

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة جيلالي بونعامة خميس مليانة

Université Djilali Bounaama Khemis Miliana

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

Département de Biologie



MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Biologie

Spécialité : Eco pédologie et Environnement

**Impact des lâchées des barrages sur la quantification de  
l'érosion hydrique et son enjeu sur l'environnement : cas de quelques  
barrages du Cheliff.**

Présenté par : M<sup>elle</sup> Blidi Souad.

M<sup>elle</sup> Soltani Nesrine.

Soutenu le : 28/06/2017

Devant le Jury :

**Président** : Mr AMRANI Rachid

MAA

UDBKM

**Promotrice** : Mme BOUAICHI Ilhem

MAA

UDBKM

**Examineurs** :

Mme HALLOUZ Faiza

MCB

UDBKM

Mr MEHAIGUENE Madjid

MCB

UDBKM

Année universitaire : 2016/2017

## *Remerciements*

*Avant tous, nous remercions DIEU tout puissant qui nous a guidé tout au long de notre vie, qui nous a permis de nous instruire et d'arriver aussi loin dans nos études, qui nous a donné courage et patience pour passer tous les moments difficiles, et qui nous a permis d'achever ce travail.*

*Nous tenons à présenter nos humbles et sincères remerciements ainsi que toute notre reconnaissance et profonde gratitude à notre promotrice Madame BOUAICHI .Ilhem qui a proposé le thème de ce mémoire, pour tout son dévouement lors de notre encadrement, pour tout son aide et ses précieux conseils et ses encouragements incessants, et surtout pour sa patience et sa compréhension, nous n'oublierons jamais sa gentillesse.*

*Nos remerciements vont également à Mr .AMRANI .Rachid, qui nous a fait l'honneur et l'immense plaisir d'accepter de présider le jury.*

*Nous tenons également à remercier Mme .HALLOUZ .Faiza qui a accepté d'examiner ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent aussi à Mr. MEHAIGUENE .Madjid, qui a accepté d'examiner ce travail.*

*Notre profond respect va à nos enseignants qui ont contribué à notre formation, nous tenons particulièrement à remercier tous ceux qui nous ont apporté de l'aide le long de notre travail surtout Mr .BOUCEFIANE .A.*

*Nos remerciements vont aussi au personnel :*

*De L'agence Nationale des Ressources hydriques d'Oran (ANRH), en particulier Mr BOUDALIA Mohamed.*

*De L'agence National des Barrages et transferts (ANBT), en particulier le chef département gestion des ressources en eaux Mr. HOUGLAOUENE. Mourad.*

*A Toutes les personnes de l'Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana.*

*A Toutes et à tous, on vous dit Merci.*

*NESRINE et SOUAD*

## Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail*

- ✚ A Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*
- ✚ A Mon père, qui peut être fier de trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.*
- ✚ A Mes très chers frères et sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité :  
Amina, son mari Youcef et son fils Adlan ;  
Radhia et son mari Abdelhadi ;  
Sidehmed, Wafaa et Mohamed.*
- ✚ A toute ma famille chacun par son nom BLIDI et BEN BRAHIM.*
- ✚ A Mes très chères et meilleures amies : Nesrine et Meryem.*
- ✚ A ma promotrice M<sup>me</sup> BOUAICHI Ilhem pour ses conseils et ses consultations qui m'ont aidé à la réalisation de mon travail.*
- ✚ Ainsi qu'à toute ma famille de l'université Djilali Bounaâma Khemis Miliana, surtout la promotion « Éco-pédologie et environnement 2016/2017 » qu'avec eux j'ai passé des meilleurs moments inoubliables.*

**B.SOUAD.**

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma très chère mère*

*A mon cher père*

*Pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et*

*Leurs prières tout au long de mes études*

*A mon cher frère, MOURAD pour son appui et ses encouragements*

*A mes chères copines : SOUAD et sa famille BLIDI  
et AHLAM et sa famille ZARAT pour leurs encouragements permanents, et leur  
soutien moral*

*A mes chères cousines HADIA et sa petite famille  
NABAHA et son mari Sidali, pour leurs encouragements et leur amour, Malgré la  
distance, vous êtes toujours dans mon cœur*

*A mon cher oncle Hamdane et sa jolie femme Fatima Zohra  
A ma grande mère pour toutes ses prières*

*A ma chère cousine Amina et son fils Amir et mes cousines Fatima, Safaa et  
Kawther*

*A mes chères tantes Nassira, Lila et mon chère oncle Tahar et sa femme Hassina*

*A toute ma famille SOLTANI et BELKORCHIA pour leurs soutiens tout au long  
de mon parcours universitaire,*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre  
soutien infaillible, Merci d'être toujours là pour moi.*

*Je remercie sincèrement notre promotrice Mme BOUAICHI Ilhem pour ses  
judicieux conseils, je n'oublierai jamais sa gentillesse, sa disponibilité, ses  
encouragements et les qualités scientifiques qu'elle nous a apporté le long de cette  
recherche*

*À tous les étudiants de la promotion Master Éco-pédologie et environnement  
2016 /2017*

*S. Nesrine*

## Résumé

Notre objectif est l'étude de l'impact des lâchées des barrages sur la quantification de l'érosion hydrique au droit de deux (02) stations hydrométriques importantes situées sur l'Oued Cheliff non loin de son exutoire et d'identifier par la suite son enjeux sur l'environnement, où dix (10) barrages du ont été pris en considération. La quantification de l'érosion hydrique à nécessité l'utilisation des données de base suivantes : concentration de la matière en suspension, débit solide, débit liquide et les levées bathymétriques des barrages.

Le résultat final est obtenu selon deux cas bien distinct (en prenant en considération les lâchées pour le premier cas et en retranchant ces mêmes lâchées pour le deuxième cas), ainsi au droit de la station **012806**, l'érosion spécifique est estimée à **17.16 T /Ha.an** (1<sup>er</sup> cas) et à **13.84 T/Ha.an** (2<sup>ème</sup> cas), et pour la station (**013602**) le même phénomène est évalué à **14.21 T/Ha.an** (1<sup>er</sup> cas) et à **10.81 T/Ha.an** (2<sup>ème</sup> cas).

L'impact des lâchées des barrages et considérable, il est estimé à **19.35%** pour la station **012806** et à **23.91%** pour la station **013602**, ainsi la suppression de ces lâchées lors de la quantification du phénomène de l'érosion hydrique reste la meilleure manière d'exprimer le taux de perte en sol dans le cas de l'utilisation des données hydrométriques des stations influencées.

**Mots clés** : érosion hydrique, bassin versant, Cheliff, quantification, lâchées d'eau, bathymétrie, barrage.

## **Abstract**

Our objective is the impact of the releases of the dams on the quantification of the water erosion and its stakes on environment one takes into consideration the case of some cheliff dams, and to calculate the quantification of the water erosion used the explanatory variables The following: solid flow, liquid flow and delineation of the lower Cheliff watersheds to obtain the surface of the station to calculate specific erosion ;

The final results of the specific erosion of two methods is the quantification of erosion by hydrometric station data (012806) (hydrometric method) showed that the reservoir shows a loss of **17.16 T / Ha.an**. The cowards and **13.84 T/Ha.an** without cowards from 1993/94 to 2012/2013 And data from the hydrometric station (013602) (hydrometric method) showed that the reservoir presents a loss of **14.21 T/Ha.an** with releases and **10.81 T/ Ha.an** without cowards from 1993/94 to 2012/2013 ;

Estimating water erosion by suppressing dam release remains the best way to express the rate of erosion in the use of hydrometric data because the influence of station releases (012806) is Of **19.35%** and for the station (013602) is **23.91%**, these values remain acceptable.

## **The keywords**

Water erosion, watershed, Cheliff, quantification. Water releases, bathymetry, dams.

## ملخص

هدفنا هو تأثير مياه السدود المحررة على انجراف التربة و تأثيره على قضايا البيئة , أخذنا في الاعتبار حالة بعض السدود في منطقة الشلف, لحساب ذلك استعملنا المتغيرات التالية و هي : تدفق الصلب, تدفق السائل, رسم حدود مياه السدود المحررة لإيجاد مساحة المحطة لحساب التعرية المائية الخاصة.

أظهرت النتائج النهائية لانجراف التربة من كلتا الطريقتين أنه في المحطة الهيدرومترية (012806) (طريقة مقياس الماء) فقدان **17.16 طن / الهكتار.سنة** دون مياه السدود المحررة من سنة 1994/1993 إلى غاية 2013/2012 و أصبحت **13.84 طن/الهكتار.سنة**, و في المحطة الهيدرومترية (013602) (طريقة قياس الماء) خسارة **14.21 طن/الهكتار.سنة** مع مياه السدود المحررة و **10.81 طن/الهكتار.سنة** دون مياه السدود المحررة من سنة 1994/1993 إلى غاية 2013/2012.

إن تقدير التعرية المائية للسدود بإزالة مياه السدود المحررة هو أفضل وسيلة للتعبير عن معدل التآكل في حالة استخدام البيانات لقياس تأثير إصدار محطة (012806) هو **19.35%** و تأثير إصدار محطة (013602) هو **23.91%** حيث تبقى هذه القيم مقبولة.

**الكلمات المفتاحية :** انجراف التربة, نقطة تحول, شليف, تحديد الكمية, مياه السدود المحررة, قياس الأعماق, السدود.



## Liste d'Abréviations

**ANRH** : Agence National Des Ressources Hydriques.

**ANBT** : Agence National Des Barrages et Transferts.

**AEP** : Alimentation en eau potable.

**A** : Surface du bassin versant.

**BV** : Bassin versant.

**Es** : Erosion spécifique.

**P** : Périmètre du bassin versant.

**Lr** : La longueur du rectangle équivalent.

**La** : la largeur du rectangle équivalent.

**Kc** : Indice de compacité de Gravilius.

**Ds** : Dénivelée spécifique.

**Dd** : Densité de drainage.

**Lp** : longueur du thalweg principal.

**H** : Dénivelée entre les courbes de niveau.

**Qi** : Débit instantané

**Qs** : Débit solide.

**Ql** : Débit liquide.

**C** : Concentration.

**P m** : pluie moyenne.

**C°** : Degré Celsius.

**T** : température.

**P** : précipitation.

**Cv** : coefficient de variation.

**SMBA** : Sidi M'hamed Ben Aouda.

**SMBT** : Sidi M'hamed Ben Taiba.

**R<sup>2</sup>**: coefficient de détermination.

## La liste des Figures

<b>Figure 01 :</b>	Types d'érosion hydrique .....	<b>(06)</b>
<b>Figure 02 :</b>	Type du charriage.....	<b>(13)</b>
<b>Figure 03 :</b>	Transport en suspension .....	<b>(13)</b>
<b>Figure 04 :</b>	schéma de localisation des principaux sous bassins de la région d'étude (ABH-CZ, 2004).....	<b>(20)</b>
<b>Figure 05 :</b>	La carte hypsométrique du bassin versant du Cheliff .....	<b>(21)</b>
<b>Figure 06 :</b>	carte de délimitation du bassin versant de la station hydrométrique 012806...	<b>(28)</b>
<b>Figure 07 :</b>	carte délimitation du bassin versant de la station hydrométrique N° 013601 Influencées par les lâchées des barrages.....	<b>(29)</b>
<b>Figure 08 :</b>	distribution mensuelle reliant les débits solides aux débits liquides à la station 012806.....	<b>(42)</b>
<b>Figure 09 :</b>	distribution mensuelle reliant les débits solides aux débits liquides à la station 012806 (suite) .....	<b>(43)</b>
<b>Figure 10 :</b>	distribution mensuelle reliant les débits solides aux débits liquides à la station 013602 .....	<b>(45)</b>
<b>Figure 11 :</b>	distribution mensuelle reliant les débits solides aux débits liquides à la station 013602 (suite) .....	<b>(46)</b>
<b>Figure 12 :</b>	Carte de découpage du bassin versant du Cheliff en sous bassins .....	<b>(48)</b>
<b>Figure 13 :</b>	Carte de réseau hydrographique du bassin versant du Cheliff .....	<b>(49)</b>
<b>Figure 14 :</b>	Carte localisation des 02 stations hydrométriques étudiées dans le Cheliff.....	<b>(50)</b>
<b>Figure 15 :</b>	Carte de localisation des 10 barrages du Cheliff .....	<b>(51)</b>
<b>Figure 16 :</b>	Carte de délimitation des bassins versants de 10 barrages du Cheliff .....	<b>(52)</b>
<b>Figure 17 :</b>	Carte délimitation du bassin versant de la station hydrométrique 012806 Influencées par les lâchées des barrages.....	<b>(53)</b>
<b>Figure 18 :</b>	carte délimitation du bassin versant de la station hydrométrique 013602 Influencées par les lâchées des barrages.....	<b>(54)</b>
<b>Figure 19 :</b>	variation de l'apport solide et l'apport liquide en fonction de temps (cas avec lâchées de la station 012806) .....	<b>(60)</b>
<b>Figure 20 :</b>	variation de l'apport solide et l'apport liquide en fonction de temps (cas sans lâchées de la station 012806).....	<b>(62)</b>
<b>Figure 21 :</b>	variation de l'apport solide et l'apport liquide en fonction de temps (cas avec lâchées de la station 013602) .....	<b>(64)</b>
<b>Figure 22 :</b>	variation de l'apport solide et l'apport liquide en fonction de temps (cas sans lâchées de la station 013602) .....	<b>(66)</b>

## La liste des Tableaux

<b>Tableau 01 :</b>	la Température moyenne annuelle (°C) pour Cheliff, durant la période 2009/2015.....	(23)
<b>Tableau 02 :</b>	la pluviométrie annuelle moyenne (mm) dans la période 2009 /2015. ....	(23)
<b>Tableau 03:</b>	Evapotranspiration mensuelle et annuelle (mm) pour les régions du bassin versant du Cheliff .....	(24)
<b>Tableau 04:</b>	Ouvrages de Mobilisation des eaux dans le bassin versant du Cheliff.....	(25)
<b>Tableau 05:</b>	représenta les caractéristiques de 10 barrages de la station 012806 et 013602...	(35)
<b>Tableau 06 :</b>	la variation des débits liquides et les débits solides de la station 012806 à l'échelle annuelle pendant la période 1973/1974 à 2012/2013.....	(37)
<b>Tableau 07 :</b>	la variation des débits liquides et les débits solides de la station 012806 à l'échelle mensuelle pendant la période de 1973/1974 à 2012/2013.....	(38)
<b>Tableau 08 :</b>	la variation des débits liquides et les débits solides de la station 013602 à l'échelle annuelle pendant la période de 1957/1958 à 2012/2013 .....	(39)
<b>Tableau 09 :</b>	la variation des débits liquides et les débits solides de la station 013602 à l'échelle mensuelle pendant la période de 1957/1958 à 2012/2013 .....	(40)
<b>Tableau 10 :</b>	résultats de calculs des différents modèles à la station 012806.....	(44)
<b>Tableau 11 :</b>	résultats de calculs des différents modèles à la station 013602.....	(49)
<b>Tableau 12 :</b>	de Caractéristiques des bassins versants des stations hydrométriques avec barrages et sans barrages .....	(57)
<b>Tableau 13 :</b>	présentation des caractéristiques de forme des bassins versants des 10 barrages .....	(58)

<b>Tableau 14 :</b> variation interannuelle de l'apport liquide et solide à la station 012806 (cas avec lâchées) .....	<b>(59)</b>
<b>Tableau 15 :</b> variation interannuelle de l'apport liquide et solide à la station 012806 (cas sans lâchées) .....	<b>(61)</b>
<b>Tableau 16 :</b> variation interannuelle de l'apport liquide et solide à la station 013602 (cas avec lâchées) .....	<b>(63)</b>
<b>Tableau 17 :</b> variation interannuelle de l'apport liquide et solide à la station 013602 (cas sans lâchées) .....	<b>(65)</b>
<b>Tableau 18 :</b> érosion spécifique au droit de la station 012806 .....	<b>(67)</b>
<b>Tableau 19 :</b> érosion spécifique au droit de la station 013602 .....	<b>(67)</b>
<b>Tableau 20 :</b> érosion spécifique au droit des barrages des deux stations hydrométrique la 012806 et la 013602 .....	<b>(68)</b>
<b>Tableau 21 :</b> représenté la classification des bassins versant selon le taux de l'érosion spécifique des barrages .....	<b>(69)</b>
<b>Tableau 22 :</b> calcul de l'influence des lâchées d'érosion spécifique de la station 012806 .....	<b>(70)</b>
<b>Tableau 23 :</b> calcul de l'influence des lâchées d'érosion spécifique de la station 013602 .....	<b>(70)</b>

# TABLE DES MATIERES

Remerciements .....	i
Dédicaces .....	iii
Résumé .....	v
Liste des abréviations .....	viii
Liste des figures .....	ix
Liste des tableaux .....	x
Introduction générale .....	01
<b>Chapitre I : Aperçu bibliographique</b>	
I.1. Introduction .....	04
I. 2.Généralité sur les barrages .....	04
I. 2.1. Définition de barrage .....	04
I. 2.2. Principaux éléments du barrage .....	04
I. 2.3. Principaux usages des eaux des barrages .....	04
I. 3. La bathymétrie .....	05
I. 3.1. Notion de la bathymétrie .....	05
I. 3.2. Définition des lâchées d'un barrage .....	05
I. 3.3. Préparation de la bathymétrie .....	05
I. 3.4. les travaux de bathymétrie .....	05
II. Erosion .....	06
II. 1. définition de l'érosion .....	06
II. 2. différents types d'érosion .....	06
II. 2.1. Définition d'érosion hydrique .....	06
II. 2.2. Origine et mécanisme .....	07
II. 3. Les formes de l'érosion hydrique .....	07
a. L'érosion en nappe .....	07
b. L'érosion linéaire .....	07
II. 4. Les facteurs de l'érosion hydrique .....	07
a. La topographie .....	07
b. facteur climatique (le climat) .....	08
c. Facteurs lithologiques (sol) .....	08
d. Le Couvert végétal .....	08
e. Facteurs anthropiques .....	09
II. 5. La quantification de l'érosion hydrique .....	09
a. Formule de Henin 1950 .....	09
b. Formule de Fournier (1960)) .....	10
c. Formule de Tixeront (1960) .....	10
d. Formule de Grivilovic (1960) .....	10

e.	Formule de L'A.N.R.H (1970)	11
f.	Formule de Wischmeier et Smith (1978)	12
g.	Formule de Sogreah	12
III.	Transport solide	13
III.	III.1. définition de transport solide	13
III.	III.2. Modes de transport solide	13
a.	Charriage	13
b.	En suspension	13
IV.	IV.Bassin hydrographique	14
V.	IV.1. Station hydrométrique	14
V.	IV.2. Ampleur de l'érosion de l'Algérie	14
V.	V.Rappel Bibliographiques des travaux sur l'érosion et le transport solide En Algérie	15
	Conclusion	17
<b>Chapitre II : Présentation de la zone d'étude</b>		
I.1.	Introduction	19
I.	I.2.Situation géographiques et délimitation	19
II.	II. Oued Chélif	19
III.	II.1.Le bassin versant du Chélif	19
III.	II.2. Caractéristique physique générales du bassin versant du Cheliff	20
III.	II.2.1. Relief	20
III.	II.2.2. La géologie	21
III.	II.2.3. Activité Agricole	21
III.	II.2.4. végétation et occupation du sol	22
III.	II.2.5. caractéristique du climat	22
III.	II.2.6. température	22
III.	II.2.7. Pluviométrie	23
III.	II.2.8. Evapotranspiration	24
IV.	III.Ressource en eau superficielle	24
V.	III.1. Retenues collinaires	27
VI.	III.2.Ressource en eau souterraine	27
VII.	IV.Présentation des stations hydrométriques étudiées	27
	Conclusion	29
<b>Chapitre III : Matériel et Méthode</b>		
I.1.	Introduction	31
I.	I.2.Représentation de la banque des données	31
I.	I.1. Matériel et Méthodes	32
I.	I.1.1. Les données utilisées	32
I.	I.1.2. Les formes des données	32
I.	I.1.3. logiciels utilisés	33
a.	Présentation de logiciel	33
I.	I.1.4. Principale méthodes utilisées	33
II.	II. Les notions de calcul d'érosion spécifique	34
II.	II.1. Volume envasé	34

II.	II.2. Nombre d'années .....	34
II.	II.3. Erosion spécifique .....	34
II.	II.4. Taux d'envasement .....	34
III.	III. Calcul de l'érosion spécifique .....	34
III.	III.1. Calcul par la méthode bathymétrique .....	35
III.	III.2. Calculs par la méthode hydrométrique .....	36
III.	III.2.1. Méthode de travail .....	36
III.	III.2.2. Mise en forme et traitement des données .....	36
III.	III.2.3. Relation débit liquide instantané-débit solide instantané .....	41
	a. Représentation graphique de la relation débit liquide – débit solide à l'échelle mensuelle .....	41
	b. Représentation graphique de la relation débit liquide – débit solide à l'échelle mensuelle à la station 013602 .....	45
III.	IV. Délimitation des deux stations la 012806 et la 013602 .....	48
	Conclusion .....	56

#### **Chapitre IV : Résultat et discussion**

I.1.	Introduction .....	58
I.	I.2. Résultat et discussion .....	58
I.	I.2.1. Approche d'évaluation des apports solides dans les stations hydrométriques... 58	
II.	II. Variabilité Spatio-temporelle des apports liquides et solides .....	59
III.	III. Quantification de l'érosion spécifique .....	67
IV.	IV. Classification des bassins versant .....	68
V.	V. Estimation de l'influence des lâchées .....	69
VI.	VI. L'enjeu de l'érosion hydrique sur l'environnement .....	70
VI.	VI.1. Effets visibles sur l'environnement .....	70
VI.	VI.2. Conséquence socio-économiques négatives .....	73
	Conclusion .....	73
	Conclusion générale .....	75
	Références bibliographiques	

L'érosion des sols est un phénomène naturel qui résulte de l'altération et la redistribution des produits de décomposition et de dégradation des roches, qui peut être accéléré par l'activité anthropique et en particulier par la mise en culture des sols. Sous l'action associée de la pluie et du ruissellement et en entraînant parfois une perte irréversible du sol, l'érosion hydrique est considérée comme l'une des principales causes de la dégradation de cette ressource dans le monde (**Cerdan, 2001**).

L'érosion façonne la Terre depuis qu'elle est émergée... Et depuis plus de 7 000 ans, l'homme s'acharne à lutter contre l'érosion pour protéger ses terres contre l'agressivité des pluies et du ruissellement (**Lowdermilk, 1953**).

Depuis les années 70, un intérêt particulier est donné à l'estimation du transport solide. Les raisons sont nombreuses et diverses, et incluent le transport de contaminants, les tendances de qualité aquatique, la sédimentation des réservoirs. ainsi que les impacts écologiques. Cet intérêt est motivé par l'importance des aspects quantitatifs et qualitatifs du transport solide.

En Algérie, l'érosion est un problème majeur. Elle devient dangereuse dès qu'elle dépasse le seuil tolérable et son intensité varie d'une zone à l'autre. Elle a été reconnue comme un problème environnemental dans les années 1930 par les colons et les agronomes (**Audert, 1986**).

Le principal facteur de déclenchement du phénomène est le ruissellement dont la répartition spatiale est contrôlée par celles des précipitations, des caractéristiques géologiques et biophysiques (topographie, couvert végétal,...). L'érosion se manifeste principalement sur les sols en pente et constitue une des principales causes de dégradation des sols dans les massifs montagneux en zones semi arides. Elle s'est accélérée suite aux défrichements des forêts et maquis qui protégeaient les sols sensibles (**ACHIT et al., 2006**).

