

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Khider – Biskra  
Faculté des Sciences et de la technologie  
Département : Génie Civil et Hydraulique  
Réf :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم : الهندسة المدنية والري  
المرجع:.....

Thèse présentée en vue de l'obtention

Du diplôme de :

**Doctorat en sciences en : HYDRAULIQUE**

**Option : Sciences HYDRAULIQUES**

**Analyse Spatiale et temporelle des transports sédimentaires dans  
les hydro-systèmes du Nord-Ouest de l'Algérie**

Présentée par :  
**HAFIED Yacine**

Soutenue publiquement le : 07/04/2021

**Devant le jury composé de :**

Dr. REMINI Boualem	Professeur	Président	Université de Blida
Dr. BOUZIANE Mohamed Tewfik	Professeur	Rapporteur	Université de Biskra
Dr. MAAROUF Nadir	MC'A'	Examineur	Université d'Oum El Bouaghi
Dr. MIMECHE Leila	MC'A'	Examineur	Université de Biskra
Dr. MASMOUDI Rachid	MC'A'	Examineur	Université de Biskra
Dr. Ghomri Ali	MC'A'	Examineur	Université d'El Oued

## **DEDICACE**

Je dédie ce mémoire à Ma très chère épouse Bellil Hamida, qui n'a pas cessé de me soutenir et de m'épauler, à mon père qui a été et qui sera un exemple pour moi par ses qualités humaines, sa persévérance et perfectionnisme, à ma défunte mère qui serait fière de moi, ainsi qu'à tous mes frères et sœurs.

Je le dédie en outre à tous mes professeurs qui m'ont aidé dans l'acquisition du savoir, à tous ceux – amis et collègues-, qui m'ont encouragé avant et pendant mes recherches.

Hafied Yacine

## REMERCIEMENTS

Qu'il me soit permis ici, profondément et sincèrement de remercier tous ceux qui, de près comme de loin, en Algérie et en Ukraine, se sont intéressés à cette recherche et qui m'ont aidé à sa réalisation, et en particulier :

Monsieur le professeur **BOUZINE Mohamed Tewfik** qui a bien voulu suivre et diriger patiemment ce travail. Ses conseils précieux, ses justes critiques témoignent de l'intérêt qu'il me portait et m'ont beaucoup encouragé dans la continuité.

Monsieur le professeur **REMINI Boualem**, qui le premier, m'a donné le gout de la recherche et sans ses aides, ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Monsieur le docteur **MAROUF Nadir**, qui m'a aidé beaucoup par ces conseils, ces critiques, ces orientations, ainsi que ces encouragements même dans les moments difficiles, sans lui, ce mémoire ne sera jamais achevé.

Monsieur **LUBOMIR Shynkaruk**, Maître de conférences à l'université nationale de l'eau et des ressources naturelles à Rivne en Ukraine.

Messieurs les membres du jury qui ont accepté de m'accorder une partie de leur temps pour lire et apprécier cette recherche.

Je voudrais aussi remercier l'équipe de laboratoire de recherche en Ukraine et en Algérie, ainsi que mon Staff de TEC-4, et mes amis d'Amenhyd, par ses compréhensions généreuses, m'ont permis de mener cette tâche jusqu'à son terme.

Je voudrais enfin exprimer ma reconnaissance à tous mes amis et aux membres de ma famille, pour avoir su se montrer, tout au long de ces années, compréhensifs et attentifs.

Hafied Yacine.

## ملخص

نظراً لتعقيد المعلمات الشكلية للأحواض وعدم انتظام المناخ المائي في المناطق شبه القاحلة في شمال إفريقيا، لا يزال النقل الصلب بعيداً عن التقييم الواضح. تحاول هذه الدراسة إلقاء الضوء على هذه المشكلة؛ من أجل تصور نموذج عام لتقدير حمل الرواسب المعلقة، مع الأخذ في الاعتبار جميع مياه التيار للمنطقة الشمالية الغربية من الجزائر. يعتمد الحساب على استخدام طريقة شبكة الخلايا العصبية الاصطناعية (ANN)، التي أثبتت نجاحها وموثوقيتها في العديد من مجالات البحث. يتم قياس البيانات التي تم جمعها في محطات القياس الهيدرومترية لعدة أحواض، سيما أحواض الشلف، و تافنة، و ماقطة و وهران. النتائج التي تم الحصول عليها بواسطة طريقة (ANN)، موثوقة بدرجة كافية، تم الحصول على أفضل الارتباطات لكل تيار ماء مدروس يتجاوز 97% في حالة نموذج محدد لكل محطة، و 90% في حالة تميز النموذج العام لجميع المحطات المدروسة، مما يسمح للنموذج المستخرج بإعطاء تقدير أفضل لمعدلات تدفق المواد الصلبة المعلقة لأي معدل تدفق سائل مقاس لأحواض شمال غرب الجزائر. كلمة مفتاحية: النقل الصلب، طريقة ANN، مستجمعات المياه- شمال غرب الجزائر، سد الطمي.

## Résumé

Vu la complexité des paramètres morphométriques des bassins versants et l'irrégularité hydroclimatique dans les régions semi-arides du nord-africain, le transport solide reste loin d'être évalué convenablement à nos jours. Cette étude tente donc de mettre la lumière sur ce problème, afin d'envisager un modèle global pour la quantification de la charge sédimentaire en suspension, en tenant compte de l'ensemble des oueds de la zone Nord-ouest d'Algérie. Le calcul s'est basé sur l'utilisation d'un réseau de neurones artificiel RNA et qui a prouvé sa réussite et sa puissance dans plusieurs domaines de recherches. Les données collectées sont mesurées dans plusieurs stations hydrométriques des oueds situés dans cette zone, à savoir les oueds des bassins versants de Cheliff, Tafna, Macta et Oranais. Ces données sont divisées en trois blocs, le premier bloc composé de 60% des données pour l'apprentissage, le second contient 20% pour la validation et le dernier 20% pour le test. Les résultats obtenus, sont fiables et éloquentes, les corrélations de chaque oued étudié dépassent 97% (modèle propre à chaque station), et 90% dans le cas d'un modèle global caractérisant l'ensemble des stations étudiées, ce qui permet au modèle extrait de donner une meilleure estimation des débits solides en suspension pour n'importe quel débit liquide mesuré.

### Mots-clés :

Transport solide – Méthode RNA - Bassins versant- Nord-Ouest Algérien- Envasement – Barrage.

## ABSTRACT

Due to the complexity of basins morphometric parameters and the hydroclimatic irregularity of the semi-arid regions of North Africa, solid transport are still far from being clearly assessed. This study attempts to shed a light on this problem; in order to conceive a global model for the suspended sediment load quantification, taking into account all stream waters of the North-West area of Algerian. The calculation is based on the use of the ANN artificial neurons network method, which has proven its success and its reliability in several fields of research. The collected data are measured in hydrometric stations of several basins, such as Cheliff, Tafna, Macta and Oran's basins. The obtained results by the ANN method, are sufficiently reliable, the best correlations were obtained for each studied stream water exceeds 97% (specific model to each station), and 90% in the case of a global model characterizing for all studied stations, which allow the extracted model to give better estimation of the suspended solid flow rates for any measured liquid flow rate of the north-west Algerian basins.

Keywords: Solid transport - ANN method - Watersheds - North-West Algeria - Siltation dam.

## LISTE DES FIGURES

Figure II.1. Débit liquide en fonction du débit solide calculé par chaque formule (1-Velikanov, 2- Einstein (approchée),3- Cho-klitcha, 4-Kalinske, 5-Panteleopous, 6-Chamov, 7-Einstein, 8-Meyer-Peter, 9- Levi ; 10- Gontcharov.)	11
Figure II.2.Taux de sédiments calculé par les formules (1-Oumarov ; 2- Eguazarov ; 3- Gontcharov ; 4- Gvelessiani ; 5- Levi ; 6- Mayer-Peter.....	12
Figure II.3. Taux de sédiments dans l'écoulement (1-données expérimentale de Bogoliobov ; 2,3-courbes obtenues par les formules de Chamov ; 4-courbe de la formule de Levi ; 5- Formules de Gontchapov ; 6-Pocinsko).	13
<i>Figure III.1.Représentation des Bassins étudiés (ANRH, 2016)</i> .....	29
Figure III.2 Distribution des stations hydrométriques. ....	30
Figure III.3.Bassin versent de Oued Djidiouia. ....	32
Figure III.4. Bassin versent de Oued Cheliff.....	32
Figure III.5.Oued Djidiouia photo google earth. ....	32
Figure III.6.Oued Djidiouia .....	33
Figure III.7. Oued Cheliff photo google earth. ....	33
Figure III.8.Oued Cheliff.....	34
Figure III.9.Oued Cheliff.....	34
Figure III.10. Bassin versent de Oued Tafna .....	36
Figure III.11.Bassin versent de Oued Mouillah .....	36
Figure III.12. Oued Tafna photo sur google earth. ....	37
Figure III.13.Photo d'Oued Tafna .....	37
Figure III.14. Photo d'Oued Tafna .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure III.15. Photo d'Oued Mouilleh .....	38
Figure III.16. Photo d'Oued Mouilleh .....	38
Figure III.17.Bassin versent de Oued Mekerra .....	39
Figure III.18.Bassin versent de Oued Froha .....	39
Figure III.19. Bassin versent de Oued Mekerra.....	39
Figure III.20. Bassin versent de Oued Mekerra.....	40
Figure III.21. Bassin versent de Oued Mekerra.....	40
Figure III.22.Oued Froha photo aerienne .....	41
Figure III.23. Oued Froha.....	41
Figure III.24..Bassin versent de Oued Mellah .....	42
Figure III.25.Bassin versent de Oued Mallah .....	42
Figure III.26. Oued Mallah pendant les crues.....	43
Figure III.27. Schéma structurale de la chaîne alpine de l'Afrique du nord (Benest, 1985).....	44
Figure III.28.Carte géologique de l'Algerie du Nord .....	45
Figure III.29. Carte de sensibilité à l'érosion de la région.....	48
Figure III.30.Fig.II.30. Carte de sensibilité à l'érosion de la région. ....	50
Figure III.31. Représentation de débits solides en fonction de débits liquides mesurés dans chaque station. ....	52
Figure III.32.Représentation de débits liquide en fonction de la hauteur d'eau mesurés dans chaque station. ....	54
Figure III.33. Représentation de débits solide en fonction de la hauteur d'eau mesurés dans chaque station. ....	56
Figure IV.1. Schématisation d'un neurone biologique avec son arborisation.....	60
Figure IV.2. Neurone biologique et Artificiel avec multi entrées.....	61

Figure V.2. Représentation des débits solides simulés (Output) en fonction de débits solides mesurés (Target) (apprentissage, validation, test et global) simulés par modèle global. ....	76
Figure V.4. Variation des débits solides simulés de modèle générale aux débits solides simulés de modèle individuel ( $Q_{ssimglob} - Q_{ssim}$ ) dans les différentes stations étudiées. ....	78
Figure V.5. Présentation des débits calculés par les différentes méthodes en fonction de débits mesurés. ....	82

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1. Premier groupe .....	4
Tableau II.2. Deuxième groupe .....	4
Tableau II.3. 3eme groupe .....	5
Tableau II.4. Capacités des barrages Algériens .....	26
Tableau III.1. Données de chaque station hydrométrique.....	30
Tableau III.2. Caractéristiques des bassins versants étudiés.....	31
Tableau III.3. Classes selon lasensibilité des terres à l'érosion du Nord de l'Algérie .....	48
Tableau IV.1. Fonction de prétraitement .....	67
Tableau IV.2. Fonction de division.....	68
Tableau IV.3. liste des algorithmes d'apprentissage.....	71
Tableau V.1. Paramètres de calcul de chaque station de mesure. ....	73
Tableau V.2. Variation des débits solides calculés-débits réels ( $Q_{ssim}-Q_{smes}$ ) dans les différentes stations étudiées. ....	75
Tableau V.3. Paramètres de calcul de chaque station de mesure.....	75

## LISTE DES CARACTERES

$Q_s, q_s$	débit solide (kg/s)
$I, i$	Pente (m/m)
$Q_l, q$	débit liquide (m <sup>3</sup> /s)
$\gamma$	Coefficient de poisson
$v_{cr}$	vitesse critique (m/s)
$g$	Gravité (m/s <sup>2</sup> )
$S$	Section du canal/oued (m <sup>2</sup> )
$S_{cr}$	Section critique (m <sup>2</sup> )
$v$	Vitesse moyenne (m/s)
$Fr$	Nombre de Froude
$q_0$	Débit moyen (m <sup>3</sup> /s)
$h$	Hauteur d'eau (m)
$d$	Diamètre de la particule en suspension (mm)
$\rho$	Poids volumique de l'eau (kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_l$	Poids volumique des sédiments (kg/m <sup>3</sup> )
$\eta$	Coefficient de distribution des sédiments
$C_D$	coefficient de résistance des particules à l'arrachement
$C^*$	coefficient de forme
$E$	Taux d'abrasion annuel (t/km <sup>2</sup> /an)
$R$	Ecoulement annuel (mm)
$C$	Concentration en matière solide (g/l).
$As$	Apport solide annuel, mensuel ou saisonnier (tonnes).
$Ass$	Apport solide spécifique (t/km /an).



## SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES.....	I-5
LISTE DES TABLEAUX.....	I-7
LISTE DES CARACTERES .....	I-8
I. INTRODUCTION GENERALE .....	1
II. CHAPITRE I. HISTORIQUE DE TRANSPORT SOLIDE.....	2
II. 1. INTRODUCTION .....	2
II. 2. CLASSIFICATIONS DES EQUATIONS .....	2
II. 3. HISTORIQUE DES EQUATIONS .....	5
II. 4. HISTORIQUE DES RECHERCHES DANS L'AFRIQUE DU NORD.....	13
II. 4. a. Travaux de J. Tixeront (1960).....	14
II. 4. b. Etude de J. Capolini (1965-1969) .....	15
II. 4. c. Etude de A. Demmak (1982).....	15
II. 4. d. Travaux de J. Colombani et C. Olivry (1984).....	17
II. 4. e. Etude de A. Ghorbel et J. Claude (1997) .....	18
II. 4. f. Etude de M. Kassoul, A. Abdelkader et M. Belorgey (1997) .....	20
II. 4. g. Etude de B. Remini (1998) .....	20
II. 4. h. Etude de M. Bouraba (2002).....	23
II. 4. i. Travaux de M. Meddi (2005).....	23
II. 4. j. Etude de A. Bouanani (2004).....	24
II. 4. k. Etude de M. Achite, B. Touaibia et S. Ouillon (2006) .....	25
II. 4. l. Etude de A. Ghenim, A. Seddini et A. Terfous (2007).....	26
II. 4. m. Travaux de B. Touaibia (2009).....	27
II. 5. CONCLUSION.....	28
III. Chapitre II. REPRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET ANALYSE DES DONNEES	29
III. 1. INTRODUCTION.....	29
III. 2. BASSINS ETUDIES.....	29

III. 3. CARACTERISTIQUES DES BASSINS ETUDIES .....	31
III. 3. a. Bassins de Chellif .....	31
III. 3. b. Bassins de TAFNA .....	34
III. 3. c. Bassins de Macta.....	38
III. 3. d. Bassins d’Oranais .....	41
III. 4. GEOLOGIE ET INTERACTION HYDROLOGIQUE .....	43
III. 4. a. Cadre général .....	43
III. 4. b. La lithologique.....	44
III. 4. c. Sensibilité Des Terres Du Nord De L'Algérie .....	47
III. 4. d. CLIMAT ET VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE .....	49
III. 5. ANALYSE DES DONNEES.....	50
III. 5. a. DISTRIBUTION DE DEBIT SOLIDE EN FONCTION DE DEBIT LIQUIDE. ....	50
III. 5. b. VARIATION DE DEBIT LIQUIDE EN FONCTION DE LA HAUTEUR D’EAU.....	52
III. 5. c. VARIATION DE DEBIT SOLIDE EN FONCTION DE LA HAUTEUR D’EAU.....	54
IV. CHAPITRE III : LES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS.....	57
IV. 1. INTRODUCTION.....	57
IV. 2. HISTORIQUE.....	57
IV. 3. NEURONE BIOLOGIQUE ET NEURONE ARTIFICIEL .....	59
IV. 3. a. Le modèle neurophysiologique.....	59
IV. 3. b. Nerone artificiel.....	60
IV. 3. c. Les réseaux de neurones monocouche.....	60
IV. 4. RESEAUX DE NEURONES MULTICOUCHES ET APPRENTISSAGE EN RETRO- PROPAGATION.....	61
IV. 4. a. Architecture De Réseaux Neuronaux Multicouches.....	63
IV. 4. b. RESEAU NEURONAL FEEDFORWARD.....	64
IV. 4. c. III.4.3.PREPARATION DES DONNEES POUR LES RESEAUX NEURONES MULTICOUCHES .....	65

IV. 4. d. LE CHOIX DES FONCTIONS DE TRAITEMENT DES ENTREES-SORTIES DU RESEAU NEURONAL.....	66
IV. 4. e. Division Des Donnees ( $Q_1$ - $Q_s$ ) Pour Un Apprentissage Optimal Sur Les Réseaux Neurone.....	68
IV. 4. f. CREATION DES RESEAUX DE NEURONES MULTICOUCHES.....	69
IV. 4. g. AUTRES ARCHITECTURES .....	70
IV. 5. EXECUTIONNET D'UN RESEAU NEURONE MULTICOUCHES.....	70
IV. 6. AMELIORATION DES RESULTATS.....	71
V. APPLICATION ET COMPARAISON DES METHODES DU CALCUL .....	73
V. 1. MODELISATION PAR RNA .....	73
V. 1. a. Modèle de chaque station.....	73
V. 2. Modèle Global du Nord-Ouest Algérien .....	75
V. 3. TEST DU MODÈLE GLOBAL DANS CHAQUE BASSIN .....	77
V. 4. MODEL MATHEMATIQUE .....	79
V. 4. a. METHODE DE LEVENBERG-MARQUARDT (LM) .....	79
V. 4. b. METHODE DE MOINDRE CARRE.....	79
V. 5. APPLICATION DE QUELQUES METHODES.....	80
V. 6. CONCLUSION .....	82
VI. CONCLUSION GENERALE.....	83

# I. INTRODUCTION GENERALE

En raison de son climat semi-aride, l'irrégularité de son relief et sa pluviométrie, le Nord-Ouest d'Algérie est l'une des régions les plus vulnérables à l'érosion des sols. L'importance des sédiments qui atteignent l'assiette des barrages, a suscité un bon nombre des chercheurs qui ont tenté d'interpréter le problème avec plusieurs outils, afin d'arriver à une quantification du transport solide qui s'approche de la réalité. Dans ce contexte on citera les travaux de Tixeront (1960) [31], Capolini (1965-1962) [7], Heusch(1982) [11], Milliman et Meade (1983) [21], Sogreah (1983) [29], Walling (1984) [33], Lahlou(1994) [12], Probst et Suchet (1992) [23],Ghorbel et Claude (1977) [10], Rais et Abidi (1989) [24], Albergel et al.(1998) [3], Snoussi et al.(1990) [27], Merzouki (1992) [20], Moukhchane et al. (1998) [22], Demmak (1982) [9], Colombani (1984) [8], GHorbel et Claude (1977) [10], Bourouba (2002) [6],Remini (1996-1997) [25][26], Terfous et al.(2001, 2003) [5], Ghnim (2001)[10] et Megnounif et al. (2003) [19], Bouanani (2004) [5], Meddi (1999) [18], Marouf (2011-2012) [15][16], B.A.Tarik et N.Dechemi, qui ont étudié quelques bassins versants Algériens, Tunisiens, et Marocains.

