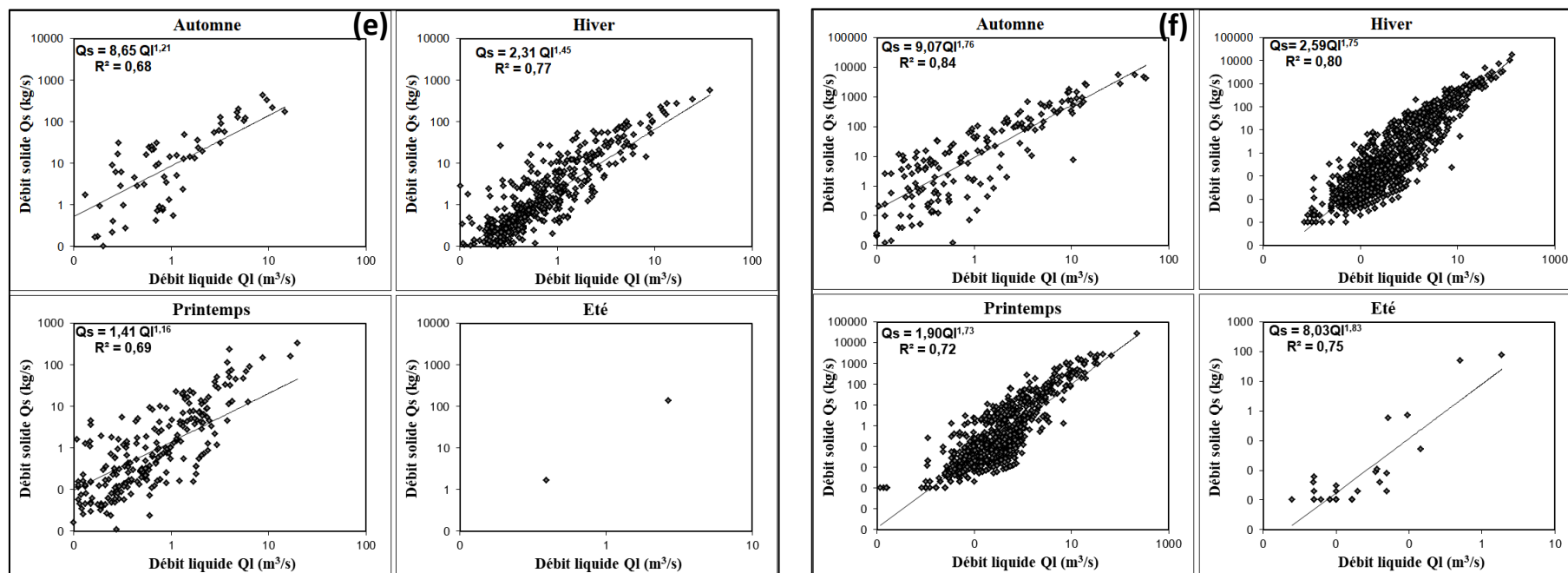


Figure IV.4: Relation débit liquide et débit solide observés à l'échelle saisonnière aux stations étudiées. (a) Station de Baghlia; (b) Station de Roche des pigeons; (c) Station de Fer A cheval; (d) Station d'Attatba; (e) Station de Pont RN11; (f) Station de Sidi Akkacha.

Les résultats de la régression entre les débits liquides et solides dans notre zone d'étude sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau IV.7 : Récapitulation des résultats de la régression entre les débits liquides et solides des sous bassins du Côtier Algérois.

Station hydrométrique	Code	Oued	Modèles retenus	R ²
Baghlia	022002	Sébaou-Maritime	$Q_s = 0,04 Q_l^{1,52}$	0,89
Roche des pigeons	021301	El Harrach	$Q_s = 0,97 Q_l^{1,27}$	0,70
Fer A cheval	021201	Mazafran	$Q_s = 0,66 Q_l^{1,48}$	0,70
Attatba	021011	Bouroumi	$Q_s = 2,14 Q_l^{1,25}$	0,73
Pont RN11	020323	Bellah	$Q_s = 2,20 Q_l^{1,30}$	0,70
Sidi Akkacha	020207	Allalah	$Q_s = 2,53 Q_l^{1,72}$	0,77

IV.4.Conclusion

Notre objectif était de collecter et de traiter des données pour évaluer le transport des solides en suspension à l'aide de modèles Sediment Rating Curve (SRC) aux stations hydrographiques étudiées à chaque niveau de sous-bassin de notre zone d'étude. Étape la plus délicate et la plus difficile de l'hydrologie, car elle constitue l'étape initiale de toute étude statistique.

L'aboutissement logique d'une analyse de données est la modélisation. Pour ce faire, nous avons essayé de déterminer la relation débit liquide - débit solide. Une approche à différentes échelles temporelles basée sur les modèles régressifs est adoptée. Nous trouvons une bonne relation en puissance liant les débits solides en suspension aux débits liquides de type ($Q_s = aQ_l^b$).

Les coefficients de régression a et b selon les différents modèles obtenus pour chaque sous bassins jaugé par une station hydrométrique sont très variables de l'est à l'ouest. Pour l'exposant « b » varie entre 1,25 et 1,72 et pour le coefficient « a » augmente de l'est vers l'ouest de 0,04 à 2,53. Cette variation est due essentiellement à l'irrégularité spatio-temporelle des précipitations, la topographie du terrain, la discontinuité spatiale du couvert végétal et l'étage bioclimatique de notre bassin versant.

Chapitre V

Evaluation et modélisation du transport solide

V.1. Introduction

La détermination du transport des sédiments en suspension, en particulier dans les Oueds, est devenue une nécessité dans les cours d'eau. Les raisons de cet intérêt incluent l'évaluation du transport des sédiments en suspension vers les mers et les océans, l'estimation du taux d'érosion et de la perte de sol, la prévision de l'envasement des réservoirs et des barrages. Les taux d'érosion sont liés non seulement à la géologie, à l'occupation des sols et aux relations avec les facteurs biotiques (plantes et semences), mais aussi aux conditions climatiques (Giaccone *et al.*, 2015). Dans le cas d'absence des données des concentrations des matières en suspension, des modèles sont développés pouvant être utilisés pour la prévision du transport solide en fonction des paramètres conditionnant ce phénomène. Dans ce présent chapitre, nous utiliserons les différents résultats obtenus en chapitre 4 pour la quantification des apports solides et de calculer l'érosion spécifique.

V.2. Quantification des apports solides et l'érosion spécifique

Une relation empirique communément appelée courbe de transport solide (Cambell *et al.*, 1940 ; Crawford, 1991) lie le débit solide au débit liquide (formule V.1):

$$Q_s = a.Q_l^b \quad (V.1)$$

Ce type de relation a été proposé dès 1895 par Kennedy. Depuis, plusieurs chercheurs ont essayé d'identifier surtout la valeur de l'exposant b. Leopold *et al.*, 1953 proposent pour les rivières de l'ouest des Etats Unis d'Amérique des valeurs de b variant entre 2 et 3, d'autres auteurs tels que Wood, 1977 ; Walling et Webb, 1981,1982, ainsi que Probst et Bazerabachi, 1986, les limitent entre 1 et 2, en fonction des caractéristiques physiques, climatiques et hydrologiques des bassins versants, ou des conditions hydrauliques de l'écoulement dans les cours d'eau.

En Algérie beaucoup d'auteurs ont travaillé sur le développement de pareils modèles pour l'estimation du débit solide en fonction du débit liquide. Les modèles ont variés selon la zone d'étude, mais aussi selon une échelle temporelle, donc ces modèles dans l'espace et dans le temps, ce n'est en aucun cas des modèles intrinsèques (Ammari, 2012)

Benkhaled et Remini (2003), ont élaboré une étude très intéressante sur les paramètres a et b de la relation puissance débit liquide- débit solide dans la région de Oued Wahrane pour différentes échelles temporelles, même à l'échelle des crues. Ils ont mis en évidence la complexité de trouver une relation unique pour ces paramètres, ils ont conclu que l'exposant b est relié aux

caractéristiques de l'écoulement, tandis que a est considéré comme paramètre représentatif de l'état du sol. L'exposant b varie en général entre 1 et 2 et a varié dans des intervalles plus larges, même intervalle trouvé par Achite et Meddi (2004) pour Oued Haddad situé dans le Cheliff, sur le même bassin Zaïbak (2008) a trouvé des valeurs proches mais toujours différentes.

Dans cette étude, les relations retenues sont donnée dans le tableau (V.1)

Tableau V.1 : Valeurs du coefficient « a » et de l'exposant « b » trouvés dans la zone d'étude.

Station hydrométrique		Code	Oued	Les coefficients de régression	
				a	b
H1	Baghlia	022002	Sébaou- Maritime	0,04	1,52
H2	Roche des pigeons	021301	El Harrach	0,97	1,27
H3	Fer A cheval	021201	Mazafran	0,66	1,48
H4	Attatba	021011	Bouroumi	2,14	1,25
H5	Pont RN11	020323	Bellah	2,20	1,30
H6	Sidi Akkacha	020207	Allalah	2,53	1,72

On voit bien que ces modèles sont des modèles locaux et temporelle aussi, donc difficile de les généraliser, ou de garder pour une région le même modèle unique, le climat est en mutation, le sol aussi, donc la validité de ces modèles est toujours limitée dans le temps. Le tableau (V.2) montre quelques exemples des coefficients de régression a et b

Tableau V.2 : Valeurs du coefficient « a » et de l'exposant « b » trouvés dans les bassins versants Algériens.

Référence	Oued	a	b
Terfous et al. (2001)	Oued Mouilah	0,40	1,70
Touaibia et al. (2001)	Oued Haddad	5,79	0,36
		25,13	0,74
		3,62	0,44
Bouanani (2004)	Tafna	0,41 à 0,26	1,5 à 2
Achite et Ouillon (2007)	Oued Abd	1,71	0,75
Terfous et al. (2007)	Oued Sebdou	0,259	1,77
Cherif et al. (2009)	Oued Mekerra	4,88	1,30
El Mahi et al. (2012)	Oued El hammam	5,12	1,37
Baloul (2012)	Oued Sebdou	0,21	0,64
	Oued Isser	0,4	0,79
Yles et Bouanani (2012)	Oued Saïda	2,36	1,63
Louamri et al. (2013)	Oued Bouhamdane	0,16	1,49
Bouchelkia et al. (2014)	Oued chellif	2,12	0,44
Selmi et Khanchoul (2016)	Mellegue	5,19	0,52
Bouguerra et al. (2016)	Oued Boumessaoud	1,59	1,64
Kerdoud et Tatar (2018)	Oued Kebir Hammam	0,23	1,24
Ballah & al., dans cette étude	Sébaou- Maritime	0,04	1,52
	El Harrach	0,97	1,27
	Mazafran	0,66	1,48
	Bouroumi	2,14	1,25
	Bellah	2,20	1,30
	Allalah	2,53	1,72

V.3. Variabilité temporelle des apports liquide et solide au niveau des stations étudiées

V.3.1. Echelle mensuelle

- Station de Baghlia

Les variations de transport solide en suspension de l'oued Sébaou et de ses affluents présentent des variations temporelles. Elles sont dues essentiellement au couvert végétal, à la lithologie et surtout au régime pluviométrique de la zone d'étude. En général, les variations mensuelles des apports solides suivent celles des apports liquides. La valeur maximale des apports solides, pour l'ensemble du sous-bassin, s'observent au mois de mars avec $0,084 \times 10^6$ t et la valeur minimale au mois d'août et septembre avec $0,001 \times 10^6$ t. L'apport liquide moyen pendant le mois de Mars est de $0,143 \times 10^6$ m³ pour la station Baghlia correspond à la valeur maximale, La valeur minimale est observée au mois de juin avec $0,003 \times 10^6$ m³ (Figure V.1).

- Station de Roche des pigeons

L'évolution du transport des matières en suspension dans Oued El Harrach et ses affluents montre une variation temporelle. Elles sont principalement dues au couvert végétal, à la lithologie et surtout aux conditions pluviométriques dans la zone d'étude. En général, la variation mensuelle des apports solides suit la variation mensuelle des apports liquides. La valeur maximale des apports solides dans l'ensemble du bassin est apparue en janvier, qui était de $0,084 \times 10^6$ t, et la valeur minimale est apparue en août et septembre, qui était de $0,001 \times 10^6$ t. $0,143 \times 10^6$ m³ en mars correspond au maximum à la station de la Roche des pigeons, tandis que le $0,003 \times 10^6$ m³ en juin correspond au minimum (Figure V.1).

- Station de Fer A cheval

En général, les variations mensuelles des apports solides suivent les variations mensuelles des apports liquides. La valeur la plus élevée des apports solides, $0,108 \times 10^6$ t, a été observée au mois de mars, tandis que la valeur la plus faible, $0,0008 \times 10^6$ t, a été observée au mois d'août. L'apport liquide moyen pour le mois de mars est de $0,030 \times 10^6$ m³ pour les stations de Fer A cheval, qui est la valeur la plus élevée, et de $0,00030 \times 10^6$ m³ la valeur la plus basse est observée au mois d'aout (Figure V.1).

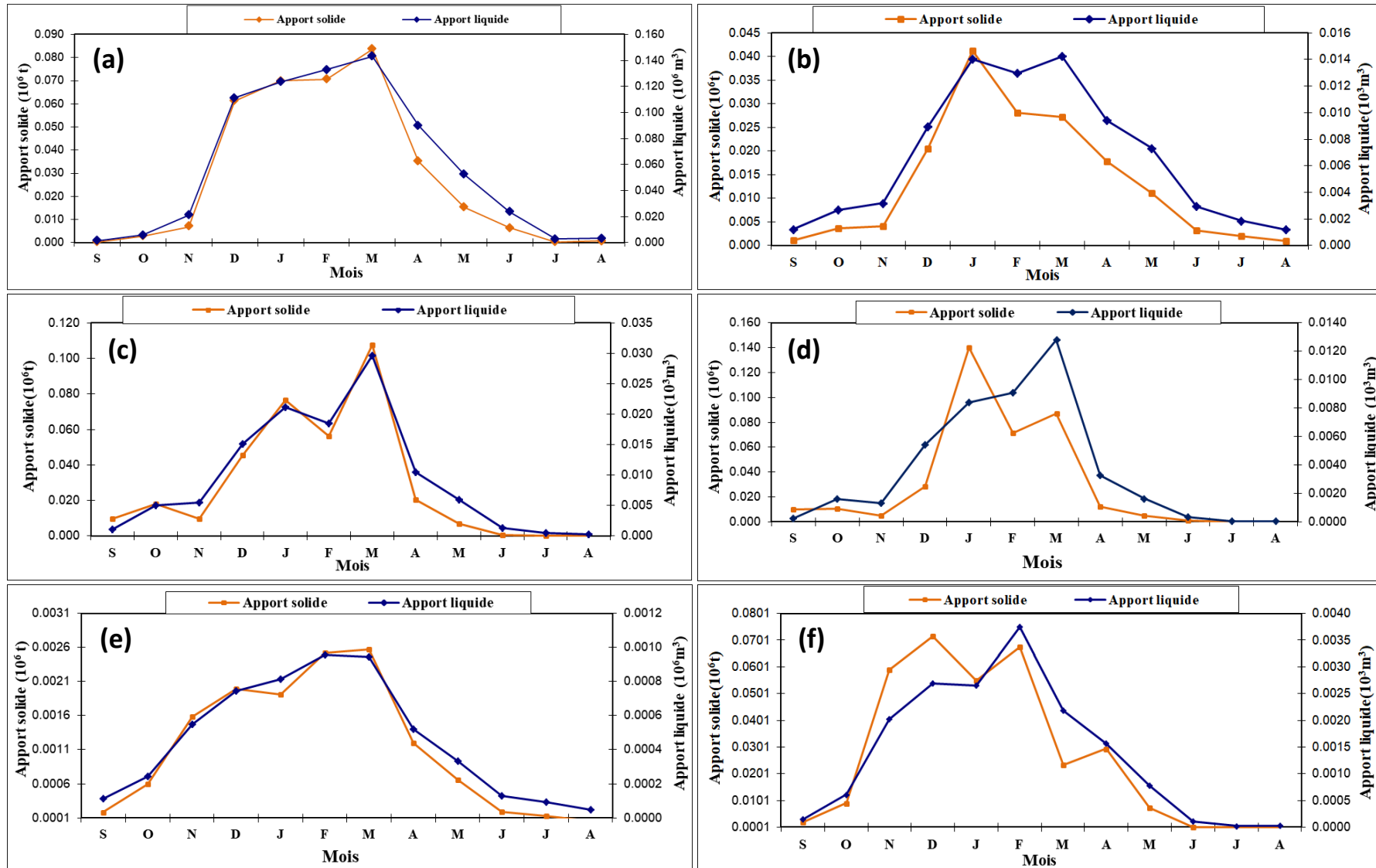


Figure V.1 : Variabilité mensuelle des apports liquide et solide au droit des stations hydrométriques. (a) Station de Baghlia; (b) Station de Roche des pigeons; (c) Station de Fer A cheval; (d) Station d'Attatba; (e) Station de Pont RN11; (f) Station de Sidi Akkacha.