Le système d'information géographique (**SIG**) est l'outil fondamental utilisé pour la délimitation des surfaces et le tracé des cours d'eau des stations de la zone d'étude. Ainsi, notre travail à nécessite la



collecte des données auprès des organismes et administrations concernés, il est scindé en quatre chapitres:

- Le 1<sup>er</sup> chapitre est consacré à une recherche bibliographique ;
- Le 2<sup>ème</sup> chapitre expose la présentation de la zone d'étude.
- Le 3<sup>ème</sup> chapitre illustre les matériels et les méthodes utilisées dans notre étude ;
- Le 4<sup>ème</sup> chapitre présente les résultats, discussion et l'enjeu du phénomène étudié sur l'environnement.

## I. 1. Introduction

L'érosion est un phénomène très complexe, faisant intervenir plusieurs paramètres, il a pris beaucoup d'ampleur en Algérie et menace tous les jours, les terres agricoles et les infrastructures hydrauliques, par l'arrachage, l'affouillement, le transport et le dépôt des sédiments créant des exhaussements de lits d'oueds, des sapements de berges, des inondations et l'envasement des barrages qu'il est parfois quasi-impossible de remédier.

## I. 2. Généralités sur les barrages

### I.2.1. Définition de barrage

Un barrage est un ouvrage d'art construit en travers d'une zone d'écoulement naturel de l'eau. Son principe général est de barrer cette zone pour accumuler l'eau. La rétention de l'eau peut avoir plusieurs objectifs.

En effet, un barrage permet la régulation du débit d'une rivière par la gestion des crues et des étiages, l'irrigation des cultures et l'alimentation en eau potable, ainsi qu'une protection des zones inondables contre les catastrophes et la production d'énergie hydroélectrique (**Fauchard et al., 2004**).

### I.2.2. Principaux éléments d'un barrage

- Une digue ou barrage principal ;
- Un évacuateur de crues ;
- Un ou des ouvrages de prise ;
- Un ouvrage de vidange (**Milogo, 2009**).

### I.2.3. Principaux usages des eaux des barrages

- AEP ;
- Agriculture irriguée ;
- Production d'énergie ;
- Alimentation en eau potable et industrielle ;
- Abreuvement des animaux ;
- Production halieutique ;
- Navigation ;
- Protection contre les crues ;
- Activités récréatives ;
- Lagunage ;
- Soutien d'étiage ;
- Protection contre les remontées d'eau salée ;
- Protection des barrages en aval pour réduire le transport solide, (**Milogo, 2009**).

### I.3. La bathymétrie

#### I. 3.1. Notion de la bathymétrie

Le principe de cette technique consiste à un levé des fonds de long de profil préalablement repérés .le choix des profils dépend en particulier de la longueur de la retenue.

Pour une meilleure estimation des sédiments piège ; les profils doivent être parallèles et matérialisés sur le terrain par des repères visibles (canevas) depuis la barque (appareil topographique) quelle que soit la cote du plan d'eau

Dans le cas d'une retenue méandrique, les profils doivent être assez rapprochés pour quantifier le volume entre 2 sections (**Hadidi, 2008**)

#### I.3.2. Définition des lâchées d'un barrage

Evacuation contrôlée d'une fraction d'eau du barrage ; le gestionnaire du barrage réalise les lâchées pour le soutien d'étéages qui sont décidés par la police des eaux.

#### I.3.3. Préparation de la bathymétrie

Avant de procéder à la bathymétrie, quatre étapes sont nécessaires :

- La délimitation du réservoir ;
- La division du réservoir en sections ;
- La détermination des points de mesure pour chacune des sections ;
- La détermination du niveau du réservoir (**Chom, 2009**)

#### I. 3.4. travaux de bathymétrie

- dragage et suivi du dragage des barrages et des retenues d'eau ;
- calcul et suivi des évolutions des capacités des barrages ;
- morphologie des lits de rivières pour les études de reprofilage.

## II. Erosion

### II.1. Définition de l'érosion

Action par laquelle divers éléments constituant les horizons superficiels de la couverture pédologique sont enlevés par le vent, la pluie, les rivières, les glaciers. Les facteurs principaux sont : la végétation, la couverture pédologique, la géomorphologie (pentes en particulier) et les impacts de l'utilisation des sols par l'homme (Ammari, 2012).

### II.2. Différents types d'érosion

- Erosion hydrique ;
- Erosion éolienne.

#### II. 2.1. Définition d'érosion hydrique

L'érosion hydrique est composé d'un ensemble de processus complexe et interdépendant qui provoquent le détachement des particules de sol, c'est la perte du sol due à l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt (Roose, 1977).

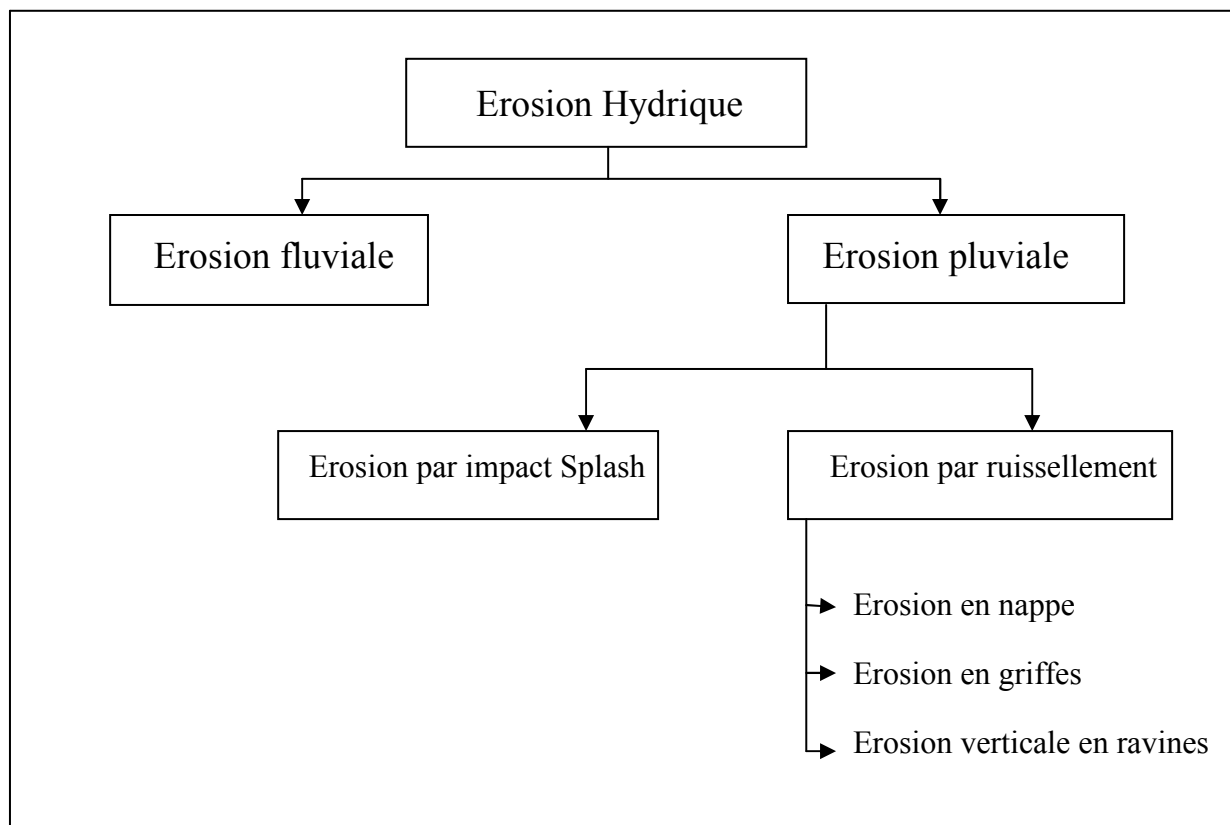


Figure 01: Types d'érosion hydrique (Touaibia, 2000).

## II. 2.2. Origine et mécanisme

La pluie et le ruissellement superficiel sont à l'origine de l'arrachage, du transport et du dépôt de la terre enlevée. L'arrachage est due à la fois aux gouttes d'eau (par rejaillissement) et aux eaux de ruissellement, dont le transport est assuré par elles. (Ammari, 2012).

## II. 3. Formes de l'érosion hydrique

### a. Erosion en nappe

L'érosion en nappe est le stade initial de la dégradation des sols par l'érosion. Elle entraîne la dégradation du sol sur l'ensemble de sa surface. De ce fait, elle est peu visible d'une année à l'autre (HADIR, 2010).

L'importance de l'érosion en nappe dépend à la fois : - de l'intensité maximale des pluies qui déclenchent le ruissellement ; - de l'énergie des pluies qui détachent les particules susceptibles de migrer ; - de la durée des pluies et de l'humidité du sol avant les pluies (Mokhtari, 2009).

### b. Erosion linéaire

Un micro-filet ou une rigole est une dépression suffisamment petite pour pouvoir être supprimée par les façons culturales. Sur un bassin versant ou une parcelle, l'érosion en rigole succède à l'érosion en nappe par concentration du ruissellement dans les creux. A ce stade, les rigoles ne convergent pas mais forment des ruisselets parallèles (Ammari, 2012).

## II. 4. Facteurs de l'érosion hydrique

### a. Topographie

Plusieurs chercheurs ont mis en évidence l'effet de la topographie sur l'érosion. Nombreux sont ceux qui ont montré que la topographie agit sur le ruissellement et les pertes en sol par deux composantes (Borst et al., 1940 ; Wischmeier et al., 1978).

La topographie fait avant tout référence à la pente des terres : la pente accélère l'érosion car elle augmente la vitesse d'écoulement de l'eau (CNEA, 2007).

La pente intervient dans les phénomènes d'érosion en fonction de sa forme, de son degré d'inclinaison et de sa longueur (Roose et al., 1994).

### Quand :

- La longueur de la pente : car plus la pente est longue, plus les eaux ont tendance à se concentrer graduellement dans les fissures ou rainures, ce qui entraîne un apport considérable en eau et en sédiments ;
- le degré d'inclinaison de la pente : car plus le degré d'inclinaison des versants est important, plus l'énergie cinétique de l'écoulement et la détachabilité des particules du sol sont importantes.

### b. Facteur climatique (le climat)

La pluie est essentiellement à l'origine de l'érosion par son impact sur les particules des sols qu'elle détache ainsi des matériaux de surface. Le climat est un facteur important qui conditionne d'une façon directe le mécanisme de l'érosion. Certaines influences climatiques constituent une partie des processus d'altération. (Witte, 1986). La fréquence et l'intensité des précipitations sont les deux caractéristiques importantes du facteur climatique de l'érosion hydrique des sols.

Ces caractéristiques sont à l'origine de la formation du ruissellement quand la quantité des pluies dépasse la capacité d'absorption de l'eau par le sol (**Bergsma et al., 1996**).

Le potentiel érosif de la pluie est désigné par le terme général d'érosivité. Ce paramètre est lié à l'intensité des averses se taux caractéristiques des gouttes de pluie (taille, vitesse, forme, angle d'impact) qui déterminent leur énergie cinétique (**Riezebos et al., 1985**).

### c. Facteurs lithologiques (sol)

L'érodibilité du sol désigne sa susceptibilité face aux processus d'érosion. Elle est fonction des propriétés physico-chimiques du sol (texture, profondeur, pierrosité, teneur en matière organique...) et de la cohésion qui existe entre ces particules. Une faible cohésion va entraîner une forte érodibilité (**Govers, 1987; Poesen et al., 1990**).

Notons que l'érodibilité des sols diminue avec l'augmentation de la teneur en matière organique qui réduit la mouillabilité des agrégats et diminue les risques d'éclatement lors de l'humectation (**Casenaves et al., 1989**).

Il existe trois propriétés essentielles des sols pour déterminer leur érodibilité et pour évaluer leur résistance à l'érosion :

- la teneur en limon et surtout en argile ;
- la matière organique qui assure la cohésion du sol ;
- les caractéristiques minéralogiques et chimiques des sols qui ont un rapport avec la cohésion.

### d. Couvert végétal

Il s'agit du facteur primordial de protection du sol contre l'érosion. Un couvert végétal est d'autant plus efficace qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, qu'il recouvre une forte proportion du sol durant les périodes les plus agressives de l'année, qu'il ralentit l'écoulement du ruissellement et qu'il maintient une bonne porosité. (**Roose, 1977**).

- Le rôle du couvert végétal :

Les plantes cultivées ou naturelles protègent le sol contre l'érosion hydrique et éolienne, en effet :

- La partie aérienne des plantes joue le rôle d'un parapluie producteur du plant ;
- Les plantes ralentissent les eaux de ruissellement et les vents par la rugosité qu'elles donnent au terrain ;

### e. Facteurs anthropiques

Certaines activités humaines provoquent l'accélération de rythme naturel de l'érosion hydrique par l'action de surpâturage et la déforestation qui provoque le tassement des sols, diminue sa perméabilité et favorise le ruissellement de l'eau. L'intensification de l'agriculture et la croissance démographique et l'urbanisation ne font qu'accentuer le phénomène.

## II. 5. Quantification de l'érosion hydrique

Les méthodes utilisées dans l'évaluation et la cartographie de l'érosion (actuelle et/ou risque) varient en fonction des objectifs, des moyens et des échelles de travail. La quantification peut se faire par :

- Mesures directes :
  - Simulation de pluie.
  - Mesures topographiques.
  
- Mesures indirectes :
  - Par des formules expérimentales.

Nous citerons dans ce qui suit quelques formules les plus utilisées.

### a. Formule de Henin 1950 :

Cette formule symbolise la relation existante entre l'érosion pluviale et les facteurs susceptibles de la favoriser ou de la limiter. La quantification de l'érosion spécifique « Es » est donnée par la formule suivante :

$$Es = (Ip * Is) / (K * Ve)$$

Avec

Ip : Intensité des précipitations (mm/h).

I : Pente du bassin versant; Les facteurs "IP" et "I" favorisent l'érosion

S : Susceptibilité des sols.

K : Perméabilité (m/s).

Ve : Végétation.

**b. Formule de Fournier (1960)**

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

Avec

**Ass** : apport solide spécifique (T/Km<sup>2</sup>/an).

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

**Pam** : précipitations moyennes annuelles (mm).

**h** : dénivelée moyenne (m).

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

**C .Formule de Tixeront (1960)**

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

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

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

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

Avec :

**Ass** : Apport solide spécifique en (T/Km<sup>2</sup>/an).

**E** : Ecoulement en (mm).

**d. . Formule de Grailovic (1960)**

Il a défini l'érosion spécifique, comme étant proportionnelle à la température, à la pluie et à un coefficient d'érosion.

$$Es = 3,14 . T . P_0 \sqrt{z}.$$

Où :

Es : érosion spécifique dans le bassin versant (T/km<sup>2</sup>/an)

T : coefficient de température :  $T = \sqrt{(t_0/10) + 0.1}$

Avec :

t<sub>0</sub> : température moyenne annuelle en 0C.

P<sub>0</sub> : pluie annuelle en (mm).



$Z$  : coefficient d'érosion :  $Z = y \cdot [x.a.] (\sigma + \sqrt{I \text{ moy}})$ .

Où :

$Y$  : valeur du coefficient de résistance du sol à l'érosion.

$[x.a.]$  : Coefficient de régularisation du bassin versant, se rapportant à la protection des sols, des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosives liées aux conditions naturelles. Il est aussi tabulé.

$\sigma$  : équivalent numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le Bassin versant.

$I \text{ moy}$  : indice de pente moyenne du bassin versant.

#### e. Formule de L'A.N.R.H (1970)

$$Tss = 26,62 Ie + 5,071 Ip + 9,77 Ct - 593,59 (1,13).$$

Avec :

**Tss** : transport solide spécifique moyen annuel (T/Km<sup>2</sup>/an).

**Ie** : indice lithologique (%).

**Ip** : indice des précipitations (%).

**Ct** : coefficient de torrencialité.

Cette formule est applicable dans les conditions suivantes :  $Ie > 10\%$  et  $Ip > 300$ .

**f. Formule de Wischmeier et Smith (1978)**

La moyenne annuelle des pertes de terres par hectare (A) est déterminée à partir de cinq facteurs :

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

**A** : perte en sol moyenne annuelle (T/Ha.an).

**R** : indice d'érosivité des précipitations (N/h).

**K** : indice d'érodibilité du sol, fonction de la texture, du taux d'humus, de la structure de la couche superficielle du sol ainsi que de sa perméabilité (T.h/N.Ha).

**LS** : indice topographique, fonction de la longueur (L) et de l'intensité (S) de la pente.

**C** : indice de couverture végétale et des pratiques culturales.

**P** : indice d'aménagement antiérosif.

**g. Formule de Sogreah**

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

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

**Avec :**

**Ass** : Apport solide spécifique (T/Km<sup>2</sup>/an).

**$\alpha$**  : Coefficient dépendant de la perméabilité du sol.

**E** : Ecoulement annuel (mm).

### III. Transport solide

#### III. 1. Définition du transport solide

Est le processus d'érosion, entraînant le transport et le dépôt de sédiments, le détachement des particules dans le processus d'érosion se produit suite à l'énergie cinétique de l'impact de la goutte de pluie, ou les forces générées par l'écoulement de l'eau, dès que la particule se détache elle est entraînée et transportée, ce transport dépend des dimensions et du poids de la particule, aussi des forces exercées par l'écoulement sur la particule (Vanoni, 1977).

#### III. 2. Modes de transport solide

Le transport solide total de sédiments est l'ensemble du transport des particules qui passent dans une section du cours d'eau, les sédiments sont transportés par plusieurs modes (Graf, 2000) :

##### a-Charriage

Si les particules restent en contact étroit avec le fond, elles se déplacent en glissant, roulant ou sautant. Ce mode concerne les particules relativement grandes



Figure (02) : Type du charriage ( Hadidi, 2008)

##### b- En Suspension

Les particules restent occasionnellement en contact avec le fond, elles se déplacent par bonds et restent souvent entourées d'eau. Cela concerne les particules relativement fines.

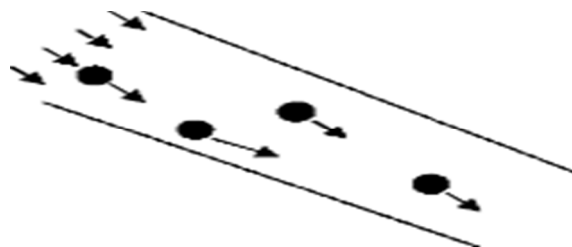


Figure (03) : transport en suspension. ( Hadidi, 2008)

#### IV. Bassin hydrographique

Un bassin hydrographique est la surface topographique drainée par un cours d'eau et ses affluents en amont de la section de telle façon que tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit traverser la section considérée, appelée exutoire pour poursuivre son trajet vers l'aval.

##### VI. 1. Station hydrométrique

Chaque micro-bassin est équipé d'une station hydrométrique permettant d'avoir les observations nécessaires de hauteur d'eau et de concentration en sédiments .Le niveau d'eau est mesuré par :

- Un limnigraphe ;
- Une échelle limnométrique.

En plus de cet équipement classique, des déversoirs munis d'un canal jaugeur y sont installés de vérifier la fiabilité des mesures (**Touaibia, 2000**).

##### VI. 2. Ampleur de l'érosion de l'Algérie

Le taux d'érosion spécifique atteint en Algérie les valeurs les plus importantes d'Afrique du nord, ce taux dépasse 2000 T/km<sup>2</sup>/an sur la majorité des bassins versant de l'Atlas tellien, il atteint 5000 T/km<sup>2</sup>/an sur le bassin Agnioun qui alimente le barrage de l'Ighilemda (Bejaia), on estime à 210.10<sup>6</sup> Tonnes, la quantité de sédiments c'est-à-dire 60.10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> rejetés en mer chaque année par les bassins de la méditerranée, l'intensité du phénomène se manifeste essentiellement en période de crues. Les concentrations supérieures à 200 g/l sont régulièrement observées lors des violentes crues orageuses d'été et d'automne. Donnons quelques valeurs de différents taux d'érosion de quelques barrages : (*Association ENHYD, 1994*) Hamiz : 2289.50 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an Ighil-Emda : 2556.77 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an Zardezas : 1824.40 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an ; Foum El-Gherza : 453.80 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an O. fodda: 2233.24 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an. (**Mémoire en ligne ; taux d'envasement**)

## V. Rappel Bibliographique des travaux entrepris sur l'érosion et le transport solide En Algérie

- **Tixeront (1960)** : Ses travaux sont basés sur les données de 32 bassins d'Algérie et 6 bassins de Tunisie, Dont la superficie varie de 90 à 22300 Km<sup>2</sup>.
- **Capolini et al., (1965-1969)** : ont montré par des travaux basés sur une étude Géomorphologique régionale sur le bassin versant l'Oued Cheliff et de ses principaux Affluent, qu'il existe une relation entre l'érosion et le transport solide ainsi il a abouti à plusieurs conclusions parmi lesquelles :
  - ✓ Une quantification des débits solides à partir de lithologie ;
  - ✓ L'existence d'une relation statistique entre l'érosion spécifique et le torrent ;
  - ✓ Possibilité de cartographe du coefficient de torrentialité (Ct).
- **Mohammed ACHITE, Bénina TOUAIBIA & Sylvain OUILLON** : ont étudié l'ampleur, les conséquences et les perspectives de l'érosion hydrique en Algérie du Nord.
- **Heusch (1970) et Demmak (1982)** : ont montré que la majorité des sédiments piégés dans les réservoirs proviennent du ravinement, des glissements de terrain, des éboulements des berges et de la divagation des oueds. En fonction des objectifs des projets de lutte antiérosive en vue de réduire les nuisances à l'aval ou de préserver le capital foncier des versants, ils ont cherché un compromis permettant d'intervenir dans les vallées pour piéger les sédiments et stabiliser les berges tout en aménageant les versants pour réduire et retarder le ruissellement (améliorations foncières, talus enherbés,). Des méthodes de calcul économique existent, qui permettent de choisir les interventions de lutte antiérosive les plus efficaces, en se basant sur les coûts des traitements antiérosifs.
- **Mohamed Mazour et Eric Roose** : ont travaillé sur l'influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur parcelles d'érosion dans des bassins versants du Nord-Ouest de l'Algérie.
- **Chebbani (1999)** : a démontré que les sols marneux lorsqu'ils sont secs restent non érodables, mais dès qu'ils atteignent une certaine humidité leur sensibilité à la détectabilité et au ruissellement augmente.
- **Touaibia.B (2001)** : dans ses études sur le bassin versant de l'Oued Mina, les zones marneuses sont sensibles à l'érosion hydrique et ont dépassé le seuil tolérable de **10 T/Ha.an**. Les rivières drainent souvent des collines et des montagnes marno-argileuses. Le courant provoque une érosion multiforme, avec la formation de ravins profonds et hiérarchiques, caractéristiques de mauvaises terres.
- **Megnounif et al , (2003)** : se sont intéressés au transport solide en suspension dans le bassin versant de l'Oued Tafna à Beni Bahdel. L'analyse de la variabilité de la charge en suspension quant aux fluctuations des régimes hydro-climatiques, pour la période

1988-1993, montre que la production des sédiments est très forte en automne mais de faible ampleur au printemps. L'été est caractérisé par quelques crues éphémères observées qui sont fortement chargées. Quant à l'automne, il présente à lui seul 44% du flux annuel estimé à **286 000 Tonnes**. Au printemps, malgré l'augmentation des débits (environ 60% de l'apport total annuel), la charge solide reste faible par rapport à l'automne.