En réalité le problème est très difficile, complexe et loin d'être résolu avec les formules théoriques actuelles, vu l'écart quantitatif considérable entre chaque formule utilisée, ainsi que la différence constatée entre les quantités mesurées lors des envasements des barrages et les estimations faites pendant leurs conceptions. Chose qui nous a obligé de pencher vers une autre issue pour résoudre ce problème d'une manière concrète, pour le faire on doit recourir à la méthode du réseau de neurones *RNA* connue par sa puissance, son efficacité et sa réussite dans plusieurs domaine de recherche.

Cette étude s'appuie sur les données historiques « débits liquides-débits solides » des Bassins versants de Nord-Ouest d'Algérie à savoir Cheliff, Tafna, Macta et l'Oranais, pour estimer la charge sédimentaire en suspension

## II. CHAPITRE I. HISTORIQUE DE TRANSPORT SOLIDE

### II. 1. INTRODUCTION

Si les méthodes de détermination du transport solide en suspension, sont abordées dans les travaux de (Lane et Kalinske, 1939; Einstein, 1942, 1950 ; Brooks, 1958 ; Bagnold, 1966 ; Yang, 1996), parce que la quantification de la charge sédimentaire est encore un enjeu dans les études de dynamique fluviale. Les processus physiques impliqués, sont en effet mal interprétés et complexes. La quantité de variables engagées dans la mécanique du transport solide, rend difficile l'établissement de critères satisfaisants dans tous les cas, de sorte qu'il n'existe pas des méthodes universellement adoptées.

Plusieurs hydrauliciens et géomorphologues, ont cherché à établir des relations permettant d'estimer le transport solide des cours d'eau. Parmi les nombreuses méthodes trouvées dans le domaine, il existe des méthodes purement empiriques jusqu'aux modèles théoriques complexes. Certaines, estiment la quantité de sédiments transportés de façon directe, d'autres, de façon indirecte en utilisant comme données les paramètres hydrauliques de la section ou du tronçon d'étude et les caractéristiques des matériaux de fond.

### II. 2. CLASSIFICATIONS DES EQUATIONS

Les équations les plus utilisées par les hydrologues et les géomorphologues pour estimer le transport solide, sont des formules développées pour quantifier le transport solide d'un courant en fonction des caractéristiques hydrauliques, la géométrie du canal et des caractéristiques granulométriques des matériaux de fond. Ils sont classés en trois groupes. Le premier groupe, relevant des celles qui donnent seulement la charge en suspension. Dans ce cas, la charge de fond (charriage) est inférée indirectement en fonction des matériaux en suspension. Le deuxième groupe, existe les formules qui donnent directement le charriage. Enfin, le troisième groupe, où les formules incorporent les deux types de transport en donnant la charge totale. En vertu de la complexité des processus impliqués et de la quantité de paramètres liés au transport mécanique des sédiments dans un écoulement, plusieurs méthodes ont été développées au long des années. La majeure partie des méthodes, a été basée sur des approches théoriques ou semi-empiriques, élaborées dans des canaux expérimentaux, où le chercheur possède le contrôle de tous les variables impliquées dans les processus de transport solide. Dans ces cas, on cherche à estimer le transport solide à partir des interactions entre les conditions hydrauliques du débit et les caractéristiques des sédiments, lesquels sont déjà connues. Dans quelques cas, les formules ont été testées ultérieurement et améliorées avec des données prises sur terrain. Pour approbation et leur applicabilité au milieu naturel. En général, les méthodes

théoriques sont obtenues à partir d'assemblage et de simplifications d'équations qui gouvernent le débit et les sédiments, qui peuvent être modifiées dans des différentes conditions. Les fonctions semi-empiriques, sont données en fonction des caractéristiques d'écoulement, qui sont la pente de la ligne d'énergie, la profondeur de la colonne d'eau, la vitesse d'écoulement et les caractéristiques des sédiments (composition du matériel et diamètre des particules).

Sur la base de nombreux documents de l'étude du mouvement des sédiments de fond, de nombreuses expériences pour établir des équations afin de quantifier les sédiments en fonction des principaux facteurs qui déterminent le phénomène. La première c'est la vitesse critique du début du mouvement des sédiments de fond mesurée par Duboys en 1879, il a introduit la notion de pouvoir d'arrachement  $\tau = \gamma RI$ . Dans l'avenir, un certain nombre de chercheurs ont introduit divers facteurs de correction à cette formule.

Des études systématiques du mouvement des sédiments du fond (la contrainte de cisaillement sur le fond) ont été effectuées, Parmi ces formules mettant en œuvre la contrainte, on peut citer celles de Meyer-Peter et Mueller, [1948], Engelund et Hansen, [1967], Ackers et White [1973] Parker, [1979], Mizuyama, [1977], Smart et Jaeggi, [1983], Van Rijn, [1984].et Recking et al. [2008]. Un examen des études de chercheurs est donnée dans « les monographies » de YA Ibad-Zadeh (1974).

Dans l'URSS ou actuellement l'Europe de l'est, les premiers rapports sur les résultats des observations de la formation de canaux fluviaux et le mouvement des sédiments, ont été faits sur la convention de l'ingénieur hydraulique, Engineers (1892), les plus grands ingénieurs hydrauliques russes de cette époque, VM Lokhtin et IS Lelyavsky. Le détail sur ce sujet a été abordé dans la monographie VM Lokhtina "Sur le mécanisme de la rivière" (1897). Mode d'observation appliqué, pour la première fois a eu lieu avec V.G. Glushkov (1909). Il a également établi le premier compte utilisateur de sédimentation de la rivière et les méthodes d'analyse de la taille des particules de sédiments (1981). Dans l'avenir, des études théoriques et de laboratoire sur le mouvement des sédiments au fond ont été faites, à l'aide de lois d'échelle et la modélisation. Un aperçu de ces recherches, sont donnés par U.C Ibad-Zadeh (1974), A.V.Karausheva (1977), KI Rossinsky Debolsokogo et VK (1980); NS Znamenskaia (1963), NN Grishina (1982), Schoklitsch, [1962], Rickenmann, [1991], Sogreah, [1991] et Lefort, [2007].et d'autres.

L'Analyse montre que l'ensemble de ces formules peuvent être divisées en quatre groupes. Le premier groupe, les formules qui expriment le débit des sédiments en fonction de force de frottement (contrainte de cisaillement). (tab.1.). Du second groupe les formules, qui expriment le débit des sédiments en fonction des caractéristiques de l'écoulement et de la pente. (Tab.2.). Le troisième groupe généralise les formules, qui expriment débit de sédiments en fonction de la vitesse et les caractéristiques des particules (tab.3.). Le quatrième groupe des formules qui ont été largement

utilisées en relation avec le développement et l'amélioration des méthodes de matériel de mesure, et qui prennent en compte l'effet des caractéristiques cinématiques de l'écoulement

Tableau II.1. Premier groupe

Auteur	Formule	
DuBoys 1879	$Q_s = \varphi(S - S_{cr})$	
U.V.eguzarov (1949,1956)	$Q_s = k\gamma q i^{1/2} \frac{S-S_{cr}}{S_{kp}} \frac{\gamma_1}{\gamma_1-1}$ ; $Q_s = 0.015 i^{1/2} (1 - \frac{S_{cr}}{S}) \frac{S}{S_{cr}}$	
A.ch.barakyan (1960)	$Q_s = \beta\gamma \frac{\gamma_1}{\gamma_1 - \gamma} S (\frac{v}{v_{cr}} - 1)$	
DuBoys -chtraoubi (1973)	$Q_s = 0.564 \frac{\Psi}{\gamma^2} \tau(\tau - \tau_{cr})$	
Engeland-Hansan (1967)	$Q_s = 0.564\gamma_1\gamma^2 \sqrt{\frac{d_{50}}{g(\gamma_1/\gamma - 1)} \left[ \frac{\tau_{kp}}{(\gamma_1 - \gamma)d_{50}} \right]^{5/2}}$	
Guard et Dr (1971)	$Q_s = 3(S - S_{cr}) \frac{\alpha\gamma_1}{f\gamma v^{0.35}}$	
M.S. Yaline (1967)	$Q_s = kS^* \left[ 1 - \frac{1}{aS^*} Ig(1 + aS^*) \right]$	
P.N.Sourov (1940)	$Q_s = 2.2 \frac{\gamma_1}{\gamma_1 - \gamma} v_{kp} (S - S_{cr})$	
Tchang , Simons, Richardson (1968)	$Q_s = k \frac{\gamma_1}{\gamma_1 - \gamma} \frac{v}{w} (S - S_{cr})v$	
Braien , bundlaoubi (1961)	$Q_s = k(S - S_{cr})^m$	
Io.G.Ubaninko (1964)	$Q_s = 0.57 \frac{\gamma_1}{\gamma_1 - \gamma} \frac{v}{w} (S - S_{cr})v$	
A.k.Korochkin (1965)	$Q_s = 0.017(Fr/f_1)^2$	

Tableau II.2. Deuxième groupe

Auteur	Formule	
Choklitch	$Q_s = \frac{7000}{\sqrt{d}} I^{3/2} (q - q_0)$	
Eguazarov (1956)	$Q_s = Q_x \frac{\gamma}{\gamma_1 - \gamma} \frac{\gamma_1}{\gamma_1 - \gamma} \gamma q I^{3/2} \frac{R}{d} \left[ 1 - \frac{0.012}{G_*} \frac{\gamma_1}{\gamma_1 - \gamma} \frac{d}{RI} \right]$ $Q_s = 24Q \frac{v}{C\sqrt{h}} \left( \frac{d_{max}}{d_{cp}} - 1 \right)$	
Erkek (1973)	$Q_s = \frac{4}{d^{2/3}} \sqrt{I} (q - q_0)$	
Mayer-Peter (1934)	$Q_s = aI^{3/2} (Q^{2/3} - bd/I)$ , avec a=17,b=0.4	
Mayer-Peter-Muller (1948)	$\gamma \left( \frac{n_0}{n_s} \right)^{3/2} \frac{Q_s}{Q} \frac{hl}{\gamma_1 d} = a + b \frac{q^{3/2}}{\gamma_1 d} \left( \frac{\gamma}{d} \right)^{1/3}$ avec a=0.047,b=0.25	
Daougueli (1954)	$Q_s = aI^{3/2} (q - q_0)$	

Oumarov (1967)	$Q_s = 0.125\gamma q I^{3/2} \left[ 0.4 \frac{v}{gd(\rho_1 - \rho)\rho} - 1 \right]$	
----------------	--	--

Tableau II.3. 3eme groupe

Auteur	Formule	
Mioulgofer (1939)	$Q_s = kv^2(v^2 - v_0^2)$	
Levi (1948)	$Q_s = 0.002 \frac{v}{\sqrt{gd}} - d(v - v_0) \left(\frac{d}{h}\right)^{1/4}$	
Lopatine (1954)	$Q_s = \frac{1.4 \cdot 10^3 I^{4/3} (v - v_0)}{\sqrt[3]{d}}$	
Chamov (1954)	$Q_s = 0.95\sqrt{d} \left(\frac{v}{v_0}\right)^3 (v - v_0) \left(\frac{d}{h}\right)^{1/4}$ ; $v_0 = 3.83d^{1/3}h^{1/6}$	
Gvelissiani (1950)	$Q_s = 12.95 \frac{dv_0}{Ig \left(\frac{12d_{max}}{d} + d\right)^2} \left(\frac{v^3}{v_0^3} - 1\right) \left(\frac{v}{v_0} - 1\right)$	
Gontcharov (1938)	$Q_s = 2650(1 - \beta)n \frac{1+\varphi}{1350} v_0 \left(\frac{v}{v_0}\right)^{4.33}$ ; $\beta = 0.4$	
Grichanin (1969)	$Q_s = 0.015 \left(\frac{v}{v_0}\right)^3 d(v - v_0)$	
Tolmaza (1968)	$Q_s = a \frac{v^4}{\sqrt{h}} (v - v_0)$	

Les formules des trois premiers groupes comprennent des paramètres hydrauliques, bien qu'ils prennent en considération uniquement les processus de déplacement des sédiments, elles sont largement déterminées par la structure de turbulence de lit de la rivière. Dans le quatrième groupe des formules statistique et mathématique qui sont largement utilisées.

## II. 3. HISTORIQUE DES EQUATIONS

A La base de ces formules théoriques servies Velikanov-Einstein (Einstein 1937 Velikanov, 1945, 1948,1955), dans lequel le débit solide est déterminé en fonction de la probabilité de l'arrachement des particules solides du fond et les maintenir en suspension, à la lumière de cette théorie, les paramètres de base qui déterminent le processus en question sont des caractéristiques de débit et la taille des particules (Ibad-zade et Al, 1978)

Comme le montre K.I Rosinski (1972), la vitesse de déplacement des particules sur le fond

$$v_{cr} = \sigma_x \sqrt{2\pi} \quad II.1$$



Cette formule montre que même lorsque la vitesse moyenne de circulation ne dépasse pas la valeur critique, la particule peut se déplacer sous l'influence des composants de pulsation qui, à certains moments peuvent être des vitesses d'érosion.

Einstein (1937), compte tenu du mouvement brusque de sédiments, lié au passage de particules d'une certaine probabilité avec sa taille et du débit. M.A.Velikanov considère l'entraînement des sédiments, après un brusque mouvement proportionnel à la probabilité de l'arrachement des particules du fond et de la probabilité de les maintenir dans le courant pendant une certaine période de temps.

Einstein (1937) a proposé la formule suivante pour le taux de sédiments de fond:

$$Q_s = \frac{3,34wd}{e^{0,39a/h_i-1}} \quad \text{Ou} \quad \varphi = 2,1 e^{-0,39\psi^{-1}} \quad II.2$$

$\varphi = Q_s/(wd)$ ,  $\psi = h_i/(ad)$ , le premier critère est caractérisé par la vitesse d'écoulement, et le seconde la mobilité des sédiments.

KV Grishanin (1972), estime que l'hypothèse du mouvement de petit-temps n'est pas nécessaire et que la décision d'Einstein, peut être appliquée sous intense transport des sédiments.

Basé sur la théorie des processus de renouvellement (Koski, Smith, 1967) et compte tenu du processus de Poisson, qui est le processus de déplacement sur le tracé par des particules, KV Grishanin vient sur la décision Einstein:

$$f(S, t) = \gamma e^{\gamma S} - \sqrt{\frac{\alpha t}{\gamma S}} I_1(2\sqrt{\gamma \alpha S t}) \quad II.3$$

Où  $f(S, t)$  : fonction la distribution de densité de sédiment.

$S$  : section traversée par la particule pendant le temps  $t$ ,

$\gamma$  : Coefficient de poisson pour une période de  $1/4$ .

$$f(l) = \gamma e^{-\gamma l} \quad II.4$$

Ici  $\gamma = 1/[M(l)]$  : l'inverse de l'attente de longueur d'un progrès ;  $\alpha$ -par analogie à l'inverse de l'attente du temps de repos, à savoir  $\alpha = 1/[M(T)]$ .

Avec le Transports intensive des sédiments lors de temps de Repos de  $t_r$  et si des Progrès comparables  $t_m$ , nous avons, selon KV Grishanin deux cycle de répartition de densité exponentielle:

$$f_1 = \alpha e^{-\alpha t_1}; f_2 = \beta e^{-\beta t_m} \quad II.5$$

avec  $t_m$ ,  $t_r$  et K.V. Grishanin trouve la formule

$$\frac{1}{\mu} f(\mu t_c) = 4\mu t_c e^{-2\mu t_c} \quad II.6$$

Où  $t_c$ : la durée du cycle complet (avancé et retardé), qui est le résultat de deux façon exponentielle avec le même paramètre  $\alpha = \beta = 2\mu$ .