- Station d'Attatba

L'oued Bouroumi et ses affluents connaissent des évolutions temporelles en mouvement de solides en suspension. Ils sont principalement causés par le couvert végétal, la lithologie et, en particulier, le régime des précipitations de la zone de recherche. L'apport solide fluctue mensuellement de la même manière que l'apport liquide. La valeur maximale des apports solides, pour l'ensemble du sous-bassin, est de $0,140 \times 10^6$ t en janvier, la valeur minimale est de $0,00006 \times 10^6$ t en août et septembre. La moyenne au cours du mois de mars est de $0,01 \times 10^6$ m³ correspondant la valeur maximale pour la station d'Attatba,, et la valeur minimale est de $0,00004 \times 10^6$ m³ en août (Figure V.1).

- Station de Pont RN 11

L'oued Bellah et ses affluents ont des changements temporels en mouvement solide. Elles sont principalement causées par le couvert végétal, la lithologie et, en particulier, le régime pluviométrique de la zone de recherche. L'apport solide fluctue mensuellement de la même manière que l'apport liquide. La valeur la plus élevée des apports solides pour l'ensemble du sous-bassin était de $0,03 \times 10^6$ t en mars, tandis que la valeur la plus faible était de $0,00005 \times 10^6$ t en août. Pour la station de Baghlia, l'apport liquide moyen pour le mois de février est de $0,01 \times 10^6$ m³, ce qui correspond à la valeur maximale, et pour le mois d'août, il est de $0,00005 \times 10^6$ m³, ce qui correspond à la plus petite valeur (Figure V.1).

- Station de Sidi Akkacha

Les variations des apports liquides moyens mensuels et les charges solides en suspension correspondantes donnent un aperçu dans la tendance globale de la susceptibilité du bassin à la production de sédiments. Deux phases sont à distinguer : une phase de grande mobilisation et d'entraînement des sédiments qui s'étend de novembre à mai est une contribution qui s'élève à 96 % de la charge moyenne annuelle. Une autre phase de perte de sol pendant l'été chaud et sec dont les effets hydromorphologiques et climatiques prolonger jusqu'en octobre (Figure V.1).

V.3.2. Echelle saisonnière

- Station de Baghlia

Pour mieux appréhender le phénomène de l'érosion et du transport solide, nous avons vu qu'il serait judicieux d'analyser la répartition saisonnière des flux et des apports solides en suspension dans le sous bassin. L'analyse de la figure (V.2), laisse apparaître que l'Hiver et le printemps se

distinguent par leurs apports liquides forts, engendrant un flux important de matières solides en suspension. Les plus importants sont enregistrés en Hiver (57 % et 52%) pour la station de Baghlia. Cette dernière est marquée par des pluies de forte intensité caractérisent les zones sub-humide qui arrachent une quantité énorme de transport vers les oueds. En automne 3% des apports solides et 4% des apports liquides dont le sol est relativement nu et est exposé à la dégradation des sols, de plus l'exposition des sols nus aux périodes de chaleur intenses favorise la désagrégation des particules de sol.

Durant l'année, la saison printanière contribue moins que l'hiver avec 38% et 40% de débit liquide et solide respectivement. L'érosion des sols est réduite du fait de la couverture végétale qui empêche la concentration des eaux pluviales en retardant le ruissellement et en limitant l'impact Splash (Fox D *et al.*, 2008). L'été et l'automne sont caractérisés par des pluies faibles et par conséquent un faible débit superficiel.

- Station de Roche des pigeons

L'analyse de la figure (V.2) montre que l'hiver et le printemps sont caractérisés par leurs forts apports liquides, produisant des flux importants de matières en suspension. La plus importante est la saison d'hiver (45% et 47%) pour la station Roche des pigeons. Cette dernière est caractérisée par des précipitations de forte intensité, caractéristiques de notre zone d'étude, qui coupent beaucoup le trafic vers les vallées sèches. À l'automne, avec des apports solides et liquides de 8 % et 9 %, respectivement, le sol est relativement nu et susceptible de se dégrader, et l'exposition du sol nu à des températures élevées favorise la décomposition des particules de sol.

- Station de Fer A cheval

En général, les variations mensuelles des apports solides suivent les variations mensuelles des apports liquides. La valeur la plus élevée des apports solides, $0,108 \times 10^6$ t, a été observée au mois de mars, tandis que la valeur la plus faible, $0,0008 \times 10^6$ t, a été observée au mois d'août. L'apport liquide moyen pour le mois de mars est de $0,030 \times 10^6$ m³ pour les stations de Fer A cheval, qui est la valeur la plus élevée, et de $0,00030 \times 10^6$ m³ la valeur la plus basse est observée au mois d'août (Figure V.2).

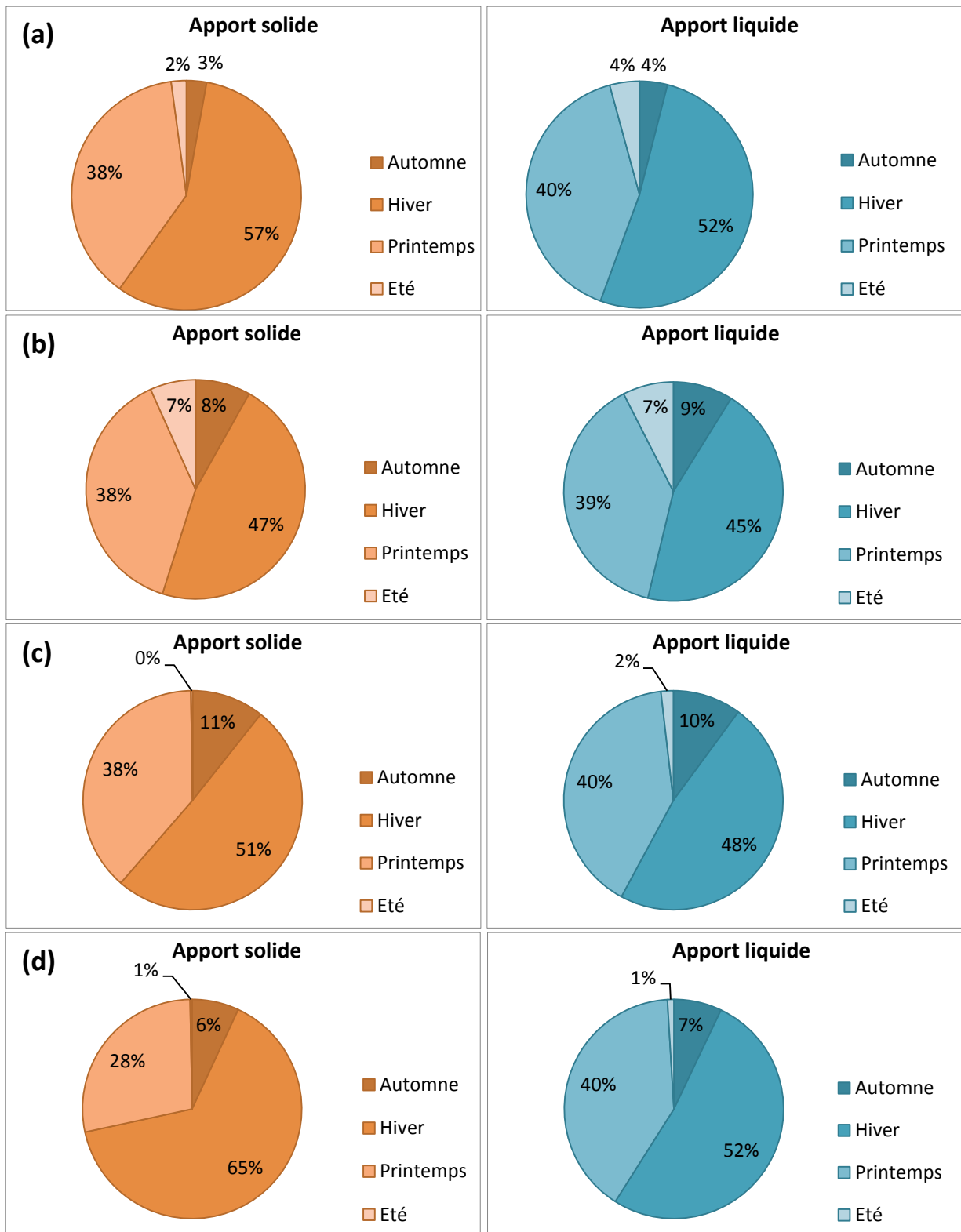


Figure V.2 : Contribution saisonnière des apports solides et liquides au droit de la station hydrométrique. (a) Station de Baghlia; (b) Station de Roche des pigeons; (c) Station de Fer A cheval; (d) Station d'Attatba.

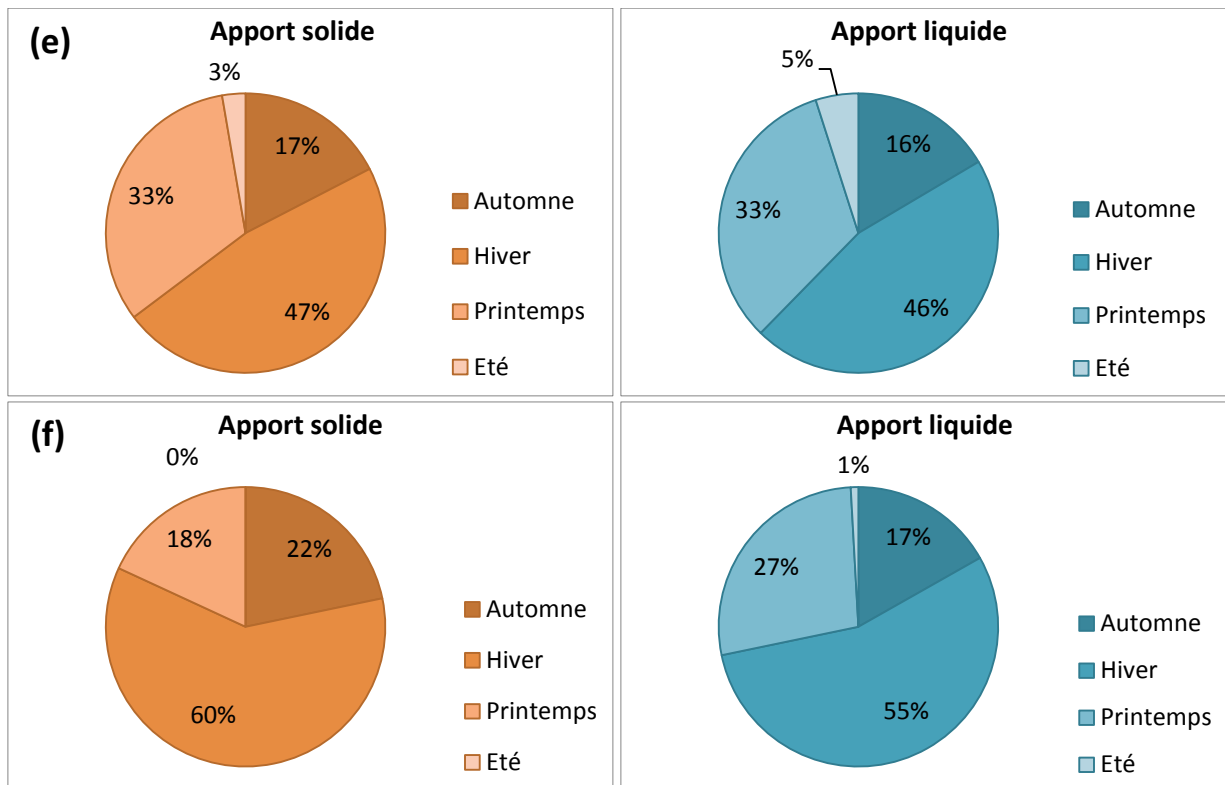


Figure V.2 : Contribution saisonnière des apports solides et liquides au droit de la station hydrométrique. (e) Station de Pont RN11; (f) Station de Sidi Akkacha (suite et fin).

- Station d'Attatba

Nous avons montré que l'analyse de la distribution saisonnière des flux et des apports de matières en suspension dans le sous-bassin versant est cruciale pour mieux comprendre les phénomènes d'érosion et de transport solide. L'hiver et le printemps sont caractérisés par des apports liquides importants, entraînant des flux importants de particules en suspension, selon la figure (V.2). La station Attatba en hiver détient les records les plus notables (52% et 65%). Notre zone d'étude est caractérisée par des précipitations de forte intensité qui arrachent une quantité énorme de transport vers les oueds. En automne 7 et 6% des apports liquides et solides respectivement. La saison printanière a moins contribué que la saison hivernale au cours de l'année, avec respectivement 40 % et 28 % des flux liquides et solides.

- Station de Pont RN 11

Nous avons démontré qu'une bonne façon d'appréhender l'érosion et le transport solide est d'analyser la distribution saisonnière des flux et des apports solides en suspension dans le sous-bassin. L'hiver et le printemps sont caractérisés par leurs apports liquides importants, entraînant un flux important de matières solides en suspension, selon la figure (V.2). Les plus importantes sont enregistrées pour la station de Pont RN 11 en hiver (46 et 47 %). Notre site d'étude est

caractérisé par de fortes pluies, qui arrachent une grande quantité de transport vers les oueds. En automne, le sol est relativement nu et exposé à la dégradation du sol, avec respectivement 16 et 17% pour les apports liquides et solides. De plus, l'exposition des sols nus en périodes de fortes chaleurs favorise la désagrégation des particules de sol.

Avec 33 % des flux liquides et solides, la saison printanière a moins contribué que la saison hivernale au cours de l'année. L'érosion du sol est réduite par la couverture végétale, qui empêche la concentration des précipitations en retardant le ruissellement et en diminuant l'impact Splash. De faibles précipitations et, par conséquent, un faible débit de surface définissent l'été et l'automne.

- Station de Sidi Akkacha

A travers notre analyse de la figure V.2, l'hiver est la première saison d'érosion dans le sous bassin versant avec un apport solide de $194,12 \cdot 10^6$ t soit 60% de la charge globale, pour un apport liquide de $9,1 \text{ hm}^3$ soit 55% du volume annuel total. En effet, les pluies printanières, assez abondantes, après un hiver froid et pluvieux avec une succession de gels et dégel favorisant la déstabilisation de la structure du sol et le rendant plus vulnérable à l'érosion (Fox D et al ;2008), trouver un sol meuble puis déclencher des flux très chargés avec une contribution de 18% de la charge totale est un apport liquide de 27%. En automne, les valeurs enregistrées pendant cette saison en raison de fortes pluies après un été très chaud, avec 22% de transport solide. L'été reste une saison sèche avec un transport de charges solides de 1%.

V.3.3. Echelle annuelle

- Station de Baghlia

A l'échelle interannuelle, la variabilité temporelle des apports liquides et solides est remarquable pour le sous bassin de l'oued Sébaou (Figure V.3). L'année la plus productive en sédiments est 1973/74 pour la station de Baghlia avec $1,24 \times 10^6$ t. Les apports solides de la station de Baghlia varient entre $0,01 \times 10^6$ t et $1,24 \times 10^6$ t sur la période (1968/99) et l'apport liquide moyen annuel pendant cette période est de $0,71 \times 10^6 \text{ m}^3$. L'apport solide moyen annuel est $0,35 \times 10^6$ t. Les variations interannuelles des apports solides montrent une grande irrégularité liée non seulement à la variation des précipitations mais aussi aux autres facteurs.

- Station de Roche des pigeons

Aux échelles interannuelles, la variation temporelle des apports liquides et solides au sous-bassin d'oued d'El Harrach est significative (Figure V.3). L'année ou le rendement sédimentaire le plus élevé à la station de la Roche des Pigeons a été en 1991/92 avec $0,69 \times 10^6$ t. Au cours de cette

période (1978/95), les apports solides de la station de la Roche des Pigeons ont varié de $0,06 \times 10^6$ tonnes à $0,69 \times 10^6$ tonnes, et l'apport moyen annuel de liquides au cours de cette période était de $0,80 \times 10^6 \text{ m}^3$. L'apport solide annuel moyen est de $1,6 \times 10^6$ tonnes. La variation interannuelle de la contribution solide présente de grandes irrégularités liées non seulement aux changements de précipitations mais aussi à d'autres facteurs tels que la pente, la couverture végétale et la texture du sol.