- **Achite (2007)** : a défini différentes approches d'extension des données à partir de celles des hauteurs d'eau instantanées convertis en débits liquides en utilisant la relation débit solide-débit liquide développée à l'échelle des crues paraît meilleures que les autres approches proposées.
- **Bouaichi (2008)**, a contribué à la modélisation de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Cheliff, afin de quantifier la variable étudiée au droit des sous-bassins non jaugés de la région d'étude. L'action érosive est différente d'un site à un autre. Les principales zones productrices de sédiments se situent dans le haut et moyen Cheliff, ainsi que dans la partie sud de l'Oued Mina. En moyenne, le phénomène varie de **0,483 T/ha.an** au droit du barrage de Boughzoul à **41,61 T/ha.an** à la station de Bir Ouled Tahar (Oued Zeddine) pour des surfaces respectives de **20500** et **435 Km<sup>2</sup>**. La formulation du modèle est :  $Es = 48,43 S^{-0.16} * Dd^{0.68}$  ( $R^2 = 0,77$ ).
- **Zaibak (2008)**, a contribué à élaborer une approche à la fois analytique et synthétique du transport des sédiments en suspension dans les deux régions suivantes : le Bas Cheliff et le bassin versant de l'Oued Mina ainsi que le Haut et Moyen Cheliff, afin de réaliser une cartographie de l'érosion spécifique qui mettra en exergue les zones les Plus productives des sédiments.
- **Mekerta (2008)** : l'étude porte sur la caractérisation de la résistance au cisaillement des sédiments d'envasement de la retenue du barrage Fergoug situé au Nord – Ouest de l'Algérie. Les données des précipitations annuelles fournies par l'institut hydrométéorologique de formation et la recherche d'Oran pour une période de 34 ans (1970 à 2003), pour les deux stations de Ghriss et de Matemore ,ont permis d'estimer l'érosion spécifique effectuée sur le sous bassin versant de l'Oued Fergoug, et ont confirmé la grande irrégularité de l'érosion. La représentation graphique de la cohésion non drainée cu montre une certaine variabilité mécanique pour les tranches de profondeurs choisies.
- **Hallouz F, Meddi M (2013)** L'objectif principal de l'étude étant la compréhension du phénomène et l'estimation du transport solide en suspension, ce travail, basé sur les données observées, durant la période 1971-2002, a été conduit sur le bassin de l'Oued Mina. Ce bassin représente un échantillon des bassins du Nord de l'Algérie qui sont caractérisés par un taux de transport solide élevé en raison de nombreux facteurs mis en jeu.

**Conclusion**

L'érosion hydrique est une cause majeure de la dégradation des sols. Les caractéristiques de la pluie, du ruissellement, la longueur et degré de la pente du sol. L'érosion du sol est un phénomène discontinu dans l'espace et dans le temps, que l'on peut observer à différentes échelles. La quantification de l'érosion permet de comprendre les processus, de prévoir les flux et de mettre en place des stratégies de lutte contre l'érosion.

Ce chapitre fait l'objet d'une présentation du phénomène étudié, à travers la présentation de ses différents aspects et formes, causes et conséquences, méthodes de sa quantification ainsi que les différents travaux entrepris pour son étude.

## I. 1. Introduction

Le Cheliff est une exception notable parmi les Oueds Nord-Africains, c'est le seul oued qui draine une partie des hauts plateaux et l'un de ceux qui possèdent le cours le plus long et le débit le plus grand, il doit ses caractères à la structure profonde des régions qu'il traverse.

## I. 2. Situations géographiques et délimitation

Le bassin du Cheliff attribué du code 01 selon l'ANRH, s'étend entre les longitudes :  $0^{\circ} 7'$  et  $3^{\circ} 31'$  est et entre les latitudes  $33^{\circ} 53'$  et  $36^{\circ} 26'$  Nord, il se divise en deux régions distinctes :

- La partie amont du Cheliff avec une superficie de 20500 km<sup>2</sup>, elle est limitée au Sud par la montagne de Djebel Amour et du Nord par les montagnes de l'Ouarsenis ;
- La partie aval du Cheliff qui s'étend sur une surface de 23250 km<sup>2</sup> est limitée au Sud par les massifs de Tiaret, Saida, et l'Ouarsenis et au Nord par le Dahra et Béni Menacer ;

## II. Présentation de l'Oued Cheliff

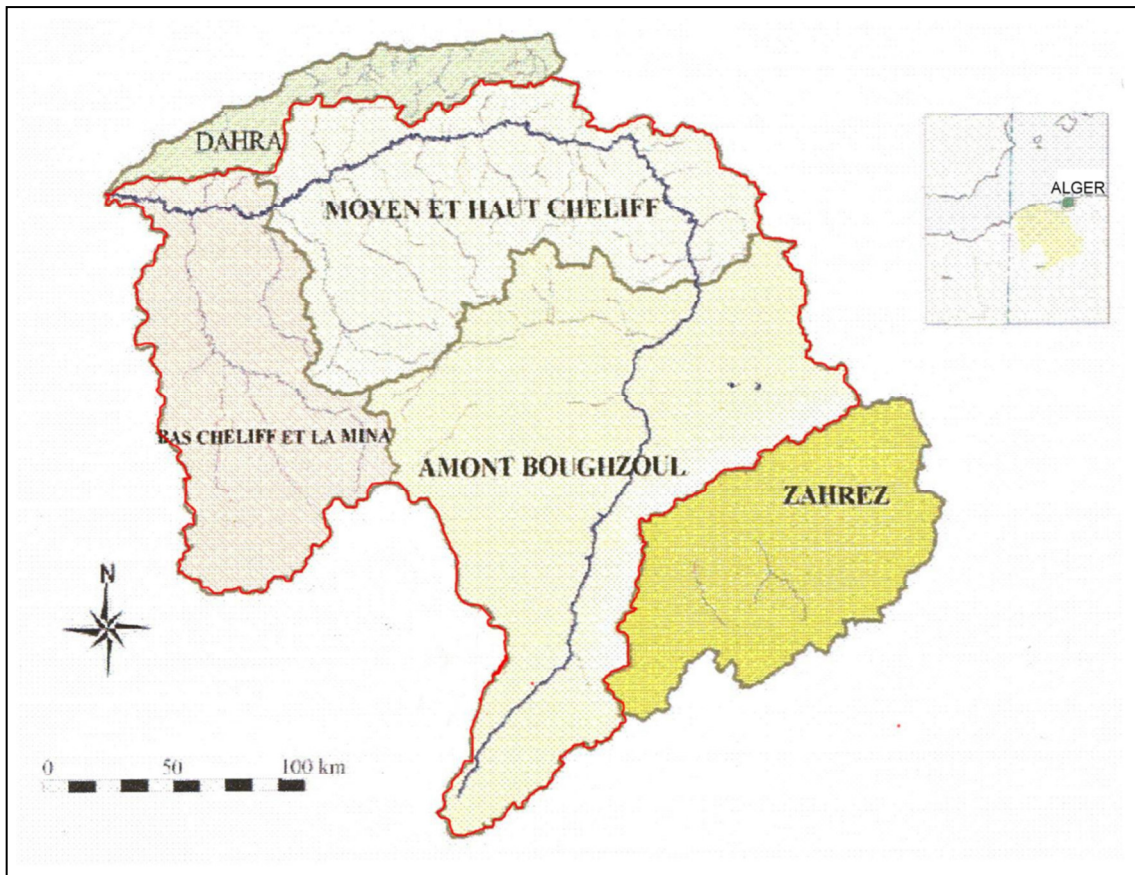
Est le plus important Oued d'Algérie. Long plus de 725 km, il prend sa source dans l'Atlas tellien, plus précisément dans le Djebel Amour culminant à 1 937 m, près d'Aflou et déverse dans la Mer Méditerranée près de Mostaganem. Peu navigable car trop capricieux, les eaux de cet Oued sont une richesse indispensable à différentes activités.

### II. 1. Présentation du bassin versant du Cheliff

Le Bassin Hydrographique du Cheliff couvre une superficie de 43 750 km<sup>2</sup> (soit plus de 22% de la superficie de l'Algérie du Nord). Il est limité naturellement au Nord par la Mer Méditerranée, à l'Ouest par la région Oranie –Chott Chergui, à l'Est par la région de l'Algéroise-Hodna-Soummam et la Zahrez et au Sud par le Sahara. Ses principaux bassins sont :

1. le bassin du Cheliff-amont du barrage de Boughzoul ;
2. le bassin du Haut et Moyen Cheliff ;
3. le bassin du Bas Cheliff et la Mina.



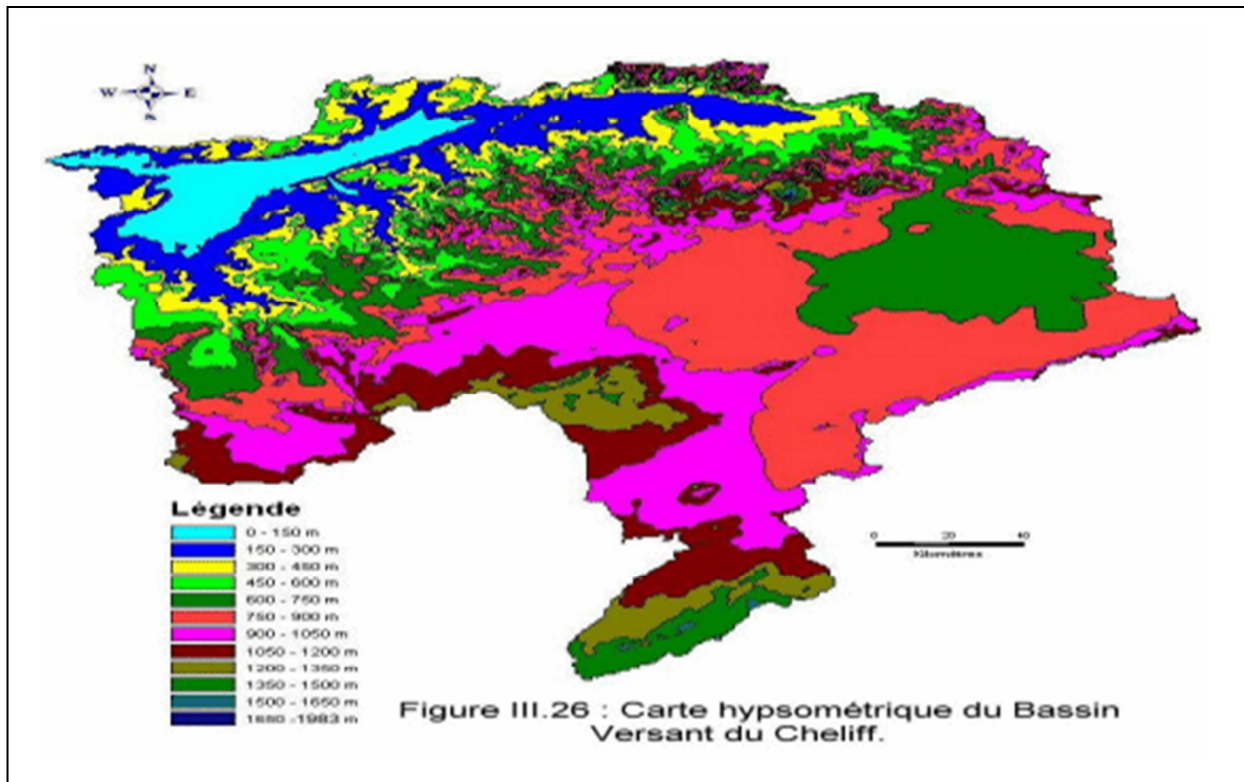


**Figure 04 :** schéma de localisation des principaux sous bassins de la région d'étude (ABH-CZ, 2004).

## **II. 2. Caractéristique physique générales du bassin versant du Cheliff**

### **II. 2.1. Relief**

Le bassin versant du Cheliff occupe une portion de l'Algérie dont l'orographie est à la fois simple et typique. Des chaînes montagneuses, parallèles à la côte, séparées par les zones déprimées ou par de hautes plaines. Ce bassin comporte une cuvette en succession et en parallèle du Nord-Sud inter-tellienne, ce qui constitue les hauts plateaux. Amont de Mohammédia, bassin de la Mina, qui draine les eaux du plateau de Freneda et Cheliff celle de Sers ou à travers Nahar Ouassel, les sous bassins de la rive droite et gauche du principal affluent de l'Oued Cheliff qui possède le cours d'eau le plus long et le débit le plus grand (ABH, 2004).



**Figure 05** : La carte hypsométrique du bassin versant du Cheliff (**Bouaichi**).

### III. 1.2. La géologie

Le bassin du Cheliff appartient aux bassins sédimentaires sublittoraux allongés Est -Ouest et mis en place après la dernière phase alpine de tectonique tangentielle. Au Nord, cette dépression est séparée de la mer par le Tell septentrional représentée par une suite de reliefs parallèles formés essentiellement de terrains jurassico-crétacés que l'on retrouve aussi dans la plaine (Dahra et massifs épi-métamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et Témoulga). Au sud, le bassin du Cheliff est limité par le Tell méridional représenté par un ensemble de massif montagneux où le substratum y est principalement marno-calcaire et correspond à l'allochtone tellien avec ses différentes nappes.

### II. 2.2. Activité Agricole

La région est à vocation agricole dans le bassin du Cheliff, les principales spéculations qui y sont pratiquées sont les céréales, les cultures industrielles, l'arboriculture fruitière et les légumes secs (**ABH, 2004**).

## II. 2.3. Végétation et occupation du sol

Le bassin versant du Cheliff est dans sa majeure partie affecté par un régime climatique semi-aride qui détermine la couverture végétale. En matière d'érosion des sols, c'est le facteur qui intervient le plus, ainsi les forêts (bois et broussailles) occupent plus de 40% de la superficie du haut et moyen Cheliff et 15% du bas Cheliff et la Mina, les prairies occupent une partie non négligeable du haut et moyen Cheliff avec un pourcentage de 20% situé à l'Est du bassin, les cultures et les terres arrosées sont concentrées au centre du bassin du Cheliff, le reste se sont des terres au repos et des sol nus tandis que l'Amont de Boughzoul est essentiellement couvert par le sable (ABH, 2006).

## II. 2.4. Caractéristiques du climat

Le climat du bassin du Cheliff est une transition entre le climat aride dans la partie Sud des hauts plateaux, semi-aride au Nord, il intervient principalement par sa composante hydrique (pluviométrie), qui régit fortement le régime des eaux souterraines et superficielles, du fait de son appartenance géographique à la zone aride et semi-aride. Le Cheliff est soumis à des conditions hydro-climatiques défavorables, caractérisées par :

- Des précipitations irrégulières, avec des variations interannuelles importantes ;
- Des régimes hydrologiques dominés par une forte irrégularité saisonnière et interannuelle des écoulements, il ya une violence des crues (ABH, 2006).

## II. 2.5. Température

Dans le bassin versant Cheliff, la température moyenne interannuelle varie entre valeur maximum mensuel à la wilaya de Chelf, Laghouat et Relizane, et la valeur minimum mensuelle enregistrée à la wilaya de Médéa, et Djelfa. Le tableau N° (01) résume les températures moyennes annuelles de la zone d'étude.

**Tableau 01** : Température moyenne annuelle (°C) du Cheliff, durant la période de 2009 à 2015 [01].

S/BV	Haut et du moyen Cheliff				Bas Cheliff et la Mina			Amont Boughzoul	
Villes Année	Chlef	Médéa	Miliana	Tipaza	Relizane	Mostaganem	Saida	Djelfa	Laghouat
<b>2009</b>	20,3	16,2	18,6	16,1	21,7	18,4	17,3	16,2	19,6
<b>2010</b>	19,7	15,7	18,1	17,1	21,1	18,3	17,6	16,7	20,0
<b>2011</b>	19,9	16,2	18,6	16,1	21,2	18,2	17,2	16,1	19,1
<b>2012</b>	19,8	16,5	18,8	17	20,8	17,7	16,6	16,5	19,6
<b>2013</b>	19,2	15,2	17,7	16,8	20,7	17,3	16,2	16,1	19,2
<b>2014</b>	20,2	16,6	19,1	17,3	21,7	17,8	17,2	16,9	19,8
<b>2015</b>	20,3	16,8	19,3	16,1	21,6	17,9	18,3	16,7	19,3
<b>MAX</b>	20,3	16,8	19,3	17,3	21,7	18,4	18,3	16,9	20,0
<b>MIN</b>	19,2	15,2	17,7	16,1	20,7	17,3	16,2	16,1	19,2
<b>Ecart</b>	1,1	1,6	1,6	1,2	1,0	1,1	2,1	0,8	0,8
<b>Moyenne</b>	19,9	16,1	18,6	16,6	21,2	17,9	17,2	16,4	19,5

## II. 2.6. Pluviométrie

L'évolution de la pluviométrie annuelle moyenne dans le tableau N° (02), pour les 10 points d'observations dans Cheliff, durant la période **2009 à 2015**, montre que la pluviométrie est très élevée dans la Haut et Moyen Cheliff (Miliana et Médéa), elle est plus basse dans l'Amont de Boughzoul (Djelfa) et moyenne pour Bas Cheliff et Mina (Relizane, Mostaganem et Saida).

**Tableau (02)** : la pluviométrie annuelle moyenne (mm) dans la période 2009 /2015 [02].

S/BV	Haut et du moyen Cheliff P (mm)				Bas Cheliff et la Mina P (mm)			Amont Boughzoul P (mm)	
Villes Année	Chlef	Médéa	Miliana	Tipaza	Relizane	Mostaganem	Saida	Djelfa	Laghouat
<b>2009</b>	424,97	753,63	908,80	428,49	330,46	267,70	496,70	394,70	705,60
<b>2010</b>	517,62	776,23	932,99	370,35	385,84	429,04	410,70	313,20	491,20
<b>2011</b>	577,11	853,70	918,24	530,66	342,18	428,76	411,50	328,93	621,40
<b>2012</b>	529,60	787,68	733,81	346,70	428,76	500,93	460,50	273,81	490,30
<b>2013</b>	505,18	845,88	898,69	258,62	388,38	557,29	542,70	239,55	563,70
<b>2014</b>	421,85	744,75	726,94	282,96	285	470,37	417,50	281,22	705,60
<b>2015</b>	255,51	703,50	568,19	504,20	256,04	299,46	388,50	257,57	492,40
<b>MAX</b>	577,11	853,70	932,99	504,20	428,76	557,29	542,70	394,70	705,60
<b>MIN</b>	255,51	703,50	568,19	258,62	256,04	267,49	388,50	239,55	490,30
<b>Ecart</b>	321,6	150,20	364,80	245,58	172,72	289,80	154,20	155,15	215,30
<b>Moyenne</b>	461,69	780,76	812,52	388,8	345,34	421,90	446,80	298,42	581,45

## II. 2.7. Evapotranspiration

Les données de l'évapotranspiration présentées dans le tableau N° (03) sont relevées à partir des stations climatiques réparties dans le Cheliff, ces données concernent l'évapotranspiration annuelle (ANRH 2015).

**Tableau (03):** Evapotranspiration annuelle (mm) pour les régions du bassin versant du Cheliff.

Région	Total Annuel (mm) par station et par région			
<b>Haut et Moyen Cheliff</b>	Ksar El Boukhari	Miliana	Theniet EL Had	Chelf
	1400	1334	1285	1542
<b>Bas Cheliff Et Mina</b>	Merdja	Tiaret	Bakhadda	Relizane
	1540	1385	1503	1505
<b>Amont de Boughzoul</b>	Aflou	Ksar	Chellala Dahmouni	Tissemssilt
	1426	1555	1445	1330

Source ANRH ,2015

## III. Ressources en eau superficielles

Dans le bassin versant existe un corps relativement important d'ouvrages de mobilisation des eaux qui modifie le régime des écoulements, ils sont tous situés dans la partie Nord du bassin, on y compte 16 en exploitations, parmi eux 10 sont présentés dans le tableau 04, ces derniers entre en considération dans notre étude.

**Tableau (04):** Ouvrages de Mobilisation des eaux dans le bassin versant du Cheliff .

Barrage	Localisation	Année de mise en eau	Oued	Capacité Initiale (hm <sup>3</sup> )	Capacité Dernier levé (hm <sup>3</sup> )	Apport Moyen (hm <sup>3</sup> /an)	Surface du BV Km <sup>2</sup>	R.N (m)	P.H.E (m)	Destination
<b>Harreza</b>	Ain Defla	1984	Harreza	70,0	76,6	30,8	142	313	314	*Irrigation du périmètre du haut Cheliff
<b>Deurdeur</b>	Miliana	1984	Deurdeur	115	105,1	45	468	605	610	*AEP de Tissemsilt *irrigation du périmètre de haut Cheliff
<b>Ghrib</b>	Ain Defla	1939	Cheliff	238	115,3	148,5	23300	432,0	432,5	*AEP de Médéa *irrigation Du périmètre Haut Cheliff
<b>Oued Fodda</b>	Chleff	1932	Fodda	228	102,8	120	800	370,5	374	*AEP de la wilaya de Chlef
<b>Sidi Yacoub</b>	Oued Ardjen	1985	ARDJEN	280,0	252,8	98,0	920,0	264,0	267,5	*AEP de Chlef *irrigation des périmètres Moyen et Bas Cheliff

Source (ANBT, 2004)

**Tableau (04):** Ouvrages de Mobilisation des eaux dans le bassin versant du Cheliff (suite)

Barrage	Localisation	Année de mise en eau	Oued	Capacité Initiale (hm <sup>3</sup> )	Capacité Dernier levé (hm <sup>3</sup> )	Apport Moyen (hm <sup>3</sup> /an)	Surface du BV Km <sup>2</sup>	R.N (m)	P.H.E (m)	Destination
<b>Ouled Mellouk</b>	Oued Rouina	2004	Rouina	127,0	119,0	47,5	865	243,4	247,0	*AEP des villes de Rouina ,Bourached et El Attaf
<b>SMBT</b>	Oued Abda	2005	Abda	75,0	–	76,0	273	317,0	322,1	*AEP des villes d' AinDefla, Arrib, khemis
<b>Merdjet sidi Abed</b>	Oued Rhiou	1984	Cheliff	58,0	47 ,9	40,0	44000	67,7	68 ,0	*AEP de couloir Oran *Irrigation du périmètre bas Cheliff
<b>Gargar</b>	Oued Rhiou	1988	Oued Rhiou	450,0	358,5	185,0	2900	118 ,0	129,7	*AEP de la ville d'Oran, Irrigation de Relizane
<b>SMBA</b>	Relizane	1977	Mina	241,0	153,7	148,5	4990	180 ,0	186,5	* AEP de Sidi M'hamed Ben Aouad et Relizane * Irrigation de la plaine de la Mina

### III. 1. Retenues collinaires

- A l'amont de Boughzoul, les retenues collinaires sont au nombre de 22 réparties comme suit : 02 dans le sous bassin 0101, 08 dans le sous bassin 0102, 02 dans le sous bassin 0103, 1 dans le sous bassin 0107, 7 dans le bassin 0110, et 02 dans le bassin 0111 ;
- Dans le Haut et Moyen Cheliff, le nombre de ces ouvrages est de 77 partagées comme suit: 2 dans sous bassin 0113 , 21 dans le sous bassin 0114 , 5 dans le sous bassin 0115 , 08 dans le sous bassin 0116 , 02 dans le sous bassin 0118 , 06 dans le sous bassin 0119 , 03 dans le sous bassin 0120 , 05 dans le sous bassin 0121 , 08 dans le sous bassin 0122 et 11 dans le sous bassin 0123 ;
- Pour le Bas Cheliff et Mina, elles sont au nombre de 61 retenues collinaires ayant la distribution suivante: 08 dans le sous bassin 0125 , 04 dans le sous bassin 0126 , 02 dans le sous bassin 0127 , 15 dans le sous bassin 0128 , 03 dans le bassin 01 29 , 01 dans le sous bassin 0130 , 01 dans le sous bassin 0131 , 02 dans le sous bassin 0133 , 10 dans le sous bassin 0134 , 06 dans le sous bassin 0135 et 10 dans le sous bassin 0136 .

### III. 2. Ressources en eau souterraines

Le BV Cheliff contient plusieurs hydrogéologique renfermant des nappes importantes exploitables tant pour l'AEP qui pour l'irrigation .Il se compose au Nord du sillon du Cheliff encadré par les 2 chaines telliennes Mont du Dahra et le massif de l'Ouarsenis, de nombreuses formations géologiques contiennent des eaux souterraines les plus anciennes sont attribuées au Jurassique et les plus récentes correspondent aux alluvions du quaternaires. Le sillon du Cheliff est compartimenté en 03 cuvettes, Haut, Moyen et Bas Cheliff séparés par 2 seuils, le seuil d'Ain Defla et celui d'Oum Drou. La région du Cheliff compte 42 nappes avec une potentialité de 330 Hm<sup>3</sup> /an. (ANRH, 2015).