Comme connu de densité  $f(r_n)$  totaux sauts consécutifs de temps. Cela est le résultat de  $(n-1)$  fois la longueur de la convolution des densités de cycles de conduite, KV Grishanin détermine la probabilité que le nombre de sauts:

$$P(n, t) = \frac{(2\mu t)^n}{n!} e^{-2\mu t} \quad II.7$$

et  $a = 1/2$  revient à résoudre Einstein (3)

P.Todorovitch et al (1967) ont conclu qu'Einstein a basé sur théorie aléatoire du mouvement de points le long d'une ligne droite. Après Jeune et Charles W. Sire (1971) ont déterminé que la longueur des sauts de particules de sable à la distribution gamma et les périodes de repos-distribution sont exponentielle.

I.Katsoumasa et al. (1969) ont accepté la conclusion d'Einstein, l'hypothèse d'une distribution de nombre Poisson de particules dans un segment de chemin donné, dans un intervalle de temps donné. Notez que, Einstein lui-même avec la collaboration de Tchuen (1953), ont essayé de calculer le débit total de charriage et de sédiments en suspension en établissant des liens entre le transport des sédiments, la composition mécanique des sédiments et les caractéristiques hydrauliques de l'écoulement. Cependant, l'application pratique de ces relations consiste dans la difficulté d'obtenir des caractéristiques instantanées de sédiments.

La publication d'Einstein et Abdel-Alya (1972) ont généralisé la méthode de calcul de transport de sédiments d'un canal en cas de concentrations élevées des sédiments dans la couche inférieure, et il a été considéré comme un matériau ayant des tailles des sédiments plus au moins uniforme. Comme on le sait, l'équation utilisée pour le transport de sédiments en suspension donne seulement des résultats en vertical, mais pas sa valeur absolue. Einstein (1950) a proposé une méthode de calcul dans lequel l'équation de transport de sédiments en suspension est considérée en conjonction avec l'équation de traction de transport des sédiments de sorte que le taux de transfert complet des matériaux de canal peut être calculée pour différents débits sur la base de la géométrie de canal, le taux et la composition de particule du lit circule sans d'autres mesures dans le courant dominant.

Une méthode similaire à Einstein, a été proposée, par Laursen (1957), qui a étudié l'impact des matières en suspension en introduisant un facteur supplémentaire dans l'équation de fond de transports de sédiments. Toffaletti (1968,1969) affiche la méthode de calcul des principales dimensions des rivières avec des concentrations élevées de sédiments dans la couche inférieure. Cette méthode est à bien des égards similaires à la méthode basée sur les équations Einstein, à l'exception suivante : au lieu de la distribution de vitesse logarithmique, Toffaletti utilise la distribution en loi de puissance, dans lequel les paramètres du lit ne sont pas explicitement inclus.

Il y a d'autres essais de clarification des solutions d'Einstein. Par exemple, I.V Karasev (1965), basé sur le fait que la vitesse d'écoulement à laquelle l'équilibre de particules est perturbé, ne peut pas être considérée par une valeur unique ; vu la probabilité remarquée de l'échec de l'entraînement des particules du fond de l'écoulement turbulent. Colby et Hembree (1955) ont utilisé la théorie d'Einstein pour tenir compte de la concentration totale de sédiments, Brun (1954) a proposé une nouvelle théorie entre les valeurs et S.I. Yalin (1958.1964), a expliqué la théorie d'une importance critique Einstein entraînant l'introduction de la force et en tenant compte des particularités de sédiments en suspension.

Pour déterminer le débit total des sédiments, Kali (1947), a développé une formule dans laquelle l'auteur relie le débit de sédiments de fond avec la probabilité de dépasser une force de palpitation d'attraction sur sa valeur floue:

$$\frac{q_s}{\sqrt{\tau_{cr}/\rho\eta d}} = 7,3\varphi(\tau/\tau_{cr}) \quad II.8$$

Où  $\eta$ - coefficient de distribution des sédiments ;  $\varphi$ -fonction de transport des sédiments ;  $\tau/\tau_{cr}$  rapport entre la contrainte de cisaillement et la contrainte critique.

Ce groupe comprend également la formule de K.V Rossinski et KS Liubomirov (1972) pour les sédiments qui s'écoule dans un écoulement turbulent uniforme:

$$Q_{cr} = \alpha\gamma_H d \left[ (\varphi - \varphi_B)(\bar{v} - v_0) + \frac{\sigma_x}{\sqrt{2\pi}} x \left( e^{-\frac{(\bar{v}-v_0)^2}{2\sigma_x^2}} \right) \right] \quad II.9$$

où

$$\varphi = \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}} \int_{-v_0}^{\infty} e^{-\frac{(\bar{v}-v_0)^2}{2\sigma_x^2}} d\bar{v}_0 \quad II.10$$

Il existe une possibilité de dépassement de vitesse instantanée  $\bar{v}$  dans la zone inférieure de la vitesse moyenne ( $v_0$ ), de dépôts de la taille d'un coefficient ( $\varphi_B$ ) est égale à la probabilité de dépassement de la vitesse d'écoulement dans la zone inférieure de la vitesse d'écoulement suffisante

pour poser les particules. Alors la différence  $(\varphi - \varphi_B)$  représente le nombre relatifs de particules érodés.

À la suite aux mouvements du charriage au fond avec des concentrations élevées des particules au fond (Einstein, 1950; Abdel-Al, 1972) ont conçu une formule assez complexe. Selon les recherches de Ibad-Zade (1971), l'effet de la turbulence sur le lit est négligeable, et la saltation est grande.

Un essai intéressant d'utiliser la formule d'Einstein pour le calcul des déformations de lits faits par Pembert (1971). Dans la fonction des sédiments de fond modifié d'Einstein, qui ont été modifiées afin d'être en mesure de déterminer le transport des sédiments, présentés des particules de taille plus de 0.062 mm. Exemples de calcul du transport des sédiments a donné des bons résultats.

Dans la RDA (séance du KIEV, 1972) ont établi l'équation du mouvement des sédiments:

$$0,465\phi = \frac{\exp(-0,391\psi)}{1-\exp\left(\frac{-0,391\psi}{1+81\psi}\right)} \quad II.11$$

Fonction de levage.

$$\psi = \frac{(\rho_H - \rho)gd \cos\alpha}{\tau + a(\rho_H - \rho)gd \sin\alpha} \quad II.12$$

La fonction de sédiments de fond

$$\phi = \frac{1}{w} \frac{Q_s}{\rho_H} \sqrt{\frac{\rho}{(\rho_H - \rho)}} (gd)^{-1.5} \quad II.13$$

Où

$$w = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{36\mu^2}{gd^3 \rho(\rho_H - \rho)}} \sqrt{\frac{36}{gd^3 \rho(\rho_H - \rho)}} \quad II.14$$

Dans ces formule  $\alpha$  l'angle d'inclison ;  $\tau$  contrainte de cisaillement de fond ;  $a$  coefficient de forme des particules ; débit sédimentaire par unité de largeur par unité de temps.

Selon les participants à la réunion, la fonction proposée couvre plus précisément le transport des sédiments de fond que la fonction Einstein (1950). Cependant, la relation soit valable seulement à une granulométrie relativement uniforme de sédiments, sur le degré d'hétérogénéité  $d_{60}/d_{10} < 3$ .

Les études de laboratoire dans les canaux ouverts menées par Bichop et al., ont montré que les formules de Einstein A et B pour les sédiments de fond dans les lits de matériaux en vrac, sont effectivement variable, mais sont en fonction du diamètre des particules de la matière transportée (Ibad Zade 1974).

Christensen et Chow (1973) pensent que le charriage et le glissement des sédiments sur le fond, sont petites, irrégulières, tandis que les sédiments en suspension sont caractérisées par de très grands sauts. En outre, contrairement à Einstein, ils considèrent que la durée moyenne du saut est inversement proportionnelle au diamètre des particules, et ne sont pas directement proportionnelle. Il a été suggéré que le canal et les matériaux transportés ont les mêmes propriétés. En outre, la répartition des variations de vitesse de turbulence est la fréquence gaussienne, les valeurs instantanées de la contrainte de cisaillement et la force de portance hydrodynamique par unité de surface est proportionnel au carré de la vitesse instantanée de l'eau à la surface des particules reposant sur le fond. Enfin, le critère est introduit à une amorce de mouvement qui indique que l'érosion se produit avant que la pression hydrodynamique sur la surface des particules atteint une valeur égale au poids des particules dans l'eau.

À l'issue des expériences, la formule suivante a été proposée

$$P(1 - P) = C^* \sqrt{C_D} d^2 \phi_0 \quad II.15$$

Où P- est la probabilité absolue que les particules se déplacent ; C\* coefficient de forme ; C<sub>D</sub> coefficient de résistance des particules à l'arrachement.

$$\phi_0 = q_s \sqrt{\frac{\rho}{d^3 g (\rho_H - \rho)}} \quad II.16$$

Avec q<sub>s</sub> le volume de particules transportées par unité de temps par unité de largeur du cours d'eau.

Une comparaison de (I .15) avec la formule d'Einstein montre que le coefficient constant dans la formule d'Einstein  $A = C^* \sqrt{C_D} d^2$ , c.-à-d est variable et proportionnelle à d<sup>2</sup> (lorsque C<sub>D</sub>=const).

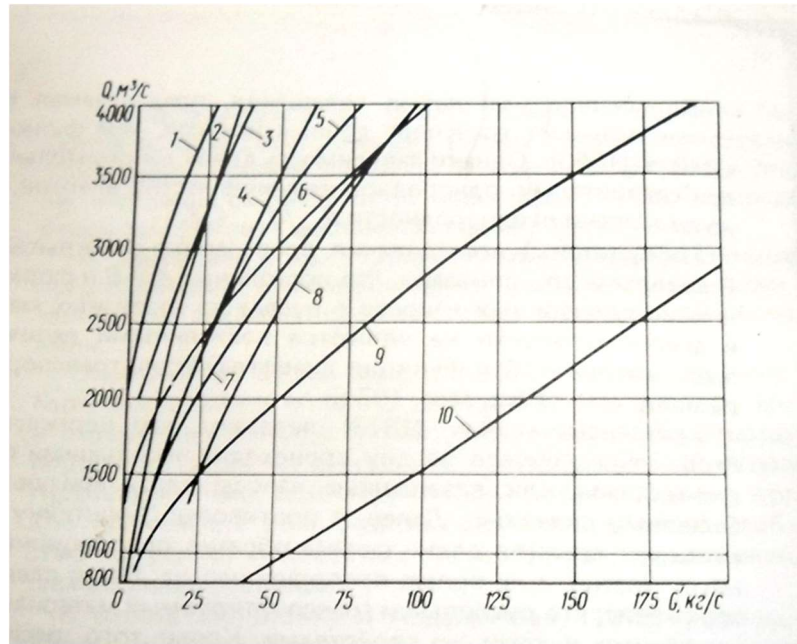


Figure II.1. Débit liquide en fonction du débit solide calculé par chaque formule (1-Velikanov, 2- Einstein (approchée), 3- Cho-klitcha, 4-Kalinske, 5-Panteleopous, 6-Chamov, 7-Einstein, 8-Meyer-Peter, 9- Levi ; 10- Gontcharov.)

Pour préparer des normes pour le transport des sédiments par l'American Society of Civil Engineers (ASCE), ont analysé treize formules Figure.1. {DUBOIS (1979), Meyer-Peter (1934), Choklich (1935), Shields (1936), Meyer-Müller (1948), Einstein-Braun (1950), la fonction de sédiments de fond de Einstein (1950), Larsen (1958), Blenchi (1964), Colby (1964), Engelund (1967), Inglis-Lacey (1968), Toffaletti (1969)} et sur cette base d'analyse, a conclu que la formule de Colby (pour le lit de sable), Tofaletti Engelund (pour les lits, recouvert au  $u*d_{50}/v > 12$ ) donne des résultats proche aux données de terrain. Des scientifiques indiens (Goul, Tarapore, Divit, 1973) basé sur une analyse de neuf formules (Dubois Straube-Einstein-Brown, Shields, Colby Engeland-Hansen, Meyer-Peter-Muller, Larsen-Kale, Blenchi) donné des résultats acceptables.

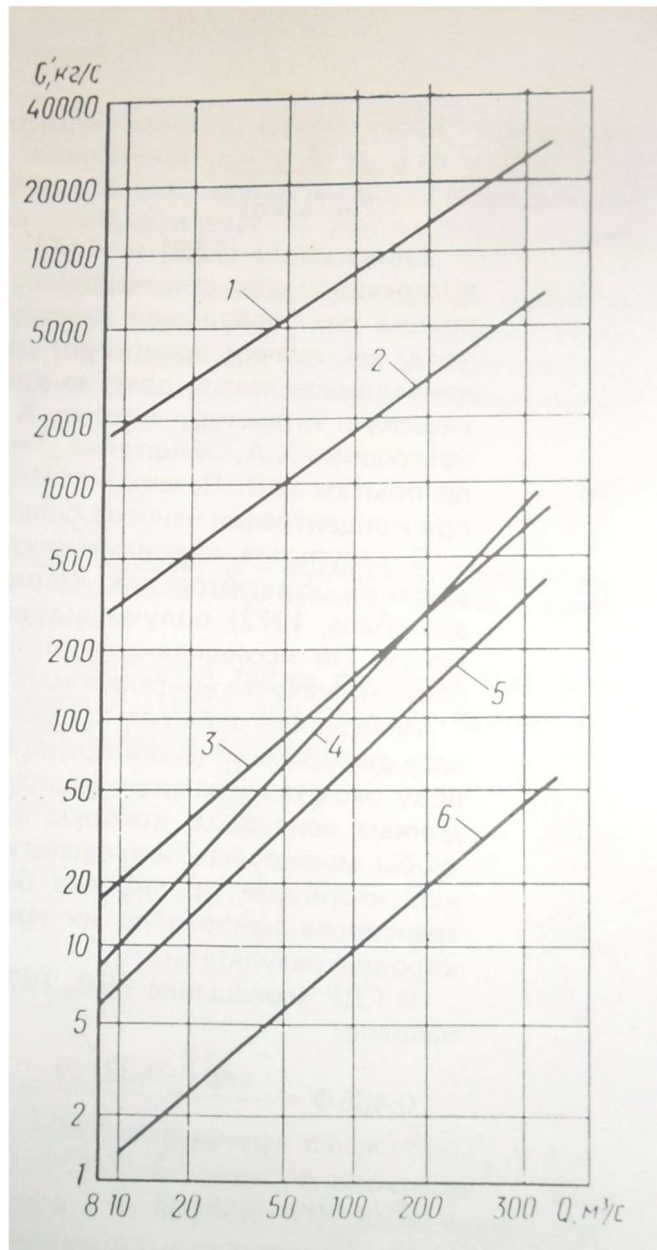


Figure II.2. Taux de sédiments calculé par les formules (1-Oumarov ; 2- Eguazarov ; 3- Gontcharov ; 4- Gvelessiani ; 5- Levi ; 6- Mayer-Peter.

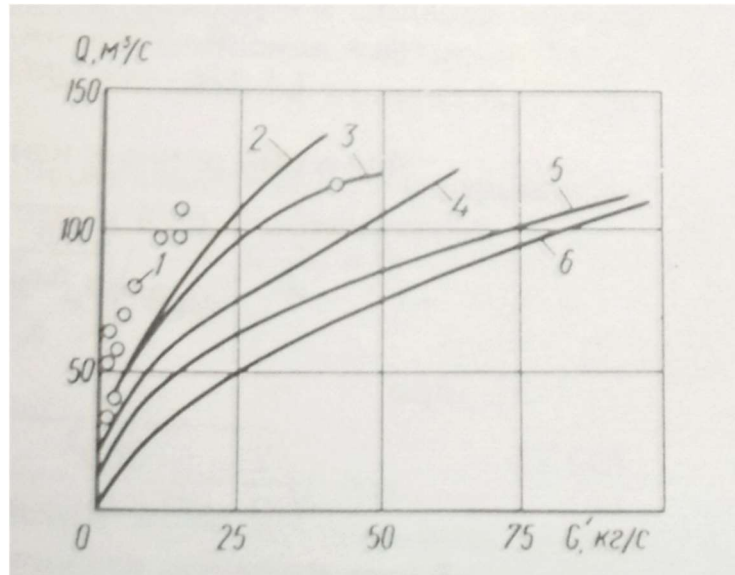


Figure II.3. Taux de sédiments dans l'écoulement (1-données expérimentale de Bogoliobov ; 2,3-courbes obtenues par les formules de Chamov ; 4-courbe de la formule de Levi ; 5- Formules de Gontchapov ; 6-Pocinsko).

En comparant les formules pour le fleuve de Danube, on conclut que la formule la plus acceptable est celle de Mayer-Peter (1961). (*fig.I.1.*).

La vérification des formules, Levy, Gontcharova, Gvelesiani, Egiazarov, Meyer-Peter Oumarov montre, qu'ils sont fortement en divergent entre eux et avec les données expérimentales (figure.I.2.). E.N. Bogolyubov (1968) a mené des études de terrain sur le transport solide de certains cours d'eau du Caucase, Les résultats de mesure ont été comparés avec les calculs de G.I. Shamov, I.I Goncharova, K.I Rossinsky et IV Egiazarov, une forte contradiction avec les données réelles était constatée.

## II. 4. HISTORIQUE DES RECHERCHES DANS L'AFRIQUE DU NORD

Dans les régions du Maghreb (nord d'Afrique), vu l'échec des formules théorique citées auparavant, les majorités des cherches, ont été basées sur les données expérimentales afin d'établir des équations plus fiables dans ce contexte, on signale les travaux des chercheurs suivants qui ont consacré un travail volumineux pour comprendre le phénomène.



#### II. 4. a. Travaux de J. Tixeront (1960)

Dans ces travaux, Tixeront présente quelques données sur le transport solide en suspension en Algérie et en Tunisie en s'appuyant sur les données publiées par les annuaires hydrologiques.

Il a pris 32 stations Algériennes et 9 stations Tunisiennes, dont les surfaces varient entre 90 km<sup>2</sup> et 22300 km<sup>2</sup>.