- **Station de Fer A cheval**

A l'échelle interannuelle, la variabilité temporelle des apports liquides et solides est remarquable pour le sous bassin de l'oued Mazafran (Figure V.3). L'année la plus productive en sédiments est 1978/79 pour la station de Fer A cheval avec $0,95 \times 10^6$ t. Les apports solides de la station de Fer A cheval varient entre $0,04 \times 10^6$ t à $0,95 \times 10^6$ t sur la période (1976/95), l'apport liquide moyen annuel pendant cette période est estimé à $0,11 \times 10^6 \text{ m}^3$. L'apport solide moyen annuel est de $0,35 \times 10^6$ t. Les variations interannuelles des apports solides montrent une grande irrégularité liée non seulement à la variation des précipitations mais aussi aux autres facteurs tels que les pentes, le couvert végétal et la texture des sols.

- **Station d'Attatba**

La variation temporelle des apports liquides et solides au sous-bassin de l'oued Bouroumi est significative aux échelles interannuelles (Figure V.3). L'année la plus élevée pour la production de sédiments à la station d'Attatba a été 1979/80, avec $2,60 \times 10^6$ t. Au cours de la période 1976/77-1995/96, l'apport en sédiments de la station d'Attatba a varié de $0,03 \times 10^6$ t à $2,60 \times 10^6$ t, avec un apport liquide moyen annuel de $0,44 \times 10^6 \text{ m}^3$. L'apport solide annuel est en moyenne de $0,37 \times 10^6$ t.

- **Station de Pont RN 11**

Pour le sous-bassin de l'Oued Bellah, la variabilité temporelle des apports liquides et solides est remarquable à l'échelle annuelle (Figure V.3). L'année la plus productive en termes de sédiments a été en 1978/79, lorsque la station de Pont RN 11 a produit $0,48 \times 10^6$ t. Au cours de la période (1974/75-2007/08), les apports solides à la station de Pont RN 11 ont varié de $0,03 \times 10^6$ t à $0,48 \times 10^6$ t, tandis que l'apport liquide annuel était en moyenne de $0,54 \times 10^6 \text{ m}^3$. La contribution solide annuelle moyenne est de $0,13 \times 10^6$ t. Les variations interannuelles des apports solides montrent un degré élevé d'irrégularité causé par les pentes, la couverture végétale et la texture du sol en plus des variations des précipitations.

- Station de Sidi Akkacha

Les apports liquides moyens annuels véhiculés par l'oued Allalah a été évalué à $16,56 \text{ hm}^3$; il a généré une moyenne de l'érosion annuelle de $324,69.10^6 \text{ t}$. Les années 1999/00 et 2001/02 ont été ceux qui ont apporté la plus grande contribution solide de toute la série d'étude (Figure V.3), soit 26,38% de la charge globale. L'érosion spécifique est de $87,68 \text{ t.ha.an}^{-1}$, huit fois la valeur moyenne annuelle de la période allant de septembre 1983/84 à août 2013/14. En effet, durant ces années hydrologiques, les précipitations et la géologie du bassin de l'oued Allalah conduisent à l'enregistrement de ces valeurs. La contribution solide générée au cours de ces années était de $2569,26.10^6 \text{ t}$. Cependant, il est à noter que l'année hydrologique 1992/93, jugée par sa contribution en solide considérable de $21,64.10^6 \text{ t}$, a enregistré un faible apport liquide de $3,96 \text{ hm}^3$. Ce résultat semble être due à un ensemble des facteurs hydroclimatiques qui génèrent l'effet de l'érosion, des crues et leur période d'occurrence.

V.4. Quantification de la dégradation spécifique

V.4.1. Station de Baghlia

Les modèles obtenus à l'échelle annuelle varient d'une année à l'autre. Pour la station de Baghlia, le maximum est obtenu en (1969/70, $a = 3,06$), le minimum est observé en (1984/85) avec $a=0,005$. L'exposant b varie entre 0,91 et 2,19.

Les dégradations spécifiques annuelles enregistrées varient entre 4,11 et $540,83 \text{ t/km}^2/\text{an}$ (tableau.V.3) pour la station de Baghlia durant la période (1968/69 – 1999/00). La moyenne interannuelle est estimée à $149,78 \text{ t/km}^2/\text{an}$

La station de Baghlia située en plaine alluviale où l'apport solide est réduit par le dépôt. Donc les faibles pentes atténuent l'action érosive de l'eau, et favorise le dépôt des sédiments acheminés depuis l'amont, en plus de la qualité géologique de la région et le couvert végétale qui contribuent énormément à la réduction de l'action érosive de la zone.

Dans une étude similaire, Ammari (2012) a trouvé pour la station de Baghlia (1968/69 - 1995/96), que la dégradation spécifique est de $212 \text{ t/km}^2/\text{an}$.

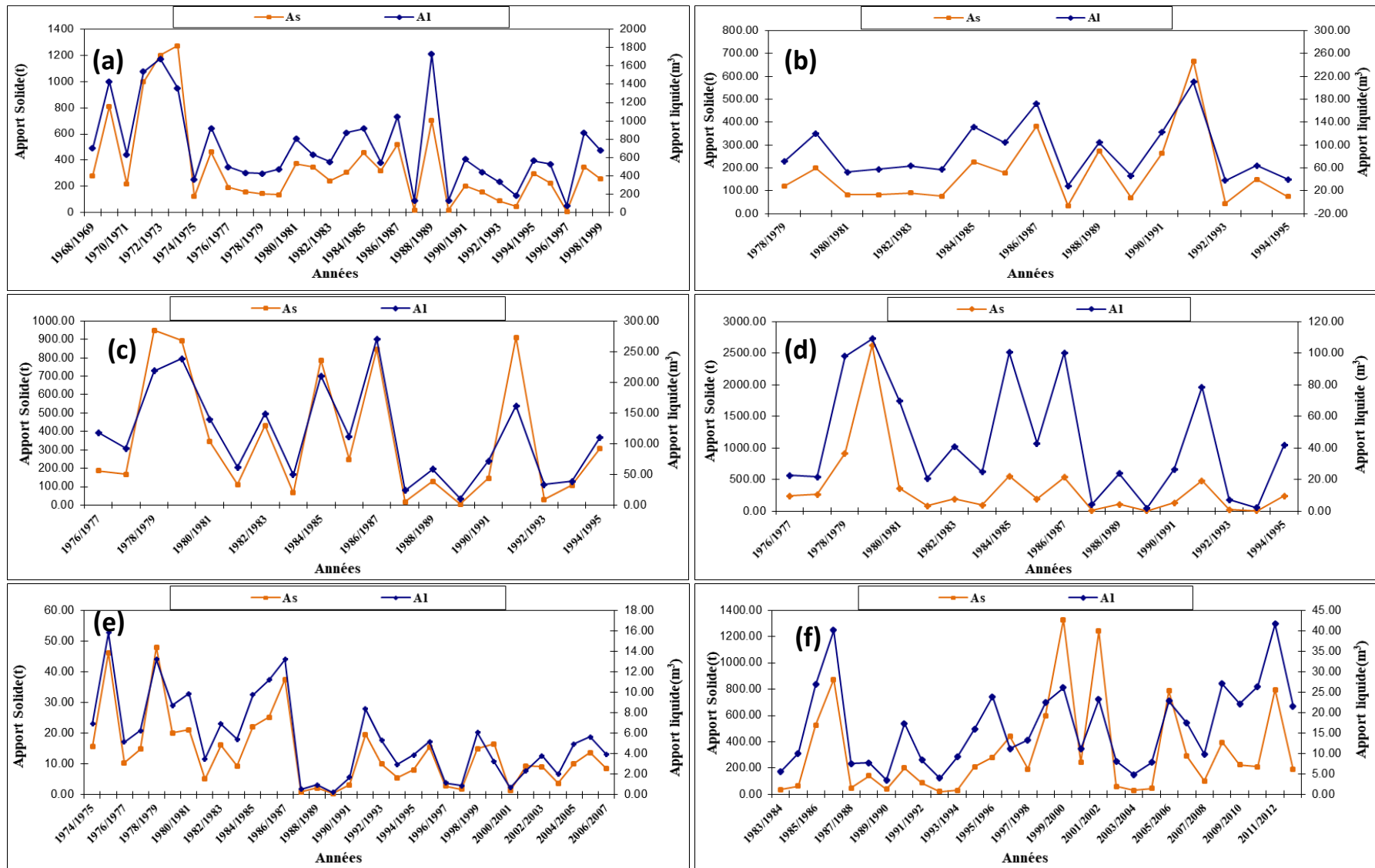


Figure V.3 : Variabilité interannuelle des apports liquide et solide au droit des stations hydrométriques. (a) Station de Baghlia; (b) Station de Roche des pigeons; (c) Station de Fer A cheval; (d) Station d'Attatba; (e) Station de Pont RN11; (f) Station de Sidi Akkacha.

V.4.2. Station de Roche des pigeons

Les modèles obtenus à l'échelle annuelle varient d'année en année. Le maximum se situe en 1988/89 ($a = 5,04$), par contre le minimum en (1978/79) avec $a=0,17$. Pour l'exposant b , il varie entre 0,99 et 1,91. Les différentes formes de calculs de régression ont conclu que la forme puissance est la plus acceptable car elle a le meilleur coefficient de détermination R^2 .

Au cours de la période 1978/79-1994/95 les dégradations annuelles observées à la station de la Roche des Pigeons ont varié de 92,59 à 1724,58 t/km²/an (tableau V.3). Au cours de la période 1978/79-1994/95, la moyenne interannuelle de dégradation spécifique à la station de Roche des Pigeons était de 459,80 t/km²/an.

La dégradation est surtout appréciable en zone de relief accidentée, de pentes importantes quand la géologie le permet, ainsi que les autres paramètres qui influent sur le phénomène, comme c'est le cas du Rocher des Pigeons.

V.4.3. Station de Fer A cheval

D'une année à l'autre les modèles obtenus à l'échelle annuelle varient. Pour la station Fer A cheval, la plus grande valeur a été atteinte en (1994/95, $a = 1,76$), tandis que la plus basse valeur a été observée en (1980/81) ($a=0,07$). L'exposant b varie de 1,38 à 2,12.

Pour la station de Fer A cheval, les dégradations annuelles ont varié de 9,82 à 2221,54 t/km²/an (tableau V.3) de 1976/77 à 1994/95. Au cours de la période 1976/77-1994/95, la dégradation spécifique interannuelle moyenne pour la station Fer à cheval est de 824,51 t/km²/an.

La dégradation spécifique maximale enregistrée au niveau de cette station est de 2221,54 t/km²/an, durant l'année (1978/79) avec une pluviométrie annuelle de 364,40 mm pour cette dernière.

V.4.4. Station d'Attatba

Les modèles développés à l'échelle annuelle changent d'année en année. La valeur maximale pour la station Attatba a été enregistrée dans (1994/95, $a = 50,71$), et la valeur minimale a été enregistrée dans (1980/81) et ($a = 0,17$). De plus, l'exposant b varie de 0,86 à 2,10.

Les mesures annuelles de dégradation à la station Attatba ont varié de 3,85 à 2923,93 t/km²/an entre 1976 et 1995 (tableau V.3). Pour la période (1976/77-1994/95), la moyenne interannuelle de la dégradation spécifique à la station Attatba était de 413,19 t/km²/an.

La dégradation spécifique maximale enregistrée au niveau de cette station est de 2923,93 t/km²/an, durant l'année (1979/80) avec une pluviométrie maximale annuelle de 790,90 mm pour cette dernière, ce qu'implique que le facteur principal de l'érosion agit d'une façon indirecte sur l'apport solide (Fox D *et al* ; 2008).

V.4.5.Station de Pont RN11

Les modèles obtenus à l'échelle annuelle varient d'une année à l'autre. Pour la station de Pont RN11, le maximum est obtenu en (2001/02, a = 11,86), le minimum est observé en (1976/77) et (a=0,94). Et pour l'exposant b varie entre 0,83 et 2,16.

Selon les déclarations des responsables de l'ANRH, les années qui ne sont pas observées de 1990 jusqu'à 1998 est causée par le manque d'équipements (surtout manque de filtres et d'observateurs)

La décennie noire qu'a connue l'Algérie a affecté l'échantillonnage en périodes de crues au niveau de la plupart des stations hydrométriques.

Les dégradations spécifiques annuelles enregistrées varient entre 6,24 et 840,50 t/km²/an (Tableau V.3) pour la station de Pont RN11 durant la période (1974/75-2006/07). La moyenne interannuelle de la dégradation spécifique est de 246,88 t/km²/an

Elahcene et al. (2013) ont étudié le transport solide au niveau du bassin versant de l'oued Bellah entre (1974/75) et (2006/07). Les résultats ont abouti à une dégradation spécifique de 610 t/km²/an.

La dégradation spécifique maximale enregistrée au niveau de cette station est de 840,50 t/km²/an, durant l'année (1975/76) et la pluviométrie maximale annuelle correspondante est 689,00 mm, ce qu'implique que l'agent principal de l'érosion et du transport solide agit d'une façon indirecte sur l'apport solide.

V.4.6.Station de Sidi Akkacha

L'apport liquide annuel moyen de l'oued Allalah a été estimé à 16,56 hm³, et son érosion annuelle moyenne à 324,69.10⁶ t, soit un débit solide spécifique de 1108 t/km²/an. Les deux années, 1999/00 et 2001/02 (tableau V.3), ont contribué à hauteur de 26,38 % à la charge globale, soit la contribution solide la plus importante de toute la série d'études. Huit fois la valeur

moyenne annuelle pour la période septembre 1983 à août 2013, l'érosion spécifique est de 8768 t/km²/an.

En effet, durant ces années hydrologiques, les précipitations tombées et la géologie de bassin l'oued Allalah ainsi que l'absence du couvert végétal conduisent à l'enregistrement de ces valeurs. La contribution solide générée au cours de ces années était de 2569,26 x10⁶ t. Cependant, il est à noter que l'année hydrologique 1992/93, jugé par sa contribution solide considérable de 21,64x10⁶ t, a enregistré un faible apport de liquide de 3,96 hm³. Ce résultat semble être due à un ensemble de facteurs hydroclimatiques qui génèrent l'effet de l'érosion des crues et leur période d'occurrence.

La valeur de la dégradation spécifique constatée pour notre bassin est proche de celles estimées par de nombreux auteurs qui ont travaillé sur les bassins du sud de la Méditerranée, dans ce taux d'érosion des cas allant de 269 à 2569 t/km²/an proposé pour le

Maghreb ([Heusch et Millies-Lacroix, 1971](#)), des valeurs de dégradation allant de 240 à 5900 t/km²/an ([Lahlou, 1994](#)) au niveau du bassin Maroc, ou des estimations entre 165 et 938 t/km²/an dans le bassin de Mouillah, Sebdou, Isser et Sikak de l'ouest Algérien ([Bouanani, 2004](#)).

Tableau V.3 : Modèles obtenus à l'échelle annuelle et dégradation spécifique des stations hydrométriques mises en étude.