### IV. Présentation des stations hydrométriques étudiées

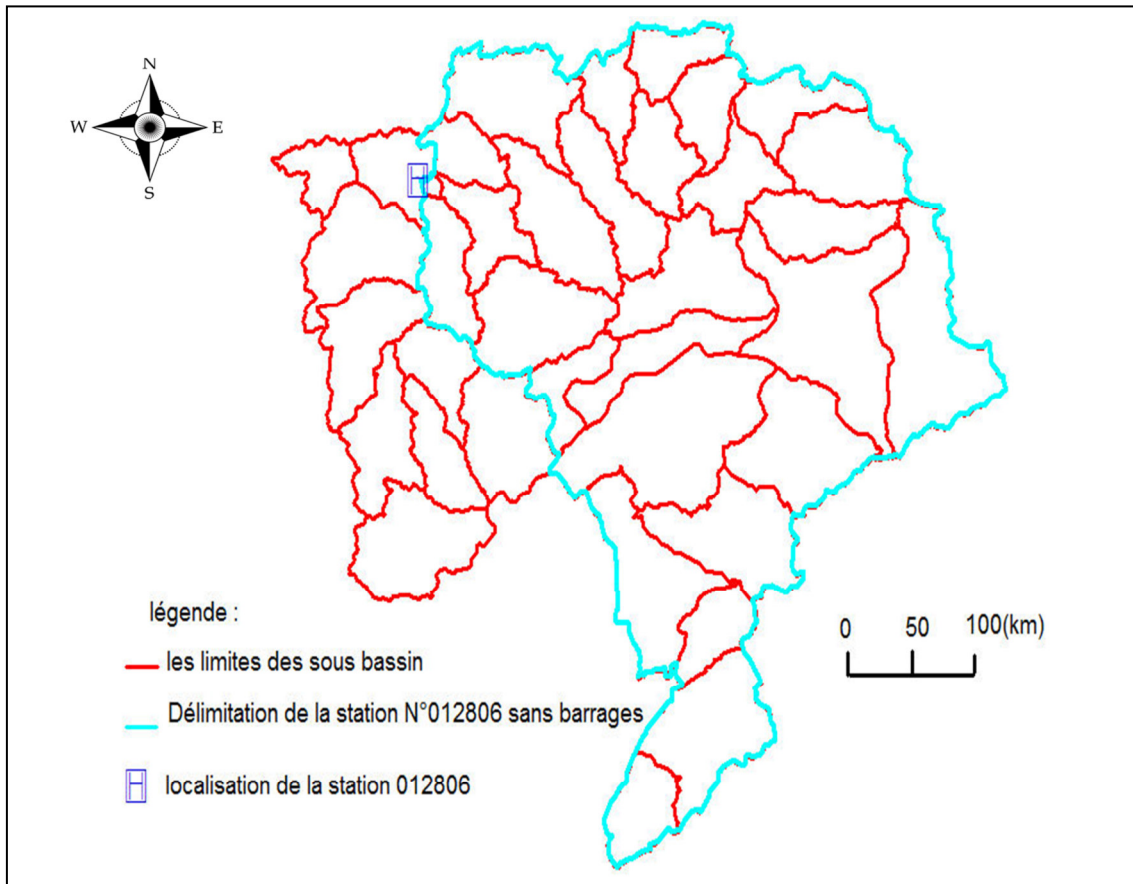
Les deux stations faisant l'objet de notre étude sont situées sur l'Oued Cheliff dans le sous bassin du Bas Cheliff et la Mina, elles servent à quantification les débits recueillis et transités tout au long de l'Oued principal, il s'agit en l'occurrence des stations de Djidiouia 012806 et Sidi Bel Attar 013602 implantées non loin de l'exutoire.

Pour les besoins de notre étude, nous avons délimité les bassins versants des stations 012806 et 013602, elles sont ainsi influencées chacune par 09 et 10 barrages respectivement tel que :

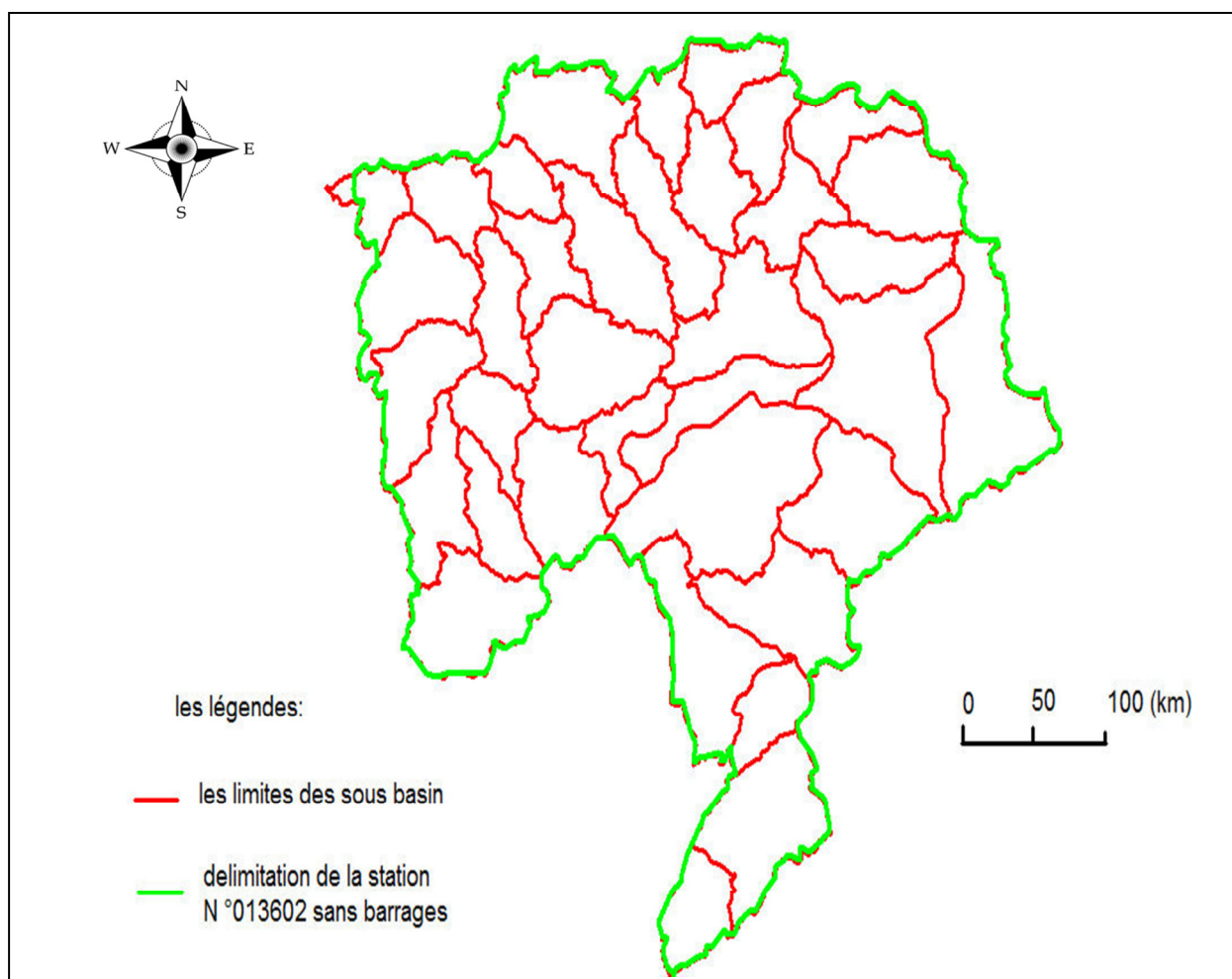
- Les barrages influençant la station 012806 sont : Gargar, Merdja sidi Abed, Sidi Yacoub, Sidi M'Hamed Ben Taïba, Deurdeur, Oued Fodda, Ouled Mellouk, Ghrib et Harezza ;
- Les barrages influençant la station 013602 sont les mêmes ouvrages que ceus de la station précédente plus celui de SMBA.



La délimitation des bassins versants des deux stations est présentée dans les deux figures 06 et 07.



**Figure 06 :** carte de délimitation du bassin versant de la station hydrométrique 012806.



**Figure 07 :** carte délimitation du bassin versant de la station hydrométrique N° 013601 Influencées par les lâchées des barrages.

## Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation du bassin versant du Cheliff du point de vue relief, géologique, végétation et occupation du sol, activités agricole, et caractéristiques climatiques ce bassin versant a été important en ressources superficielles et souterraines car le climat du bassin du Cheliff est une transition entre le climat aride dans la partie Sud des hauts plateaux ,semi-aride au Nord ,il intervient principalement par sa composante hydrique (pluviométrie) ;

Le bassin versant Cheliff a été choisi comme bassin d'étude vu son importance et sa situation stratégique.

## I. 1. Introduction

Ce chapitre fait l'objet d'une présentation des données qui seront utilisées tout au long de notre travail, leur collecte a été une étape fastidieuse qui a nécessité plusieurs déplacements à l'Agence National des Ressources Hydraulique d'Alger et d'Oran (ANRH), ainsi qu'à la direction générale de l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT-Alger).

## I. 2. Présentation des organismes ayant fourni les données

**ANRH :** Agence National des Ressources Hydraulique, est un établissement public à caractère administratif, à vocation scientifique et technique.

L'ANRH a pour missions :

- La collecte, le traitement et la mise à jour des informations relatives aux ressources en eau et en sol ;
- La prospection et l'évaluation des ressources en eau et en sol ;
- Le suivi de la ressource au plan quantitatif et qualitatif ;
- La préservation, la protection et sauvegarde de la ressource.

Le déplacement à l'Agence National des Ressources Hydrique d'Alger, n'a pas été beaucoup fructueux car les données ne sont pas actualisées à leur niveau, ce qui nous a conditionné à se déplacer à leur direction régionale d'Oran afin d'actualiser notre base de données jusqu'à l'année 2012-2013, car les deux stations hydrométriques prises en considération dans le cadre de notre étude sont couvertes par cette dernière.

**ANBT :** L'Agence Nationale Des Barrages (ANB), créée sous la forme d'un établissement public à caractère administratif algérien en 1985 par le décret n° 85-163, est un établissement public à caractère industriel et commercial et devenir Agence Nationale Des Barrages et Transfert en 2005.

L'ANBT est responsable de la mobilisation des ressources en eau afin d'assurer l'alimentation en eau potable et l'irrigation. À cette fin, elle contrôle et surveille les ouvrages des retenues d'eau et les systèmes de transfert visant à maintenir l'approvisionnement continu.

L'Agence fournit également des études, notamment sur les réserves d'eau exploitables et la qualité de l'eau. Les levés bathymétriques des 10 barrages influençant les deux stations de notre étude ont été récupérés auprès de cet organisme étatique ainsi que les lâchées des 20 dernières années de chaque barrage.

## I. 1. Matériel et Méthodes

### I. 1.1. Données utilisées

- les débits liquides instantanés ou débits des crues ( $m^3/s$ ), obtenus à partir des barèmes d'étalonnage établis par l'ANRH d'Oran ;
- les concentrations journalières instantanées  $C$  (g/l), obtenues à partir des fiches d'analyse des eaux ;
- les débits solides instantanés  $Q_s$  (Kg/s) ;
- un fichier traité sous forme d'annuaire du débit moyen journalier ( $m^3/s$ ) de chaque station hydrométrique;
- un fichier des données de lâchées des barrages (date, cote, surface, réserve, utilisation, (AEP, irrigation), fuite,...) fourni par les barrages suivant : Gargar, Merdja sidi abed, sidi Yacoub, oued Fodda, Harreza, Deurdeur, Ghrib, SMBA, Ouled Mellouk, SMBT ;
- les levés bathymétriques de chaque barrage.

### I. 1.2. Formes des données

Pour chaque station hydrométrique, la donnée se présente sous 2 formes de fichiers, à savoir :

- Un original de mesures instantanées : date, heure, hauteur d'eau, concentration en éléments fins ;
- Un fichier traité sous forme d'annuaire de débit moyen journalier.

La mise en forme du premier fichier et la vérification des archives non traitées a été l'étape la plus longue et la plus difficile consistant à partir des barèmes d'étalonnage fournis par les différentes courbes de tarages, d'établir manuellement la correspondance entre la hauteur d'eau mesurée à la station et le débit liquide donné par le tarage, à chaque fois que la valeur de la concentration en éléments fins existe.

Il y a lieu de remarquer qu'à chaque fois qu'il y a eu crue, il y a détarage de la station de telle sorte que l'on retrouve parfois 6 barèmes d'étalonnage dans l'année et ce, pour chaque année, vu l'irrégularité de l'écoulement.

A partir des jaugeages, nous avons constitué un seul et unique fichier comprenant :- date-heure- hauteur d'eau- concentration en éléments fins- débit liquide débit solide. Ainsi, les valeurs des débits liquides  $Q_l$  et solide  $Q_s$  sont des valeurs instantanées, qui n'existent que lorsqu'il y a jaugeage de débit. Du coup, nous nous confrontons à un manque de données de valeurs instantanées que l'on ne peut même pas homogénéiser puisque la valeur de la hauteur d'eau instantanée mesurée n'est pas disponible.

Nous nous contenterons de travailler avec le fichier de débit moyen journalier pour l'homogénéisation des débits solides et la quantification de l'érosion spécifique (Touaibia, 2000).

### **I. 1.3. logiciels utilisés**

- **Office Excel (2007)** : téléchargement gratuitement, utilisé pour les calculs ;
- **MapInfo 7.5.**

#### **a. Présentation du logiciel (MapInfo 7.5)**

MapInfo est un logiciel permettant d'exploiter un système d'information géographique (SIG).

Un logiciel SIG permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour, la manipulation, et le traitement des données géographique. De plus, il permet de faire la cartographie et l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée.

Le principe directeur d'un SIG est le suivant : nous avons d'un coté les données géométriques et de l'autre les données attributaires. Ces données sont stockées sous format numérique et organisée par couches (appelées « tables » dans MapInfo).

### **I. 1.4. Principales méthodes utilisées**

- Méthode bathymétrique ;
- Méthode hydrométrique.

## II. Notions de calcul d'érosion spécifique

### II. 1. Volume envasé

C'est la différence des volumes entre la capacité initiale et la capacité finale du dernier levé bathymétrique des barrages.

### II. 2. Nombre d'années

C'est la différence en année entre celle du dernier levé bathymétrique effectué et l'année de mise en eau du barrage.

### II. 3. Erosion spécifique

L'érosion spécifique est le volume de vase déposé annuellement sur la surface de chaque bassin versant, elle est exprimée en **T/Km<sup>2</sup>.an** ou **T/ha.an**.

### II. 4. Taux d'envasement

Le rapport entre le volume de vase sur la capacité initiale du barrage, il est exprimé **T/ha.an**.

## III. Calcul de l'érosion spécifique

Le calcul se fait par :

- Les données des derniers levés bathymétriques au droit des barrages ;
- La quantification de l'érosion par la méthode hydrométrique au droit des stations de mesure.

## III. 1. Calcul par la méthode bathymétrique au droit des barrages

## III. 1.1.1. caractéristique des barrages

Tableau (05) : présentation des caractéristiques des dix barrages.

Barrages	Année de mise en eau	Capacité initiale (Mm <sup>3</sup> )	Année de dernier levé bathymétrique	Capacité de dernier levé bathymétrique (Mm <sup>3</sup> )	Surface du bassin versant (km <sup>2</sup> )	nombres d'années	Envasement (Mm <sup>3</sup> /an)
Gargar	1988	450	2004	358.53	2900	16	4.5
Merdja sidi abed	1984	58	2004	47.97	400	20	0.59
Sidi Yacoub	1985	280	2004	252.85	920	19	0.17
Oued Fodda	1932	228	2004	102.85	800	72	2.66
Harreza	1984	70	2004	76.65	142	20	0.28
Deurdeur	1984	115	2004	105.12	468	20	0.83
Ghrib	1939	280	2004	115.30	23 300	65	3.2
Ouled Mellouk	2004	127	2006	119.04	865	2	1.4
SMBT	2005	75	/	/	273	/	0.4
SMBA	1977	241	2003	153.71	4 990	26	1

ANBT, 2012

Calculer l'érosion spécifique par la méthode bathymétrique a pour étapes :

- calculer la différence entre la capacité initiale du barrage et la capacité finale (dernier levés) ;
- diviser le résultat obtenu sur la surface du bassin versant du barrage et sur le nombre d'années afin d'obtenir l'érosion spécifique **Es**.

$$\text{Taux d'envasement} = (\text{capacité initiale} - \text{capacité finale}) / \text{capacité initiale}$$

### III. 2. Calcul par la méthode hydrométrique au droit des stations

#### III. 2.1. Méthode de travail

Le but de ce travail à travers le traitement des débits instantanés est de voir comment se présente l'écoulement durant la période hydrologique allant de 1957/1958 à 2012/2013.

Quelles est la meilleure corrélation, pouvant nous aider dans la recherche des modèles entre le débit solide-débit liquide pour le bassin versant des deux station hydrométrique 012806 et 013602.

Il existe donc une relation entre les débits liquides et les débits solides. Pour calculer ces derniers, on procède comme suit : les débits liquides instantanés exprimés en  $m^3/s$  sont obtenus à travers les débits solides instantanés par l'intermédiaire des concentrations qui sont exprimées en gramme par litre via la relation  $Q_s = C \cdot Q_l$ .

En général cette méthode consiste à apporter la donnée point par point puis à ajuster une équation à partir de nuage de points  $Q_s = f(Q_l)$ .

Les principaux modèles régressifs sont :

- Le modèle linéaire :  $Y = a + b X$  ;
- Le modèle Polynomiale :  $Y = a + b X + c X^2$  ;
- Le modèle Exponentiel :  $Y = a e^{bX}$  ;
- Le modèle puissance :  $Y = a X^b$  ;
- Le modèle Logarithmique :  $Y = a \ln X + b$  (**Chenaoui, 2001**).

#### III. 2.2. Mise en forme et traitement des données

L'homogénéisation des données consiste à déterminer des relations régressives entre deux variables mesurés, permettant ainsi de combler les lacunes et d'étendre les séries à partir de celles de données existantes. Avant la recherche d'un modèle régressif quelconque, les données sont mises en graphe, l'allure de ce dernier peut justifier l'existence d'une relation mathématique et orienter le choix du modèle. Le choix du meilleur modèle est fait au vu des valeurs du coefficient de corrélation  $R^2$  (**Achite et al, 2007**).



Pour homogénéiser les séries du transport solide en suspension, plusieurs approches de traitement peuvent être tentées dont le but est de trouver un modèle mathématique pouvant expliquer la relation débit liquide-débit solide à savoir :

- Echelle interannuelle ;
- Echelle annuelle ;
- Echelle mensuelle ;
- Echelle saisonnière ;
- Echelle humide et période sèches ;
- Echelle humides et années sèches ;
- Echelle journalière ;
- Echelle instantanée.

Cependant, l'approche basée sur l'homogénéisation et l'extension des données à partir des données des hauteurs d'eau instantanées convertis en débits liquides en utilisant la relation débit solide-débit liquide développée à l'échelle mensuelle paraît meilleure que les autres approches proposées (**Achite, 2007**). Cette variation est liée essentiellement au nombre de mesures du transport solide effectuées dans l'année considérée.

Les paramètres statistiques des variables étudiées (concentration, débit liquide et débit solide) sont donnés par les deux stations ce qui suit.

**Tableau 06** : paramètres statistiques des variables étudiées de la station 012806 à l'échelle interannuelle pendant la période de 1973/1974 à 2012/2013.

Nombre observation	Variable hydrométriques	Paramètres statistique.					
		max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient De variation Cv	Etendue (Max-Min)
8119	C (g/l)	380	0,02	14,74	28,12	1,91	379.98
	Ql (m <sup>3</sup> /s)	327,3	0,002	17,07	28,76	1,68	327.298
	Qs (Kg/s)	28726,12	0,001	336,66	910,61	2,70	28726.12

A travers le tableau, nous constatons que les valeurs du coefficient de variation sont de **1.68** pour les débits liquides, **1.91** pour la concentration et pour les débits solides **2.70**, sachant que le Cv rapporte l'écart-type de l'estimation à la valeur de cette estimation, de ce fait, plus sa valeur est faible, plus l'estimation est précise.

**Tableau 07** : Paramètres statistiques des variables étudiées à la station 012806 à l'échelle mensuelle pendant la période de 1973/1974 à 2012/2013.

Mois	Variables Hodrométriques	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Cv	Etendue (Max - Min)
Septembre	C (g/l)	239,14	0,02	28,85	49,57	1,72	239,12
	QI (m3/s)	179	0,004	6,11	18,15	2,97	179,00
	Qs (Kg/s)	18571,43	0,001	401,87	1669,99	4,15	18571,43
Octobre	C (g/l)	380	0,02	34,45	57,82	1,68	379,98
	QI (m3/s)	129,18	0,006	4,79	13,37	2,79	129,17
	Qs (Kg/s)	28726,12	0,001	282,80	1439,08	5,09	28726,12
Novembre	C (g/l)	190,46	0,02	23,85	33,06	1,39	190,44
	QI (m3/s)	112,4	0,0275	12,18	16,51	1,35	112,37
	Qs (Kg/s)	3751,74	0,001	429,16	767,85	1,79	3751,74
Décembre	C (g/l)	140	0,04	14,55	17,66	1,21	139,96
	QI (m3/s)	169,05	0,00875	15,82	24,33	1,54	169,04
	Qs (Kg/s)	4787,19	0,007	315,43	593,94	1,89	4787,19
Janvier	C (g/l)	380	0,02	15,14	28,41	1,89	379,98
	QI (m3/s)	327,3	0,002	17,16	28,69	1,67	327,30
	Qs (Kg/s)	28726,12	0,001	345,61	921,40	2,67	28726,12
Février	C (g/l)	87,5	0,04	12,77	16,82	1,32	87,46
	QI (m3/s)	327,3	0,14	37,53	47,71	1,27	327,16
	Qs (Kg/s)	11537,32	0,051	612,45	1183,26	1,93	11537,27
Mars	C (g/l)	120	0,02	8,98	12,34	1,370	119,98
	QI (m3/s)	183,28	0,065	33,85	31,97	0,94	183,22
	Qs (Kg/s)	4399,37	0,036	397,71	707,57	1,78	4399,33
Avril	C (g/l)	152	0,02	7,68	20,30	2,64	151,98
	QI (m3/s)	112,52	0,003	9,07	12,97	1,43	112,52
	Qs (Kg/s)	3717,6	0,001	115,59	426,39	3,69	3717,60
Mai	C (g/l)	318	0,02	18,88	33,91	1,79	317,98
	QI (m3/s)	49,7	0,002	5,67	7,23	1,27	49,70
	Qs (Kg/s)	6769,584	0,001	198,25	562,41	2,84	6769,58
Juin	C (g/l)	69	0,02	6,60	15,30	2,32	68,98
	QI (m3/s)	19,94	0,003	2,33	3,34	1,43	19,94
	Qs (Kg/s)	761,17	0,001	28,84	97,30	3,37	761,17
Juillet	C (g/l)	1,41	0,02	0,22	0,22	1,02	1,39
	QI (m3/s)	14,36	0,003	1,73	2,00	1,15	14,36
	Qs (Kg/s)	5,243	0,001	0,30	0,53	1,82	5,24
Août	C (g/l)	7,82	0,02	0,32	0,59	1,84	7,80
	QI (m3/s)	10,56	0,02	2,27	2,40	1,09	10,54
	Qs (Kg/s)	12,778	0,002	0,79	1,76	2,24	12,78

**Tableau 08** : paramètres statistiques des variables étudiées de la station 013602 à l'échelle interannuelle pendant la période de 1957/1958 à 2012/2013.