Avant l'étude quantitative, l'auteur commence par une étude qualitative des différents facteurs conditionnant l'érosion hydrique en donnant ses conclusions à savoir :

##### 1- Influence de la pluie et du ruissèlement annuel :

L'érosion, croit avec l'intensité de la pluie et le ruissèlement. Il remarque, que la teneur en suspension augmente quand le ruissèlement diminue.

##### 2- Influence des facteurs géomorphologiques :

Le substratum, est prépondérant dans l'érosion. Non seulement, les facies jouent leur rôle mais également la tectonique par les mouvements qui peuvent changer les équilibres.

##### 3- Influence des pentes :

Sur des terrains géologiquement stables, il se crée une géologie qui fait coïncider les zones de fortes pentes avec les terrains les plus résistants.

##### 4- Les tectoniques :

Sous l'effet de la tectonique, il se produit des disjonctions.

##### 5- Influence de la répartition saisonnière des précipitations :

La comparaison des bassins limitrophes, fait ressortir cette influence.

##### 6- Le climat et la végétation :

L'érosion, diminue avec la végétation. Les sols couverts de végétation, sont moins érodables.

##### 7- En deuxième lieu, l'auteur s'intéresse aux réactions des divers facteurs les uns sur les autres.

Les conclusions, tirées de cette étude sont :

##### 8- En général, le relief du bassin est élevé là où les précipitations sont fortes.

##### 9- Les hauts reliefs, ont souvent un substratum ancien résistant à l'érosion.

##### 10- Les fortes précipitations, s'accompagnent d'une bonne couverture végétale.

##### 11- Les hauts reliefs très arrosés, sont difficilement cultivables.

L'auteur, arrive à la fin de son étude aux conclusions suivantes :

i. La teneur en suspension, décroît quand le taux de ruissèlement croît.

ii. Le substratum, joue un rôle considérable, avec en général l'augmentation de la teneur quand on descend à l'échelle stratigraphique

iii. Les terrains des régions récemment plissés, paraissent fournir des taux d'abrasion et des teneurs en suspension élevés.

iv. La distribution régulière des précipitations avec maximum en pleine saison végétative, est favorable aux faibles teneurs en suspension.

A la fin de son étude, l'auteur remarque que les caractéristiques des débits solides des cours d'eau diffèrent considérablement entre les trois départements Algériens et en Tunisie. Il avance les relations suivantes, selon les différents départements.

a) Les bassins Tunisiens vitrifient :

$$E = 354 R^{0.15}$$

E = Taux d'abrasion annuel (t/km<sup>2</sup>/an)

R = Ecoulement annuel (mm)

b) Les bassins du département Constantinois.

La relation, est donnée par :

$$E = 92 R^{0.21}$$

c) Les bassins du département d'Alger.

La relation, est donnée par :

$$E=2000$$

#### II. 4. b. Etude de J. Capolini (1965-1969)

L'auteur, s'intéresse à l'étude de l'érosion, le transport solide et l'envasement des barrages dans la région du Chélif. Il entreprenait sa recherche par l'étude des caractéristiques géomorphologiques (physiographie, pente, lithologie, couvert végétal, ...) de la zone concernée.

Se basant sur « des techniques de géomorphologie Américaine », il arrive à une bonne corrélation entre les caractéristiques géomorphologiques et la torrencialité des bassins étudiés. (Rhiou et Fodda).

Par suite, généralisant ses résultats à l'ensemble du bassin du Chélif, l'auteur propose ce qui suit ;

- 1- Une quantification des débits solides par association d'un débit solide spécifique à chaque formation lithologique.
- 2- Il avance une relation entre le débit spécifique des bassins et le coefficient de torrencialité.
- 3- Il suggère une carte cartographie des coefficients de torrencialité, donnant la susceptibilité à l'érosion des différents bassins.

#### II. 4. c. Etude de A. Demmak (1982)

L'objectif de l'auteur dans cette étude, est :

- 1- L'amélioration de la connaissance de l'érosion hydrique et des transports solides sous climat méditerranéen et semi-aride.

- 2- La mise au point d'outils simples, permettant le calcul des apports solides nécessaires à la planification, à l'aménagement et la gestion des ressources hydrauliques.
- 3- Meilleure compréhension du mécanisme d'érosion et des écoulements solides, afin de définir une politique rationnelle de lutte contre l'érosion et l'envasement des barrages.
- 4- L'élaboration d'une relation, liant les apports solides spécifiques aux paramètres physico- climatiques des bassins versants.

Dans son étude, l'auteur s'est basé sur les données hydroclimatologiques et solides de 30 bassins situés entre 35 ° et 37 ° de latitude de l'Algérie septentrionale, s'étendant sur une surface de 300 000 km<sup>2</sup>, au nord de l'Atlas saharien. Les données, représentent 207 années- stations hydrométriques et 242 années-stations pluviométriques. Les surfaces des bassins, varient entre 100 km<sup>2</sup> et 3600 km<sup>2</sup> et reçoivent des pluies moyennes entre 300 mm et 1000 mm.

L'auteur, mène son étude selon trois axes principaux.

Les conclusions auxquelles il arrive, sont :

De la première étude, il ressort ce qui suit :

- 1- Les caractéristiques physico-climatiques des 30 bassins étudiés, présentent un large spectre de variation.
- 2- Les 15 premiers bassins (régions Cheliff et côtiers Algérois), produisent des débits spécifiques TSS supérieurs à 1000 t/km<sup>2</sup>/an.
- 3- Le restant des bassins (côtiers constantinois, Hodna, Tafna), produisent des débits spécifiques TSS inférieurs à 500 t/km<sup>2</sup>/an.

Une deuxième étude est alors entreprise par l'auteur, pour faire ressortir l'influence des divers paramètres morphométriques et hydroclimatologiques,

De cette dernière étude, l'auteur conclue ce qui suit :

- 1- Existence d'une corrélation entre la lithologie et les formes d'érosion.
- 2- L'association d'une concentration moyenne des matières en suspension à chaque forme d'érosion.
- 3- L'essentiel des apports solides, se fait lors de crues généralisées au printemps
- 4- L'apport solide de la période automnale, est négligeable.

Dans une étude isolée d'un bassin versant de 300 Km<sup>2</sup>, l'auteur analyse les crues. Il arrive aux conclusions suivantes :

- a- 25 % des sédiments transportés durant les 8 années d'observation, sont dus à la contribution des trois plus fortes crues de la série (mars 74, février 74 et mars 79).

- b- 90 % des apports solides, sont dus aux crues de débit supérieur à 20 m<sup>3</sup>/s.
- c- 80 % des apports solides, se passent au printemps.
- d- La répartition des érosions sur la carte des formes d'érosion, est la suivante :
  - Mouvement de masse 118 km<sup>2</sup>, 43 %, (concentration = 70 g/l)
  - Bad -Lands et ravines 29 km<sup>2</sup>, 10 %, (concentration = 150 g/l)
  - Ravines localisées 35 km<sup>2</sup>, 13 %, (concentration = 30 g/l)

Pour terminer, l'auteur s'intéresse à la recherche d'une relation liant les apports solides spécifiques moyens annuels et les paramètres physico-climatiques du bassin.

Après une étude approfondie des paramètres physico-climatiques des bassins, il conclue que la lithologie, la fréquence et le pourcentage des précipitations journalières à un seuil donné, la densité de drainage sont les principaux facteurs de l'érosion à l'échelle d'un bassin versant. Il propose alors la relation suivante :

$$TSS = 26,62 IL + 5,07 IP + 9,77 CT - 593,56 \quad (17)$$

TSS = transport solide spécifique moyen annuel (t/km<sup>2</sup>/an).

IL = indice lithologique.

IP= indice de précipitation érosive.

CT = coefficient de torrencialité.

#### II. 4. d. Travaux de J. Colombani et C. Olivry (1984)

Les auteurs, s'intéressent à l'étude du transport solide des cours d'eau des régions arides et semi-arides. Ils arrivent à ce que :

Les régions arides et semi-arides, sont caractérisées notamment par une très grande irrégularité dans leur climat. Cette irrégularité, se traduit par des averses rares mais parfois très importantes. Elles peuvent alors être à l'origine de phénomènes d'érosion et de transport solide exceptionnels. L'intensité de ces phénomènes, est amplifiée par rapport à celles des averses qui leur donne naissance du fait que dans les régions considérées d'une part, un petit accroissement des hauteurs de pluie au-delà de la médiane, se traduit par un accroissement généralement important des écoulements et d'autre part, que les écoulements ainsi générés, dont la période de récurrence est grande, prennent en charge les matériaux arrachés au bassin versant depuis quelques années et qui n'étaient pas véhiculés par le cours à cause du faible écoulement.

Ils ont montré, que c'est l'antagonisme de deux facteurs prépondérant dans le transport solide, en l'occurrence la pluie et le couvert végétal, associés à l'irrégularité du climat (qui réduit la croissance de la végétation d'une part et qui d'autre part est à l'origine d'un phénomène d'accumulation des sédiments dans le réseau de drainage) qui sont la raison de ces phénomènes exceptionnels. Pour illustrer ces

conclusions, les auteurs citent les crues du 2 et du 13 septembre 1981 du bassin versant Rebeira Brava à Vila (Cap-Vert) et la crue de Medjerba de 1973 (Tunisie).

#### II. 4. e. Etude de A. Ghorbel et J. Claude (1997)

Dans cette étude, les auteurs se sont intéressés à la mesure de l'envasement dans les retenues de sept barrages en Tunisie et à l'estimation des transports solides.

Le principe de la méthode utilisée, est le relevé des fonds le long de profils préalablement repérés.

Le matériel qu'ils utilisent comprend :

1- Un canot pneumatique gonflable 'Zodiac Mark IF'.

2- Un moteur hors bord de 20 CV.

3- Un échosondeur à ultra-sons SIMRAD 160. Cet appareil, se compose :

a- D'un nez de sonde, monté sur un saumon métallique et suspendu dans l'eau sur le côté du canot par un porte à faux.

b- D'un enregistreur sur papier thermosensible, d'une bande de mesure de 40 m de profondeur que l'on peut décaler par pas de 10 m pour atteindre 200 m. La largeur du papier, est de 5 pouces soit 2,7 cm. On peut facilement, apprécier le demi-millimètre, la précision sur les profondeurs est donc de 20 cm environ. La vitesse de défilement du papier est de 1/2 pouce/min, ce qui correspond à 1 mm pour 5 m pour une vitesse du canot de 1 m/s. L'alimentation électrique, se fait à partir d'une batterie 12 V- 40 AH.

A partir des surfaces envasées, par profil, plusieurs méthodes sont possibles pour calculer les volumes déposés dans la retenue ; parmi :

1-Méthode de Kolmogorov.

2-Méthode générale.

3-Méthode dérivée de la méthode générale.

Par cette étude, les auteurs ont établi les faits suivants :

1- Influence de la taille du bassin versant :

Les plus petits bassins versants, produisent proportionnellement le plus de dépôts. En effet, sur de courtes distances, les matériaux érodés peuvent être entraînés et déposés dans la retenue au cours d'un même épisode de crue, alors que pour un grand bassin versant, il peut exister des zones de dépôt et le transport de sédiments se fait sur plusieurs épisodes.

2- Influence de la pente : les apports solides augmente avec la pente :

L'oued Masri, est formé de deux branches confluant dans la retenue du barrage. La pente moyenne des lits de ces deux oueds, est de 7 % pour l'un et de 4 % pour l'autre ; le barrage de l'Oued Masri, reçoit plus de sédiments eu égard à sa taille.

### 3- Influence du couvert végétal et de la nature des sols :

L'Oued Bezirk et l'Oued Chiba, sont géographiquement voisins, mais très différents sous ces deux aspects. Le barrage de l'Oued Chiba, a connu un envasement plus grave que celui de l'Oued Bezirk.

### 4- Influence du mode d'exploitation :

Au barrage du Mellègue, grâce aux ouvertures judicieuses des vannes de chasse, il a été évacué plus de 50 % des matières solides entrant dans la retenue, moyennant une perte sensible du volume. Par contre, pour les petits barrages dont les eaux sont utilisées pour l'irrigation et pour lesquels les opérations de vidange ne sont pas permises car la perte d'eau est trop importante, la presque totalité des matériaux a été arrêtée et déposée dans la retenue.

Les auteurs, font remarquer que des valeurs inquiétantes sont atteintes pour certains ouvrages dont la durée de vie sera limitée à moins de 40 ans si le nécessaire n'est pas entrepris.

Concernant l'érosion, les résultats trouvés par les auteurs peuvent être résumés dans ce qui suit :

- 1- Les taux d'érosion, ont été estimés en  $m^3/km^2/an$ .
- 2- Pour l'ensemble des barrages, les valeurs de transport solide trouvées sont très importantes. Dépassant mêmes les valeurs avancées par Tixeront avant la construction de l'ouvrage. Ils font remarquer, que les petits bassins versants produisent en proportion le maximum de transports solides sans pour autant qu'une corrélation surface de bassin versant-érosion spécifique se dégage nettement.
- 3- Les charges moyennes en suspension calculées des eaux entrant dans les barrages, dépassent de loin les concentrations de matières en suspensions habituellement mesurées dans les prélèvements d'eau faits en rivières.
- 4- Les plus importants apports solides, sont générés par les crues (80 % pour le Mellègue, 98 % pour le Masri).
- 5- Les prélèvements d'eau en rivière, faits généralement avec une bouteille sur le bord de l'eau représentent très mal le transport solide dans toute une section et sous-estiment fortement les concentrations de matières en suspension ou en saltation dont la granulométrie est plus grossière.
- 6- Le charriage, n'est presque jamais pris en compte. Malgré son importance, il a été estimé dans le cas du barrage Mellègue qui est le seul à disposer d'une station de contrôle à l'amont et où les matières en suspension ne représentent que 112 millions de tonnes sur les 152 millions de tonnes entrées dans la retenue. En tenant compte du bassin versant intermédiaire, la différence attribuée au charriage représenterait 23 % du transport total.
- 7- Ils soulignent, que tous les barrages étudiés sont concernés par les épisodes pluvieux exceptionnels qu'a subi la Tunisie ces dernières années (septembre-octobre 1969, mars

1973, décembre 1973). Evidemment, les apports liquides et solides dus à ces épisodes sont énormes et contribuent dans l'augmentation des moyennes calculées sur des périodes de fonctionnement excédant rarement 10 ans.

#### II. 4. f. Etude de M. Kassoul, A. Abdelkader et M. Belorgey (1997)

L'étude, est faite dans le but de quantifier l'apport solide. Les auteurs, disposent pour cela d'un échantillon de 19 barrages Algériens couvrant tout le territoire.

En premier lieu, les auteurs se sont intéressés aux caractéristiques hydromorphométriques (Pente, indice d'altitude, densité de drainage, coefficient d'écoulement...) et aux facteurs climatiques (aride, semi-aride, humide.).

Les levés bathymétriques réalisés par l'agence nationale des barrages (ANB), ont fait ressortir une perte en volume égale à 44 %. Ce résultat, a été exploité par les auteurs afin de mettre au point un outil qui permet de calculer les quantités de matériaux solides déposés dans les barrages Algériens.

Par suite, ils ont cherché des relations entre les différentes caractéristiques des barrages. De cette dernière, il ressortit que les facteurs les plus prépondérants sont la superficie, l'indice d'altitude et le coefficient d'écoulement. Pour terminer l'étude, les auteurs ont mis au point un abaque de classification des barrages en fonction de sa continentalité et de sa situation géographique.

A la fin de l'étude, les auteurs proposent de classer les barrages en trois groupes (classe 1a, classe 1b et classe 2) comme suit :

- 1- Première catégorie, classe 1a :  
S : inférieure à 1000 km<sup>2</sup>.     $Ta = 1433 (S)^{-0.45} - 15.24$
- 2- Deuxième catégorie, classe 1b :  
S supérieure à 1000 km<sup>2</sup>.     $Ta = 1846 (S)^{-0.15} - 36$
- 3- Troisième catégorie, classe 2 :  
S supérieure à 1000 km<sup>2</sup>.  $Ta = 0.463 S + 2026$   
 $Ta =$  Taux d'abrasion (t/km<sup>2</sup>/an).  
S = Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>).

#### II. 4. g. Etude de B. Remini (1998)

L'intérêt de l'étude, est porté sur le problème de la réduction de la capacité de stockage de l'eau des barrages suite à leur envasement. L'auteur, cite quatre barrages pour exemple.

a- Barrage de Fegoug.

L'envasement de la retenue du barrage de Fergoug I (ancien barrage: 1885-1926), a réduit sa capacité utile de 27,1 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> à 14 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> durant les 31 ans d'exploitation ; soit un volume de vase égal à 13,1 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, équivalent à un apport annuel de 0.42 1 0<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

b- L'actuel barrage de Fergoug.

Concernant la retenue du barrage de Fergoug actuel, la capacité utile se trouve ainsi réduite de  $17 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 1970 à  $12 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 1973 et à  $4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 1985, ce qui représente un volume de vase égal à  $13 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , équivalent à un taux de comblement de 80 %. Les services concernés, n'avaient autre solution que de procéder au dragage de la retenue en 1986.

c- Barrage de Foum El Gherza.

La sédimentation accélérée de la retenue, a été évidente dès le début de la réalisation du barrage. En deux ans seulement (1948-1950), le batardeau amont a été complètement comblé, Par la suite, la sédimentation a engendré une montée rapide du toit de vase, soit plus de 35 mètres en 40 années d'exploitation ce qui représente un volume de vase égal à  $18,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . L'auteur, estime que la capacité de la retenue en 1995 est de  $24 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , soit un comblement de plus de 50 %.

d- Barrage de Oued El Fodda.

L'envasement intensif et actif que connaît la retenue de Oued El Fodda, a réduit sa capacité initiale évaluée à  $228 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 1932 à  $130 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 1986 et à  $112 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 1994. Le toit de la vase près des vannettes, est à environ 36 mètres du fond, soit un taux de comblement évalué à 50 % en 1994.

e- Barrage de Bouhnifia.