Station	Année	Nobre d'obs.	R ²	Modèles retenus	Ds (t/km ² /an)	Station	Année	Nobre d'obs.	R ²	Modèles retenus	Ds (t/km ² /an)
Baghlia	1968/69	12	0,74	Qs = 0,87 QI ^{1,20}	119,94	Roche des pigeons	1978/79	99	0,57	Qs = 0,17 QI ^{1,91}	311,46
	1969/70	04	0,88	Qs = 3,06 QI ^{0,91}	343,14		1979/80	121	0,69	Qs = 0,19 QI ^{1,71}	515,67
	1970/71	59	0,65	Qs = 0,05 QI ^{1,01}	92,45		1980/81	83	0,72	Qs = 0,48 QI ^{1,31}	212,59
	1971/72	180	0,90	Qs = 0,06 QI ^{1,75}	423,39		1981/82	96	0,70	Qs = 2,25 QI ^{1,28}	213,93
	1972/73	467	0,91	Qs = 0,04 QI ^{1,53}	508,58		1982/83	87	0,62	Qs = 1,11 QI ^{1,53}	233,63
	1973/74	694	0,91	Qs = 0,03 QI ^{1,58}	540,83		1983/84	52	0,54	Qs = 1,05 QI ^{1,30}	199,27
	1974/75	701	0,88	Qs = 0,03 QI ^{1,56}	50,80		1984/85	90	0,65	Qs = 1,51 QI ^{1,22}	585,23
	1975/76	654	0,89	Qs = 0,03 QI ^{1,52}	196,30		1985/86	129	0,67	Qs = 1,77 QI ^{0,99}	465,94
	1976/77	354	0,91	Qs = 0,03 QI ^{1,61}	80,92		1986/87	137	0,79	Qs = 1,35 QI ^{0,97}	987,83
	1977/78	115	0,76	Qs = 0,01 QI ^{1,94}	67,94		1987/88	71	0,88	Qs = 1,16 QI ^{1,02}	92,59
	1978/79	111	0,77	Qs = 0,01 QI ^{1,86}	61,72		1988/89	18	0,66	Qs = 5,04 QI ^{1,06}	709,14
	1979/80	103	0,81	Qs = 0,01 QI ^{1,91}	59,04		1989/90	67	0,58	Qs = 1,90 QI ^{1,53}	183,00
	1980/81	125	0,80	Qs = 0,003 QI ^{2,19}	158,61		1990/91	106	0,60	Qs = 1,29 QI ^{1,42}	682,59
	1981/82	168	0,91	Qs = 0,05 QI ^{1,43}	147,88		1991/92	114	0,75	Qs = 0,75 QI ^{1,40}	1724,58
	1982/83	376	0,90	Qs = 0,04 QI ^{1,20}	102,13		1992/ 93	105	0,74	Qs = 0,80 QI ^{1,36}	115,11
	1983/84	398	0,89	Qs = 0,04 QI ^{1,20}	129,73		1993/94	51	0,66	Qs = 0,90 QI ^{1,33}	391,82
	1984/85	185	0,78	Qs = 0,005 QI ^{1,93}	193,43		1994/95	14	0,69	Qs = 0,46 QI ^{1,43}	192,18
	1985/86	150	0,71	Qs = 0,01 QI ^{1,75}	135,94			/		Moyenne	459,80
	1986/87	202	0,77	Qs = 0,01 QI ^{1,79}	221,28						
	1987/88	118	0,83	Qs = 0,01 QI ^{1,76}	7,53						
	1988/89	385	0,87	Qs=0,01 QI ^{1,72}	297,53						
	1989/90	17	0,91	Qs = 0,06 QI ^{1,56}	7,67						
	1990/91	61	0,83	Qs = 0,07 QI ^{1,48}	87,64						
	1991/92	98	0,68	Qs = 0,14 QI ^{1,30}	66,29						
	1992/ 93	82	0,67	Qs = 0,13 QI ^{1,29}	37,82						
	1993/94	62	0,83	Qs = 0,05 QI ^{1,48}	20,35						
	1994/95	35	0,87	Qs = 0,05 QI ^{1,51}	127,26						
	1995/96	35	0,78	Qs = 0,21 QI ^{1,27}	95,86						
	1996/97	23	0,67	Qs = 0,04 QI ^{1,20}	4,11						
	1997/98	25	0,72	Qs = 0,08 QI ^{1,50}	149,15						
	1998/99	33	0,75	Qs = 0,13 QI ^{1,27}	107,82						
		/			Moyenne	149,78					

Tableau V.3 : Modèles obtenus à l'échelle annuelle et dégradation spécifique des stations hydrométriques mises en étude (suite).

Station	Année	Nobre d'obs.	R ²	Modèles retenus	Ds (t/km ² /an)	Station	Année	Nbre d'obs.	R ²	Modèles retenus	Ds (t/km ² /an)
Fer A cheval	1976/77	43	0,67	Q _s = 0,95 QI ^{1,38}	433,49	Attatba	1976/77	43	0,72	Q _s = 1,77 QI ^{1,63}	264,32
	1977/78	57	0,76	Q _s = 0,36 QI ^{1,74}	397,96		1977/78	63	0,77	Q _s = 1,44 QI ^{1,73}	294,24
	1978/79	90	0,75	Q _s = 0,61 QI ^{1,57}	2221,54		1978/79	82	0,77	Q _s = 1,66 QI ^{1,78}	1023,69
	1979/80	100	0,71	Q _s = 0,41 QI ^{1,61}	2089,76		1979/80	70	0,75	Q _s = 1,36 QI ^{1,54}	2923,93
	1980/81	69	0,80	Q _s = 0,07 QI ^{2,09}	806,38		1980/81	58	0,82	Q _s = 0,17 QI ^{2,10}	400,56
	1981/82	62	0,78	Q _s = 0,39 QI ^{1,69}	267,83		1981/82	71	0,65	Q _s = 1,39 QI ^{1,56}	92,87
	1982/83	44	0,80	Q _s = 0,57 QI ^{1,60}	1009,86		1982/83	51	0,78	Q _s = 1,96 QI ^{1,64}	214,37
	1983/84	31	0,88	Q _s = 0,23 QI ^{1,88}	159,37		1983/84	31	0,88	Q _s = 0,46 QI ^{1,99}	104,40
	1984/85	74	0,77	Q _s = 0,60 QI ^{1,48}	1841,24		1984/85	64	0,73	Q _s = 0,97 QI ^{1,61}	614,43
	1985/86	102	0,77	Q _s = 0,69 QI ^{1,38}	580,20		1985/86	83	0,71	Q _s = 0,72 QI ^{1,58}	211,64
	1986/87	110	0,76	Q _s = 0,36 QI ^{1,51}	1980,13		1986/87	77	0,65	Q _s = 0,34 QI ^{1,64}	596,49
	1987/88	81	0,66	Q _s = 0,37 QI ^{1,50}	45,72		1987/88	51	0,66	Q _s = 1,66 QI ^{1,09}	9,23
	1988/89	38	0,64	Q _s = 0,31 QI ^{1,81}	307,87		1988/89	31	0,68	Q _s = 1,38 QI ^{1,73}	117,44
	1989/90	22	0,67	Q _s = 0,52 QI ^{1,61}	9,82		1989/90	26	0,63	Q _s = 0,95 QI ^{1,02}	3,85
	1990/91	21	0,70	Q _s = 0,72 QI ^{2,12}	339,58		1990/91	25	0,66	Q _s = 2,42 QI ^{1,24}	144,74
	1991/92	51	0,81	Q _s = 0,24 QI ^{1,81}	2127,28		1991/92	18	0,74	Q _s = 5,76 QI ^{1,06}	537,07
	1992/ 93	63	0,77	Q _s = 0,34 QI ^{1,66}	70,34		1992/ 93	20	0,61	Q _s = 4,76 QI ^{1,07}	23,56
1993/94	51	0,56	Q _s = 1,61 QI ^{1,56}	251,65	1993/94	18	0,58	Q _s = 11,37 QI ^{0,86}	8,48		
1994/95	65	0,66	Q _s = 1,76 QI ^{1,45}	725,62	1994/95	08	0,71	Q _s = 50,71 QI ^{1,16}	265,29		
	/			Moyenne	824,51		/			Moyenne	413,19

Tableau V.3 : Modèles obtenus à l'échelle annuelle et dégradation spécifique des stations hydrométriques mises en étude (suite et fin).

Station	Année	Nbre d'obs.	R ²	Modèles retenus	Ds (t/km ² /an)	Station	Année	Nbre d'obs.	R ²	Modèles retenus	Ds (t/km ² /an)
Pont RN11	1974/75	95	0,87	Qs = 2,42 Ql ^{1,82}	282,76	Sidi Akkacha	1983/84	281	0,86	Qs = 2,65 Ql ^{1,83}	128,87
	1975/76	168	0,82	Qs = 1,48 Ql ^{1,69}	840,50		1984/85	395	0,88	Qs = 5,19 Ql ^{1,90}	217,01
	1976/77	82	0,81	Qs = 0,94 Ql ^{1,63}	188,82		1985/86	378	0,83	Qs = 3,90 Ql ^{1,75}	1793,64
	1977/78	63	0,63	Qs = 2,44 Ql ^{1,54}	268,31		1986/87	339	0,79	Qs = 2,63 Ql ^{1,76}	2982,29
	1978/79	80	0,66	Qs = 3,13 Ql ^{1,61}	871,38		1987/88	300	0,83	Qs = 2,83 Ql ^{1,84}	165,39
	1979/80	66	0,77	Qs = 2,55 Ql ^{1,65}	364,60		1988/89	204	0,88	Qs = 5,01 Ql ^{1,97}	478,27
	1980/81	97	0,83	Qs = 1,77 Ql ^{1,80}	385,14		1989/90	76	0,83	Qs = 7,27 Ql ^{1,96}	134,92
	1981/82	57	0,79	Qs = 1,79 Ql ^{1,94}	91,88		1990/91	16	0,91	Qs = 24,30 Ql ^{1,93}	684,38
	1982/83	14	0,58	Qs = 4,57 Ql ^{1,82}	291,10		1991/92	87	0,91	Qs = 10,90 Ql ^{1,86}	299,27
	1983/84	61	0,78	Qs = 3,68 Ql ^{2,16}	168,31		1992/ 93	124	0,88	Qs = 12,89 Ql ^{1,78}	73,84
	1984/85	144	0,78	Qs = 2,07 Ql ^{1,86}	404,56		1993/94	103	0,90	Qs = 24,88 Ql ^{1,68}	103,47
	1985/86	157	0,68	Qs = 1,51 Ql ^{1,52}	457,99		1994/95	127	0,90	Qs = 20,30 Ql ^{1,70}	721,89
	1986/87	128	0,65	Qs = 1,66 Ql ^{1,45}	681,07		1995/96	103	0,69	Qs = 8,36 Ql ^{1,71}	965,03
	1987/88	69	0,73	Qs = 1,84 Ql ^{1,24}	17,64		1996/97	116	0,73	Qs = 7,84 Ql ^{1,57}	1507,01
	1988/89	21	0,87	Qs = 10,99 Ql ^{1,49}	38,41		1997/98	117	0,87	Qs = 11,33 Ql ^{1,55}	659,93
	1989/90	11	0,93	Qs = 8,39 Ql ^{1,47}	6,24		1998/99	43	0,89	Qs = 8,32 Ql ^{1,44}	2047,15
	1990/91	/	/	/	56,70		1999/00	409	0,86	Qs = 9,02 Ql ^{1,57}	4533,63
	1991/92	/	/	/	354,79		2000/01	18	0,81	Qs = 0,56 Ql ^{2,52}	830,61
	1992/ 93	/	/	/	181,40		2001/02	106	0,79	Qs = 1,42 Ql ^{2,11}	4235,19
	1993/94	/	/	/	99,59		2002/03	120	0,78	Qs = 2,41 Ql ^{2,23}	202,29
	1994/95	/	/	/	148,08		2003/04	42	0,81	Qs = 5,81 Ql ^{2,21}	106,48
	1995/96	/	/	/	280,06		2004/05	09	0,97	Qs = 6,05 Ql ^{2,22}	155,96
	1996/97	/	/	/	51,04		2005/06	13	0,94	Qs = 3,94 Ql ^{1,76}	2684,19
	1997/98	/	/	/	30,58		2006/07	116	0,84	Qs = 1,22 Ql ^{1,69}	994,07
	1998/99	25	0,95	Qs = 4,99 Ql ^{1,50}	271,96		2007/08	178	0,80	Qs = 1,36 Ql ^{1,77}	345,66
	1999/00	51	0,89	Qs = 4,02 Ql ^{1,43}	301,47		2008/09	217	0,75	Qs = 1,03 Ql ^{1,95}	1345,90
	2000/01	34	0,70	Qs = 3,93 Ql ^{1,28}	22,27		2009/10	214	0,78	Qs = 0,62 Ql ^{1,95}	767,90
	2001/02	18	0,64	Qs = 11,86 Ql ^{0,83}	170,91		2010/11	98	0,82	Qs = 0,62 Ql ^{2,03}	718,07
	2002/03	91	0,71	Qs = 3,97 Ql ^{1,44}	166,54		2011/12	153	0,85	Qs = 0,80 Ql ^{1,91}	2716,11
	2003/04	132	0,71	Qs = 5,21 Ql ^{1,52}	66,54		2012/13	214	0,83	Qs = 0,71 Ql ^{2,09}	646,61
	2004/05	115	0,67	Qs = 4,75 Ql ^{1,46}	182,61			/		Moyenne	1108,17
	2005/06	72	0,87	Qs = 3,76 Ql ^{1,57}	249,00						
2006/07	35	0,94	Qs = 11,57 Ql ^{1,22}	154,89							
	/		Moyenne	246,88							

V.5. Modélisation du transport solide

Dans le cas d'absence de données des concentrations des matières en suspension, des modèles ont vu le jour pouvant être utilisés pour la prévision du transport solide en fonction des paramètres conditionnant ce phénomène (Achite et al ; 2005).

V.5.1. Modélisation du transport solide à l'aide du coefficient d'écoulement (Ce)

La variance non expliquée peut être traduite par les apports dus aux sapements des berges des cours d'eau, par l'état du sol, par les pratiques culturales et par les erreurs dues aux mesures (Achite et al ; 2005).

Les modèles développés entre les apports solides et le coefficient d'écoulement sont résumés dans le tableau (V.4). Nous remarquons qu'il y a une très bonne corrélation entre les apports solides (As) et le Ce (%).

Tableau V.4 : Modèles retenues entre l'apport solide et le coefficient d'écoulement pour les différentes stations hydrométriques.

Station hydrométrique	Code	Oued	modèles	R ²
Baghlia	022002	Sébaou	$As = 0,0012.Ce^{1,4765}$	0,86
Roche des pigeons	021301	El Harrach	$As = 0,0016.Ce^{1,3483}$	0,93
Fer A cheval	021201	Mazafran	$As = 0,0001.Ce^{1,9369}$	0,87
Attatba	021011	Bouroumi	$As = 0,0091.Ce^{1,5867}$	0,90
Pont RN11	020323	Bellah	$As = 0,0006.Ce^{1,0611}$	0,80
Sidi Akkacha	020207	Allalah	$As = 0,0037.Ce^{1,7005}$	0,70

Le coefficient d'écoulement (Ce) dépend de plusieurs facteurs à savoir : la pluviométrie, la nature du sol, le relief, la géologie et le couvert végétal (Achite et al ; 2005). Ces derniers peuvent également être considérés comme des facteurs explicatifs du transport solide. A partir de cette démarche et étant donné la disponibilité des données concernant le coefficient de ruissellement (Ce) (Achite et al ; 2005), un modèle de type puissance $As = a.Ce^b$ a été développé pour chaque sous-bassin de notre zone d'étude (Figure V.4). Le coefficient d'écoulement (Ce) explique plus de 70 % de la variance du transport solide pour les six sous bassins versants étudiés.

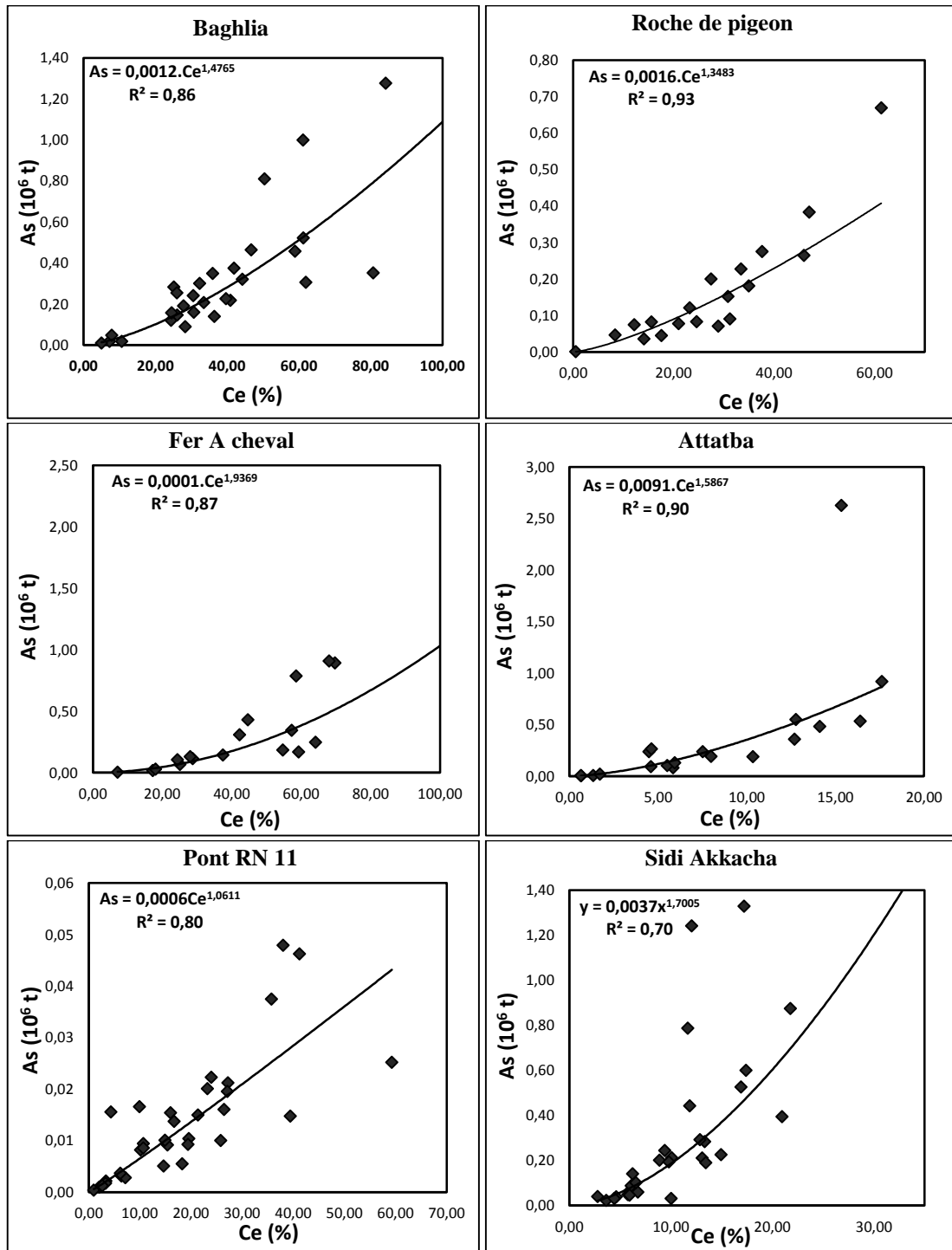


Figure V.4 : Relation entre les apports solides et le coefficient d'écoulement des stations du bassin versant du Côtier Algérois.