		Paramètres statistique.					
Nombre observation	Variable hydrométriques	max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient De variation	Etendue (Max-Min)
5646	C (g/l)	361,76	0,02	26,13	35,92	0,72	361,74
	Ql (m <sup>3</sup> /s)	2360	0	61,18	128,48	0,47	2360
	Qs (Kg/s)	106789,72	0	2221,95	6519,27	0,34	106789,72

A cette échelle interannuelle, nous constatons que les valeurs du coefficient de variation sont de **0.47** Pour les débits liquides, **0.72** pour la concentration et pour les débits solides **0.34**, plus sa valeur est faible, plus l'estimation est précise

**Tableau 09** : Paramètres statistiques des variables étudiées à la station 013602 à l'échelle mensuelle pendant la période de 1957/1958 à 2012/2013.

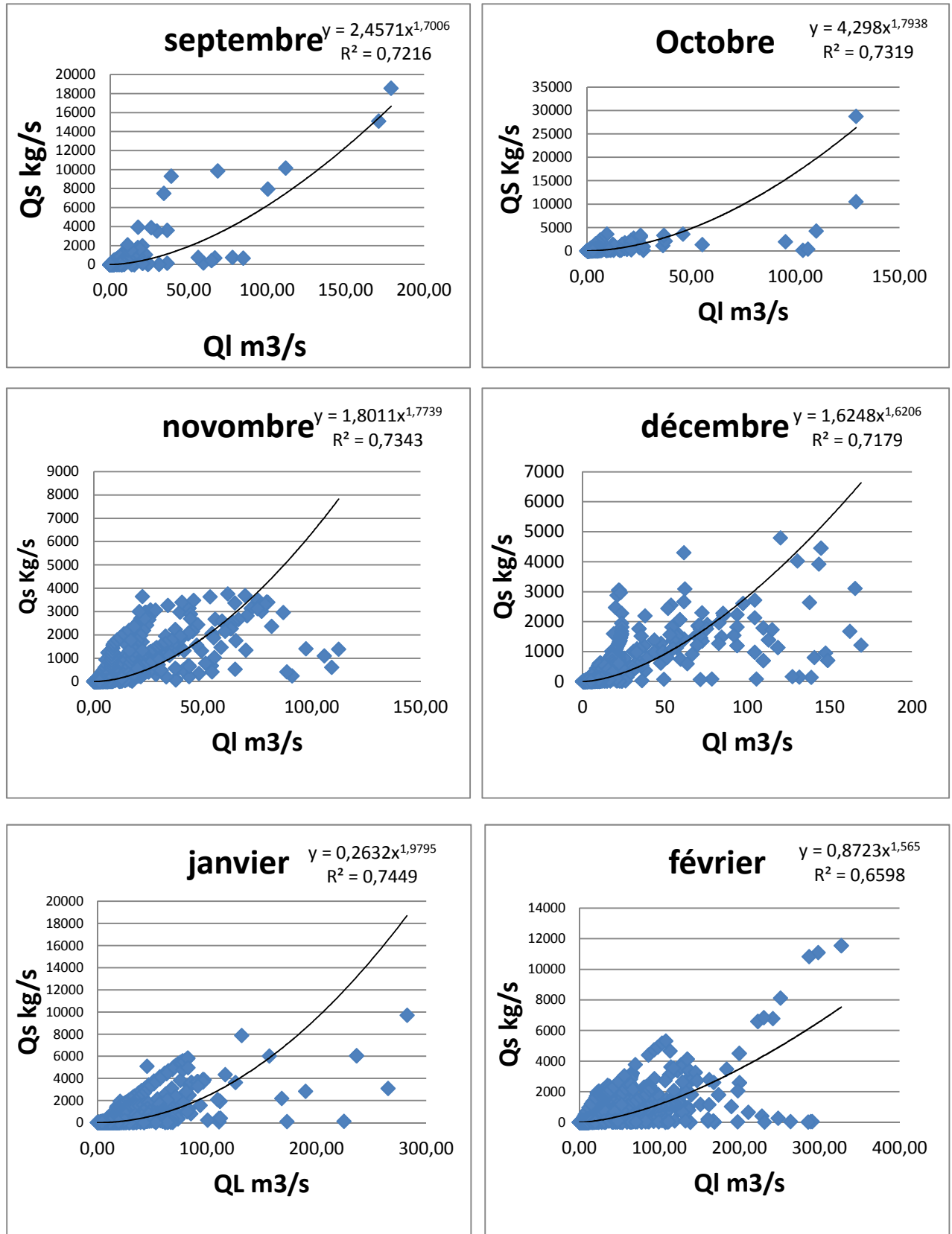
Mois	Nombre d'observation	Variables Hodrométriques	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Cv	Etendue (Max - Min)
Septembre	255	C (g/l)	261,88	0,50	52,25	61,02	1,17	261,38
		QI (m3/s)	309,00	0,012	19,30	37,99	1,97	308,99
		Qs (Kg/s)	62705,37	0,028	2127,62	6952,40	3,27	62705,34
Octobre	691	C (g/l)	361,76	0,28	56,68	55,99	0,99	361,48
		QI (m3/s)	657,00	0,05	44,52	67,77	1,52	656,95
		Qs (Kg/s)	74129,60	0,05	3543,94	7172,48	2,02	74129,55
Novembre	621	C (g/l)	240,18	0,02	31,73	35,22	1,11	240,16
		QI (m3/s)	521,90	0,011	34,51	62,10	1,80	521,89
		Qs (Kg/s)	34650,00	0,003	1811,16	4170,69	2,30	34650,00
Décembre	651	C (g/l)	163,92	0,16	20,31	23,26	1,15	163,76
		QI (m3/s)	1090,00	0,002	55,66	101,57	1,82	1090,00
		Qs (Kg/s)	65664,95	0,006	1922,34	5405,30	2,81	65664,94
Janvier	869	C (g/l)	121,90	0,24	18,63	21,48	1,15	121,66
		QI (m3/s)	2360,00	0,0044	62,15	149,58	2,41	2360,00
		Qs (Kg/s)	103428,00	0,003	1768,84	6418,40	3,63	103428,00
Février	766	C (g/l)	202,00	0,26	17,70	18,75	1,06	201,74
		QI (m3/s)	1090,00	0,018	109,70	149,30	1,36	1089,98
		Qs (Kg/s)	56026,00	0,20	3028,60	6271,65	2,07	56025,80
Mars	764	C (g/l)	145,00	0,20	17,84	21,04	1,18	144,80
		QI (m3/s)	1782,80	0,18	101,41	212,89	2,10	1782,62
		Qs (Kg/s)	106789,72	0,262	3191,46	10489,56	3,29	106789,46
Avril	518	C (g/l)	159,98	0,26	14,70	22,56	1,53	159,72
		QI (m3/s)	881,00	0,23	49,63	86,81	1,75	880,77
		Qs (Kg/s)	27534,00	0,121	1295,74	3938,45	3,04	27533,88
Mai	350	C (g/l)	295,72	0,5	20,16	33,91	1,68	295,22
		QI (m3/s)	496,00	0,318	30,00	52,26	1,74	495,68
		Qs (Kg/s)	16159,68	1,238	601,53	1422,91	2,37	16158,44
Juin	107	C (g/l)	171,58	0,10	22,62	33,42	1,48	171,48
		QI (m3/s)	121,24	0,246	13,90	17,72	1,27	120,99
		Qs (Kg/s)	3887,60	0,576	343,33	669,97	1,95	3887,02
Juillet	40	C (g/l)	242,74	0,30	41,00	62,51	1,52	242,44
		QI (m3/s)	46,00	0,318	6,66	9,84	1,48	45,68
		Qs (Kg/s)	6113,40	0,261	448,86	1139,36	2,54	6113,14
Août	14	C (g/l)	155,24	1,10	23,54	41,18	1,75	154,14
		QI (m3/s)	15,20	0,017	3,06	4,90	1,60	15,18
		Qs (Kg/s)	2359,65	0,037	226,34	639,48	2,83	2359,61

**III. 2.3. Relation débit liquide instantané-débit solide instantané**

Au niveau mensuel les corrélations sont meilleures. La représentation des valeurs permet de nous montrer l'allure du graphe. Les calculs de régression sous différentes formes ont permis de conclure que la forme puissance est la plus acceptable, car elle présente les valeurs les plus élevées en majorité du coefficient de détermination «  $R^2$  ».

**a- Représentation graphique de la relation débit liquide – débit solide à l'échelle mensuelle à la station 012806**

La représentation graphique de la relation (Qs-Ql) à l'échelle mensuelle, illustre bien une relation de type en puissance donnée par l'équation :  $Y = aX^b$



**Figure 08** : distribution mensuelle reliant les débits solides aux débits liquides à la station 012806.

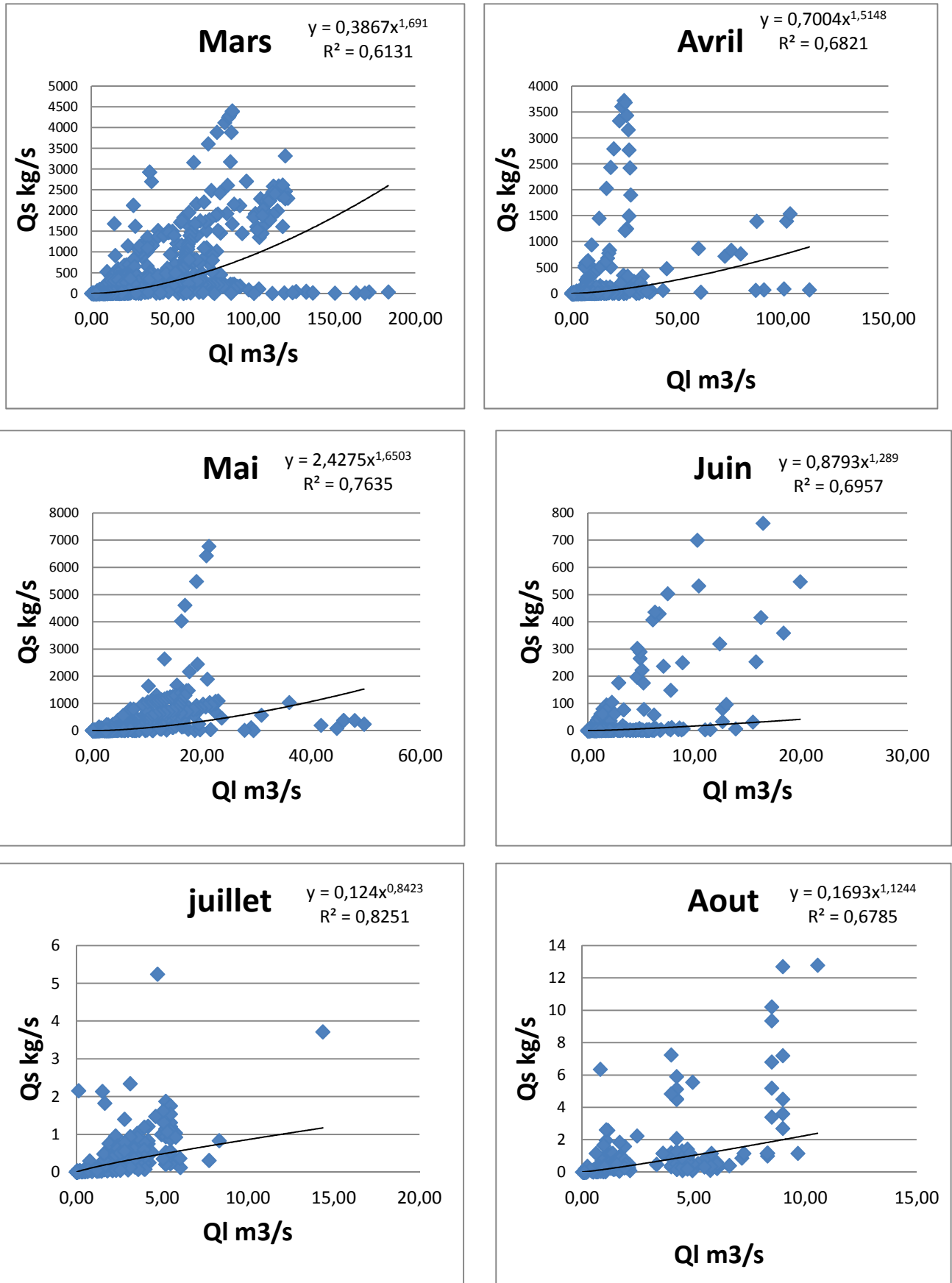


Figure 09 : distribution mensuelle reliant les débits solides aux débits liquides à la station 012806 (suite)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau et le couple  $Q_s=f(Q_l)$ .

**Tableau 10** : résultats de corrélation des différents modèles à la station 012806.

Echelle mensuelle	Nombre d'échantillons	Modèle R <sup>2</sup>					Modèle retenu
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	$Q_s = f(Q_l)$
Septembre	370	0,71	0,17	0,75	0,72	0,21	$2,457Q_l^{1,7}$
Octobre	511	0,45	0,09	0,50	0,73	0,16	$4,298Q_l^{1,793}$
Novembre	895	0,53	0,33	0,59	0,73	0,37	$1,801Q_l^{1,773}$
Décembre	1109	0,51	0,30	0,58	0,72	0,27	$1,624Q_l^{1,620}$
Janvier	7906	0,37	0,16	0,37	0,72	0,27	$0,263Q_l^{1,979}$
Février	1073	0,45	0,27	0,46	0,66	0,29	$0,872Q_l^{1,565}$
Mars	900	0,33	0,24	0,35	0,61	0,34	$0,386Q_l^{1,691}$
Avril	684	0,12	0,07	0,16	0,68	0,25	$0,7 Q_l^{1,514}$
Mai	696	0,21	0,12	0,28	0,76	0,39	$2,427Q_l^{1,65}$
Juin	352	0,34	0,12	0,38	0,69	0,41	$0,879Q_l^{1,289}$
Juillet	296	0,40	0,23	0,41	0,82	0,59	$0,124Q_l^{0,842}$
Août	277	0,32	0,17	0,41	0,68	0,41	$0,169Q_l^{1,124}$

b- Représentation graphique de la relation débit liquide – débit solide à l'échelle mensuelle à la station 013602



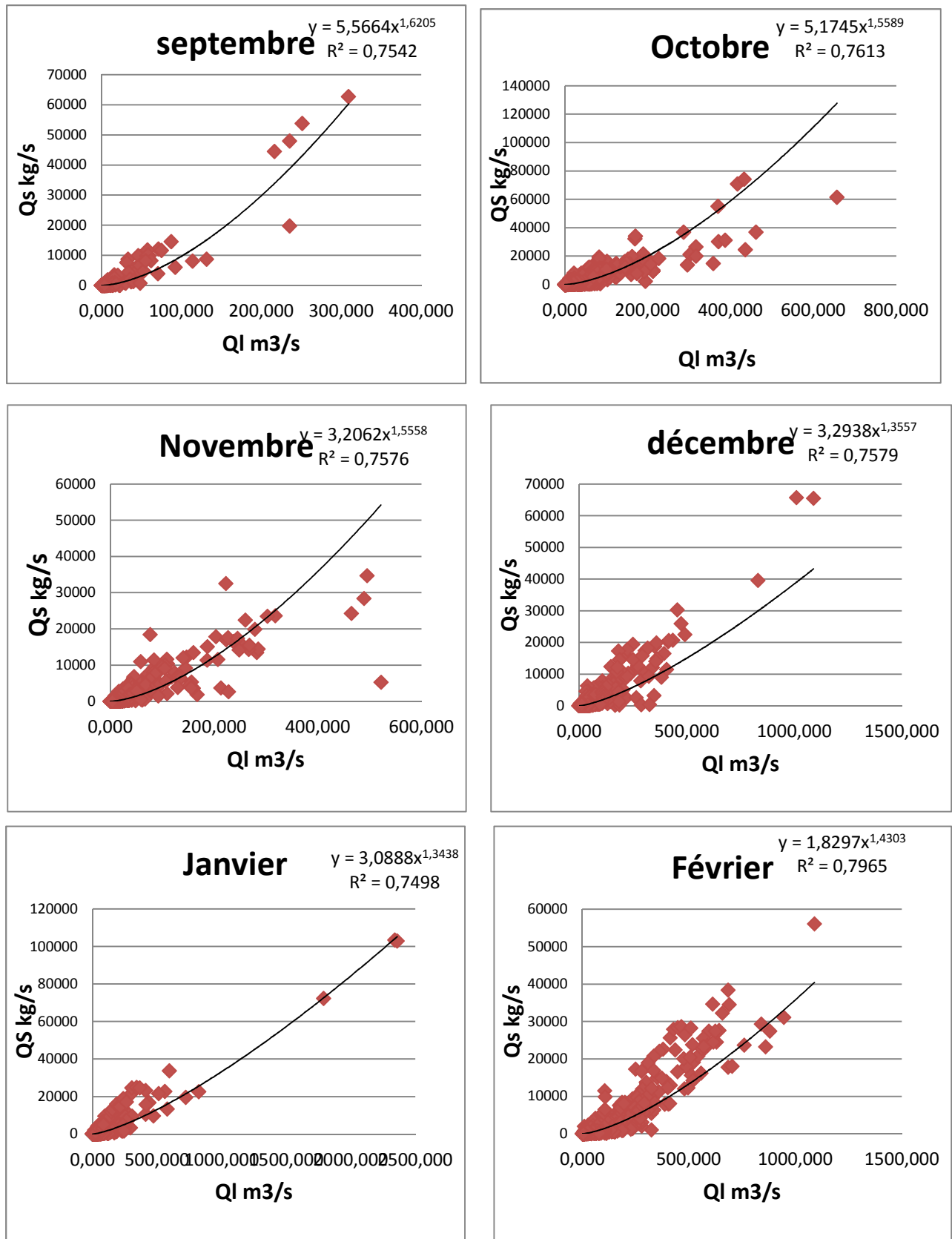


Figure 10 : distribution mensuelle reliant les débits solides aux débits liquides à la station 013602

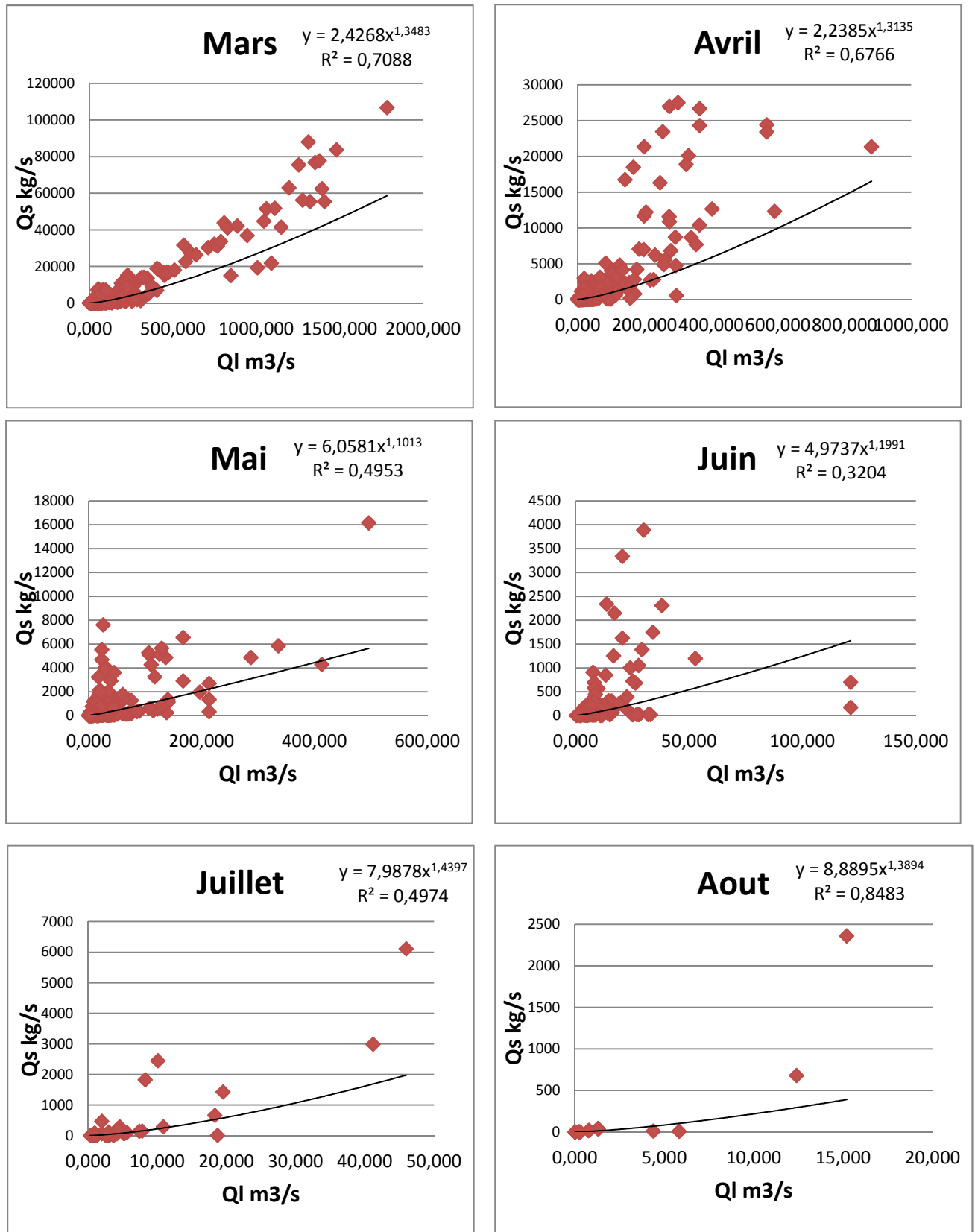


Figure 11 : distribution mensuelle reliant les débits solides aux débits liquides à la station 013602 (suite)

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau et le couple  $Q_s=f(QI)$ .

**Tableau (11) :** résultats de corrélation des différents modèles à la station 013602.

Echelle mensuelle	N	Modèle $R^2$					Modèle retenu
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	$Q_s = f(QI)$
Septembre	255	0,76	0,25	0,80	0,87	0,33	$5,57QI^{1,62}$
Octobre	690	0,76	0,35	0,77	0,86	0,36	$5,17QI^{1,56}$
Novembre	620	0,75	0,34	0,77	0,81	0,33	$3,21QI^{1,56}$
Décembre	650	0,84	0,26	0,88	0,89	0,37	$3,3QI^{1,36}$
Janvier	869	0,79	0,17	0,80	0,85	0,21	$3,1QI^{1,34}$
Février	766	0,83	0,37	0,84	0,80	0,50	$1,83QI^{1,43}$
Mars	764	0,80	0,30	0,83	0,81	0,38	$2,43QI^{1,35}$
Avril	518	0,64	0,26	0,65	0,78	0,44	$2,24QI^{1,31}$
Mai	350	0,47	0,23	0,49	0,73	0,26	$6,06QI^{1,10}$
Juin	107	0,10	0,17	0,25	0,52	0,12	$4,97QI^{1,2}$
Juillet	40	0,54	0,39	0,59	0,70	0,39	$7,99QI^{1,44}$
Août	14	0,73	0,27	0,83	0,85	0,61	$8,89QI^{1,39}$

#### IV. 1. Délimitation des deux stations la 012806 et la 013602

##### IV. 1.1. Données de base utilisées

- Carte de découpage du bassin versant du Cheliff en sous bassins ;
- carte de réseau hydrographique du bassin versant du Cheliff ;
- carte hypsométrique du bassin versant du Cheliff ;
- carte localisation de 20 stations ;
- carte localisation de 17 barrages.