Ce barrage, a été réalisé dans le but de réduire la vitesse de comblement et ainsi prolonger la durée de vie du barrage de Fergoug. Malheureusement, ce barrage s'est retrouvé face à une sédimentation accélérée, qui a réduit sa capacité de  $73 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  à  $47 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  durant la période 1940-1986, soit une vitesse moyenne de sédimentation égale à  $0,56 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ . L'auteur, estime le dépôt des sédiments à  $31 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 1995, soit un volume d'eau restant de  $42 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  et un taux d'envasement de 42 %.

Après avoir cité les exemples de barrages, l'auteur énuméra les conséquences de l'envasement des barrages en citant :

- 1- L'obturation des organes de vidanges.
- 2- La sécurité de l'ouvrage.
- 3- Le comblement des canaux d'irrigation.

L'auteur, proposa les solutions pour lutter contre l'envasement des barrages, parmi :

a- Le reboisement, la restauration des sols, la formation de banquettes, la plantation de végétation à longues tiges dans les oueds. Il propose comme végétation, les tamaris suite aux résultats qu'ils ont donnés du côté des barrages de Bouhnifia, de Fergoug, de Cheurfas.

Dans le cadre de la protection des bassins, un programme spécial a été lancé par les services des forêts. Il s'agirait de traiter une superficie de 1,5 millions d'hectare. Les coûts sont évalués à environ 16 milliards de DA.



b- Réalisation de barrage de décantation.

Un barrage de décantation, est un barrage construit à l'amont d'un autre barrage dans le rôle est de réduire sa sédimentation. L'auteur, cite pour exemple le cas du barrage de Boughezoul qui est exploité partiellement comme bassin de décantation du barrage de Ghrib. Ce barrage, a permis de retenir depuis sa création environ 35 106 m<sup>3</sup> de vase. Il réduit l'envasement de Ghrib de près de 24 %.

c- Surélévation des digues barrages.

Cette technique, a été réalisée sur cinq barrages: Fergoug, Mefiouch, Bakhada, K'sob, Zardézas. La surélévation des barrages, permet d'augmenter la capacité de la retenue et donc de compenser les volumes envasés.

d- Chasses dites à l'Espagnole.

Méthode utilisée pendant les premières crues pour les barrages de moindre importance (barrage Hamiz, Beni Amrane, K'sob, ...).

Cette méthode, est efficace quand elle est possible. Elle consiste à vider complètement le barrage au début de l'automne et à le laisser vide, toutes vannes ouvertes, jusqu'aux premières pluies. La première crue, enlève sans difficulté les vases de l'année non encore consolidées.

e- Soutirage par courants de densité.

L'auteur, propose la technique de soutirage qui consiste en l'ouverture des vannes lorsqu'il y a formation de courant de densité. Il ajoute, que cette technique a donné des résultats spectaculaires en Algérie et qu'elle est utilisée aux barrages d'Ighil Emda, d'Oued El Fodda, de Foum El Gherza et d'Ighil Emda,

- i- Pour ce barrage de capacité 156 H m<sup>3</sup>, (mis en eau en 1953). Grâce à cette technique, sur les 88,8 Hm<sup>3</sup> d'apports solides jusqu'à l'année 1984, 43,1 m<sup>3</sup> ont été soutirés, soit pratiquement la moitié. (45,7 Hm<sup>3</sup> ont réussi à se décanter et se consolider).

- ii- Barrage de l'oued El Fodda.

Ce barrage de capacité initiale égale à 28 millions de m<sup>3</sup>, a été mis en service en 1932. Suite au blocage de la vanne de fond par les vases, le barrage a été percé de 4 vannettes de dévasement (opérationnelles en 1981). Grâce à ce système, environ 12 millions de m<sup>3</sup> de vase ont été évacuées entre 1981 et 1993.

- iii- Barrage de Foum El Gherza.

La vanne de fond, a permis l'évacuation de 0.6 Hm<sup>3</sup> de vase entre 1989 et 1993. Par la suite et malheureusement, la vanne a été bloquée par la vase.

f- Dragage des barrages

Le dragage, consiste à retirer la vase du barrage par des pompes. Mais à part les coûts de revient, ce dernier est très performant comme système et donne de très bons résultats. A travers l'expérience Algérienne, le dragage s'est avéré une solution sûre.

L'Algérie, a procédé au dragage de quatre barrages, à savoir :

Le barrage des Cheurfas, le barrage de Sig, le barrage de Fergoug et Celui du Hamiz.

Pour illustrer l'importance du matériel l'auteur cite le matériel acquis par l'Algérie en 1989. Ce matériel très complexe, est une drague suceuse refouleuse baptisée (Rezoug Youcef). Cette drague, d'un poids total de 300 tonnes est conçue pour refouler à une hauteur de 28 m dans une conduite de 700 mm avec un débit maximum de mixture (vase - eau) de 1600 l/s et pour draguer à une profondeur de 3 à 16 m.

#### II. 4. h. Etude de M. Bouraba (2002)

Dans une étude de synthèse, l'auteur a montré l'ampleur de ce fléau, tout en justifiant par la présentation de chiffres alarmants de dégradation spécifiques dans le nord de l'Algérie. L'étude, a porté sur plus de 35 bassins versants ; le calcul est établi sur des cycles hydrologiques différents, généralement sur un cycle moyen. Les résultats de l'étude, sont résumés dans ce qui suit.

L'érosion spécifique, varie annuellement de 307 à 5453 t/km<sup>2</sup>/an dans le bassin de Cheliff, de 1557 à 9397 t/km<sup>2</sup>/an dans le côtiers Algérois, de 252 à 10375 t/km<sup>2</sup>/an dans le côtiers Constantinois, de 164 à 5153 t/km<sup>2</sup>/an dans le Chott Hodna, de 794 à 2621 t/km<sup>2</sup>/an dans le haut Constantinois, de 838 à 1260 t/km<sup>2</sup>/an dans le Chott Melrhir, et de 301 à 406 t/km<sup>2</sup>/an dans la Tafna, elle est de 3990 t/km<sup>2</sup>/an dans l'Isser, de 248 t/km<sup>2</sup>/an dans la Soummam, de 742 t/km<sup>2</sup>/an dans le Seybouse, de 782 t/km<sup>2</sup>/an/an dans Kebir Rhumel et de 938 t/km<sup>2</sup>/an dans les Côtiers Oranais

#### II. 4. i. Travaux de M. Meddi (2005)

Dans cette étude, l'objectif de l'auteur est le développement d'un outil qui explique le transport solide par le débit liquide. L'auteur, est intéressé par l'abondance de l'information sur le débit liquide, laquelle lui servira pour quantifier le transport solide. En deuxième étape, l'auteur s'intéresse à la relation entre le débit solide et le coefficient de ruissèlement.

L'étude, est menée au bassin versant de l'oued Mina, au climat semi-aride.

Pour les débits solides, l'auteur a utilisé la régression linéaire, afin de les estimer à partir des valeurs du débit liquide observées. Après plusieurs essais, l'auteur retient le modèle puissance.

Dans une étude spatiotemporelle, il conclue que pour le bassin concerné, l'automne est la saison la plus productive en érosion.

Pour terminer, l'auteur donne les taux d'érosion calculés :

- 1- Le taux d'érosion calculé pour le bassin de l'oued Mina au barrage Sidi Benaouda, est de 187 t/km<sup>2</sup>/an.
- 2- Il est de 212 t/km<sup>2</sup>/an pour le bassin de l'oued Haddad à Sidi Abdelkader El Djilali.
- 3- Pour le bassin versant de l'oued Tahtil, il est égal à 191 t/km<sup>2</sup>/an.
- 4- Pour le bassin de l'oued El Abd à Ain El Hamra, le taux d'érosion est de 117 t/km<sup>2</sup>/an.
- 5 - Pour le bassin de Takhmaret, il est égal à 65 t/km<sup>2</sup>/an.

Dans une deuxième étape, l'auteur cherche une corrélation entre le débit solide spécifique  $A_s$  et le coefficient de ruissèlement  $C_e$ . Ce dernier est dépendant de la pluviométrie, de la nature du sol, du relief, de la lithologie et du couvert végétal.

A partir des données disponibles, l'auteur développe pour chaque sous bassin versant un modèle de type :

$$A_s = A (C_e)^b$$

Les résultats auxquels il arrive, sont les suivants :

i-Oued El Abtal	$A_s = 0,0453 C_e^{1,311}$
ii-Sidi AEk Djilali	$A_s = 0,0132 C_e^{1,867}$
iii-Ain ElHamr	$A_s = 0,0203 C_e^{1,15}$
iv-Kef Mehboula	$A_s = 0,0064 C_e^{1,725}$
v-Takhmaret	$A_s = 0,0038 C_e^{2,082}$

#### II. 4. j. Etude de A. Bouanani (2004)

Dans cette étude, l'auteur s'intéresse à la quantification du transport solide et du taux d'érosion et à la recherche d'un modèle reliant les débits solides aux débits liquides au niveau de l'oued Sikkak, sous bassin de la Tafna.

En se basant sur les débits liquides instantanés et les concentrations de matières en suspension mesurées à la station d'Ain Youcef, l'auteur calcule le débit solide en suspension par la relation :

$$Q_s = C Q_l$$

$Q_s$  = Débit solide en suspension (kg /s).

$Q_l$  = Débit liquide (m<sup>3</sup>/s).

$C$  = Concentration en matière solide (g/l).

Il calcule les apports solides et les apports spécifiques par les relations suivantes :

$$A_s = Q_s.N.10^9$$

$$Ass = (A_s.10^6)/S$$

$A_s$  = Apport solide annuel, mensuel ou saisonnier (106 tonnes).

$Q_s$  = Débit solide annuel, mensuel ou saisonnier (Kg/s),

T= Temps en secondes.

Ass = Apport solide spécifique (t/km /an).

Pour le débit annuel des matières solides en suspension, l'auteur utilise la relation :

$$A_s = \sum 1^N (t_j + 1 - t_j) Q_j C_j$$

$C_j$  = Concentration, mesurée à l'instant  $t_j$  correspondant au débit liquide  $Q_j$ .

$N$  = le nombre de prélèvement effectués sur l'année considérée.

$t_{j+1} - t_j$  = Pas de temps séparant deux prélèvements consécutifs.

$Q_j$  = Débit liquide  $Q_j$ .

Pour le calcul de l'apport liquide annuel  $A_l$  engendrant le débit  $A_s$ , il utilise la relation :

$$A_s = \sum 1^N (t_j + 1 - t_j) Q_j$$

Une fois la première partie de l'étude terminée, l'auteur tire les conclusions suivantes :

- 1- Les apports solides annuels, sont très irréguliers.
- 2- Importance des apports solides occasionnés par les crues.
- 3- Lors des crues, les taux d'érosion peuvent atteindre plusieurs fois la moyenne annuelle.
- 4- Les plus gros apports saisonniers, ont lieu en hiver et au printemps.

Dans une deuxième étape, l'auteur passe à la recherche d'un modèle liant le débit solide au débit liquide. Pour cela, il utilise la méthode des régressions linéaires.

La relation trouvée est donnée par :

$$Q_s = 0,29 Q_l^{1,47}$$

Pour terminer son étude, l'auteur énumère les principales conclusions comme suit :

- 1- L'apport moyen annuel en sédiment pour le bassin de l'oued Sikkak, est de 0,037 106 tonnes. Ce qui donne un débit solide moyen annuel de 2 kg/s.
- 2- La grande variabilité du débit spécifique d'érosion. Ce dernier passe de 4 à 745t/km /an.

Il fait remarquer que ces taux de dégradation, se situent en dessous de la fourchette de 1000 à 5000 t/km /an ; Valeurs proposées par Walling (1984) pour le Maghreb.

#### II. 4. k. Etude de M. Achite, B. Touaibia et S. Ouillon (2006)

Dans cette étude, les auteurs se sont fixé pour but la présentation de l'érosion et de son ampleur en Algérie du Nord, ainsi que l'analyse des conséquences qui en dérivent. Les résultats trouvés, leurs ont servi au classement des régions en zones par priorité de lutte antiérosive.

Pour mener à terme cette étude, les auteurs ont fait appel aux données fournies par l'Agence Nationale des Barrages (A.N.B) concernant 50 barrages en exploitation. Ces barrages, sont répartis sur tout le territoire.

Les données, comprenaient la capacité initiale du barrage, son taux d'envasement, son volume régularisé, son dernier levé bathymétrique et sa destination.

Ces cinquante barrages en exploitation, totalisent une capacité de 5,09 milliards de m<sup>3</sup> pour un volume régularisé garanti de 2,08 milliards de m<sup>3</sup>. Selon les derniers levés bathymétriques effectués par l'Agence Nationale des Barrages en 2003, les capacités de stockage ne sont plus que de 4.26 milliards m<sup>3</sup>. Les valeurs sont distribuées suivant le tableau.4.

Tableau II.4. Capacités des barrages Algériens

Region	Est	Centre	Ouest	Total
Avant 2003	1,37	1,72	1,99	5,09
Après 2003	1,21	1,44	1,61	4,26
Perte	0,16	0,28	0,38	0,83
Perte en %	12,21 %	16,47 %	19,08 %	16,3 %

Dans cette étude, les auteurs concluent ce qui suit :

- 1- Le taux d'envasement moyen, est de 16,33 % pour l'ensemble des barrages ; soit 12,21 % pour les barrages de la région est, 16,47 % pour les barrages de la région centre et 19,08 % pour ceux de la région ouest du pays.
- 2- Le taux d'envasement des barrages, suit la logique de taux d'affectation des sols par l'érosion hydrique (47 % pour les régions ouest, 27 % et 26% pour le centre et l'est).
- 3- L'ampleur de ce phénomène, varie selon les régions et les barrages. Ainsi, pour la région de l'est, l'envasement dépasse les 50 % pour les barrages Ksob (Msila), Foum El Gherza (Biskra) et Foum El Gueiss (Khenchela). Dans le centre, l'envasement dépasse les 40 % pour le barrage de Ghrib (Ain Defla) et le barrage de l'oued Fodda (Chlef). Ce taux, dépasse aussi les 40 % pour les barrages de Bouhnifia et Fergoug à Mascara.

#### II. 4. 1. Etude de A .Ghenim, A. Seddini et A. Terfous (2007)

L'étude, est menée dans le but de comprendre le comportement des bassins versants semi arides lors d'évènements de crue et le rôle de ceux-ci dans la genèse et le cheminement des particules fines. Leur

choix, est porté sur l'étude des crues survenues dans le plus important sous bassin de la Tafna. A savoir Oued Mouilah, régularisé depuis 1998 par le barrage Hammam Boughrara, d'une capacité de 177 millions Hm<sup>3</sup>.

Le bassin versant de l'Oued Mouilah, couvre une superficie de 2650 km<sup>2</sup>. Son périmètre, est de 230 km. La plus grande partie de cette surface, se trouve dans le territoire Marocain. Son cours d'eau, long de 124 km, prend naissance dans la région d'El Abed en Algérie à 1250 m d'altitude. Il pénètre au Maroc, puis revient en Algérie aux environs de Maghnia. Il draine un bassin constitué de zones très hétérogènes, formées de montagnes, de plaines et de vallées. Les sols calcaireux, longent son thalweg principal et se prolonge au nord-est des monts des Traras et aux piémonts des monts de Tlemcen. On rencontre aussi des formations calcaïques peu profondes et des terrains alluviaux surtout dans la partie nord de la plaine de Maghnia. La partie sud de la plaine, comprend des sols rouges à encroûtement formés de marnes salifères du Miocène. Ce bassin, est caractérisé par un régime semi-aride.

De leurs travaux, les auteurs ont tiré les conclusions suivantes :

- 1- Au cours d'un cycle hydrologique, les périodes de crues jouent un rôle prédominant dans l'exportation des matières en suspension. C'est lors de ces événements qu'il y a les plus importants transports solides et en dehors de ces événements, les concentrations enregistrées sont très faibles en raison de l'absence de turbulence et de l'incapacité de l'écoulement à mobiliser le transport des sédiments.
- 2- La disproportionnalité entre le débit liquide et le débit solide.
- 3- Les événements les plus agressifs, tant en apport liquide que solide, sont ceux de courte durée.
- 4- Les crues d'été et d'automne, mobilisent de fortes quantités solides pour de faibles quantités liquides.
- 5- Les crues printanières, ne mobilisent que de faibles quantités solides pour de forts débits liquides.

#### II. 4. m. Travaux de B. Touaibia (2009)

L'auteur, s'intéresse à l'étude de l'envasement de 15 barrages du nord Algérien.

Il énumère les causes de l'érosion et les classes en deux ensembles.

Le premier ensemble, lie aux facteurs naturels : l'intensité de la pluie, l'action du gel et du dégel, le pouvoir évaporant du sirocco, la pente et la forme du bassin.

Le deuxième ensemble, lie aux facteurs anthropiques : colonisation, guerre, incendie, morcèlement des terres, défrichement, pratiques culturales, surpâturage, non maintenance des travaux de DRS.

L'auteur, énumère ensuite les conséquences de l'érosion : pertes des sols, colmatage des sols, exhaussement de lit d'oued, détartrages des stations hydrométriques, dépôts des sédiments sur les routes , les plages et les ports, formation intensive des réseaux d'écoulement, envasement et sédimentation des barrages.

Dans ces travaux, l'auteur aboutit à ce que sur les 15 barrages concernés par l'étude :

07 barrages sur les 15 barrages, ont vu leur volume dépassé, alors qu'ils n'ont pas 25 années d'exploitation. Il s'agit des barrages de l'oued El Fodda, Ghrib, Chiffa, Sidi. M. Benaouda, Deurder, Bouroumi, Sidi Belabbas.