V.5.2. Modélisation du transport solide à l'aide du coefficient d'hydraulicité (Ki)

Pour un cours d'eau, le coefficient d'hydraulicité exprime le rapport entre le débit d'une année donnée et le débit moyen interannuel (calculé sur plusieurs années). Dans le même principe de chercher un modèle entre les apports solides et le coefficient d'hydraulicité dans le bassins versnat du Côtiers Algérois aux droits des stations hydrométriques étudiées sont présentées sur la

figure (V.5), Il est intéressant de constater qu'il existe une très bonne corrélation de type puissance $As = a. Ki^b$ entre les deux paramètres et dont les équations et les coefficients de détermination R^2 sont récapitulés dans le tableau (V.5).

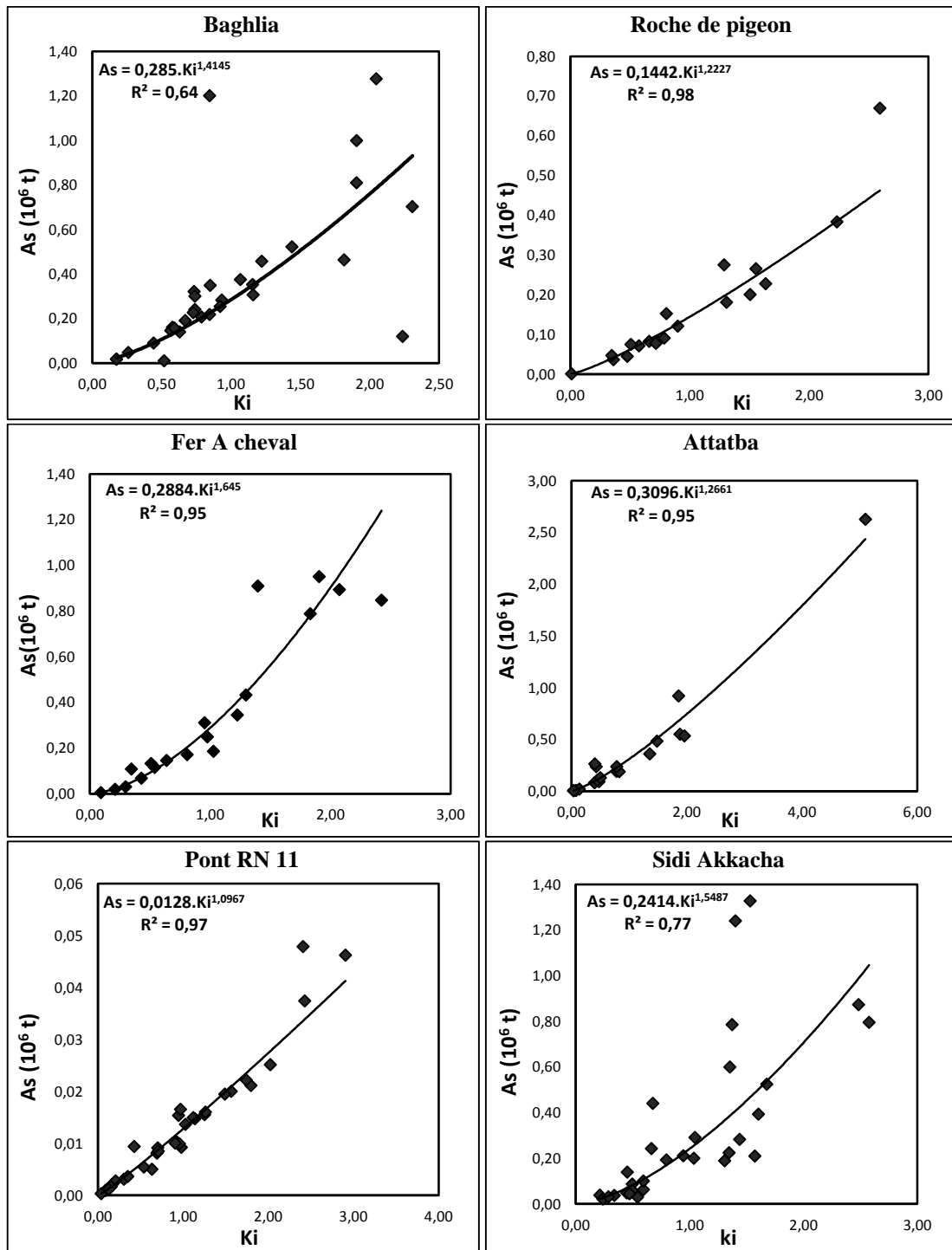


Figure V.5: Relation entre les apports solides et le coefficient d'hydraulicité des stations du bassin versant du Côtier Algérois.

Tableau V.5 : Modèles retenus entre l'apport solide et le coefficient d'hydraulicité pour les différentes stations hydrométriques.

Station hydrométrique	Code	Oued	modèles	R ²
Baghlia	022002	Sébaou	$As = 0,285.Ki^{1,4145}$	0,64
Roche des pigeons	021301	El Harrach	$As = 0,1442.Ki^{1,2227}$	0,98
Fer A cheval	021201	Mazafran	$As = 0,2884.Ki^{1,645}$	0,95
Attatba	021011	Bouroumi	$As = 0,3096.Ki^{1,2661}$	0,95
Pont RN11	020323	Bellah	$As = 0,0128.Ki^{1,0967}$	0,97
Sidi Akkacha	020207	Allalah	$As = 0,2414.Ki^{1,5487}$	0,77

V.6. Conclusion

L'évaluation du transport solide des stations hydrométriques situées dans notre bassin versant, a montré une grande dynamique temporelle du transport des sédiments en suspension à différentes échelles de temps. Sur une base mensuelle, l'activité sédimentaire la plus importante est enregistrée en janvier et mars pour la majorité des stations les plus productives en sédiments. Le sous bassin le plus productif en sédiments c'est le bassin d'oued Allalah au niveau de la station hydrométrique de Sidi Akkacha.

L'analyse de la répartition saisonnière révèle que l'hiver se caractérise par un transport solide très élevé dans les différents oueds, dus aux averses fortes et la morphologie des terrains. Cette étude nous a permis aussi de déceler les sous bassins les plus productives en sédiments et le plus nuisant pour les barrages dont l'objectif est de classer les zones de priorités d'intervention contre l'érosion hydrique.

La dégradation spécifique du bassin versant au droit des stations hydrométriques de l'oued Baghlia ($Ds = 149,78 \text{ t/km}^2/\text{an}$), oued El-Harrach ($Ds = 459,80 \text{ t/km}^2/\text{an}$), oued Mazafran ($Ds = 824,51 \text{ t/km}^2/\text{an}$), oued Bouroumi ($Ds = 413,19 \text{ t/km}^2/\text{an}$), oued Bellah ($Ds = 246,88 \text{ t/km}^2/\text{an}$) et oued Allalah ($Ds = 1108,17 \text{ t/km}^2/\text{an}$).

Les modèles développés entre le transport solide et les paramètres conditionnant ce phénomène (le coefficient d'écoulement et le coefficient d'hydraulicité) pouvant être utilisés pour l'estimation du transport solide en cas d'absence de données sur les concentrations des matières en suspension.

Les résultats obtenus montrent que le modèle puissance donne une très bonne corrélation entre les différents paramètres et l'apport solide, avec un coefficient de corrélation qui varie entre **0,64** et **0,98** pour les modèles retenus entre l'apport solide et le coefficient d'hydraulicité et un R² variant entre **0,70** et **0,93** pour les modèles retenus entre l'apport solide et le coefficient d'écoulement pour notre zone d'étude.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

L'étude des phénomènes de l'érosion présente un axe de recherche en développement continue, les zones étant de plus en plus variées et les exigences de la maîtrise des risques étant de plus en plus fortes. En Algérie, ces risques engendrent des pertes très coûteuses pour l'économie nationale et son développement.

L'importance de l'érosion hydrique en Algérie s'est toujours traduite par un envasement rapide des retenues des barrages, diminuant ainsi considérablement leur capacité de stockage et par conséquent leur durée de vie.

Il importe donc, non seulement de prévoir le rythme de comblement de la retenue de façon aussi précise que possible de manière à prendre les dispositions techniques nécessaires en termes de lutte contre l'envasement rapide des barrages.

De la présente étude, nous pensons avoir contribué à la connaissance des problèmes de l'érosion hydrique et du transport solide, en particulier dans le bassin versant du Côtier Algérois.

L'objectif principal est l'évaluation de l'érosion hydrique et du transport solide du bassin versant du Côtier Algérois (11958 km²), reprenons les principales conclusions de notre travail :

Le bassin versant du Côtier Algérois est limité entre la latitude 36°1' et 36°58' Nord et entre la longitude 5°6' et 0°7' Ouest. Il couvre une superficie de 11958 km², et il est divisé par l'ANRH en vingt sous bassins hydrologiques.

Le bassin versant de Côtier Algérois présente une forme très allongée avec un coefficient de Gravelius $K= 3,43$ et un temps de concentration des eaux à l'exutoire estimé à 33,62 heures.

L'étude du relief a révélé que la zone d'étude est située dans une tranche d'altitudes allant de 0 à 2400 m, le bassin versant est classé comme relief assez fort avec une dénivelée spécifique de 145,43 m et une altitude moyenne de 1228,57 m.

L'analyse des données climatiques au niveau de la station climatique de Tizi-Ouzou et Dar El-Beida durant les périodes (1990-2016) et (1996-2015) successivement donne une température moyenne interannuelle de 18,37°C et 18,20°C respectivement. La pluviométrie moyenne interannuelle s'élève à 807,10 mm et 623,10mm pour la station de Tizi-Ouzou et Dar El-Beida. La combinaison entre la température et la précipitation par l'utilisation de l'indice d'Emberger a

montré que la station de Tizi-Ouzou est située sous un étage bioclimatique Sub-humide à hiver doux par contre la station de Dar El-Beida est sous un étage bioclimatique Semi-aride à hiver doux.

La dégradation spécifique du bassin versant au droit des stations hydrométriques de l'oued Baghlia ($D_s = 149,78 \text{ t/km}^2/\text{an}$), oued El-Harrach ($D_s = 459,80 \text{ t/km}^2/\text{an}$), oued Mazafran ($D_s = 824,51 \text{ t/km}^2/\text{an}$), oued Bouroumi ($D_s = 413,19 \text{ t/km}^2/\text{an}$), oued Bellah ($D_s = 246,88 \text{ t/km}^2/\text{an}$) et oued Allalah ($D_s = 1108,17 \text{ t/km}^2/\text{an}$). Cette dégradation est favorisée par certaines conditions sur terrain telles que la topographie du terrain, la discontinuité spatiale du couvert végétal et l'irrégularité spatio-temporelle des précipitations.

Les modèles développés entre le transport solide et les paramètres conditionnant ce phénomène (le coefficient d'écoulement et le coefficient d'hydraulicité) pouvant être utilisés pour l'estimation du transport solide en cas d'absence de données sur les concentrations des matières en suspension. Les mesures et la prévision de la concentration en matière en suspension revêtent un grand intérêt, car elles permettent une quantification fiable des apports solides aux différentes stations hydrométriques.

Les résultats obtenus montrent que le modèle puissance donne une très bonne corrélation entre les différents paramètres et l'apport solide avec un coefficient de corrélation qui varie entre **0,64** et **0,98** pour les modèles retenues entre l'apport solide et le coefficient d'hydraulicité et un R^2 varie entre **0,70** et **0,93** pour les modèles retenues entre l'apport solide et le coefficient d'écoulement pour notre zone d'étude.

Recommandations

Afin de protéger et préserver les ressources naturelles, notamment les eaux et les sols, les recommandations destinées à l'aménagement du bassin versant de Côtier Algérois se résument comme suit :

- L'amélioration de l'infiltration au niveau de la zone par le reboisement ;
- Sensibilisation de la population ;
- La gestion des ressources en sols vise à réduire l'érosion hydrique, pour cela l'intégration de la population est recommandée ;

- Le renforcement des capacités de stockages dans le bassin versant du Côtier Algérois, par la construction des ouvrages de mobilisation des eaux de surface (barrages, retenues collinaires) ;
- Estimation des apports solides totaux par la mesure du charriage ;
- Des aménagements anti – érosive pour la sauvegarde et la préservation du capital : eau – sol.

Deux aspects sont à prendre en compte :

- L'aspect agronomique (préventif) en priorité, qui englobe les techniques culturales car toute modification de la structure du sol entraîne une variation de sa stabilité dans le temps et de son comportement vis à vis des précipitations.
- L'aspect hydraulique (curatif) : aménagements divers (terrasses, banquettes,...etc) avec un entretien périodique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Achite M, Meddi M (2004)** Estimation du transport solide dans le bassin-versant de l'oued Haddad (Nord-Ouest algérien). *Science et changements planétaires /Sécheresse* ; 15 (4) : 367-73.
- Achite M, Meddi M (2005)** Variabilité spatio-temporelle des apports liquides et solide en zone semi-aride. Cas du bassin versant de l'oued Mina (nord-ouest algérien). *Rev Sci Eau* 18:37–56. <https://doi.org/10.7202/705575ar>
- Achite M, Ouillon S (2007)** Suspended sediment transport in a semiarid watershed, Wadi Abd, Algeria (1973–1995). *J Hydrol* 343:187–202. [doi: 10.1016/j.jhydrol.2007.06.026](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.06.026)
- Achite, M. Ouillon, S. (2016)** Recent changes in climate, hydrology and sediment load in the Wadi Abd, Algeria (1970–2010), *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, 1355-1372. <https://doi.org/10.5194/hess-20-1355-2016>
- Achite M, Touaibia B, Ouillon S (2006)** Erosion hydrique en Algérie du Nord : Ampleur, Conséquences & Perspectives, 14th International Soil Conservation Organization Conference, Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments, Marrakech, Morocco, May 14-19, 2006 (ISCO 2006).
- Ammari A., (2012).** Vulnérabilité à l'Envasement des Barrages (cas du bassin Hydrographique des Côtiers Algérois). Doctorat en sciences en hydraulique. Université Mohamed Khider – Biskra.168P.
- Arthur J H (2003)** An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations. *Hydrological Processes* 17, 3387–3409. <https://doi.org/10.1002/hyp.1299>
- Asselman, N. E. M. (1999)** Suspended Sediment Dynamics in a Large Drainage Basin: The River Rhine. *Hydrological Processes* 13 (10): 1437–50.
[doi:10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199907\)13:10<1437::AID-HYP821>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199907)13:10<1437::AID-HYP821>3.0.CO;2-J).
- Asselman, N.E.M. (2000)**“Fitting and Interpretation of Sediment Rating Curves.” *Journal of Hydrology* 234 (3–4): 228–48. [doi:10.1016/S0022-1694\(00\)00253-5](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00253-5).
- Ballah A, Achite M.(2019).** Temporal variability of liquid and solid flow in the basin of Wadi Allalah (north-central Algeria). *Journal of Mediterranean Earth Sciences* 11 (2019), 93-101. [doi: 10.3304/JMES.2019.007](https://doi.org/10.3304/JMES.2019.007)
- Baloul D., (2012).** Développement, interprétation et évaluation de la précision de la relation entre la concentration des sédiments en suspension et le débit liquide Etude de cas : sous bassin versant de l'Oued Tafna et d'Oued Isser. Mémoire de Magister. Option : Ecoulement et transport solide université Abou Bekr belkaid-Tlemcen.43p.
- Barnes K K, Frevert RK (1954)** A runoff sampler for large watersheds. Part I. Laboratory studies *Agricultural Engineering* 35(2):88-90.