#### IV. 1.2. carte de découpage du bassin versant du Cheliff en sous bassins

Le bassin versant du Cheliff est découpé en 36 sous bassins, son découpage est donné par la carte suivante :

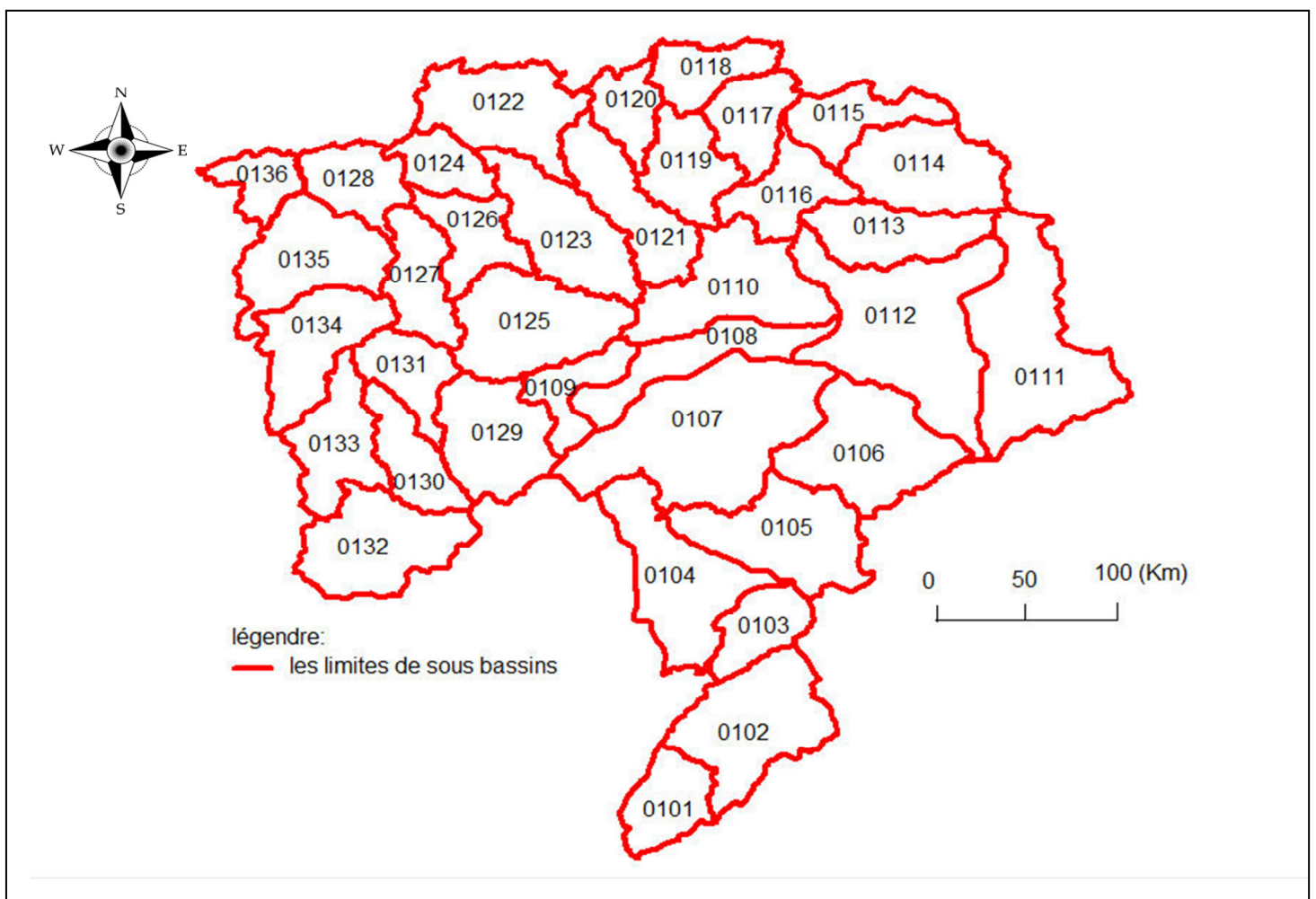


Figure 12 : Carte de découpage du bassin versant du Cheliff en sous bassins(ANRH)

## IV. 1.3. Carte de réseau hydrographique du bassin versant du Cheliff

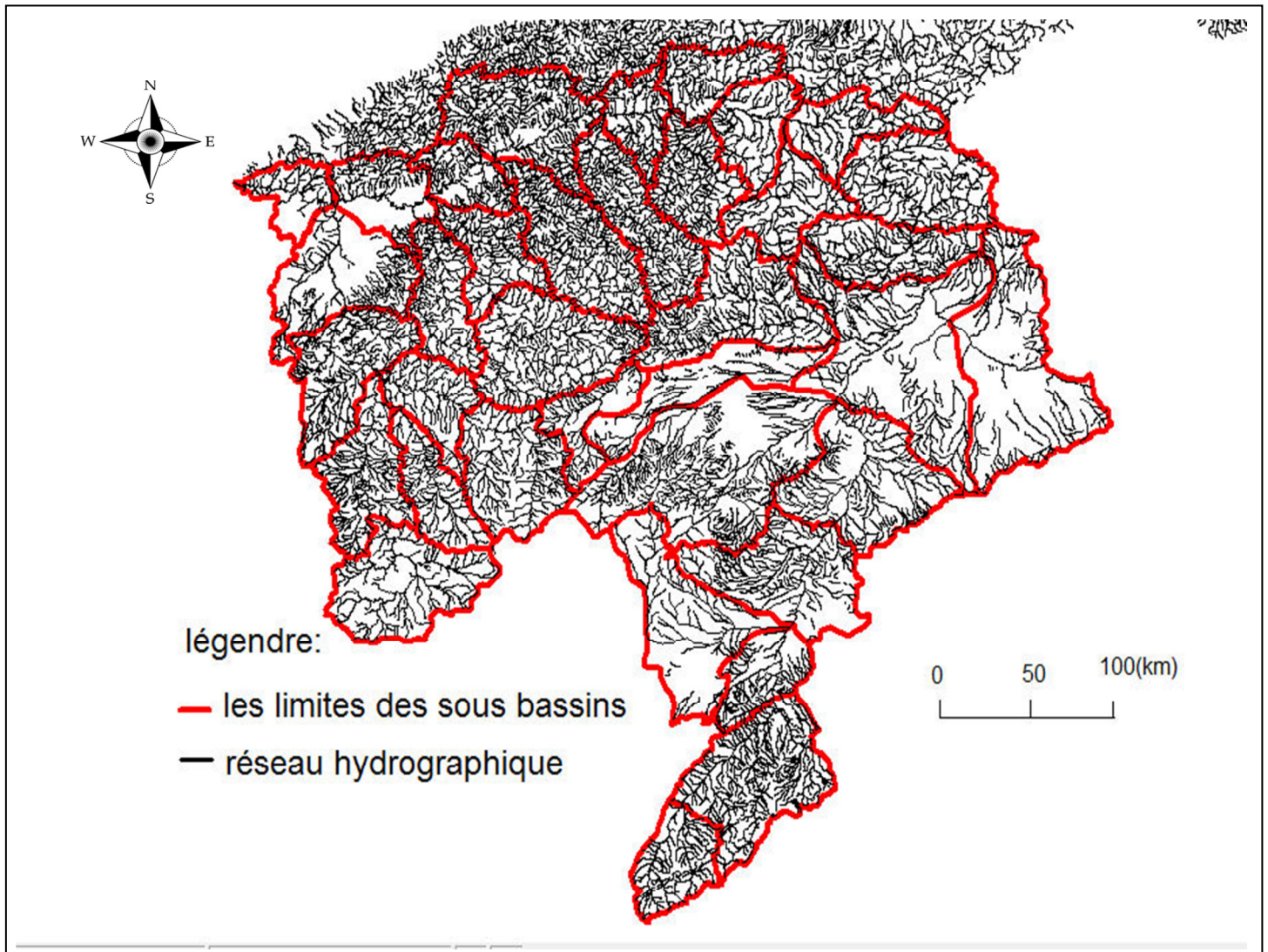
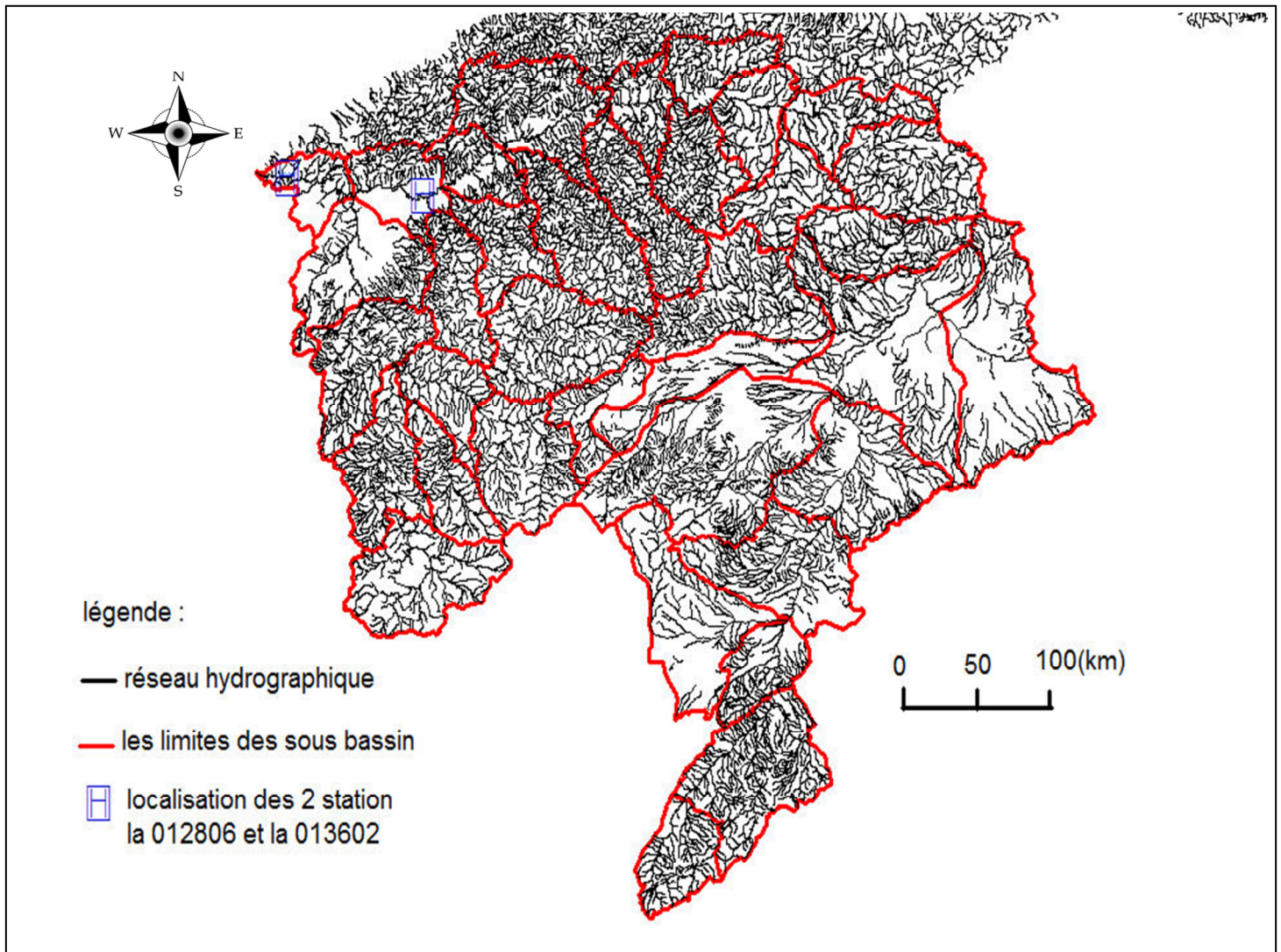


Figure 13 : Carte de réseau hydrographique du bassin versant du Cheliff(ANRH)

#### IV. 1.4. Carte localisation de 2 stations hydrométriques du Cheliff

Le bassin versant du Cheliff compte 20 stations hydrométriques, réparties entre des sites différents. Dans notre travail nous avons utilisé la carte de localisation des 02 stations présentée dans la figure suivante :



**Figure 14 :** carte localisation des 02 stations hydrométriques étudiées dans le Cheliff (ANRH).

#### IV. 1.5. Carte de localisation de 10 barrages considérés dans le Cheliff

Le bassin versant du Cheliff compte 17 barrages, réparties entre des sites différents. Dans notre travail on a utilisé la carte de localisation de 10 barrages des 2 stations qu'on a étudié dans la figure suivante :

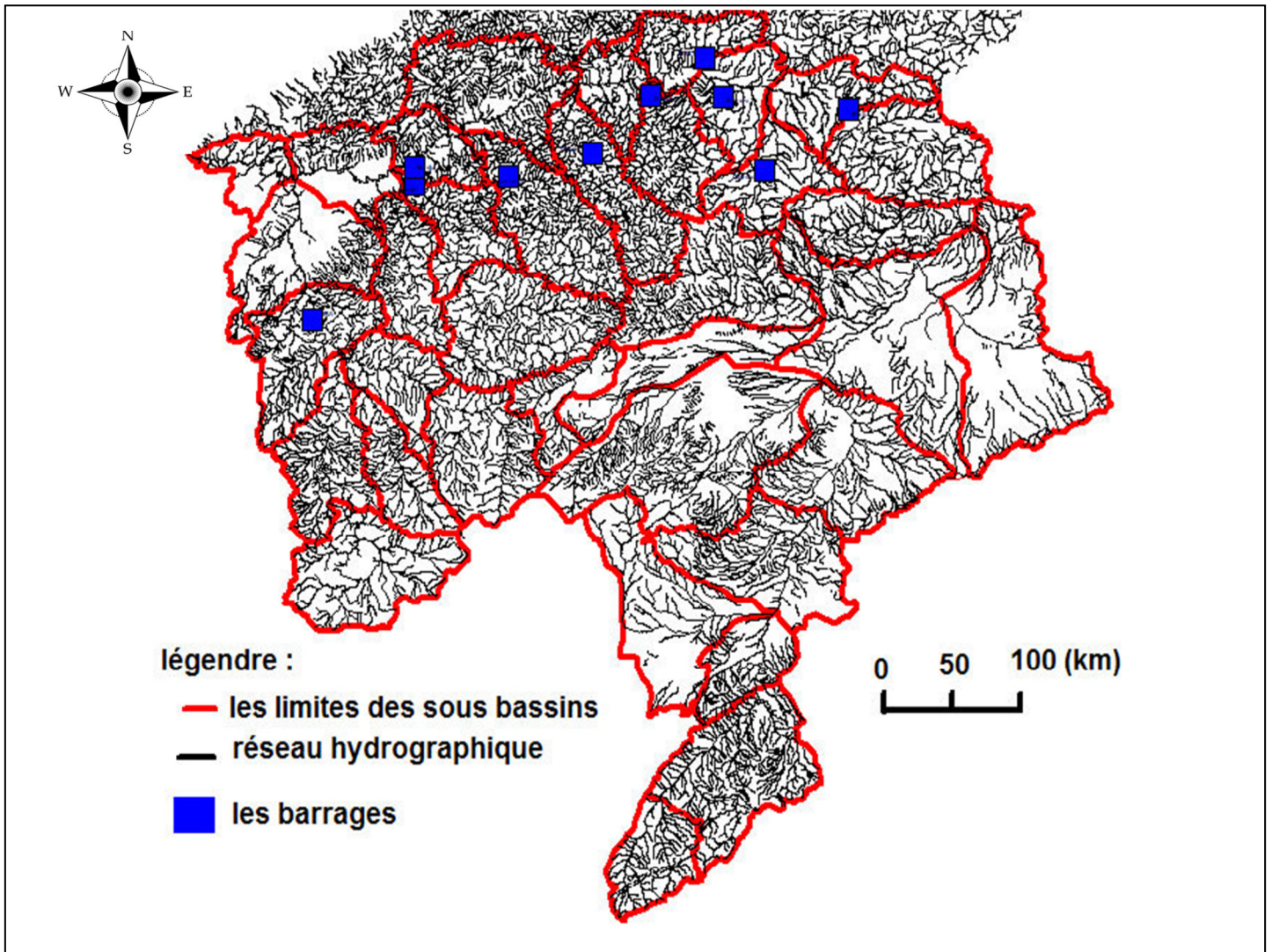
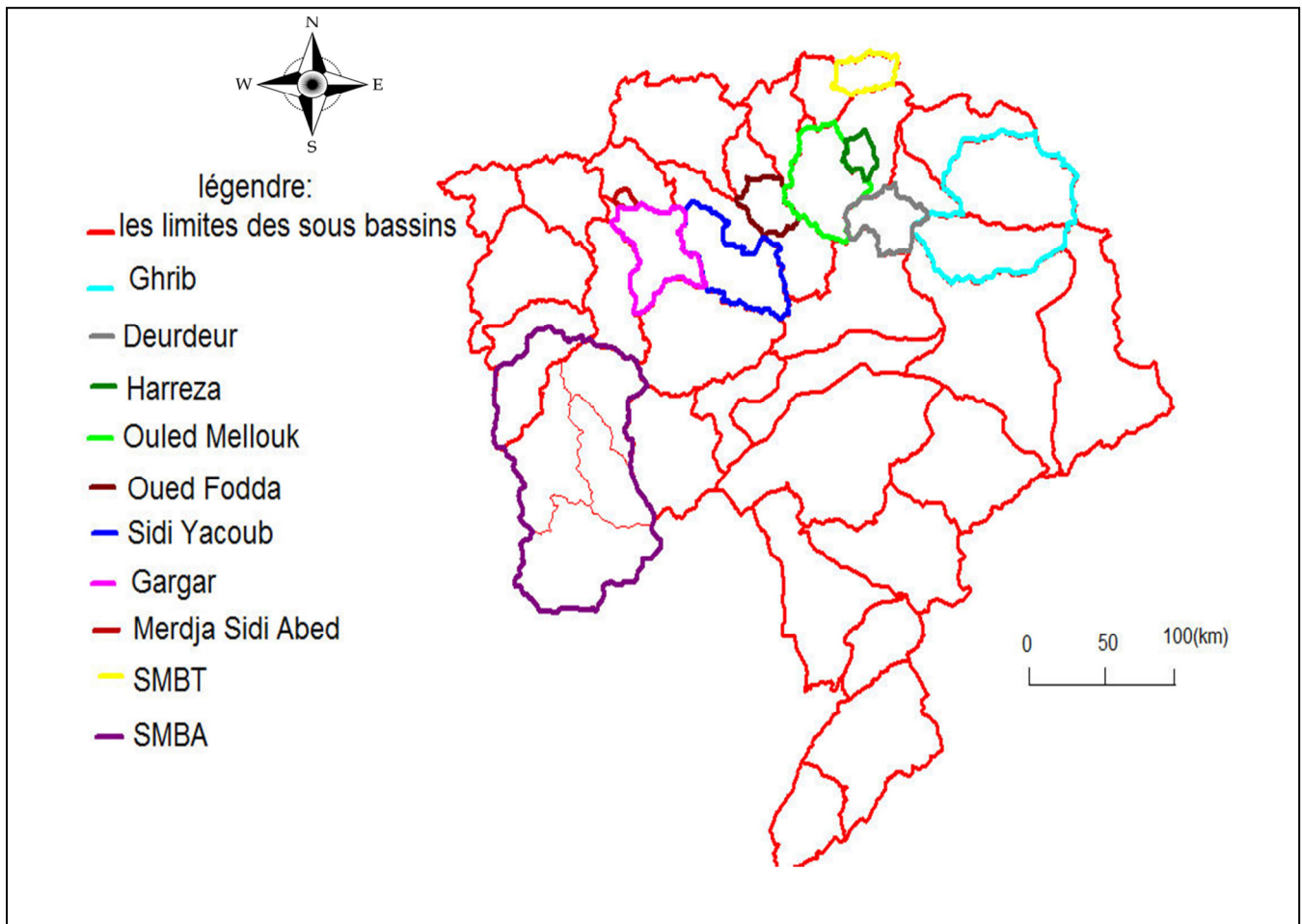


Figure 15 : Carte de localisation des 10 barrages du Cheliff (ANRH).

#### IV. 1.6. Délimitation des bassins versants des 10 barrages

Selon le principe de la délimitation des bassins versants, ceux des barrages ont été délimités, ils sont présentés dans la carte suivante.



**Figure 16 :** Carte de délimitation des bassins versants de 10 barrages du Cheliff.

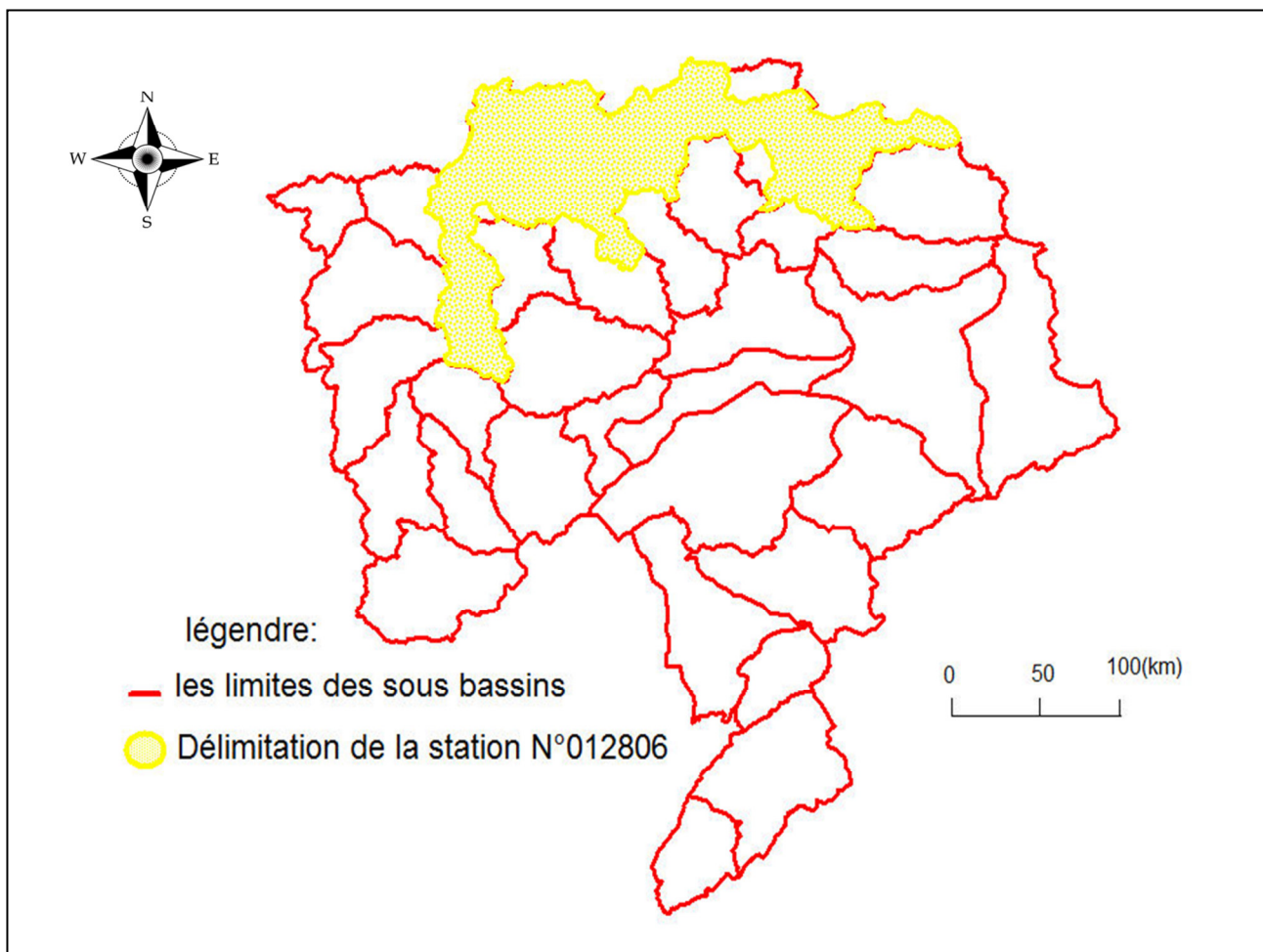


#### IV. 1.7. Délimitation du bassin versant de la station hydrométrique 012806 sans prendre en considération les barrages influençant

Cette délimitation est faite selon le principe de la non existence des 09 barrages dont les lâchés influent l'enregistrement des mesures de la station 012806, elle est représentée dans la figure 06 page (29).