L'auteur, aboutit à ce que la plus importante forme d'érosion est l'érosion par ravinement du réseau d'écoulement et qu'à elle seule, elle peut représenter 50 % de l'apport solide total. L'auteur, entreprend une étude à l'échelle spatiale et qui donna des résultats concluants.

## II. 5. CONCLUSION

Malgré les très nombreuses recherches effectuées depuis plus d'un siècle, le comportement des cours d'eau reste encore souvent mal connu et l'étude de certains phénomènes hydrauliques fait parfois appel davantage à l'intuition et à l'expérience de l'ingénieur qu'aux mathématiques théoriques.

Il en résulte que tout le projet d'aménagement d'un bassin, en vue de se protéger contre les conséquences d'érosion ou de sédimentation. Doit être basé sur une étude approfondie des caractéristiques hydrauliques du cours d'eau sans négliger toutefois l'aide des moyens modernes d'investigation tels que les modèles mathématiques et les modèles réduits hydrauliques.

En analysant toutes les études citées précédemment, on constate que toutes les formules utilisées sont loin de donner des bonnes estimations et ce pour les différentes raisons, on en cite quelques une :

- Ces formules ne prennent pas en considération toutes les caractéristiques des oueds en Algérie.
- la majorité de ces formules sont adaptées et efficace pour un climat européen.
- la complexité de prendre toutes les caractéristique de bassin d'une façon exacte vue la difficulté de mesure au moment des crues.
- la plus part des formule sont faite pour des rivières ou fleuve et non pour des oueds qui fonctionnent uniquement en période de crue.
- Manque d'un laboratoire de recherche spécialisé dans ce domaine en Algérie.

### III. Chapitre II. REPRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET ANALYSE DES DONNEES

#### III. 1. INTRODUCTION

L'étude concerne le transport sédimentaire dans la région semi-aride, dans le Nord-Ouest Algérien. Elle est limitée au nord par la mer méditerranéenne, à l'Ouest par le Maroc, sur l'Est par le centre du pays et sur le sud par les hauts plateaux Oranais, Hormis quelques cours d'eau côtiers, le seul fleuve de l'Algérie est le Cheliff (long de 725 Km), qui prend sa source dans l'Atlas tellien et se jette dans la Méditerranée.

#### III. 2. BASSINS ETUDIES

L'étude se focalise sur les bassins situés dans le Nord-Ouest Algérien, en l'occurrence les bassins de Cheliff, Tafna, Macta et Oranais(*Fig.II.1.*), choisissant sept stations de mesures hydrométriques, en appuyant bien sur leurs richesses des données historiques afin d'avoir des modèles fiables et concrets des débits solides.

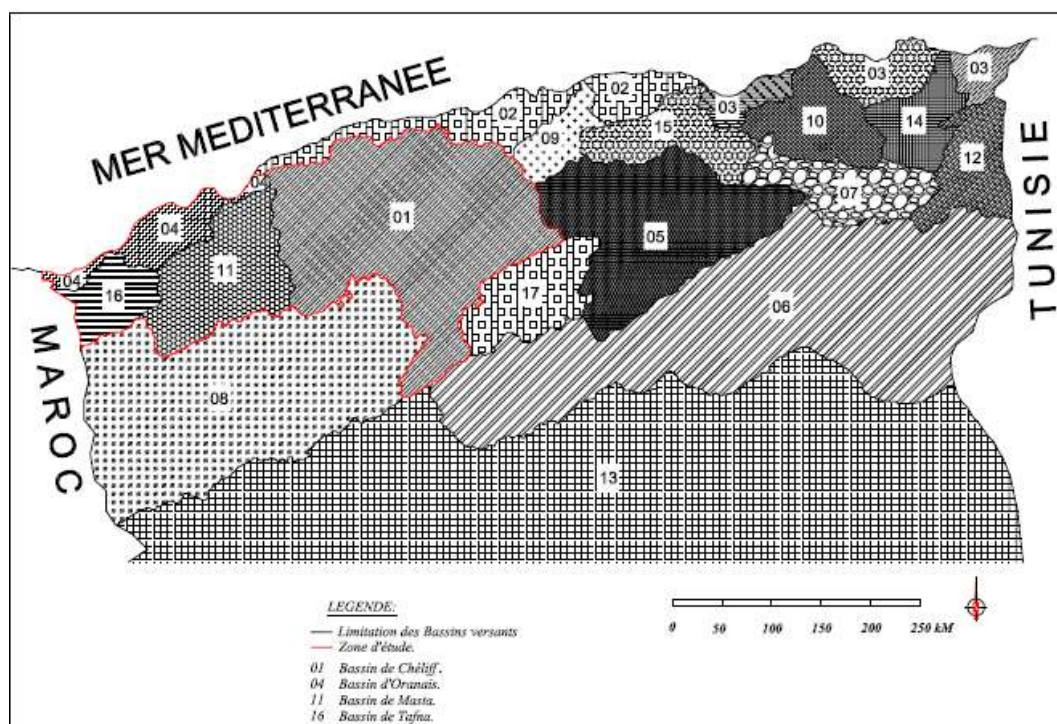


Figure III.III.1. Représentation des Bassins étudiés (ANRH, 2016)



Le choix de ces stations hydrométriques est suscité par la disponibilité des données de mesure, à savoir, les débits liquides, débits solides. Ces données nous ont été fournies par les services hydrologiques de l'ANRH d'Alger l'an 2016, dont ils sont illustrés dans le tableau (Tab.1.).

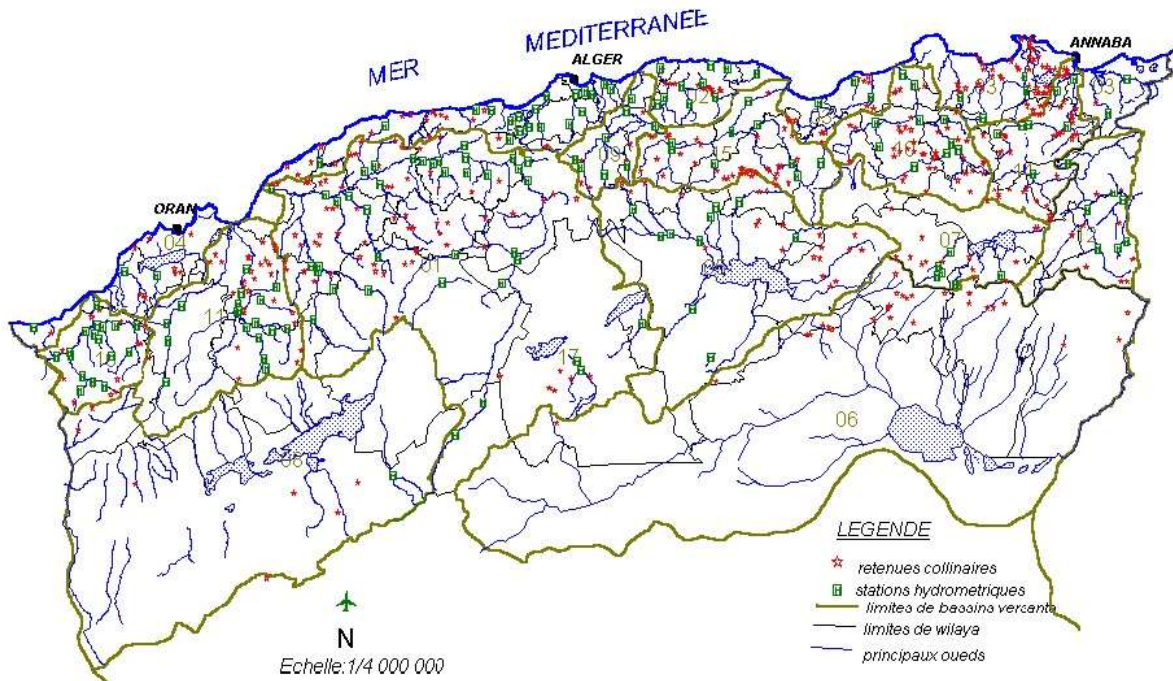


Figure III.2 Distribution des stations hydrométriques.

Tableau III.1. Données de chaque station hydrométrique

Bassin	Oued	Station	Code	Période	Nombre des données
Chélif	Djidiouia	Djidiouia RN4	01-27-01	1974-2000	4 995
Chélif	Cheliff	Sidi Belatter	01-36-02	1969-2001	432
Tafna	Mouilah	Mouilah RN7	16-02-02	1973-2001	5 943
Tafna	Tafna	Pierre du chat	16-08-01	1971-2005	537
Macta	Mekerra	El Hacaiba	11-01-01	1989-2003	1905
Macta	Froha	Griss	11-14-12	1976-2003	652
Oranais	Mellah	Turgo Nord	04-02-20	1978-2003	5083

### III. 3. CARACTERISTIQUES DES BASSINS ETUDIES

Les caractéristiques des quatre bassins versants étudiées sont mentionnées dans le tableau ci-après (*Tab.II.2.*).

Tableau III.2. Caractéristiques des bassins versants étudiés

Bassin	Oued	Superficie (km <sup>2</sup> )	Périmètre (km)	Ic	Long équivalente (Km)	Long talweg (Km)	Hmin (m)	Hmax (m)
Chélif	Djidiouia	835	135	1,31	51,20	51	70	925
	Chellif	43700	1383	1,85	619	759	20	1983
Tafna	Mouilah	1 820	187	1,23	65,90	124	410	1824
	Tafna	6 900	350	1,18	115	160,00	50	1824
Macta	Mekerra	955	127	1.15	39	54	925	1440
	Froha	132	56	1.36	22	/	499	1201
Oranais	Mellah	697	135	1.43	/	60	36	824

#### III. 3. a. Bassins de Chellif

Situé au nord-ouest de l'Algérie, le bassin du Chellif présente une superficie de 43 700 km<sup>2</sup>, dont la quasi-totalité des sols sont des alluviaux constitués essentiellement d'éléments fins dérivés de marne ou d'argile, rendant le sol très sensible à l'érosion. Il est caractérisé par une altitude minimale de 20 m, une altitude maximale de 1 983 m, un périmètre de 1 383 km, son indice de compacité est de 1.85, la longueur de son rectangle équivalent est de 619 km, et la longueur de son talweg principal est de 759 m.

L'oued le plus important du bassin est le Chellif qui coule d'Est en ouest depuis le barrage de Bougezoul jusqu'à la mer, sur une distance de 250 km avec une dénivellation de 625 m.

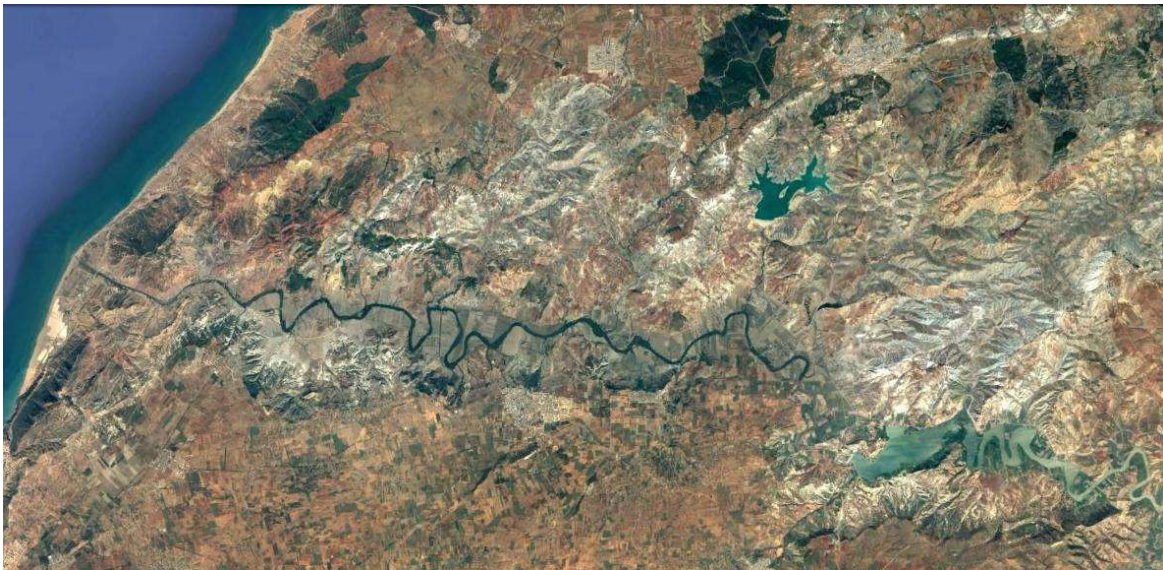
Le bassin est soumis à un climat méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers frais et pluvieux, caractérisé par des vents de moins de 10 km/h et un ensoleillement moyen élevé variant de 60 à 80 % de la durée du jour.





*Figure III.6. Oued Djidiouia*

*Oued Cheliff (Fig.II.4.)* : c'est un cours d'eau de 725 km de long situé dans le Nord-Ouest de l'Algérie, il prend sa source dans l'Atlas tellien plus précisément dans le Djebel AMOUR et se jette dans la Méditerranée. Le Cheliff est caractérisé par une vallée très fertile. Il est le plus important fleuve d'Algérie.



*Figure III.7. Oued Cheliff photo google earth.*



*Figure III.8.Oued Cheliff.*



*Figure III.9.Oued Cheliff.*

### III. 3. b. Bassins de TAFNA

Le bassin de la Tafna, situé au Nord-Ouest du territoire algérien (fig.II.1.), s'étend sur la totalité de la wilaya de Tlemcen sur une superficie de 7245 km<sup>2</sup>. Selon la nouvelle structuration des unités Hydrologiques en Algérie, le bassin de la Tafna appartient à l'ensemble de l'Oranais-Chott Cherguie (fig.II.1.).

Globalement, le bassin versant peut être subdivisé en trois grandes parties:

- 1 partie orientale avec comme principaux affluents l'oued Isser et l'oued Sikkak),
- 2 partie occidentale comprenant la Haute Tafna (oued Sebdou et oued Khemis) et l'oued Mouilah

3 partie septentrionale : qui débute pratiquement du village Tafna et s'étend jusqu'à la plage de Rachgoune, embouchure de la Tafna sur la mer. Les oueds Boukiou, Boumessaoud et Zitoun sont les principaux affluents de cette partie.

Les plaines du bassin de la Tafna s'étendent aux pieds des monts de Tlemcen en avant des massifs de Traras et du Tessala, elles sont entourées de massifs aux reliefs élevés dessinant un édifice régulier formé essentiellement de terrains mésozoïques et cénozoïques.

Les monts des Traras au Nord Ouest dressent une barrière entre le bassin et la mer, ils correspondent à une série de crêtes de direction NE - SW culminant à 1136 m au djebel Fillaoucène.

L'oued Tafna est un cours d'eau de 170 Km de long, il prend sa source dans les Monts de Tlemcen. Le cours de cet oued peut se subdiviser en trois parties : la haute Tafna, la moyenne Tafna et la basse Tafna.

1. la haute Tafna : l'oued prend naissance dans les Ouled Ouriach et s'affirme après la jonction d'un grand nombre de ramifications creusées dans les terrains jurassiques et descendent de crêtes atteignant 1500m. Ces ramifications se réunissent aux environs de Sebdu à une altitude d'environ 900m. A partir de cet endroit et jusqu'à Sidi Medjahed, l'oued suit un cours dans une vallée encaissée creusée dans les terrains jurassiques. Dans cette région montagneuse, l'oued Tafna reçoit l'oued Khemis (rive droite) et l'oued Sebdu (rive gauche).
2. La moyenne Tafna : à partir de Sidi Medjahed, l'oued pénètre dans le bassin tertiaire et coule dans une vallée peu profonde dans des terrains plus ou moins argileux, Cette partie du bassin tertiaire est sillonnée par de nombreux affluents parmi lesquels certains sont importants :  
Sur la rive gauche: les affluents sont moins importants que sur la rive droite, seul l'oued Mouilah qui prend naissance au Maroc est remarquable par son parcours et son débit. L'oued Boukiou, moins important, prend naissance dans les monts des Traras pour rejoindre le cours de la Tafna dans la plaine des Ghossel.  
Sur la rive droite: la Tafna reçoit l'oued Boumessaoud, l'oued Zitoun et enfin l'oued Isser, affluent le plus important par son long parcours que par son fort débit. L'oued Isser prend naissance dans les terrains jurassiques, des monts de Tlemcen et s'étend ainsi vers l'Est de la région de la haute Tafna. A son entrée dans le bassin tertiaire, Il est grossi au Nord d'Ouled Mimoun par l'oued Lakhdar (Ex : Chouly) (rive gauche) et l'oued Aïn Tellout (rive droite).  
Au Nord de la plaine d'Ouled Mimoun, il traverse la petite plaine d'El Fehoul. A l'extrémité occidentale de cette plaine, il reçoit sur la gauche un cours d'eau assez important : l'oued Sikkak, descendu du plateau de Terny.

3. La basse Tafna: le cours inférieur de la Tafna s'étend depuis les gorges de Tahouaret vers le village de Pierre Chat jusqu'à la plage de Rachgoune en mer Méditerranée, sur une distance de 20 Km.

Dans le cas de la Tafna, la taille importante du bassin versant (7245 km<sup>2</sup>) et même celle des bassins partiels contrôlés par des stations hydrométriques ainsi que sa complexité géologique, rendent une telle étude fort délicate. Aussi, l'échelle de travail adoptée correspondant au 1/200000 ne permet pas une grande précision dans la détermination des paramètres morphométriques en question. C'est pourquoi, nous nous limiterons à quelques caractéristiques physiques susceptibles de décrire le bassin en général et ses diverses unités tout en les comparant entre elles, sans pour autant prétendre en tirer des conclusions exhaustives.