- Belarbi F, Bouchelkia H, Remini B, Benmansour A (2018)** Quantification and study of monthly variation of suspended sediment loads in Tafna basin – Algeria. *J Water L Dev* 37:29–38. [doi: 10.2478/jwld-2018-0022](https://doi.org/10.2478/jwld-2018-0022)
- Benkadja R, Benhadouga M, Benkadja A (2013)** Quantification des matières en suspension et valorisation des sédiments de dragage à l'échelle d'un bassin semi-aride: Cas du barrage du K'sob (Algérie). *Bull Eng Geol Environ* 72:523–531. [doi: 10.1007/s10064-013-0516-1](https://doi.org/10.1007/s10064-013-0516-1)
- Benkhadra H., (1997).** Battance, ruissellement et érosion diffuse sur les sols limoneux cultivés – Détermination et transfert d'échelle de la parcelle au petit bassin versant. Thèse de Doctorat de l'université d'Orléans France.
- Benkhaled, A. & Remini, B. (2003).** Analyse de la relation de puissance : débit solide - débit liquide à l'échelle du bassin versant de l'Oued Wahrane (Algérie). *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 16 (3), 333–356. <https://doi.org/10.7202/705511ar>
- Bennett, HH. (1939)** Soil conservation. Hearings before the Committee on Agriculture House of Representatives. Eightieth congress Second session. On H.R.4150, H.R.4151, and H.R.4417. March 1.2.3.4 and 5.1948.
- Birot P. (1981)** Les processus d'érosion à la surface des continents. MASSON.
- Boiffin J., (1984)** La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse de Doctorat. ING. De l'INA – PG, 230 pp.
- Bouanani A., (2004)** Hydrologie, transport solide et modélisation, Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie). Thèse de doctorat en Géologie appliquée. Option Hydrogéologie, Département d'hydraulique, Université de Tlemcen, 250 p.
- Bouanani, R., Baba-Hamed, K., Bouanani, A. (2012)** Utilisation d'un modèle global pour la modélisation pluie-débit : cas du bassin d'Oued Sikkak (NW algérien). *Revue Nature et Technologie*, 9, 61-66.
- Bouchelkia H., Belarbi F., Remin B. (2014)** Quantification of suspended sediment load by double correlation in the watershed of Chellif (Algeria) *Journal of water and land development. J. Water Land Dev.* 2014, No. 21 (IV–VI): 39–46PL ISSN 1429–7426. [doi: 10.2478/jwld-2014-0012](https://doi.org/10.2478/jwld-2014-0012).
- Bouguerra SA, Bouanani A, Baba, H.K (2016)** Transport solide dans un cours d'eau en climat semi-aride : cas du bassin versant de l'Oued Boumessaoud (nord-ouest de l'Algérie). *Rev des Sci l'eau* 29:179. [doi: 10.7202/1038923ar](https://doi.org/10.7202/1038923ar)
- Boukhrissa ZA, Khanchoul K, Le Bissonnais Y, Tourki M (2013)** Prediction of sediment load by sediment rating curve and neural network (ANN) in El Kebir catchment, Algeria. *J Earth Syst Sci* 122:1303–1312. [doi: 10.1007/s12040-013-0347-2](https://doi.org/10.1007/s12040-013-0347-2).
- Campbell, F. B. and Bauder, H. A. (1940)** A rating-curve method for determining silt-discharge of streams. *Trans. Amer. Geophys. Uni.* 21, 603 - 607.

- Capolini, J.(1967)** Étude géomorphologiques des conditions d'envasement du port de Ghazouet. Etude SES 1013.
- Capolini, J. (1968)** Etude géomorphologique et morphométrique des bassins versants de l'Oued fouda et de l'Oued Rhiou, SES, 13 Alger.
- Cerdan O., (2001)** Analyse et modélisation du transport de particules solides à l'échelle de petits bassins versants cultivés, p186.
- Cherif E, Errih M, Cherif HM (2009)** Modélisation statistique du transport solide du bassin versant de l'Oued Mekerra (Algérie) en zone semi-aride méditerranéenne. Hydrol Sci J 52(2):338–348.
- Chibbani R., Djilli K., Roose E., (1999).** Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser. Bull. ORSTOM, Rés. Eros., 19, pp 85-95.
- Chi-Cheng Yang, Kwan Tun Lee, (2018).** Analysis of flow-sediment rating curve hysteresis based on flow and sediment travel time estimations, International Journal of Sediment Research, Volume 33, Issue 2, 2018, Pages 171-182, ISSN 1001-6279, <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.10.003>.
- Chow V.T., 1964.** Handbook of Applied Hydrology. Mc-Graw Hill Book Company.
- Crawford C.G., (1991).** Estimation of suspended – sediment rating curves and mean suspended sediment load, journal of hydrology, 129, 331-348.
- Crawford C.G., (1996).** Estimating mean constituent loads in rivers by the rating – curve and flow duration rating – curve methods, Unpublished PhD dissertation, Indiana University : Bloomington, IN ; 245p.
- Demirci M, Baltaci A (2013).** Prediction of suspended sediment in river using fuzzy logic and multilinear regression approaches. Neural Comput & Applic (2013) 23 (Suppl 1): S145–S151. <https://doi.org/10.1007/s00521-012-1280-z>
- Demmak A., (1982).** Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie Septentrionale, Thèse de docteur ingénieur. Université Pierre et Marie Curie. Paris, 323p.
- De Ploey J., Imeson A. & Oldeman L.R., (1991)** Soil erosion, soil degradation and climatic change, in Brouwer F.M., 275-292.
- Derrau M. (1974)** Précis de géomorphologie 6e Edit. Masson et Cie.
- Duband D., (1989)** Statistiques appliquées en hydrologie. Ecole Nationale Supérieur d'Hydraulique. France.
- Dudal, R. (1980)** Soil-related constraints to agricultural development in the tropics. Los Banos, Philipp Int Rice Res Inst 23—37

Dutil P., (1984). L'érosion en grande culture, revue technique des agriculteurs dynamiques, N° 169, France.

Elahcene O, Terfous A, Remini B, (2013) Etude de la dynamique sédimentaire dans le bassin versant de l'Oued Bellah (Algérie). Hydrol Sci J 58:224–236.
[doi: 10.1080/ 02626667.2012.742530](https://doi.org/10.1080/02626667.2012.742530).

El-Mahi A, Meddi M, 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. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2012.717700>

Ferguson, R. I. (1987) Accuracy and precision of methods for estimating river loads. Earth Surf. Processes and Landforms 12, 95-104. <https://doi.org/10.1002/esp.3290120111>

Fleming G. (1977) The sidimentation problem. Un. Strath Clyde .June 1977 pp. 10-81

Fournier F., (1960) Climat et Erosion : la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Presses Universitaires de France, Paris, France, 201-203p.

Fournier F., (1967) Mesure de l'érosion principes de base et incidence de l'instrumentation nouvelle sur l'établissement des réseaux de mesure O. R. S. T. O. M. Extrait de la publication no, 67 de l'A.I.H.S. Symposium Planification des Réseaux Hydrologiques, pp. 343-355.

Gao P, Josefson M (2012) Temporal variations of suspended sediment transport in Oneida Creek watershed, central New York. Journal of Hydrology 426–427 (2012) 17–27.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.01.012>

Ghenim A, Terfous A, Seddini A (2007) Étude du transport solide en suspension dans les régions semi-arides méditerranéennes : cas du bassin-versant de l'oued Sebdou (Nord-Ouest algérien). Sécheresse 18:39–44.

Giaccone E., Vergari F., Del Monte M., Fratianni S. (2015) L'impact du climat sur les dynamiques morphologiques en Toscane (Italie centrale). Proceedings of the “XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie”, Liège 2015.

Giandotti, M. (1937) Idrologia, Florence (IT): Barbera Edizioni.

Greco J., (1966). L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie. MARA. Alger.

Hallouz F, Meddi M, Mahe, G. (2017). Régimes des matières en suspension dans le bassin versant de l'oued Mina sur l'oued Cheliff (nord-ouest algérien). La Houille Blanche, (4), 61-71.
[doi :10.1051/lhb/2017034](https://doi.org/10.1051/lhb/2017034)

Hasbaia M., Benayada L. and Bournane A. (2010) Estimation and analysis of suspended sediment transport in an interior semi-arid watershed of Algeria, case of wadi Soubella in Hodna basin, Congrès Water2010 : Hydrology, Hydraulics and Water Resources in an Uncertain Environment, Quebec City, July 5-7 2010. Canada

- Hasbaia M., Hedjazi A., et Benayada L., (2012).** Variabilité de l'érosion hydrique dans le bassin du Hodna: cas du sous-bassin versant de l'oued elham. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* 1:28-32.
- Hasbaia M, Paquier A, Herizi T (2017)** Hydrological Modeling of Sediment Transport in the Semiarid Region, Case of Soubella Watershed in Algeria. pp 251–266
- Heddadj, D (1997)** La lutte contre l'érosion en Algérie. *Bull Réseau Eros* 18:168–175
- Heusch B., (1970).** L'érosion du Pré – Rif occidental : une étude quantitative de l'érosion hydrique les collines marneuses du Pré – Rif occidental. *Ann. Recherche Forest. Maroc*, 12/pp 9-176.
- Heusch B., Millies-Lacroix A., (1971)** Une méthode pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin. Application au Maghreb. *Mines et Géologie (Rabat)* 33, 21-39.
- Horowitz, Arthur J., Kent A. Elrick, and James J. Smith. (2001)** Estimating Suspended Sediment and Trace Element Fluxes in Large River Basins: Methodological Considerations as Applied to the NASQAN Programme." *Hydrological Processes* 15 (7): 1107–32. [doi:10.1002/hyp.206](https://doi.org/10.1002/hyp.206).
- Hug M., (1975)** Mécanique des fluides appliquée aux problèmes d'aménagement et d'énergétique. Eyrolles. Paris, 195 p.
- Hydratec (2007).** Manuel d'analyse - Dossier B : Modélisation hydrologique – Indice 2.1 32P.
- Israelsen, C., Clyde, C., Fletcher, J., (1980)** Erosion Control during Highway Construction--Manual on Principles and Practices. NCHRP Rep 221:
- Kaiser, J. (2004)** Wounding earth's fragile skin. *Science* (80-) 304:1616–1618
- Karrat, L., Elouadeihe, K., Brehert, J-G., Hessane, M.A.(2016)** Erosion et matières transportées en suspension dans le bassin versant de l'Oued Sebou en amont du barrage Allal Fassi (Moyen Atlas, Maroc). *Revue Marocaine Géomorphologie*, Numéro 1 (2016) pp 47-61. <http://revues.imist.ma/?journal=remageom>
- Kerdoud. S et Tatar H. (2018).** Quantification du transport solide en suspension et sa variabilité temporelle dans le bassin versant de l'oued Kebir Hammam. *Sciences & Technologie D–N°47*, Juin 2018 .43-53
- Khaleghi, M.R., Varvani, J. (2018).** Sediment Rating Curve Parameters Relationship with Watershed Characteristics in the Semiarid River Watersheds. *Arab J Sci Eng* 43, 3725–3737 (2018). <https://doi.org/10.1007/s13369-018-3092-7>
- Khanchoul K, Jansson MB (2008)** Sediment rating curves developed on stage and seasonal means in discharge classes for the Mellah wadi, Algeria. *Geogr Ann Ser A, Phys Geogr* 90:227–236. [doi: 10.1111/j.1468-0459.2008.341.x](https://doi.org/10.1111/j.1468-0459.2008.341.x)

- Khanchoul K, Altschul R, Assassi F (2009)** Estimating suspended sediment yield, sedimentation controls and impacts in the Mellah Catchment of Northern Algeria. Arab J Geosci (2009) 2:257–271. <https://doi.org/10.1007/s12517-009-0040-6>
- Laborde, J-P. (2000).** Eléments d'hydrologie de surface. Centre National de la Recherche Scientifique. Nice, France. 191 p.
- Lahlou A., (1994).** Envasement des barrages au Maroc. Collection «Sciences et techniques », Édition Wallada, Casablanca, Maroc, pp. 286.
- Lagace R, Schurch W, Seemayer TA (1980)** Myofibroblasts in soft tissue sarcomas. Virchows Arch A Pathol Anat Histol 389:1–11. doi: 10.1007/BF00428664
- Lal R, Sobecki T, Livari T, Al. (2004)** Soil degradation in the United States, CRC Press. Lewis, Boca Raton, FL
- Laouina A., Nafaa R. & Chaker M., (2000)** Gestion des eaux et des terres et dégradation dans les collines de Ksar el Kebir, Maroc, Bull. Réseau Erosion 19, 18 p.
- Larfi B, Remini B (2006)** Le Transport Solide Dans Le Bassin Versant De L ' Oued Isser Impact sur L ' Envasement Du Barrage De Beni Amrane (Algerie). Recherche 2:63–73
- Le Bissonnais Y., (1988)** Analyse des mécanismes de désagrégation et de la mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies, Thèse. Doc, Univ.Orléans, 220 p.
- Le Bissonnais Y., Fox D., et Bresson L., (1998).** Incorporating crusting processes in erosion models. In: J. Boardman and D. Favis – Mortlock (Editors), Modeling Soil Erosion by Water. Springer – Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 237 – 246.
- Leopold LB., Emmett WW. (1976)** Bed load measurements, East Fork River, Wyoming, Proceedings of the National Academy of Sciences, 73:1000–1004, [doi: 10.1073/pnas.74.7.2644](https://doi.org/10.1073/pnas.74.7.2644)
- Leopold, L. B., and Thomas Maddock. (1953)** The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications. PP - 252. United States Geological Survey. <http://pubs.er.usgs.gov/publication/pp252>
- Louamri A., Mebarki A., Laignel B. (2013).** Variabilité interannuelle et intra-annuelle des transports solides de l'Oued Bouhamdane à l'amont du barrage Hammam Debagh (Algérie orientale), Hydrological Sciences Journal, 58:1559–1572, [doi: 10.1080/02626667.2013.824089](https://doi.org/10.1080/02626667.2013.824089)
- Madani, C.H., Khanchoul, K., Bouanani, A., Terfous, A. (2017)** Prediction of sediment yield at storm period in Northwest Algeria. Arab J Geosci 10:1–17. [doi: 10.1007/s12517-017-2983-3](https://doi.org/10.1007/s12517-017-2983-3)
- Mc Bean EA, Al-Nassri S (1988)** Uncertainty in suspended sediment transport curves. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 114(1):63-74. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1988\)114:1\(63\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1988)114:1(63))

- Meddi, M. (1999)** Etude du transport solide dans le bassin versant de l'oued Ebda (Algérie). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 43, 167-184.
- Medinger J.M., (1960).** Transport solide des oueds algériens. *Annuaire hydrologique de l'Algérie (années 50-59)*, Alger.
- Megnounif A., Terfous A., Bouanani A., (2003)** Production and transport of suspended sediment transport in the Upper-Tafna river basin (North West Algeria). *Rev. Sci. Eau* 16 (3), 369-380. [doi: 10.7202/705513ar](https://doi.org/10.7202/705513ar)
- Megnounif A, Terfous A, Ouillon S (2013)** A graphical method to study suspended sediment dynamics during flood events in the Wadi Sebdo, NW Algeria (1973-2004). *J Hydrol* 497:24–36. [doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.05.029](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.05.029).
- Megnounif, A., Ghenim, A.N.(2016).**Rainfall irregularity and its impact on the sediment yield in Wadi Sebdo watershed, Algeria. *Arab J Geosci* 9, 267 <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2280-y>
- Meyer L.D., (1969).** Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. *Trans. American Soc. of Agric. Engr.*, 12(6): pp 754 - 758.
- Mingguo Zheng, A. (2018).** Spatially invariant sediment rating curve and its temporal change following watershed management in the Chinese Loess Plateau, *Science of The Total Environment*, Volume630,Pages 1453-1463, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.323>.
- Ministère des ressources en eau (MRE direction du programme). (2013)** .Gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin hydrographique Côtier Algérois 02a ni 19603/11 - alg 05 007 1.2013. P09.
- Ministère des Ressources en Eau PDARE. (2014)** Direction des Etudes et des Aménagements Hydrauliques. Plan Directeur d'Aménagement des Ressources en Eau. Coopération technique Algéro-Allemande (GTZ). Juillet 2014. Page 47-48.
- Pimentel, D. (2006b)** Soil erosion: A food and environmental threat. *Env Dev Sust* 8:119–137
- Pimentel D. (2000)** Land Use: U.S. Soil Erosion Rates-Myth and Reality. *Science* (80-) 289:248– 250
- Poesen J., (1984).** The influence of slope angle on infiltration rate and orntonian overland flow volume *Z. Geomorpha.N.F. Suppl. – Bd*, 49: 117 – 131.
- Probst J.L., Amiotte Suchet P. (1992)** Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Magreb (North Africa), *Hydrological Sciences Journal*, 37:621–637.
- Probst, J.L., Bazerbachi, A., (1986)** Transports en solution et en suspension par la Garonne supérieure. *Sci. Géol. Bull.*, 39, 1, 79-98.