#### IV. 1.8. Délimitation de la station hydrométrique 012806

Afin de faire ressortir l'intérêt particulier de l'existence des barrages dans le bassin versant de la station, la délimitation en prenant en considération l'existence des 09 barrages dont les lâchés influent les mesures de la station en question est présentée dans la figure 17.



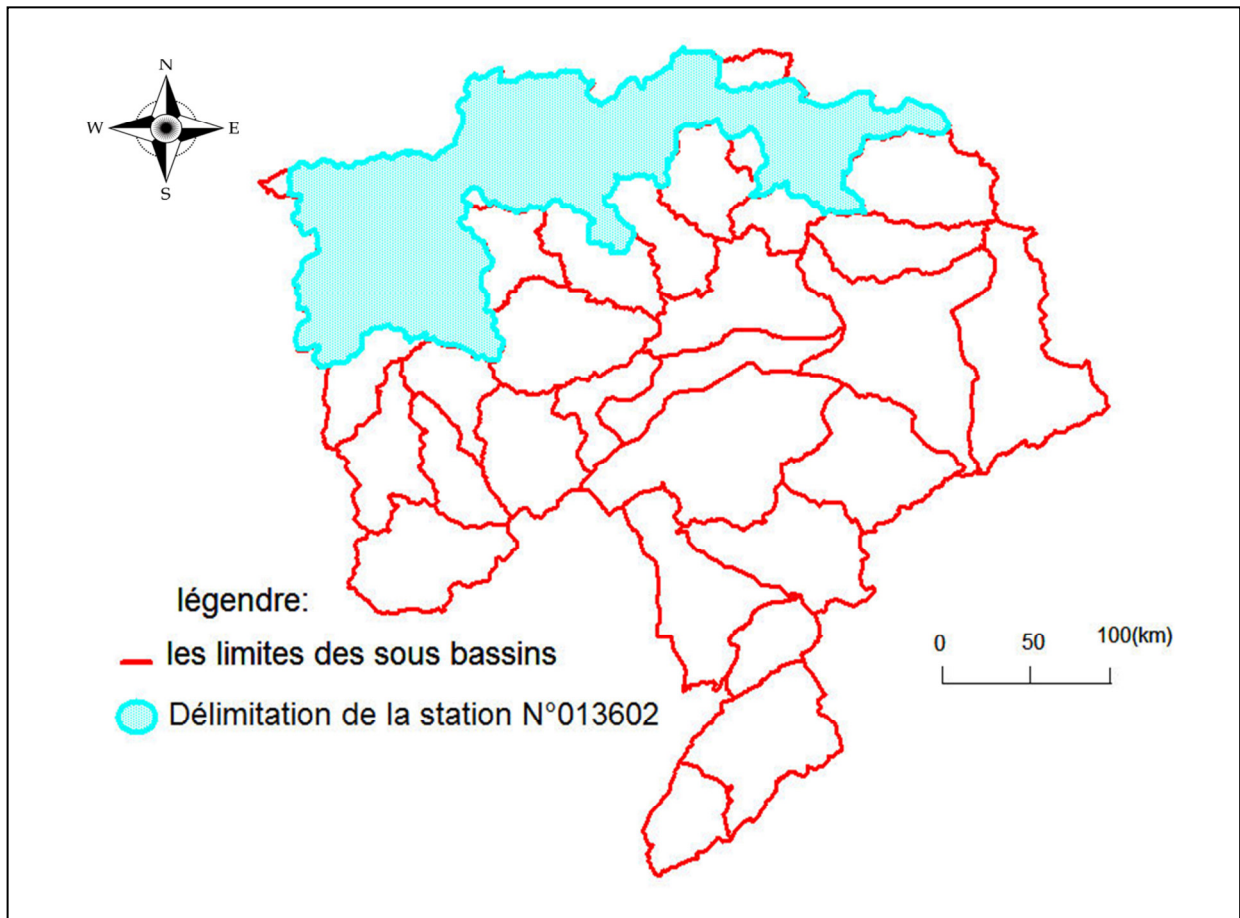
**Figure 17 :** carte délimitation du bassin versant de la station hydrométrique 012806 Influencées par les lâchées des barrages.

### 1.9. Délimitation de la station hydrométrique N° 013602 sans barrages

Selon le principe de la non existence des 10 barrages dont les lâchées influent l'enregistrement des mesures de la station 013602, la délimitation de son bassin versant est représentée dans la figure 07 page (30).

### IV. 1.10. délimitation de la station hydrométrique N° 013602

Afin de faire ressortir l'intérêt particulier de l'existence des barrages dans le bassin versant de la station, la délimitation en prenant en considération l'existence des 10 barrages dont les lâchées influent les mesures de la station en question est présentée dans la figure 18.



**Figure 18 :** carte délimitation du bassin versant de la station hydrométrique 013602 Influencées par les lâchées des barrages.

#### IV. 1.11. Stations hydrométriques

Dans ce qui suit, nous présentons les caractéristiques de forme des bassins versant des 02 stations hydrométriques selon les 2 cas présentés auparavant :

Le tableau 12 représente la superficie et le périmètre des deux stations en prenant en considération l'effet de surface des barrages.

**Tableau 12** : de Caractéristiques des bassins versants des stations hydrométriques avec barrages et sans barrages.

Code de station	Avec barrages		Sans barrages	
	La superficie (Km <sup>2</sup> )	Le périmètre (Km)	La superficie (Km <sup>2</sup> )	Le périmètre (Km)
012806	6625	845.8	34 510	1 182
013602	9654	986.4	43 780	1 336

#### IV. 1.9. b. les barrages

Le tableau 13 représente les surfaces et les périmètres des 10 barrages dans le bassin versant Cheliff.

**Tableau 13 :** présentation des caractéristiques de forme des bassins versants des 10 barrages.

Barrages	Surfaces (km <sup>2</sup> )	Surface de la station 012806 (km <sup>2</sup> )	Surface de la station 013602 (km <sup>2</sup> )
Gargar	2369	6625	9654
Merdja sidi Abed	40		
Sidi Yacoub	927.4		
Oued Fodda	322.5		
Harreza	140		
Deurdeur	468.4		
Ghrib	2391		
Ouled Mellouk	866.5		
SMBT	273.3		
SMBA	4789		

#### Conclusion

La détermination des caractéristiques morphométriques (surface et périmètre) est faite en utilisant le logiciel MapInfo 7.5 qui nous a servi pour la localisation des différents ouvrages, la délimitation de leurs bassins versants et la détermination de la longueur des réseaux hydrographiques correspondants.

Après les résultats trouvés d'après les modèles régressifs, le modèle le plus dominant dans la majorité des cas à échelle mensuelle est le modèle puissance, il offre une meilleure corrélation. Ceci nous servira par la suite à l'extension des séries, et à quantifier l'érosion spécifique.

## I. 1. Introduction

Notre travail final consiste à la détermination de l'influence des lâchées des barrages sur la quantification de l'érosion hydrique au droit des stations hydrométriques situées à l'aval de ces ouvrages de mobilisation, ce qui portera un intérêt majeur pour la prise de décision quand à l'utilisation de la donnée de base.

## I. 2. Résultats et discussions

### I. 1. Approche d'évaluation des apports solides dans les stations hydrométriques

La série chronologique des débits solides instantanés (Kg/s) fournit des données utiles sur le comportement des Oueds, comme la concentration des matières en suspension totale est en partie liée au débit, cette charge augmente parallèlement à l'accroissement du débit.

$$Q_s = a Q_l^b$$

Avec a et b sont des paramètres généralement déterminés par régression.

Nous considérons une série de mesure des concentrations :

$$C_i = (C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n)$$

Et une série de débits :

$$Q_i = (Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_n)$$

Généralement, nous disposons beaucoup plus de données de débits que de données de concentrations, les méthodes de calcul des flux dans les cours d'eau ont fait l'objet de nombreux travaux, (le choix de la méthode de calcul dépend essentiellement de la fréquence d'échantillonnage et de la qualité des données acquises).

Le fait de quantifier le transport solide au droit des stations hydrométriques avec des données instantanées ou des moyennes, entraîne des résultats très différents les uns des autres, Ainsi, la meilleure méthode de quantifier le transport solide en suspension est de faire une extension des données sur toute la période d'observation (20 ans) à partir des valeurs des hauteurs d'eau instantanées (**Kara, 2014**).

## II. Variabilité spatio-temporelle des apports liquides et solides

La répartition interannuelle des apports liquides et solides du bassin versant au droit de la station d'études est montrée dans le tableau 14.

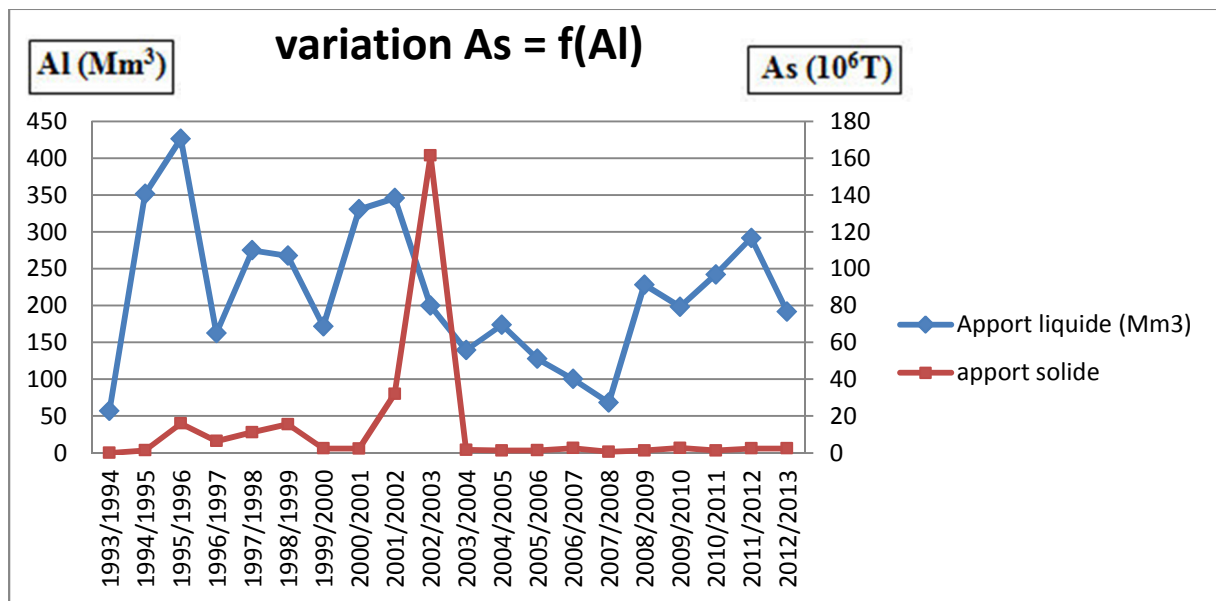
Généralement, les apports solides minima mensuels sont enregistrés en Eté, cette saison est caractérisée par une faible pluviométrie et par conséquent un faible écoulement superficiel, Il est à remarquer cependant que les apports solides minima ne correspondent pas forcément au mois caractérisé par le plus faible apport liquide. Le transport solide d'Automne reste le plus élevé, dépassant significativement les autres saisons, Cette variabilité s'explique par la variation du couvert végétal (sols nus) durant l'été et la nature agressive des pluies d'Automne (Meddi, 1992), (Rakoczil, 1981).

Ces facteurs permettant aux premières crues d'Automne de transporter des quantités considérables de sédiments après une longue saison sèche caractérisée par de fortes températures et par la destruction des agrégats du sol par ces dernières. L'énergie produite par les premières pluies ainsi que le faible taux de couverture végétal en cette saison y contribuent.

**Tableau 14 :** Variation interannuelle de l'apport liquide et solide à la station 012806 (cas avec lâchées).

Année	Al (Mm <sup>3</sup> )	As (10 <sup>6</sup> T)	Année	Al (Mm <sup>3</sup> )	As (10 <sup>6</sup> T)
1993-1994	57,02	1,36	2003-2004	139,37	1,302
1994-1995	351,31	15,949	2004-2005	173,66	1,332
1995-1996	426,28	6,427	2005-2006	127,61	2,566
1996-1997	162,31	11,201	2006-2007	100,18	0,549
1997-1998	274,88	15,518	2007-2008	68,20	1,229
1998-1999	267,50	2,384	2008-2009	228,15	2,632
1999-2000	171,77	2,323	2009-2010	198,17	1,249
2000-2001	330,47	32,041	2010-2011	242,17	2,355
2001-2002	345,64	121,64	2011-2012	291,69	2,414
2002-2003	199,82	1,6332	2012-2013	191,75	1,740
			<b>Moyenne</b>	<b>217,397</b>	<b>11,392</b>

La relation entre l'apport solide et de l'apport liquide est donnée par la figure



**Figure (19) :** variation de l'apport solide et l'apport liquide en fonction de temps (cas avec lâchées de la station 012806).

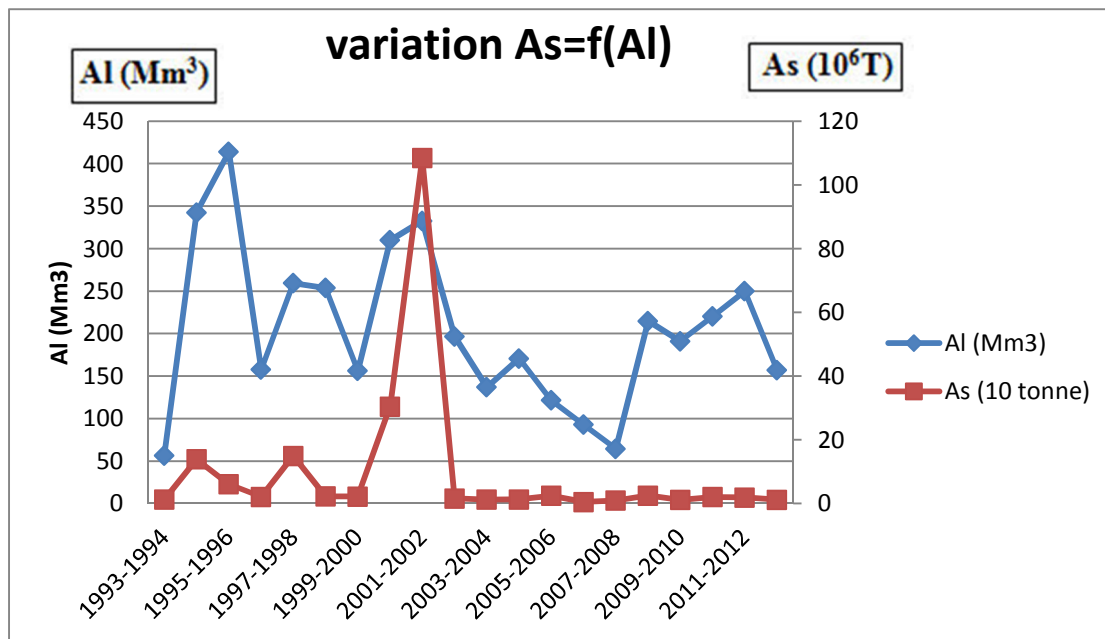
La variation de l'apport solide en fonction de l'apport liquide est une variation proportionnelle dans la majorité des années sauf à quelques exceptions où l'apport solide présente des valeurs élevées même en présence de débit liquide moins important ceci est du généralement aux périodes de fortes crues qui succèdent les périodes de sécheresse.

**Tableau 15** : variation interannuelle de l'apport liquide et solide à la station 012806 (cas sans lâchées).

<b>Année</b>	<b>Al (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>As(10<sup>6</sup>T)</b>	<b>Année</b>	<b>Al (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>As(10<sup>6</sup>T)</b>
<b>1993-1994</b>	56.49	1,260	<b>2003-2004</b>	136.97	1,259
<b>1994-1995</b>	342.49	13,916	<b>2004-2005</b>	170.68	1,310
<b>1995-1996</b>	413.86	6,061	<b>2005-2006</b>	121.57	2,467
<b>1996-1997</b>	157.56	2,099	<b>2006-2007</b>	92.92	0,487
<b>1997-1998</b>	259.36	14,964	<b>2007-2008</b>	64.43	0,944
<b>1998-1999</b>	253.68	2,252	<b>2008-2009</b>	214.75	2,511
<b>1999-2000</b>	156.15	2,233	<b>2009-2010</b>	191.06	1,160
<b>2000-2001</b>	309.74	30,441	<b>2010-2011</b>	220.22	2,043
<b>2001-2002</b>	332.54	108,43	<b>2011-2012</b>	249.98	1,914
<b>2002-2003</b>	196.70	1,612	<b>2012-2013</b>	156.88	1,185
			<b>Moyenne</b>	<b>204.901</b>	<b>9,927</b>



La relation entre l'apport solide et de l'apport liquide est donnée par la figure



**Figure 20** : variation de l'apport solide et l'apport liquide en fonction de temps (cas sans lâchées de la station 012806).

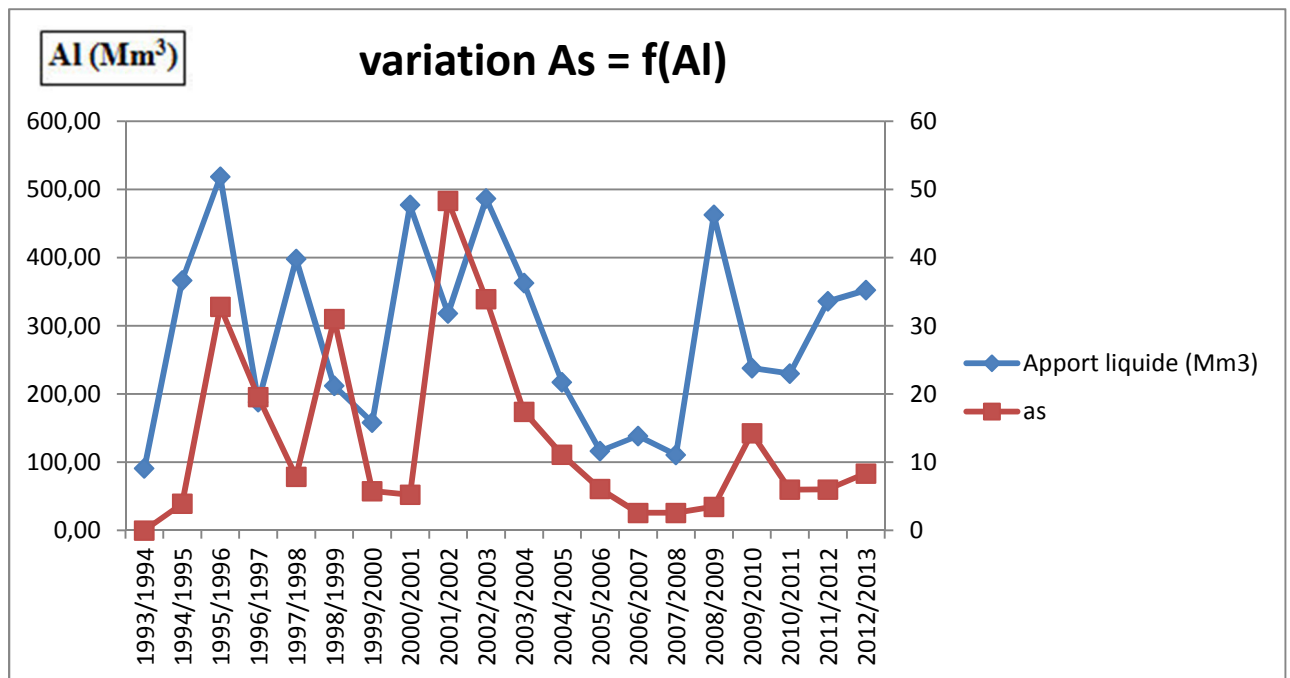
La variation de l'apport solide en fonction de l'apport liquide après avoir supprimé les lâchées des 09 barrages, reste une variation proportionnelle dans la majorité des années sauf à quelques exceptions où l'apport solide présente des valeurs élevées même en présence de débit liquide moins important ceci est du généralement aux périodes de fortes crues qui succèdent les périodes de sécheresse. D'après la répartition interannuelle de l'apport liquide et solide à la station 012806, nous obtenons les résultats suivants :

- Les lâchées concernent l'AEP et l'Irrigation ;
- La moyenne des apports liquides est varié dans les deux cas (avec ou sans lâchers) ;
- La moyenne des apports solides est différente dans les deux cas, les apports sont plus élevés dans la répartition interannuelle de l'apport solide avec lâchers ;
- La période d'observation doit être la même afin de pouvoir comparer les résultats pour cela nous prenant de 1993/1994 à 2012/2013 soit 20 ans, dans le but de calculer l'érosion spécifique.

**Tableau 16** : variation interannuelle de l'apport liquide et solide à la station 013602 (cas avec lâchées).

<b>Année</b>	<b>Al (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>As (10<sup>6</sup>T)</b>	<b>Année</b>	<b>Al (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>As (10<sup>6</sup>T)</b>
<b>1993-1994</b>	90,83	3.914	<b>2003-2004</b>	362,46	11.081
<b>1994-1995</b>	366,40	32.783	<b>2004-2005</b>	216,96	6.068
<b>1995-1996</b>	518,60	19.53	<b>2005-2006</b>	116,40	2.569
<b>1996-1997</b>	188,00	7.864	<b>2006-2007</b>	138,35	2.572
<b>1997-1998</b>	397,71	30.987	<b>2007-2008</b>	110,72	3.473
<b>1998-1999</b>	211,83	5.766	<b>2008-2009</b>	462,32	14.25
<b>1999-2000</b>	158,02	5.234	<b>2009-2010</b>	237,83	5.973
<b>2000-2001</b>	476,91	48.302	<b>2010-2011</b>	229,92	5.992
<b>2001-2002</b>	318,21	33.888	<b>2011-2012</b>	335,81	8.342
<b>2002-2003</b>	486,31	17.391	<b>2012-2013</b>	352,04	8.349
			<b>Moyenne</b>	<b>288,782</b>	<b>13,688</b>

La relation entre l'apport solide et de l'apport liquide est donnée par la figure :



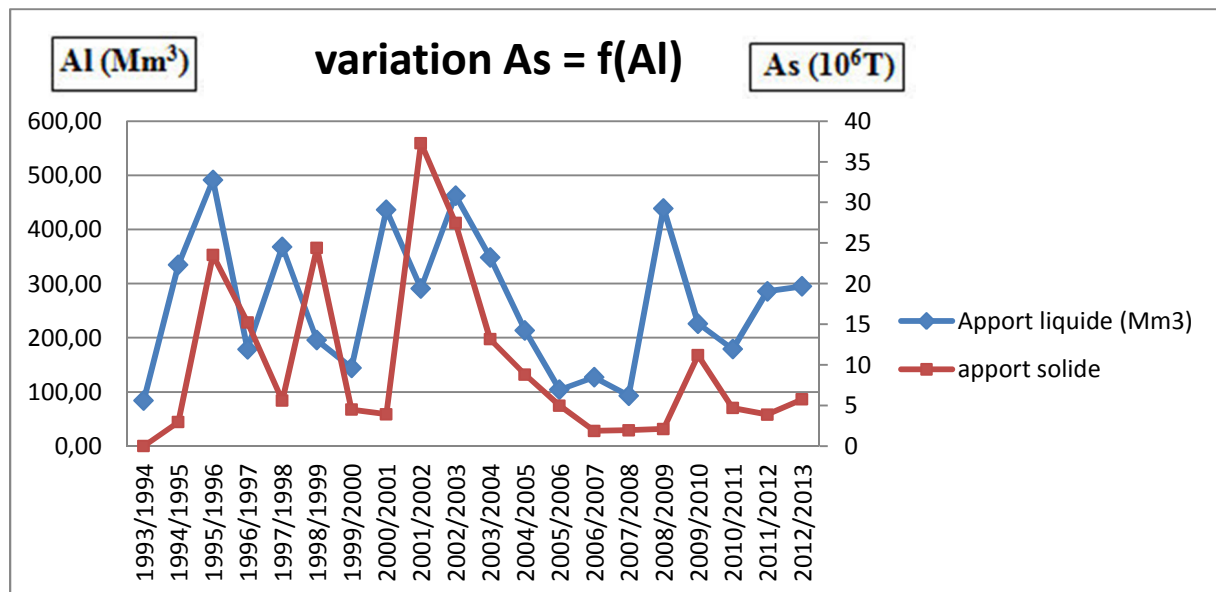
**Figure 21 :** variation de l'apport solide et l'apport liquide en fonction de temps (cas avec lâchées de la station 013602).