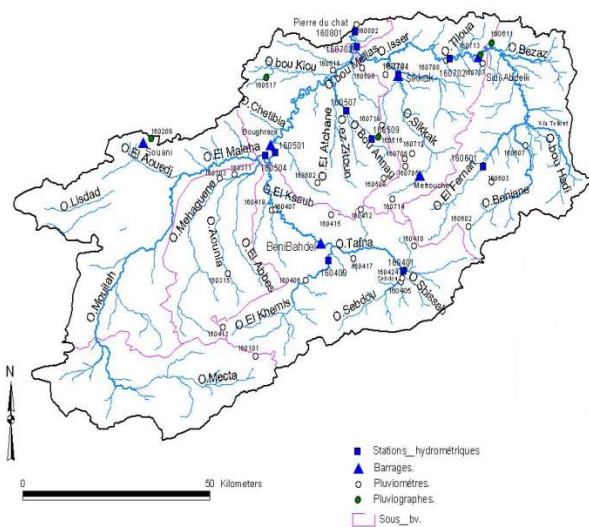


Figure III.10. Bassin versant de Oued Tafna

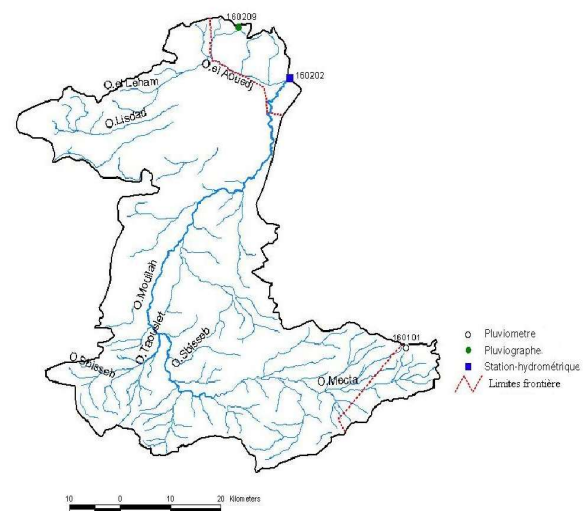


Figure III.11. Bassin versant de Oued Mouillah

- **Oued Tafna (Fig.III.10.)**

est un cours d'eau de 170 Km de long s'étire dans la wilaya de Tlemcen et après avoir franchi des gorges sinieuses, pénètre dans la wilaya d'Ain Témouchent, traverse la cité antique de Siga, et se jette dans la Méditerranée, le bassin hydrographique de la Tafna s'étend partiellement au Maroc, il prend sa source dans les monts de Tlemcen au Djebel Merchiche près de Sebdo,

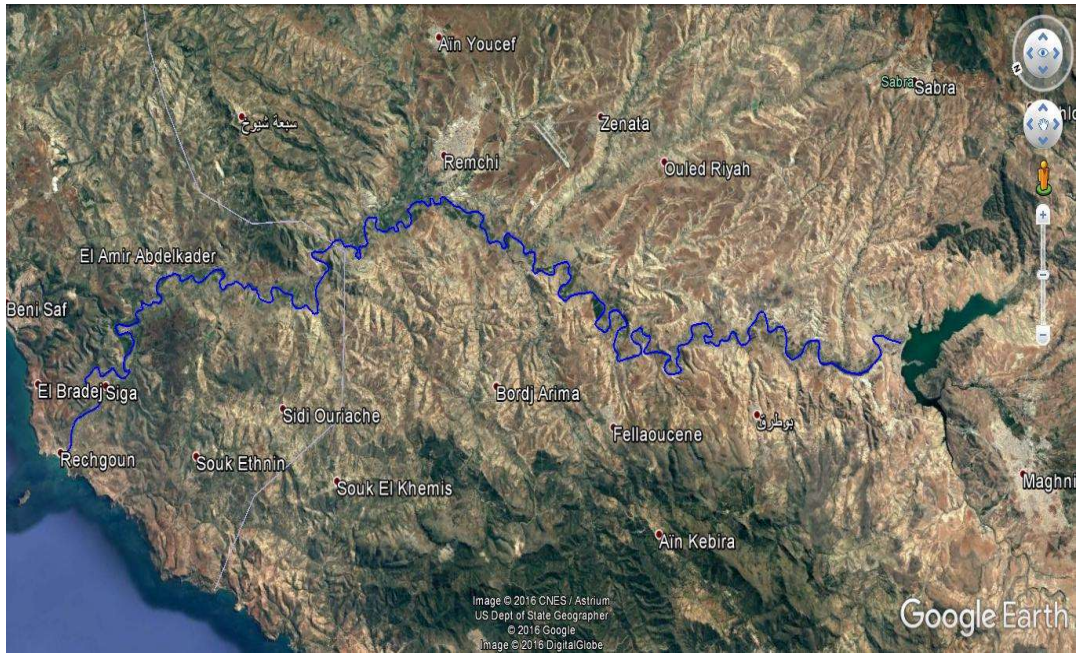


Figure III.12. Oued Tafna photo sur google earth.



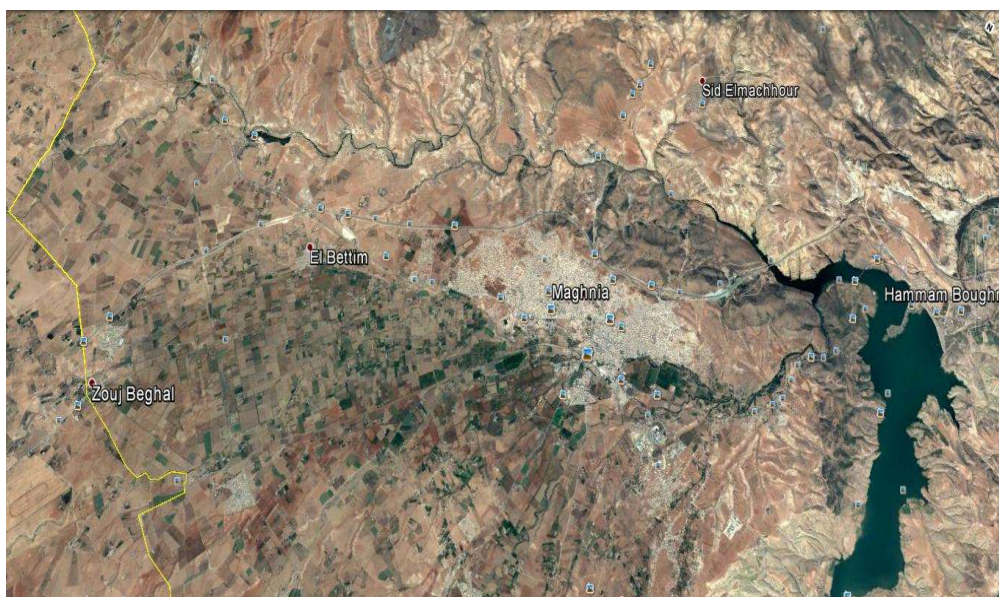
Figure III.13. Photo d'Oued Tafna

- **Oued De Mouillah (Fig.III.11.)**

Oued Mouillah affluent rive gauche de l'Oued Tafna, prend naissance dans la région d'El Abed en Algérie à 550 m d'altitude puis pénètre au Maroc et prend le nom de l'Oued Isly et suit une cour intermittente. Il redevient permanent à l'aval de la ville de Oujda (Maroc) à 490 m d'altitude pour prendre le nom de l'Oued Bounaïm et pénètre en Algérie aux environs de



Maghnia sous l'appellation de l'Oued Mouillah, il rassoit à sa rive droite, l'Oued Ouedeffou avec ses affluents. Oued Abbas, Oued Aounia et Oued Méhaguène.



*Figure III.14. Photo d'Oued Mouilleh*



*Figure III.15. Photo d'Oued Mouilleh*

### III. 3. c. Bassins de Macta

Situé dans le nord-ouest de l'Algérie, limité au nord par le Bassin côtiers Oranais, dont une partie s'étend jusqu'au la mer méditerranéenne, dans le sud est limité par le Bassin de Hauts plateaux Oranais, à l'est par le Bassin de Chélif et sur l'Ouest le Bassin de Tafna. Il





*Figure III.19. Bassin versent de Oued Mekerra*



*Figure III.20. Bassin versent de Oued Mekerra*

- *Oued Froha (Fig.III.18.) :*

Est un cours d'eau qui prend sa naissance dans les monts de Djabal Bezita dans le sud-est de la wilaya de Mascara et se divise dans l'oued de Ain Fekan.



*Figure III.21. Oued Froha photo aeriene*



*Figure III.22. Oued Froha en temps sec*

#### III. 3. d. Bassins d'Oranais

Le Bassin est situé dans le nord-ouest Algérien, limité par le nord par la mer méditerranéenne et dans l'est par le Bassin de côtières Algérois, par le sud il est borné par les trois Bassins, Chélif, Macta et Tafna, sur l'ouest est limité par les frontières Marocaines. Parmi les cours d'eau principaux de ce Bassin est l'Oued El Mellah.

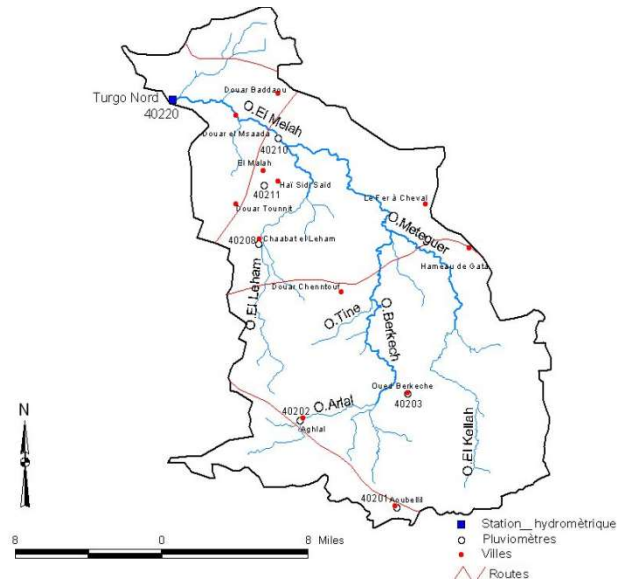


Figure III.23..Bassin versent de Oued Mellah

- *Oued Mellah (Fig.III.24.)*

Est un cours qui prend sa naissance dans le sud de la ville de Hammam Bouhadjar et il se jette dans la mer méditerranéenne.



Figure III.24.Bassin versent de Oued Mallah



*Figure III.25. Oued Mallah pendant les crues*

### III. 4. GEOLOGIE ET INTERACTION HYDROLOGIQUE

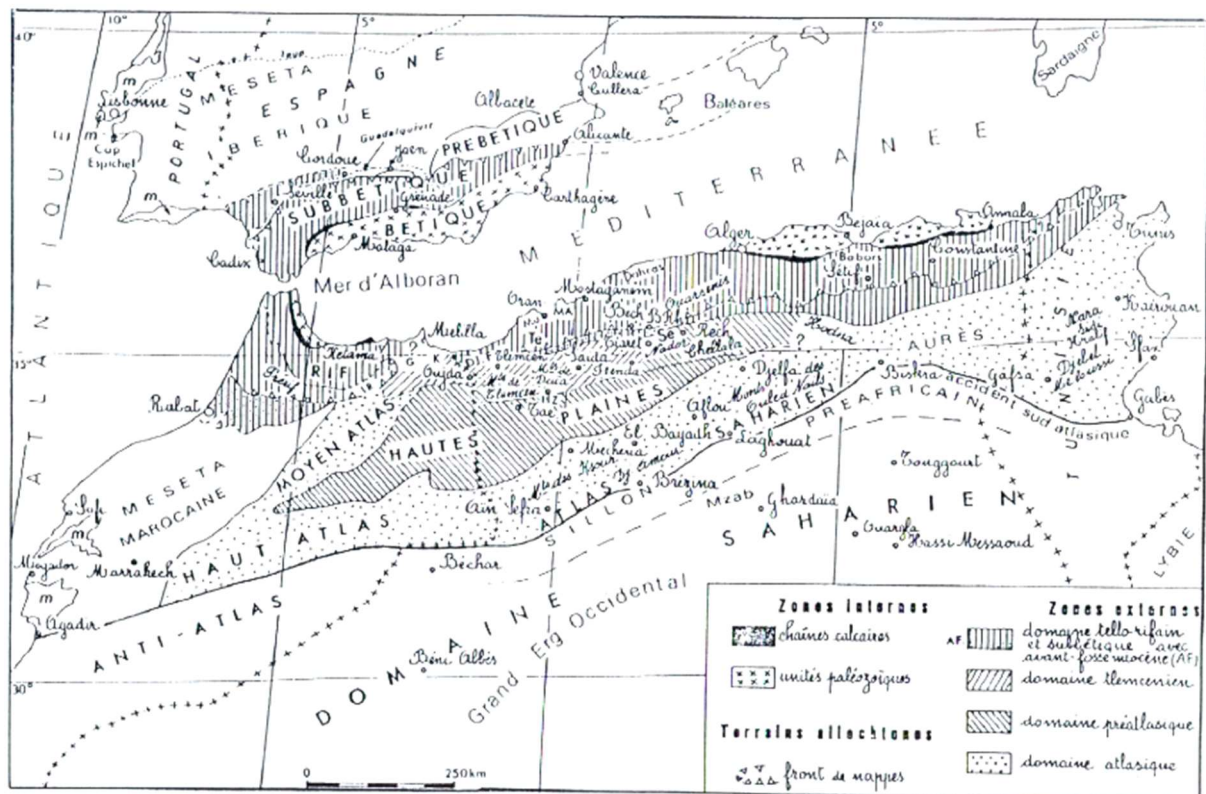
La lithologie joue un rôle important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grès, calcaires, dolomies,...). La nature des affleurements a une influence sur l'hydrologie de surface et le type du dépôt alluvionnaire.

#### III. 4. a. Cadre général

La structure actuelle de l'Algérie du Nord est liée aux mouvements hercyniens et alpins qui ont permis l'individualisation de plusieurs domaines. En Oranais, du Nord au Sud :

- le domaine tellien représenté.
- le domaine telemcenien dominé essentiellement par les monts de Tlemcen.
- les hautes plaines oranaises,
- le domaine atlasique,
- le domaine saharien.

La terminaison occidentale des monts de Nord-ouest qui s'élève graduellement du Nord vers le Sud est occupée par un massif montagneux.



Bech, Bechtout ; B Rh. Bou Rheddou ; Dj. F. Djebel Fillaoussène ; G. Chaîne du Gareb ; HZ. Hassi Zerga ; IR. Zone intrarifaine ; K. Keddana ; MA. Monts d'Arzew ; Mu. Djebel Moudjadjo ; Rech. Djebel Recheiga ; Tae. Djebel Taerziza ; Te. Monts du Tessala ; m. Mésozoïque du Portugal et du Maroc atlantique comportant du Jurassique supérieur et du Crétacé basal.

Figure III.26. Schéma structurale de la chaîne alpine de l'Afrique du nord (Benest, 1985)

### III. 4. b. La lithologique

Elle représente l'une des couches d'information nécessaire à l'élaboration de la carte de sensibilité à l'érosion. La carte lithologique simplifiée est établie à partir de la carte géologique au 1 / 1500 000 (fig.III.28.) et localise les principaux substrats classés suivant leur résistance à l'érosion.

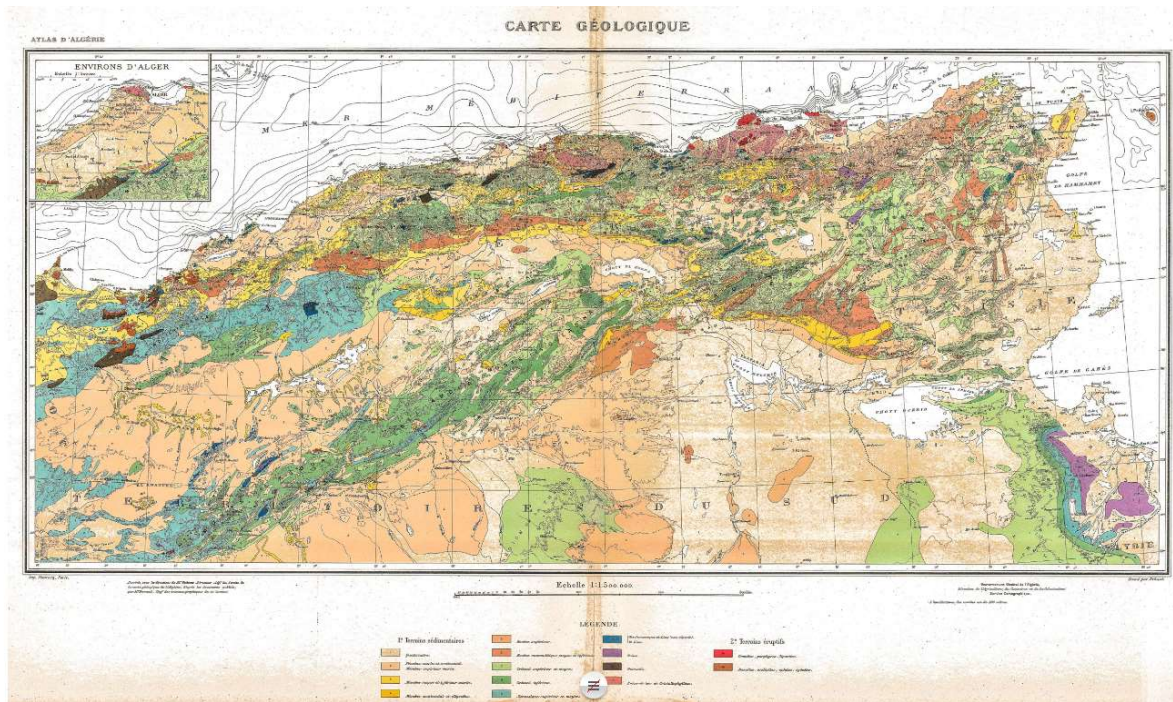


Figure III.27. Carte géologique de l'Algérie du Nord

Il s'agira de mettre en relief la résistance des roches contre les agents d'érosion connus : eau, gel, vent, etc...En classant les substratums selon leur degré de résistance tel que reconnu par les différents spécialistes en la matière. Les roches ou substratums sont identifiés et classés en fonction de leur appartenance aux différentes ères géologiques comme suit :

" a " : les calcaires massifs du crétacé supérieur ; ces roches apparaissent en trois types tel que:

- cs : crétacé supérieur marin ;
- csc : crétacé supérieur continental ;
- csm : crétacé supérieur marin non subdivisé

" b " : roches cristallines et métamorphiques ; les substratums y afférents sont définis par:

- toute la série des terrains métamorphiques;
- t : trias marin ou lagunaire ;
- permo-Trias : grès rouges - conglomérats ;
- h : carbonifère ;
- d : dévonien ;
- s : silurien ;
- ko : cambro - ordovicoien • ka : Acadien ;
- ki : Géorgien ;



- kx : conglomérat de base du géorgien ;
- x : primaire non subdivisé ;
- x3a + x3 = précambrien supérieur ;
- x2 : précambrien moyen.