- Qamar, S. (2020)** Analysis of Uncertainty of Sediment Rating Curve Parameters. International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 29, No. 6s, (2020), pp. 3646 – 3657.
- Rajae T, Mirbagheri S. A, Nourani V, Alikhani A. (2010)** Prediction of daily suspended sediment load using wavelet and neurofuzzy combined model. Int. J. Environ. Sci. Tech., 7 (1), 93-110. <https://doi.org/10.1007/BF03326121>
- Remini B, Bensafia D, Nasroun T (2015)** Impact of sediment transport of the Chellif River on silting of the Boughezoul reservoir (Algeria). J Water L Dev 24:35–40. [doi: 10.1515/jwld-2015-0005](https://doi.org/10.1515/jwld-2015-0005)
- Roose E., (1976)** Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique Tropicale, Etudes sur petites parcelles expérimentales de sol, Revue de géographie physique et de géologie dynamique, XVHI (4), 365-374.
- Roose E., (1991)** : Conservation des sols en zones méditerranéennes, Synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de lutte antiérosive : la GCES Cah. Orstom, sér.Pédol., vol. XXVI, no 2, 1991: 145-181.
- Roose E (1994a)** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). In : Bulletin pédologique de la FAO 70. p 39
- Roose E., Chibbani R., Bourougaa L., (1999)** Ravinement en Algérie; Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. Bull. ORSTOM, Rés. Eros., 19, pp85-95.
- Roche, M. (1963).** Hydrologie de Surface, Gauthier-Villars Editeur, Paris, France, 429 p.
- Rui-Figueroa J.F., (1983)** Les micro-organisations pelliculaires superficielles formées sous pluie simulée sur des sols ferrallitiques de savane (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 Paris. 167p.
- Selmi, K., Khanchoul, K. (2016)** Sediment load estimation in the Mellegue catchment, Algeria. Journal of water and land development, 31(1), 129-137. [. doi: 10.1515/jwld-2016-0044](https://doi.org/10.1515/jwld-2016-0044)
- Syvitski, J P. M., David C. Burrell, and Jens M. Skei. (1987).** Fjords: Processes and Products. Springer-Verlag.
- Syvitski, J P M, Morehead M D, Bahr D B, Mulder T (2000)** Estimating fluvial sediment transport: the rating parameters. Water Resources Research 36 (9), 2747–2760. <https://doi.org/10.1029/2000WR900133>
- Terfous A., Megnounif A., Bouanani A., (2001).** Etude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord Ouest Algérien). Rev. Sci. Eau, 14, 175-185. [. doi: 10.7202/705416ar](https://doi.org/10.7202/705416ar)
- Terfous, A., Megnounif, A., Ghenaim, A., (2007)** Suspended sediment budget of a mediteranean water course (The case of Sebdou wadi, Algeria).
- Tixeront J., (1960)** Débit solide des cours d'eau en Algérie et en Tunisie. Assemblée générale d'Helsinki 25 /7 au 6/8 1960 : AIHS Publication (53) : 26-41.

- Touaïbia B., Aidaoui A., Gomer D., Achite M., (2001).** Quantification et variabilité temporelles de l'écoulement solide en zone semi-aride de l'Algérie du Nord. *Hydrol. Sci. J.* 46(1), 41-53.
- Touaïbia, B. (2004).** Manuel pratique d'hydrologie. Presses Madani frères Guerrouaou, Blida-Algérie. 159 p.
- Touaïbia B (2010)** Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale. *Sécheresse* ; 21 (1e) : 1-6. <https://doi.org/10.1684/sec.2010.0281>
- Troeh FR, Hobbs J., Donahue, RL. (2004)** Water Quality and Pollution. In: *Soil and Water Conservation : for Productivity and Environmental Protection*, Fourth. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Walling D.E., (1974).** Suspended sediment and solute yield from small catchment prior to urbanisation in : Sediment concentration versus water discharge during single Hydrologic events in rivers (ed. by G.P., Willams, 1989). *J. Hydrol.*, 111: 89-106.
- Walling, D. E. (1977)** Assessing the Accuracy of Suspended Sediment Rating Curves for a Small Basin." *Water Resources Research* 13 (3): 531–38. [doi:10.1029/WR013i003p00531](https://doi.org/10.1029/WR013i003p00531).
- Walling, D. E. (1977b)** Limitations of the rating curve technique for estimating suspended sediment loads, with particular reference to British rivers. In: *Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters* (Proc. Paris Symp., July 1977), 34-48. IAHS Publ. no. 12
- Walling D.E., (1984).** The sediment yields of African rivers. *IAHS Publ., Harare Symp.*, 144, 265-283.
- Walling, D.E. (1987)** Rainfall, runoff and erosion of the land: a global view. *Energetics of Physical Environment*, Chichester: Wiley, 89-117.
- Walling, D. E. & Webb, B. W. (1981)** The reliability of suspended sediment load data. In: *Erosion and Sediment Transport Measurement* (Proc. Florence Symp., June 1981), 177-194. IAHS Publ. no. 133.
- Walling, D. E., and B.W. Webb. (1988)** The Reliability of Rating Curve Estimates of Suspended Sediment Yield: Some Further Comments." *Sediment Budgets IAHS Publication No.* 1974: 337–50.
- Yles, F., Bouanani, A. (2012)** Quantification et modélisation du transport solide dans le bassin-versant de l'oued Saïda (hauts plateaux algériens). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 23(4), 289-296. <https://doi.org/10.1684/sec.2012.0367>
- Zaïbak I., (2008).** Contribution a une approche cartographique de l'érosion spécifique dans le bassin versant de l'oued Cheliff. Mémoire de magister. ENSH BLIDA. 5P.
- Zhang, W., Wei, X., Zheng, J., Zhu, Y., & Zhang, Y. (2012).** Estimating suspended sediment loads in the Pearl River Delta region using sediment rating curves. *Continental Shelf Research*, 38, 35–46. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.02.017>.

ANNEXE

Valeurs de R² calculées à l'échelle annuelle pour les différentes stations

Echelle Temporelle	Type de modèle	Baghlia	Echelle Temporelle	Type de modèle	Baghlia
68/69	Linéaire	0,68	77/78	Linéaire	0,75
	Logarithmique	0,46		Logarithmique	0,47
	Parabolique	0,55		Parabolique	0,70
	Puissance	0,74		Puissance	0,91
	Exponentiel	0,57		Exponentiel	0,68
69/70	Linéaire	0,81	78/79	Linéaire	0,77
	Logarithmique	0,62		Logarithmique	0,41
	Parabolique	0,87		Parabolique	0,68
	Puissance	0,88		Puissance	0,76
	Exponentiel	0,96		Exponentiel	0,66
70/71	Linéaire	0,30	79/80	Linéaire	0,69
	Logarithmique	0,36		Logarithmique	0,42
	Parabolique	0,31		Parabolique	0,74
	Puissance	0,65		Puissance	0,77
	Exponentiel	0,37		Exponentiel	0,55
71/72	Linéaire	0,95	80/81	Linéaire	0,79
	Logarithmique	0,24		Logarithmique	0,51
	Parabolique	0,88		Parabolique	0,75
	Puissance	0,90		Puissance	0,81
	Exponentiel	0,28		Exponentiel	0,53
72/73	Linéaire	0,69	81/82	Linéaire	0,81
	Logarithmique	0,21		Logarithmique	0,18
	Parabolique	0,72		Parabolique	0,79
	Puissance	0,91		Puissance	0,80
	Exponentiel	0,41		Exponentiel	0,43
73/74	Linéaire	0,62	82/83	Linéaire	0,59
	Logarithmique	0,10		Logarithmique	0,13
	Parabolique	0,72		Parabolique	0,75
	Puissance	0,91		Puissance	0,91
	Exponentiel	0,33		Exponentiel	0,67
74/75	Linéaire	0,73	83/84	Linéaire	0,83
	Logarithmique	0,10		Logarithmique	0,38
	Parabolique	0,75		Parabolique	0,84
	Puissance	0,88		Puissance	0,90
	Exponentiel	0,25		Exponentiel	0,60
75/76	Linéaire	0,79	84/85	Linéaire	0,69
	Logarithmique	0,15		Logarithmique	0,42
	Parabolique	0,78		Parabolique	0,71
	Puissance	0,88		Puissance	0,89
	Exponentiel	0,35		Exponentiel	0,60
76/77	Linéaire	0,81	85/86	Linéaire	0,59
	Logarithmique	0,15		Logarithmique	0,42
	Parabolique	0,88		Parabolique	0,61
	Puissance	0,89		Puissance	0,78
	Exponentiel	0,36		Exponentiel	0,60

Echelle Temporelle	Type de modèle	Baghlia	Echelle Temporelle	Type de modèle	Baghlia
86/87	Linéaire	0,69	95/96	Linéaire	0,44
	Logarithmique	0,29		Logarithmique	0,43
	Parabolique	0,63		Parabolique	0,54
	Puissance	0,71		Puissance	0,78
	Exponentiel	0,49		Exponentiel	0,37
87/88	Linéaire	0,82	96/97	Linéaire	Année Non Observée
	Logarithmique	0,28		Logarithmique	
	Parabolique	0,78		Parabolique	
	Puissance	0,83		Puissance	
	Exponentiel	0,63		Exponentiel	
88/89	Linéaire	Année Non Observée	97/98	Linéaire	Année Non Observée
	Logarithmique			Logarithmique	
	Parabolique			Parabolique	
	Puissance			Puissance	
	Exponentiel			Exponentiel	
89/90	Linéaire	0,63	98/99	Linéaire	0,13
	Logarithmique	0,26		Logarithmique	0,10
	Parabolique	0,77		Parabolique	0,13
	Puissance	0,91		Puissance	0,75
	Exponentiel	0,84		Exponentiel	0,49
90/91	Linéaire	0,69			
	Logarithmique	0,27			
	Parabolique	0,81			
	Puissance	0,83			
	Exponentiel	0,79			
91/92	Linéaire	0,81			
	Logarithmique	0,24			
	Parabolique	0,61			
	Puissance	0,68			
	Exponentiel	0,58			
92/93	Linéaire	0,81			
	Logarithmique	0,24			
	Parabolique	0,61			
	Puissance	0,67			
	Exponentiel	0,58			
93/94	Linéaire	0,69			
	Logarithmique	0,17			
	Parabolique	0,80			
	Puissance	0,83			
	Exponentiel	0,58			
94/95	Linéaire	0,72			
	Logarithmique	0,21			
	Parabolique	0,84			
	Puissance	0,87			
	Exponentiel	0,60			

Echelle Temporelle	Type de modèle	Roche des pigeons	Echelle Temporelle	Type de modèle	Roche des pigeons
78/79	Linéaire	0,43	79/80	Linéaire	0,29
	Logarithmique	0,20		Logarithmique	0,19
	Parabolique	0,48		Parabolique	0,43
	Puissance	0,57		Puissance	0,69
	Exponentiel	0,50		Exponentiel	0,45
80/81	Linéaire	0,30	81/82	Linéaire	0,15
	Logarithmique	0,20		Logarithmique	0,14
	Parabolique	0,69		Parabolique	0,57
	Puissance	0,72		Puissance	0,70
	Exponentiel	0,41		Exponentiel	0,36
82/83	Linéaire	0,19	83/84	Linéaire	0,43
	Logarithmique	0,19		Logarithmique	0,29
	Parabolique	0,53		Parabolique	0,51
	Puissance	0,62		Puissance	0,54
	Exponentiel	0,42		Exponentiel	0,41
84/85	Linéaire	0,58	85/86	Linéaire	0,62
	Logarithmique	0,22		Logarithmique	0,12
	Parabolique	0,64		Parabolique	0,57
	Puissance	0,65		Puissance	0,67
	Exponentiel	0,51		Exponentiel	0,30
86/87	Linéaire	0,65	87/88	Linéaire	0,51
	Logarithmique	0,12		Logarithmique	0,20
	Parabolique	0,71		Parabolique	0,79
	Puissance	0,79		Puissance	0,88
	Exponentiel	0,38		Exponentiel	0,47
88/89	Linéaire	0,26	89/90	Linéaire	0,70
	Logarithmique	0,23		Logarithmique	0,32
	Parabolique	0,57		Parabolique	0,55
	Puissance	0,66		Puissance	0,58
	Exponentiel	0,18		Exponentiel	0,40
90/91	Linéaire	0,40	91/92	Linéaire	0,67
	Logarithmique	0,22		Logarithmique	0,18
	Parabolique	0,48		Parabolique	0,67
	Puissance	0,60		Puissance	0,75
	Exponentiel	0,35		Exponentiel	0,30
92/93	Linéaire	0,86	93/94	Linéaire	0,49
	Logarithmique	0,19		Logarithmique	0,43
	Parabolique	0,69		Parabolique	0,59
	Puissance	0,74		Puissance	0,66
	Exponentiel	0,29		Exponentiel	0,31
94/95	Linéaire	0,59			
	Logarithmique	0,64			
	Parabolique	0,57			
	Puissance	0,69			
	Exponentiel	0,71			

Echelle Temporelle	Type de modèle	Fer A cheval	Echelle Temporelle	Type de modèle	Fer A cheval
76/77	Linéaire	0,54	77/78	Linéaire	0,65
	Logarithmique	0,32		Logarithmique	0,37
	Parabolique	0,65		Parabolique	0,65
	Puissance	0,67		Puissance	0,76
	Exponentiel	0,43		Exponentiel	0,63
78/79	Linéaire	0,69	79/80	Linéaire	0,73
	Logarithmique	0,31		Logarithmique	0,38
	Parabolique	0,70		Parabolique	0,69
	Puissance	0,75		Puissance	0,71
	Exponentiel	0,42		Exponentiel	0,52
80/81	Linéaire	0,81	81/82	Linéaire	0,92
	Logarithmique	0,48		Logarithmique	0,42
	Parabolique	0,75		Parabolique	0,75
	Puissance	0,80		Puissance	0,78
	Exponentiel	0,64		Exponentiel	0,59
82/83	Linéaire	0,92	83/84	Linéaire	0,92
	Logarithmique	0,41		Logarithmique	0,44
	Parabolique	0,76		Parabolique	0,78
	Puissance	0,80		Puissance	0,88
	Exponentiel	0,59		Exponentiel	0,55
84/85	Linéaire	0,80	85/86	Linéaire	0,75
	Logarithmique	0,24		Logarithmique	0,22
	Parabolique	0,76		Parabolique	0,70
	Puissance	0,77		Puissance	0,77
	Exponentiel	0,55		Exponentiel	0,54
86/87	Linéaire	0,78	87/88	Linéaire	0,76
	Logarithmique	0,24		Logarithmique	0,27
	Parabolique	0,66		Parabolique	0,54
	Puissance	0,76		Puissance	0,66
	Exponentiel	0,55		Exponentiel	0,50
88/89	Linéaire	0,92	89/90	Linéaire	0,64
	Logarithmique	0,46		Logarithmique	0,43
	Parabolique	0,52		Parabolique	0,65
	Puissance	0,64		Puissance	0,67
	Exponentiel	0,43		Exponentiel	0,33
90/91	Linéaire	0,29	91/92	Linéaire	0,68
	Logarithmique	0,31		Logarithmique	0,35
	Parabolique	0,63		Parabolique	0,77
	Puissance	0,70		Puissance	0,81
	Exponentiel	0,47		Exponentiel	0,54
92/93	Linéaire	0,68	93/94	Linéaire	0,44
	Logarithmique	0,29		Logarithmique	0,36
	Parabolique	0,72		Parabolique	0,50
	Puissance	0,77		Puissance	0,56
	Exponentiel	0,52		Exponentiel	0,29