La variation de l'apport solide en fonction de l'apport liquide est une variation proportionnelle dans la majorité des années sauf à quelques exceptions où l'apport solide présente des valeurs élevées quand l'apport liquide est faible et vice versa ceci est du généralement aux périodes de fortes crues qui succèdent les périodes de sécheresse pour la première situation et aux périodes succédant à la saturation du sol quand l'écoulement est abondant pour la deuxième situation.

**Tableau 17** : variation interannuelle de l'apport liquide et solide à la station 013602 (cas sans lâchées).

Année	Al (Mm <sup>3</sup> )	As(10 <sup>6</sup> T)	Année	Al (Mm <sup>3</sup> )	As(10 <sup>6</sup> T)
<b>1993-1994</b>	84.34	2.951	<b>2003-2004</b>	348.39	8.812
<b>1994-1995</b>	334,56	23.522	<b>2004-2005</b>	213.71	4.992
<b>1995-1996</b>	491.52	15.232	<b>2005-2006</b>	104.10	1.875
<b>1996-1997</b>	178.73	5.585	<b>2006-2007</b>	126.96	1.953
<b>1997-1998</b>	367.92	24.399	<b>2007-2008</b>	93.05	2.106
<b>1998-1999</b>	195.66	4.483	<b>2008-2009</b>	439.00	11.196
<b>1999-2000</b>	144.38	3.917	<b>2009-2010</b>	226.16	4.685
<b>2000-2001</b>	436.06	37.295	<b>2010-2011</b>	179.18	3.872
<b>2001-2002</b>	291.10	27.469	<b>2011-2012</b>	285.64	5.749
<b>2002-2003</b>	462.48	13.161	<b>2012-2013</b>	294.80	5.597
			<b>Moyenne</b>	<b>264.887</b>	<b>10,44</b>

La relation entre l'apport solide et de l'apport liquide est donnée par la figure :



**Figure 22 :** variation de l'apport solide et l'apport liquide en fonction de temps (cas sans lâchées de la station 013602).

La variation de l'apport solide en fonction de l'apport liquide après quand avoir retrancher les lâchées des 10 barrages demeure toujours une variation proportionnelle dans la majorité des années sauf à quelques exceptions où l'apport solide présente des valeurs élevées même en présence de débit liquide moins important et vice versa.

D'après la répartition interannuelle de l'apport liquide et solide à la station 013602, nous pouvons observer que :

- Les lâchées concernent l'AEP et l'Irrigation.
- La moyenne des apports liquides est varier dans les deux cas (avec ou sans lâchers)
- La moyenne des apports solides est différente dans les deux cas, les apports sont plus élevés dans la réparation interannuelle de l'apport solide avec lâchers.
- La période d'observation doit être la même afin de pouvoir comparer les résultats pour cela nous la prenant de 1993/1994 à 2012/2013 soit 20 ans, dans le but de calculer l'érosion spécifique.

### III. Quantification de l'érosion spécifique

L'érosion spécifique est ainsi calculée à partir des apports solides évalués précédemment, elle est le rapport entre ces apports et la surface affectée à chaque station hydrométrique, les résultats sont donnés dans les tableaux 18 et 19.

**Tableau 18** : érosion spécifique au droit de la station 012806.

Estimation de l'érosion	Apport solide moyen interannuelle (10 <sup>6</sup> Tonne)	Surface de station (Km <sup>2</sup> )	T/Ha.an
Avec lâchées	11,37	6625	17.16
Sans lâchées	9,17		13.84

**Tableau 19** : érosion spécifique au droit de la station 013602.

Estimation de l'érosion	Apport solide moyen interannuelle (10 <sup>6</sup> Tonne)	Surface de station (Km <sup>2</sup> )	T/Ha.an
Avec lâchées	13,72	9654	14.21
Sans lâchées	10,44		10.81

- Ces valeurs sont estimées sur une période de 20 ans ;
- Pour les deux stations, nous remarquons que les lâchées des barrages ont une influence importante sur l'estimation d'érosion spécifique ainsi le taux d'érosion estimé avec lâchées est plus élevé que celui estimé sans lâchées des barrages.

**Tableau 20** : érosion spécifique au droit des barrages des deux stations hydrométrique la 012806 et la 013602.

Les barrages	Erosion spécifique au droit des barrages	
	1 <sup>er</sup> Méthode (Tan/ha.an)	2 <sup>ème</sup> Méthode (Tan/ha.an)
Gargar	19.71	15.52
Merdja Sidi Abed	12.54	14.75
Sidi Yacoub	15.53	1.85
Oued Fodda	21.73	33.25
Harreza	/	19.72
Deurdeur	10.55	17.74
Ghrib	1.09	1.37
SMBA	6.73	2.004
Ouled Mellouk	/	16.18
SMBT	/	14.65

Pour les barrages, nous utilisons la 2<sup>ème</sup> méthode car certains barrages ne disposent pas de levées bathymétriques.

#### IV. Classification des bassins versants

D'après (Touibia, 2000), la classification des bassins versants selon le taux de l'érosion spécifique est tel que :

- Faible érosion, si  $Es = 0$  à  $3.2$  T/ha.an ;
- Moyenne érosion, si  $Es = 3.2$  à  $10$  T/ha.an ;
- Forte érosion, si  $Es = 10$  à  $32$  T/ha.an ;
- Erosion excessive, si  $Es > 32$  T/ha.an.

**Tableau 21 :** représenté la classification des bassins versant selon le taux de l'érosion spécifique des barrages.

Les barrages	Erosion spécifique Tan/ha.an	Classant de bassin versant
Gargar	19.71	Forte érosion
Merdja Sidi Abed	12.54	Forte érosion
Sidi Yacoub	15.53	Forte érosion
Oued Fodda	21.73	Forte érosion
Harreza	19.72	Forte érosion
Deurdeur	10.55	Forte érosion
Ghrib	1.09	Faible érosion
Ouled Mellouk	16.18	Forte érosion
SMBT	14.65	Forte érosion
SMBA	6.73	Moyenne érosion

## V. Estimation de l'influence des lâchées

L'influence des lâchées est calculée selon la formule suivante :

$$E \% = (Dx / x \text{ mesuré}).100$$

Sachant que :

$$Dx = x \text{ mesuré} - x \text{ relative}$$

Avec :

x mesuré : érosion avec lâchées.

x relatives : érosion sans lâchées.



**Tableau 22** : calcul de l'influence des lâchées d'érosion spécifique de la station 012806.

Méthode de quantification de l'érosion spécifique	Erosion spécifique Tan/ha.an	Influence %
Avec lâchées	17,16	<b>19,35</b>
Sans lâchées	13,84	

**Tableau 23** : calcul de l'influence des lâchées d'érosion spécifique de la station 013602.

Méthode de quantification de l'érosion spécifique	Erosion spécifique Tan/ha.an	influence %
Avec lâchées	14,21	<b>23,91</b>
Sans lâchées	10,81	

### Interprétation

D'après les résultats du tableau, nous remarquons une différence qui est quasiment entre la quantification de l'érosion spécifique en prenant en considération les lâchées du barrage pour le 1<sup>er</sup> cas, et en les retranchant pour le 2<sup>ème</sup> cas.

Il s'agit des influences des lâchées de l'ordre de **19,35%** de la station de Djidiouia et de **23,91%** de la station Sidi Bel Attar ;

Ces valeurs sont décisives pour une prise de décision quant au choix des données de base à la quantification de la variable de l'érosion spécifique qui reste tributaire de ces données et de la méthode d'estimation.

## VI. L'enjeu de l'érosion hydrique sur l'environnement

La dégradation des sols a des effets visibles sur l'environnement physique et des conséquences socio-économiques négatives

### VI. 1. Effets visibles sur l'environnement

Parmi les signes et effets physiques visibles de la dégradation peuvent être cités les éléments ci-dessous :

- les griffes, fines rigoles formées par l'eau, particulièrement en haut des pentes, sur le bord des pistes ou dans les champs sillonnés par les labours, elles deviennent des ravines par élargissement dû à la concentration de ruissellement excessif ;
- les pavages de cailloux et de pierres laissés en surface, une fois les particules les plus fines du sol emportées par le ruissellement, observés dans un grand nombre de champs labourés et de terrains de pâture ;
- les buttes de sol résiduel, où sont perchées des touffes d'herbes, signes d'érosion, quand elles n'ont pas été créées par l'accumulation de débris foliacés et d'humus, ou par le fouissage des rongeurs ;
- l'accumulation de terre au-dessus des arbres, des pierres, des palissades et des haies sur terrains en pente ;
- les racines d'arbres et arbustes, exposées à l'air, ou mise à nu dans des cours d'eau, résultats d'une dispersion du sol ou d'un accroissement de ruissellement suite à la dégradation de bassins versants ;
- les dépôts de sols sur les pentes douces, ou de graviers, sables et limons, dans les lits de cours d'eau résultent d'une érosion en amont ;
- les taches nues dans les herbages et les pacages signes d'une tendance à la dégradation ;
- le déplacement du sol par piétinement résultant du pâturage sur les pistes à bétail au long des courbes de niveau, où les animaux font progressivement glisser la terre en bas de la pente ;
- les mouvements du sol sous l'action du vent, mis en évidence essentiellement par la formation de dunes ;

- des modifications de la flore (par exemple des buissons se substituant à l'herbe), survenant après surpâturage, et accompagnés souvent d'érosion ;
- les atterrissements dans les retenues de barrages, lacs et étangs ;
- l'envasement des barrages, retenues d'eau, rivières, canaux et système de drainage par la terre érodée des sols dégradés et la réduction des stocks de poissons à la suite de tels effets ;
- les inondations dues aux eaux de ruissellement par suite de la réduction de la capacité d'infiltration des sols dégradés, et la baisse de niveau ou assèchement des nappes et points d'eau à cause des pertes d'eau par ruissellement ;
- les préjudices à la société et aux générations futures qu'entraînent les pertes définitives de terre ;
- Les pertes de sol des terres agricoles peuvent avoir de graves répercussions sur l'environnement en plus de réduire la productivité des sols ;
- Les sédiments résultants de l'érosion hydrique provoquent la turbidité de l'eau dans les cours d'eau et les lacs, et l'accumulation de sédiments dans le temps risque de réduire le volume des lacs et des réservoirs. ;
- Les éléments nutritifs des végétaux et les pesticides dissous dans les eaux de ruissellement et liés aux particules de sol érodées peuvent polluer les eaux de surface et nuire aux organismes vivants. Le phosphore est particulièrement préoccupant étant donné qu'il peut stimuler la croissance des algues, à tel point qu'une bonne partie de l'oxygène dont ont besoin d'autres organismes risque de disparaître de l'eau à cause des algues à croissance rapides
- La baisse de productivité d'un sol attribuable à l'érosion peut être importante. Cela peut découler tout simplement de l'amincissement de la couche de sol sur la roche, ce qui réduit le volume disponible pour les racines des végétaux. Il est plus courant que les rendements cultureux soient réduits par la perte d'éléments nutritifs des végétaux et que les propriétés physiques du sol soient dégradées, notamment le croûtage du sol et la réduction de la capacité de rétention de l'eau. Par ailleurs, cela augmente la variabilité des sols, ce qui se traduit par des cultures éparées difficiles à gérer et qui n'ont généralement pas un bon rendement ;

➤ La terre végétale, qui est la couche du sol la plus fertile, est la plus vulnérable à l'érosion et c'est elle qui disparaît en premier; par ailleurs, les mécanismes d'érosion éliminent de préférence la matière organique du sol, l'argile et les substances limoneuses fines. L'association de perte de terre végétale et de fractions plus fines du sol peut avoir de graves conséquences sur les rendements cultureux. **Larney et al. (1995)** affirment que l'élimination d'une certaine couche de terre végétale peut réduire des rendements de cultures non fertilisées de quatre sols sur six en Alberta. Dans la plupart des cas, l'épandage supplémentaire d'engrais peut neutraliser les conséquences de l'érosion sur la fertilité du sol, mais cela représente une dépense supplémentaire pour l'agriculteur. L'épandage supplémentaire fait peut pour neutraliser les conséquences physiques de l'érosion sur la productivité d'un sol.

## VI. 2. Conséquence socio-économiques négatives

### ➤ Menaces sur l'agriculture et la forêt

La forêt aussi subit les conséquences de la construction des barrages. En effet, la construction d'un barrage provoque une intense déforestation, qui a plusieurs origines, la première étant l'inondation de toute la zone de stockage d'eau en amont du barrage. D'autre part, la diminution de la productivité de la pêche entraîne des mouvements de population, dont des déplacements vers des zones forestières, qui sont alors déboisées pour permettre l'installation des populations et l'agriculture (**Wyatt et al, 2007**)

- Diminution de la productivité de la pêche.
- les problèmes sanitaires et de qualité de la vie : un environnement dégradé n'offre que de mauvaises conditions de vie.

## Conclusion

Une analyse de l'état final de calcul d'érosion spécifique par deux méthodes :

La quantification de l'érosion par les données de la station hydrométrique (**012806**) a montré que son bassin versant présente une perte de 17,16T/Ha.an avec les lâches et de 13,84T/Ha.an sans lâches depuis 1993/1994 jusqu'à 2012/2013

Les résultats au droit de la station (**013602**) à révélé que son bassin versant présente d'une perte de 14,21T/Ha.an avec les lâchers et 10,81T/Ha.an sans lâches depuis 1993/1994 jusqu'à 2012/2013.

L'estimation de l'érosion hydrique en supprimant les lâchés des barrages reste la meilleure manière d'exprimer le taux de l'érosion dans le cas de l'utilisation des données hydrométrique car l'influence des lâchés de la station (**012806**) est de **19,35 %** et pour la station (**013602**) est **23,91%**, ces valeurs restent très préoccupantes quand à la fiabilité de la donnée de base utilisée.

Au terme de cette étude, nous pensons avoir pu estimer l'impact des lâchées des barrages sur la quantification de l'érosion hydrique, il a été possible de souligner l'importance du choix de la méthode de quantification de l'érosion spécifique et son enjeu sur l'environnement en prenant en considération le cas de deux stations hydrométriques situées sur l'Oued Cheliff lesquelles elles sont influencées par les lâchées de 09 et 10 barrages respectivement.

Le bassin versant du Cheliff est caractérisé par un régime climatique semi-aride, par des chaînes montagneuses et une couverture végétale qui varie d'une zone à une autre, est riche en ressources hydriques et agronomiques, il occupe une place stratégique dans son développement socio-économique ;

Le recensement des infrastructures a révélé l'existence 20 stations hydrométriques, de 17 barrages en exploitation, notre travail concerné sur la région du Bas Cheliff qui dispose de deux stations hydrométriques la (012806) et la (013602).

L'homogénéisation des données à l'échelle mensuelle reste la plus appropriée, vu l'irrégularité mensuelle des écoulements solide et liquide ;

La quantification de l'érosion hydrique au droit de deux stations hydrométriques (012806) et (013602) a été établie par une modélisation de la relation débit solide-débit liquide, cette relation est exprimée dans ses meilleurs cas par le modèle le plus dominant (puissant) qui reste le plus adapté selon les valeurs du coefficient de détermination  $R^2$ , qui varient entre **0.613** et **0.763** en moyenne à la station (012806), faisant ressortir une moyenne de **0.71** pour l'ensemble des mois, et pour la station (013602) il varie entre **0.52** et **0.89** en moyenne, faisant ressortir une moyenne de **0.79** pour l'ensemble des mois ;

La quantification de l'érosion spécifique à la fin de cette étude, nous a révélé des taux inquiétants, pour les bassins versants des deux stations hydrométriques, il est estimé à **17,16 T/Ha.an** avec lâchées et à **13,84 T/Ha.an** en supprimant les lâchées de 09 barrages à station 012806, ce même taux est de **14,21T/Ha.an** avec lâchées et de **10,81T/Ha.an** sans lâchées des 10 barrages à la station 013602 faisant ressortir des taux d'influence des lâchées de **19,35 %** et **23,91%** aux deux stations respectivement.

L'enjeu sur l'environnement du phénomène étudié peut avoir les conséquences suivantes :

- des modifications de la flore (par exemple des buissons se substituant à l'herbe), survenant après surpâturage, et accompagnés souvent d'érosion ;
- l'envasement des barrages ;
- Les pertes de sol des terres agricoles peuvent avoir de graves répercussions sur l'environnement en plus de réduire la productivité des sols ;
- les problèmes sanitaires et de qualité de la vie : un environnement dégradé n'offre que de mauvaises conditions de vie.

C'est pour cette raison, qu'il faut se préoccuper quand au choix au préalable de sa méthode de quantification.

## Références bibliographique

- Achite Mohammed, Touaibia Bénina et S, (2006)** Erosion hydrique en Algérie du Nord Ampleur, Conséquences & Perspectives, *May 14-19, 2006*.
- Achite. M, 2007.** Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie du nord : bassin versant de l'oued mina (wilaya de Relizane). Thèse de doctorat Es-science, Université des sciences et de la technologie d'Oran M, B. Algérie P.207.
- Ammari ;2012.** Vulnérabilité à l'Envasement des barrages (cas du bassin hydrographique des Cotiers Algérois) Thèse de Doctorat Université Mohamed Khider – Biskra,
- A.N.B.T.** Rapport interne de l'Agence Nationale des Barrages et Transferts sur les derniers levés bathymétriques des barrages du Cheliff, Alger. 8p.
- A.N.R.H,** EtudedetransportsolidedansleNordAlgérie,Rapportdel'AgenceNationale desressources hydrique, Alger.
- Bergsma E, Charman P, Gibbons F, Hurni H, Moldenhauer W. C. &Panichapong S,(1996).** Terminology for soil erosion and servation. ISSS.
- Bouaichi. I (2008),** contribué à la modélisation de l'érosion hydrique dans le bassin Versant de l'Oued Cheliff Mémoire de Magister en Hydraulique, Université BLIADA.
- Borst H L. Woodburd R., 1940.** Rain simulator studies of slop on erosion and runoff. USDA, Soil conservation, p : 30. **In HADIR Sofia, 2010.**
- (Casenaves et al, 1989).** Etude des états de surface du sol et leur dynamique pour différentes pratique de travail du sol. Mise en point d'un indicateur de ruissellement.
- (CNEA, 2007). Centre National des Etudes Agricoles(CNEA), (2007).** Elaboration d'une étude sur l'état de désertification pour une gestion durable des RN, p191.
- Chom.juin2009,**  
[http://www.shom.fr/fileadmin/datawww/MIP/DTI/HYDRO/Leves\\_bathymetriques.pdf](http://www.shom.fr/fileadmin/datawww/MIP/DTI/HYDRO/Leves_bathymetriques.pdf).
- Demmak .A, (1982).** Contribution à l'étude de l'érosion et transports solides en Algérie Septentrionale, Thèse dz Docteur Ingénieur, Université Pierre et Marie-Curie, Paris, p19- 22.
- Eley, T.J., Watkins, T.H.** "The uncertain fate of the Pacific salmon: in a sea of trouble" - Wilderness 55, 1991, p18.
- Fauchard C., Mériaux P. 2004.** Méthodes géophysiques et géotechniques pour le diagnostic des digues de protection contre les crues. Cemagref Editions. 204p.
- FAO, (1983).** Garder la terre en vie : L'érosion des sols, ses causes et ses remèdes. Bulletin pédologique, vol. 50-62p.
- ICEM (International Center for Environmental Management),** "MRC SEA for Hydropower on the Mekong mainstream" Fisheries Baseline Assessment Working Paper., Hanoi, 2010.

**Graf W ; 2000.** Hydraulique Fluviale. Presse Polytechnique Romande

**Govers G. Poesen J., 1998.** Field experiments on the transport of rock fragments by animal trampling on screed slopes. *Geomorphology* 23, pp. 193–203, in **Cravo Rios, M.,**

**Hadidi.A ;2008.** Une nouvelle approche de la deterrmoination de taux d'envasement des barrages. Université Abou Bakr Belkaid-Magister 2008.

**HADIR, S., 2010.** Modélisation du ruissellement et de l'érosion par le modèle STREA

**Kara., D, 2014.**Contribution a la quantification du transport solide de l'Oued Chélif. Mémoire de master. Université Khemis Miliana, Ain defla P39.

**Larney et al.(1995)** <http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/pratiques-agricoles/sol-et-terre/gestion-des-sols/consequences-de-l-erosion/?id=1187283440379>

**(Mémoire en ligne ; taux d'envasement),**  
<http://www.memoireonline.com/04/15/9128/Une-nouvelle-approche-de-la-determination-de-taux-d-envasement-des-barrages.html>

**Milogo.A, Aout 2009 ;** ouvrages hydraulique P 07.

**Mokhtari El hadj., 2009.** Contribution à l'étude du transport solide en suspension Bassin de l'Oued Cheliff – Ghrib (MEMOIRE diplôme de MAGISTER).

**Megnounif A., Terfous A. & Bouanini A. (2003)** Production et transport des matières solides en suspension dans le bassin versant de la Haute-Tafna (Nord-Ouest algérien). *Revue Science de l'Eau*, 16(3), pp.369-390.

**Meddim; 1992.** Étude d'érosion et du ruissellemnt sur bassins versants expérimentaux dans les monts de Beni-Chougrane (Ouest d'Algérie). *Zeitschrift fu Géomorphologie*.p45

**RakoczilA ; 1981.** Problems of sédiment gauging in gravel-beds, XIX congress, New Delhi, India., p 105

**Rosse.E, (1977).** Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest, Travaux et documentation de L'OSTORM78, p 108.

**(Roose, 1991 )** <http://www.fao.org/docrep/t1765f/t1765f0a.htm>.

**Roose .E, (1994).** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologique de la FAO* 70. FAO Rome, p420.

**Riezebos.H. H, Epema .F, (1985).**Drop Shape and erosivity.Part II Splash détachement, transport and érosivité indices. *Earth Surface Processes and Landforms*. 0(1) :69-74.

**Tixeront (1960) :** le début solids des cours d'eaus d'Algérie et de Tunisie, secrétariat Agricole Etude hydrologiques série II. Tunis.

**Touaibia. B, (2000)** .Erosion – Transport solide- envasement des barrages. Cas du bassin versant Mina, Thèse de Doctorat d'état, INA, El-Harrach, Algérie.

**Touaibia. B, Achite. M, (2003).** Contribution à la cartographie de l'érosion spécifique du bassin versant de l'Oued Mina en zone semi-aride de l'Algérie septentrionale. Journal des sciences hydrologique p 235.

**Vanoni A ;1977.** Sédimentation engineering. ASCE, Hydraulique Division P.19.

**Wischmier, W.H, Smith D .D, (1965)** predicting rainfall erosion losse: guide to conservation planning USDA agriculture handbook N°232 .Washington.

**Wischmeier, (1978)** .Prediction grain fall erosion losses, a guide to conservation planning, Agriculture Hand- Book. N°537.USA.

**Zaibak .I, (2008)** Contribution à une approche cartographique de l'érosion spécifique dans le bassin versant d'Oued Cheliff. Mémoire de Magister. Ecole Nationale supérieure d'Hydraulique. 180p.

**[01]** : [www .tutimpo.com](http://www.tutimpo.com), 2016 (visité le 20/04/2017).

**[02]** : [www.tutiempo.com](http://www.tutiempo.com)2016 (visité le 20/04/2017).

<http://www.glossaire.eaufrance.fr/concept/station-hydr%C3%A9trique>.