Echelle Temporelle	Type de modèle	Attatba	Echelle Temporelle	Type de modèle	Attatba
76/77	Linéaire	0,75	77/78	Linéaire	0,64
	Logarithmique	0,37		Logarithmique	0,34
	Parabolique	0,69		Parabolique	0,68
	Puissance	0,72		Puissance	0,77
	Exponentiel	0,62		Exponentiel	0,61
78/79	Linéaire	0,71	79/80	Linéaire	0,93
	Logarithmique	0,35		Logarithmique	0,32
	Parabolique	0,75		Parabolique	0,73
	Puissance	0,77		Puissance	0,75
	Exponentiel	0,55		Exponentiel	0,41
80/81	Linéaire	0,74	81/82	Linéaire	0,91
	Logarithmique	0,51		Logarithmique	0,30
	Parabolique	0,74		Parabolique	0,52
	Puissance	0,82		Puissance	0,65
	Exponentiel	0,52		Exponentiel	0,39
82/83	Linéaire	0,82	83/84	Linéaire	0,86
	Logarithmique	0,33		Logarithmique	0,49
	Parabolique	0,71		Parabolique	0,78
	Puissance	0,78		Puissance	0,88
	Exponentiel	0,52		Exponentiel	0,55
84/85	Linéaire	0,90	85/86	Linéaire	0,69
	Logarithmique	0,31		Logarithmique	0,28
	Parabolique	0,68		Parabolique	0,69
	Puissance	0,73		Puissance	0,71
	Exponentiel	0,54		Exponentiel	0,67
86/87	Linéaire	0,75	87/88	Linéaire	0,76
	Logarithmique	0,22		Logarithmique	0,20
	Parabolique	0,51		Parabolique	0,55
	Puissance	0,65		Puissance	0,66
	Exponentiel	0,56		Exponentiel	0,46
88/89	Linéaire	0,96	89/90	Linéaire	0,89
	Logarithmique	0,48		Logarithmique	0,25
	Parabolique	0,55		Parabolique	0,50
	Puissance	0,68		Puissance	0,63
	Exponentiel	0,43		Exponentiel	0,35
90/91	Linéaire	0,93	91/92	Linéaire	0,95
	Logarithmique	0,41		Logarithmique	0,44
	Parabolique	0,85		Parabolique	0,69
	Puissance	0,66		Puissance	0,74
	Exponentiel	0,40		Exponentiel	0,60
92/93	Linéaire	0,78	93/94	Linéaire	0,51
	Logarithmique	0,36		Logarithmique	0,16
	Parabolique	0,59		Parabolique	0,53
	Puissance	0,61		Puissance	0,58
	Exponentiel	0,47		Exponentiel	0,34

Echelle Temporelle	Type de modèle	Pont RN 11	Echelle Temporelle	Type de modèle	Pont RN 11
74/75	Linéaire	0,90	75/76	Linéaire	0,91
	Logarithmique	0,46		Logarithmique	0,26
	Parabolique	0,80		Parabolique	0,72
	Puissance	0,87		Puissance	0,82
	Exponentiel	0,55		Exponentiel	0,38
76/77	Linéaire	0,94	77/78	Linéaire	0,78
	Logarithmique	0,22		Logarithmique	0,33
	Parabolique	0,77		Parabolique	0,58
	Puissance	0,81		Puissance	0,63
	Exponentiel	0,39		Exponentiel	0,35
78/79	Linéaire	0,68	79/80	Linéaire	0,54
	Logarithmique	0,33		Logarithmique	0,30
	Parabolique	0,64		Parabolique	0,60
	Puissance	0,66		Puissance	0,77
	Exponentiel	0,36		Exponentiel	0,47
80/81	Linéaire	0,89	81/82	Linéaire	0,88
	Logarithmique	0,47		Logarithmique	0,46
	Parabolique	0,79		Parabolique	0,69
	Puissance	0,83		Puissance	0,79
	Exponentiel	0,50		Exponentiel	0,48
82/83	Linéaire	0,62	83/84	Linéaire	0,83
	Logarithmique	0,42		Logarithmique	0,40
	Parabolique	0,51		Parabolique	0,69
	Puissance	0,58		Puissance	0,78
	Exponentiel	0,41		Exponentiel	0,52
84/85	Linéaire	0,66	85/86	Linéaire	0,73
	Logarithmique	0,22		Logarithmique	0,26
	Parabolique	0,77		Parabolique	0,59
	Puissance	0,78		Puissance	0,68
	Exponentiel	0,55		Exponentiel	0,46
86/87	Linéaire	0,70	87/88	Linéaire	0,58
	Logarithmique	0,33		Logarithmique	0,27
	Parabolique	0,55		Parabolique	0,59
	Puissance	0,65		Puissance	0,73
	Exponentiel	0,54		Exponentiel	0,48
88/89	Linéaire	0,92	89/90	Linéaire	0,92
	Logarithmique	0,58		Logarithmique	0,52
	Parabolique	0,83		Parabolique	0,90
	Puissance	0,87		Puissance	0,93
	Exponentiel	0,49		Exponentiel	0,60
90/91	Linéaire	Année Non Observée	91/92	Linéaire	Année Non Observée
	Logarithmique			Logarithmique	
	Parabolique			Parabolique	
	Puissance			Puissance	
	Exponentiel			Exponentiel	

Echelle Temporelle	Type de modèle	Pont RN 11	Echelle Temporelle	Type de modèle	Pont RN 11
92/93	Linéaire	Année Non Observée	93/94	Linéaire	Année Non Observée
	Logarithmique			Logarithmique	
	Parabolique			Parabolique	
	Puissance			Puissance	
	Exponentiel			Exponentiel	
94/95	Linéaire	Année Non Observée	95/96	Linéaire	Année Non Observée
	Logarithmique			Logarithmique	
	Parabolique			Parabolique	
	Puissance			Puissance	
	Exponentiel			Exponentiel	
96/97	Linéaire	Année Non Observée	97/98	Linéaire	Année Non Observée
	Logarithmique			Logarithmique	
	Parabolique			Parabolique	
	Puissance			Puissance	
	Exponentiel			Exponentiel	
98/99	Linéaire	0,95	99/00	Linéaire	0,95
	Logarithmique	0,44		Logarithmique	0,36
	Parabolique	0,86		Parabolique	0,85
	Puissance	0,95		Puissance	0,89
	Exponentiel	0,41		Exponentiel	0,37
00/01	Linéaire	0,96	01/02	Linéaire	0,85
	Logarithmique	0,28		Logarithmique	0,37
	Parabolique	0,69		Parabolique	0,62
	Puissance	0,70		Puissance	0,64
	Exponentiel	0,45		Exponentiel	0,54
02/03	Linéaire	0,57	03/04	Linéaire	0,81
	Logarithmique	0,29		Logarithmique	0,32
	Parabolique	0,59		Parabolique	0,69
	Puissance	0,71		Puissance	0,71
	Exponentiel	0,49		Exponentiel	0,38
04/05	Linéaire	0,83	05/06	Linéaire	0,89
	Logarithmique	0,22		Logarithmique	0,34
	Parabolique	0,64		Parabolique	0,85
	Puissance	0,67		Puissance	0,87
	Exponentiel	0,34		Exponentiel	0,58
06/07	Linéaire	0,87			
	Logarithmique	0,60			
	Parabolique	0,88			
	Puissance	0,94			
	Exponentiel	0,73			

Echelle Temporelle	Type de modèle	Sidi Akkacha	Echelle Temporelle	Type de modèle	Sidi Akkacha
83/84	Linéaire	0,67	84/85	Linéaire	0,86
	Logarithmique	0,26		Logarithmique	0,20
	Parabolique	0,67		Parabolique	0,86
	Puissance	0,86		Puissance	0,88
	Exponentiel	0,50		Exponentiel	0,33
85/86	Linéaire	0,68	86/87	Linéaire	0,68
	Logarithmique	0,20		Logarithmique	0,26
	Parabolique	0,69		Parabolique	0,69
	Puissance	0,83		Puissance	0,79
	Exponentiel	0,26		Exponentiel	0,31
87/88	Linéaire	0,68	88/89	Linéaire	0,85
	Logarithmique	0,21		Logarithmique	0,20
	Parabolique	0,69		Parabolique	0,83
	Puissance	0,83		Puissance	0,88
	Exponentiel	0,28		Exponentiel	0,34
89/90	Linéaire	0,94	90/91	Linéaire	0,99
	Logarithmique	0,42		Logarithmique	0,50
	Parabolique	0,80		Parabolique	0,89
	Puissance	0,83		Puissance	0,91
	Exponentiel	0,36		Exponentiel	0,38
91/92	Linéaire	0,83	92/93	Linéaire	0,80
	Logarithmique	0,38		Logarithmique	0,37
	Parabolique	0,83		Parabolique	0,80
	Puissance	0,91		Puissance	0,88
	Exponentiel	0,44		Exponentiel	0,43
93/94	Linéaire	0,78	94/95	Linéaire	0,72
	Logarithmique	0,35		Logarithmique	0,39
	Parabolique	0,79		Parabolique	0,77
	Puissance	0,90		Puissance	0,90
	Exponentiel	0,49		Exponentiel	0,38
95/96	Linéaire	0,75	96/97	Linéaire	0,664
	Logarithmique	0,40		Logarithmique	0,29
	Parabolique	0,65		Parabolique	0,71
	Puissance	0,69		Puissance	0,73
	Exponentiel	0,38		Exponentiel	0,28
97/98	Linéaire	0,67	98/99	Linéaire	0,69
	Logarithmique	0,30		Logarithmique	0,26
	Parabolique	0,85		Parabolique	0,86
	Puissance	0,87		Puissance	0,89
	Exponentiel	0,30		Exponentiel	0,29
99/00	Linéaire	Année Non Observée	00/01	Linéaire	0,69
	Logarithmique			Logarithmique	0,48
	Parabolique			Parabolique	0,79
	Puissance			Puissance	0,81
	Exponentiel			Exponentiel	0,36

Echelle Temporelle	Type de modèle	Sidi Akkacha	Echelle Temporelle	Type de modèle	Sidi Akkacha
01/02	Linéaire	0,65	02/03	Linéaire	0,94
	Logarithmique	0,31		Logarithmique	0,27
	Parabolique	0,78		Parabolique	0,77
	Puissance	0,79		Puissance	0,78
	Exponentiel	0,34		Exponentiel	0,27
03/04	Linéaire	0,78	04/05	Linéaire	0,85
	Logarithmique	0,28		Logarithmique	0,44
	Parabolique	0,72		Parabolique	0,89
	Puissance	0,81		Puissance	0,97
	Exponentiel	0,44		Exponentiel	0,56
05/06	Linéaire	0,87	06/07	Linéaire	0,83
	Logarithmique	0,60		Logarithmique	0,32
	Parabolique	0,89		Parabolique	0,80
	Puissance	0,94		Puissance	0,84
	Exponentiel	0,63		Exponentiel	0,48
07/08	Linéaire	0,73	08/09	Linéaire	0,67
	Logarithmique	0,28		Logarithmique	0,32
	Parabolique	0,76		Parabolique	0,72
	Puissance	0,80		Puissance	0,75
	Exponentiel	0,38		Exponentiel	0,45
09/10	Linéaire	0,71	10/11	Linéaire	0,59
	Logarithmique	0,29		Logarithmique	0,23
	Parabolique	0,77		Parabolique	0,60
	Puissance	0,78		Puissance	0,82
	Exponentiel	0,54		Exponentiel	0,58
11/12	Linéaire	0,77	12/13	Linéaire	0,76
	Logarithmique	0,28		Logarithmique	0,30
	Parabolique	0,78		Parabolique	0,77
	Puissance	0,85		Puissance	0,83
	Exponentiel	0,46		Exponentiel	0,46

Valeurs de R² calculées à l'échelle mensuelle pour les différentes stations

Echelle Temporelle	Type de modèle	Baghlia	Roche des pigeons	Fer A cheval	Attatba	Pont RN 11	Sidi Akkacha
Septembre	Linéaire	0,96	0,93	0,90	0,98	0,92	0,95
	Logarithmique	0,15	0,30	0,44	0,33	0,48	0,39
	Parabolique	0,69	0,69	0,65	0,53	0,72	0,88
	Puissance	0,87	0,75	0,70	0,59	0,79	0,90
	Exponentiel	0,44	0,40	0,35	0,43	0,52	0,36
Octobre	Linéaire	0,56	0,28	0,92	0,96	0,68	0,77
	Logarithmique	0,11	0,15	0,31	0,25	0,37	0,26
	Parabolique	0,74	0,31	0,72	0,56	0,58	0,77
	Puissance	0,81	0,69	0,74	0,64	0,67	0,88
	Exponentiel	0,57	0,25	0,28	0,29	0,48	0,42
Novembre	Linéaire	0,70	0,64	0,38	0,90	0,67	0,92
	Logarithmique	0,14	0,42	0,30	0,50	0,28	0,22
	Parabolique	0,67	0,48	0,38	0,71	0,64	0,82
	Puissance	0,85	0,50	0,78	0,72	0,68	0,83
	Exponentiel	0,52	0,44	0,47	0,52	0,37	0,23
Décembre	Linéaire	0,86	0,75	0,87	0,75	0,81	0,61
	Logarithmique	0,19	0,29	0,37	0,30	0,37	0,21
	Parabolique	0,84	0,57	0,70	0,81	0,72	0,66
	Puissance	0,86	0,58	0,79	0,82	0,82	0,83
	Exponentiel	0,42	0,42	0,57	0,59	0,41	0,38
Janvier	Linéaire	0,90	0,91	0,72	0,69	0,82	0,86
	Logarithmique	0,21	0,41	0,26	0,19	0,30	0,29
	Parabolique	0,81	0,71	0,70	0,64	0,74	0,73
	Puissance	0,85	0,75	0,77	0,68	0,82	0,76
	Exponentiel	0,38	0,48	0,49	0,44	0,51	0,35
Février	Linéaire	0,75	0,57	0,67	0,83	0,88	0,75
	Logarithmique	0,21	0,19	0,28	0,19	0,15	0,13
	Parabolique	0,81	0,44	0,75	0,55	0,56	0,81
	Puissance	0,84	0,50	0,76	0,59	0,72	0,82
	Exponentiel	0,49	0,24	0,58	0,37	0,35	0,32
Mars	Linéaire	0,83	0,84	0,73	0,65	0,68	0,80
	Logarithmique	0,20	0,27	0,32	0,30	0,15	0,19
	Parabolique	0,80	0,47	0,66	0,69	0,69	0,63
	Puissance	0,84	0,55	0,74	0,71	0,70	0,71
	Exponentiel	0,34	0,45	0,51	0,40	0,39	0,36
Avril	Linéaire	0,58	0,56	0,70	0,92	0,69	0,71
	Logarithmique	0,19	0,32	0,45	0,47	0,14	0,27
	Parabolique	0,63	0,57	0,70	0,77	0,65	0,61
	Puissance	0,83	0,58	0,86	0,80	0,68	0,68
	Exponentiel	0,56	0,40	0,81	0,54	0,32	0,37

Mai	Linéaire	0,59	0,88	0,82	0,77	0,55	0,94
	Logarithmique	0,13	0,23	0,38	0,43	0,37	0,14
	Parabolique	0,82	0,50	0,62	0,53	0,64	0,69
	Puissance	0,87	0,54	0,64	0,63	0,65	0,79
	Exponentiel	0,66	0,38	0,62	0,59	0,48	0,18
Juin	Linéaire	0,53	0,49	/	/	/	0,88
	Logarithmique	0,47	0,44	/	/	/	0,57
	Parabolique	0,57	0,49	/	/	/	0,56
	Puissance	0,89	0,64	/	/	/	0,76
	Exponentiel	0,52	0,54	/	/	/	0,61
Juillet	Linéaire	0,42	0,99	1	/	/	/
	Logarithmique	0,27	0,76	1	/	/	/
	Parabolique	0,42	0,92	1	/	/	/
	Puissance	0,80	0,96	1	/	/	/
	Exponentiel	0,54	0,70	1	/	/	/
Août	Linéaire	0,02	0,78	/	/	/	/
	Logarithmique	0,02	0,70	/	/	/	/
	Parabolique	0,02	0,96	/	/	/	/
	Puissance	0,74	0,98	/	/	/	/
	Exponentiel	0,67	0,91	/	/	/	/