" c " : épanchements et pointements basaltiques et autres roches éruptives ; cet ensemble est représenté par les séries suivantes :

- toute la série des roches ignées ;
- granites et granodiorites ;
- diorites, gabbros, dolirites ;
- rhyolites, dellinites, dacites et tuffs associés ;
- andésites et tuffs associés ;
- basaltes et tuffs associés ;
- phonolites ;
- serpentines ;
- roches associées au Trias.

" d " : calcaires du jurassique inférieur et supérieur ;

- Ji : (qui comprend : Ji1 ; Ji2 ; et Ji3) ;
- Jc : jurassique supérieur et moyen ;
- Jms : jurassique supérieur et moyen non séparés ;
- Js : jurassique supérieur non divisé (et ses trois composants : Js3 ; Js2 ; Js1)

" e " : tout l'oligocène et l'éocène dit continental ;

- Om: oligocène marin ;
- Oc : oligocène continental ;
- Oa : Aquitaniens continental ;
- Ec : éocène moyen et inférieur continental.

" f " : le crétacé inférieur et moyen, le miocène et une partie du pliocène; les roches y afférentes sont identifiées:

- Ci : crétacé inférieur (faciès récifaux normaux) ;
- Cir : crétacé inférieur (faciès récifaux ou subrécifaux) ;
- Cic : faciès continentaux ou lagunaires ;

- Cm : crétacé moyen divisé en : 1/ Ct : turonien ; 2/ Cn : céno-manien ;
- mc : comprenant le : mi, le mm, le ms, et le mp (respectivement le miocène inf. marin, le miocène sup. marin, le miocène terminal marin et lagunaire et enfin le pontien) ;
- P : pliocène marin (partie inférieure du pliocène) composé essentiellement de : conglomérats, de \* marnes bleues, de mollasses de grés et de formations dunaires.

" g " : le quaternaire et l'autre partie du pliocène (dépôts meubles et mal consolidés) : cette dernière catégorie regroupe les couches suivantes :

- A : alluvions actuelles ;
- D : dunes récentes ;
- qt : quaternaire continental ;
- qm : quaternaire marin ;
- qc : calabrien ;
- qv : villafranchien (calcaires lacustres, argiles à lignite) ;
- pv : pliocène continental et villafranchien non séparés ;
- pc : pliocène continental (poudingues, calcaires lacustres).

Ces substratums sont ensuite regroupés en unités homogènes en fonction de leurs résistances aux agents d'érosion ; ceci donne la classification suivante :

Classe I : elle regroupe les unités suivantes : " a - b - c " Cette classe regroupe les roches considérées comme très résistantes (c'est à dire offrant, dans les conditions morpho-climatiques du Nord de l'Algérie, une érosivité relative minima à toutes choses égales).

Classe II : celle-ci est constituée de l'unité " d " dont les roches sont considérées comme résistantes.

Classe III : c'est la classe des roches assez résistantes. Elle représente l'unité " e ".

Classe IV : regroupe les unités " f " et " g " dont les roches sont considérées comme peu à très peu résistantes.

#### III. 4. c. Sensibilité Des Terres Du Nord De L'Algérie

Les pentes du Nord-ouest de l'Algérie est représentée par les quatre classes de pentes à savoir : 0%- 3% ; 3% - 12,5% ; 12,5 % - 25 % et supérieure à 25 %.

D'après l'institut nationale l'irrigation et de drainage (INID) où il a superposé de la carte des pentes et la carte lithologique, en vu de réaliser une carte de sensibilité des terres à l'érosion du Nord de l'Algérie

On retrouve les différentes classes citées ci-dessus à savoir les classes I, II, III et IV représentées réciproquement par les classes de stabilité suivantes : stable, moyennement stable, instable et très instable. La planimétrie effectuée sur ces « plages » de classe donne les résultats suivants:

Tableau III.3. Classes selon la sensibilité des terres à l'érosion du Nord de l'Algérie

<i>Classes</i>	<i>Nord Ouest</i>	
	<i>Ha</i>	<i>%</i>
Classe I	3 652 000	70.00
Classe II	896 000	17.50
Classe III	391 000	07.50
Classe IV	262 000	05.00
<i>TOTALE</i>	<i>5 201 000</i>	<i>100</i>

La répartition des 4 classes suivant la carte de sensibilité à l'érosion de la région se présente comme suit:

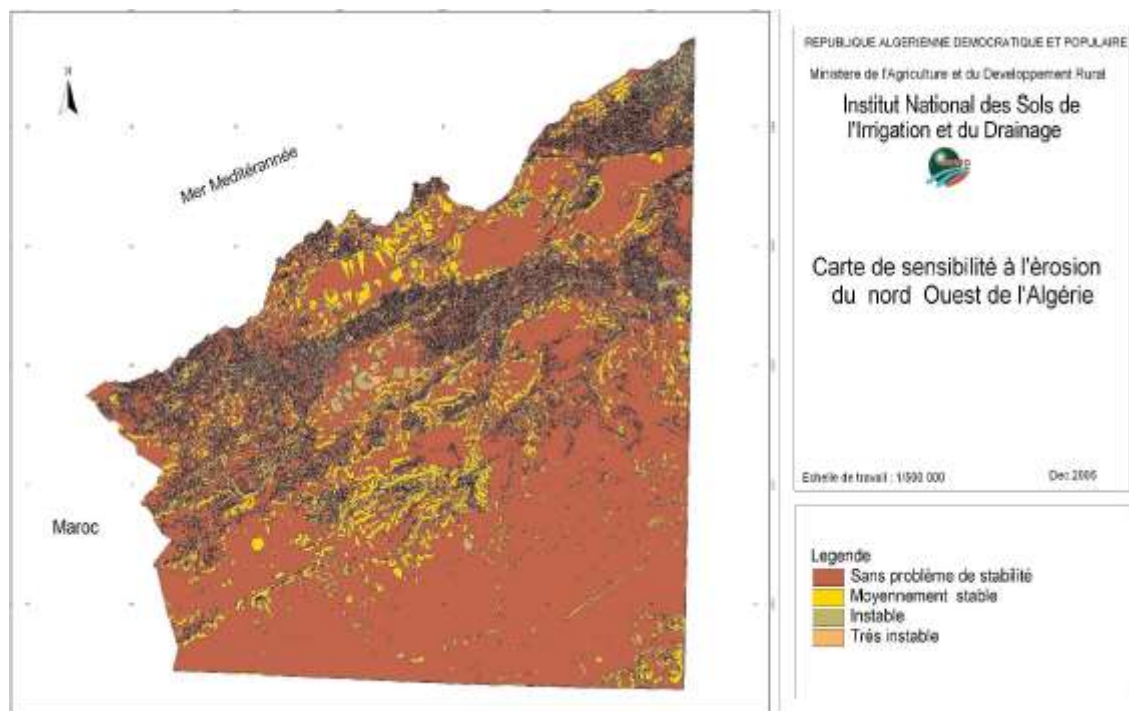


Figure III.28. Carte de sensibilité à l'érosion de la région.

Classe I : La classe I est prédominante et elle représente environ 70 % de la superficie totale. Elle concerne la zone Sud de la région et une partie Nord allant de la Wilaya d'Oran jusqu'à la Wilaya de Mostaganem.

Classe II : Elle représente 17,5 % de la superficie totale. On retrouve cette classe surtout au centre de la Wilaya de Sidi- Bel- Abbes, dans la partie Nord Ouest de la Wilaya de Saida et au niveau des Wilaya d'Oran, de Mostaganem et de Tlemcen (elle représente 25% de la superficie de la Wilaya).

Classe III : Elle représente 7,5 % de la superficie totale. Elle est présente au niveau de toutes les Wilayat de façon éparse.

Classe IV : Elle représente 5% de la superficie totale. Elle se situe au Nord des Wilayat de Sidi Bel Abbes, de Tlemcen et d'Oran, au centre de la Wilaya de Mascara et enfin au Nord Ouest de la Wilaya de Mostaganem.

Le type de formations géologiques qui affleurent dans les bassins a une influence sur la répartition des écoulements superficiels. En effet, un bassin formé de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue aura en générale une densité de drainage faible assurant une meilleure infiltration des eaux superficielles. Par ailleurs, un bassin formé de roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes et des argiles, avec une végétation moyenne, présente souvent une densité e drainage élevée, ce qui favorise le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration.

Les sous bassins sont formés essentiellement par des formations perméables à semi perméables qui occupent la presque totalité de a superficie du bassin, ce qui favorise l'infiltration des eaux de surface. Toutefois, l'abondance relative de formations carbonatées karstiques.

#### III. 4. d. CLIMAT ET VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE

Le nord-ouest de l'Algérie est situé en l'attitude à l'abri de la dorsale du moyen Atlas Rif du Maroc. Le relief très accidenté de la région d'étude constitue de nombreux abris aux influences de la mer. Ces deux facteurs ont un effet direct sur la variabilité spatiale de la pluviométrie ainsi que sur la réduction des précipitations dans la zone. Les vents sont de direction Ouest-Nord ouest en hiver, et les vents d'est responsables de fortes précipitations sont rares en cette saison. Les vents de nord-est sont fréquents en été. Ils génèrent des pluies faibles. La circulation atmosphérique est sous l'influence de l'anticyclone des Açores et l'anticyclone saharien d'altitude.

La partie nord de l'Algérie est caractérisée par un climat méditerranéen avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec. La pluviométrie annuelle atteint 400 mm à l'ouest pour le littoral. Ce type de climat concerne également les chaînes de l'Atlas tellien où l'on enregistre sur les sommets vers l'ouest (600 mm). Dans les plaines de l'Atlas tellien, la pluviométrie varie de 500 mm. Une bonne précipitation a été enregistrée dans la zone nord est de la wilaya de Cheliff, les chefs lieux des wilayas Telemçan, Mascara et Tiaret allant jusqu'au 850-à900mm (*Fig.II.30.*). L'Atlas saharien se distingue par un climat très chaud et sec en été, doux en hiver avec une pluviométrie moindre par rapport au nord du fait de son éloignement de la mer. Ces moyennes pluviométriques ont été calculées sur la base de 218 postes possédant des observations allant de 1968 à 1998.

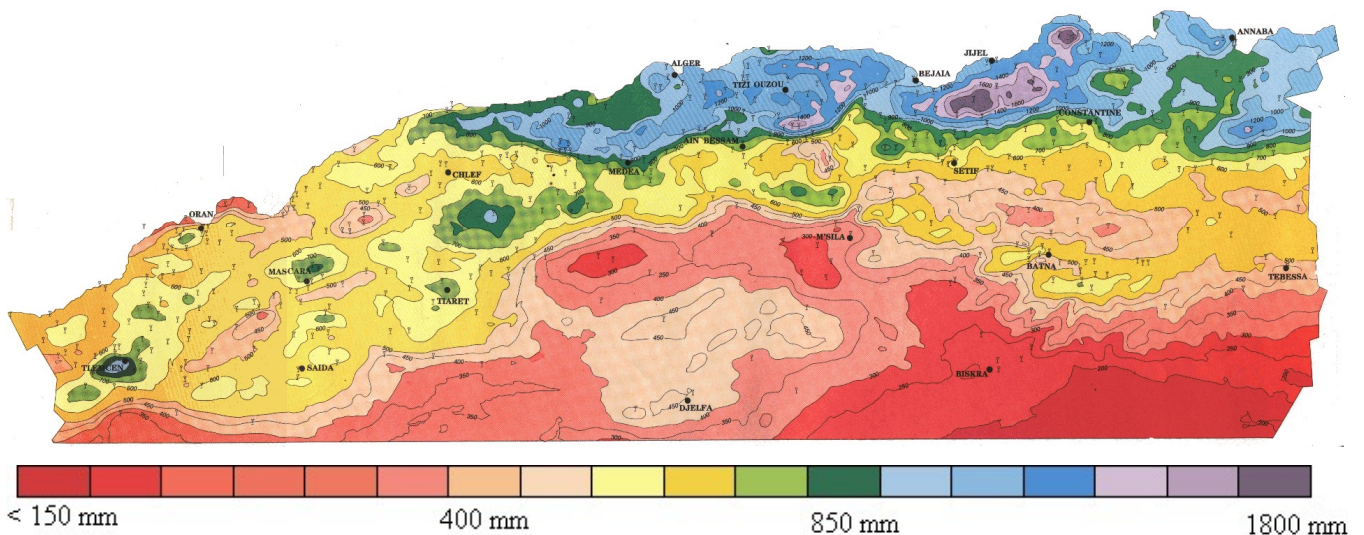
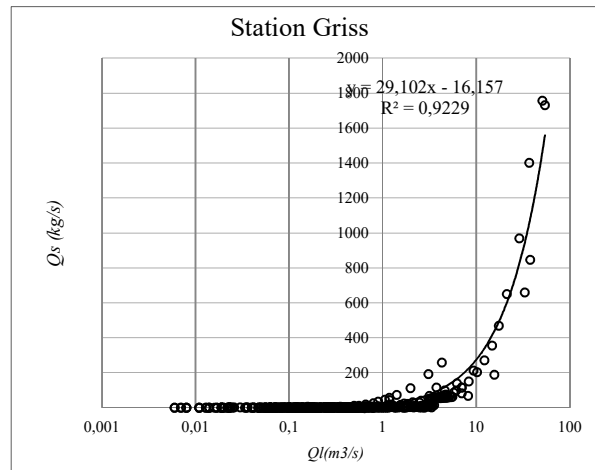
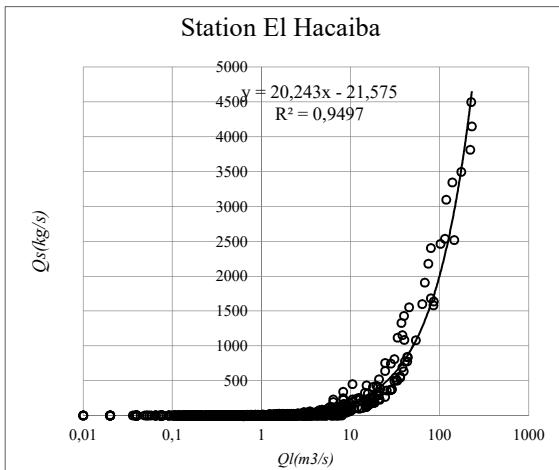
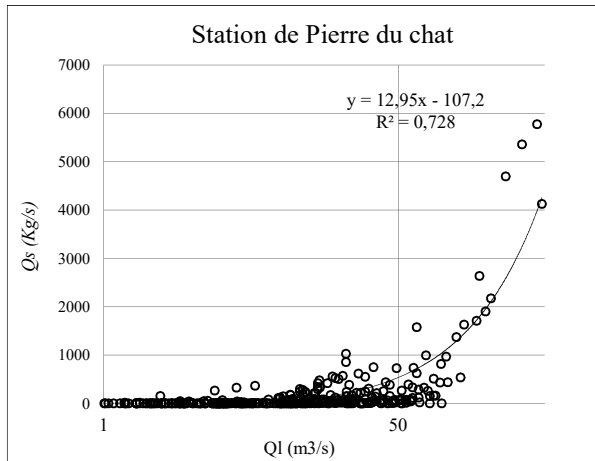
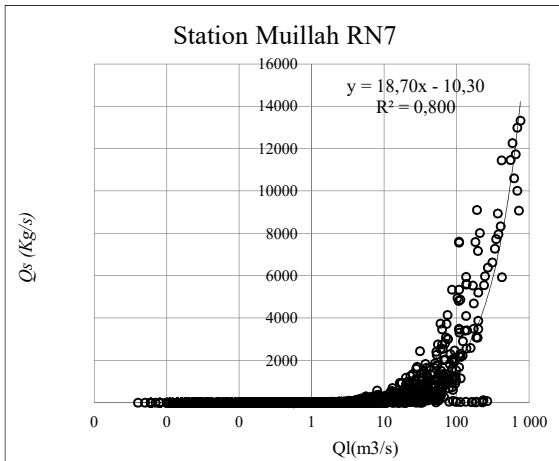
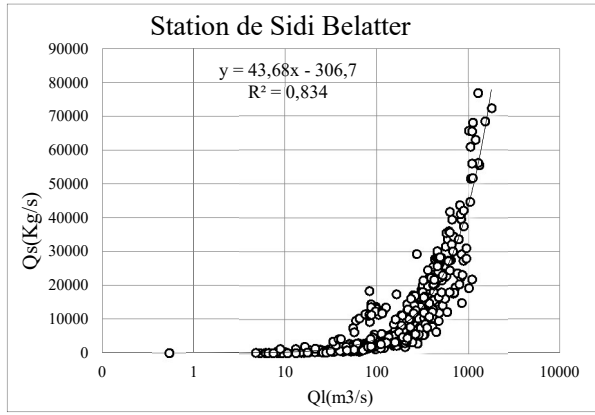
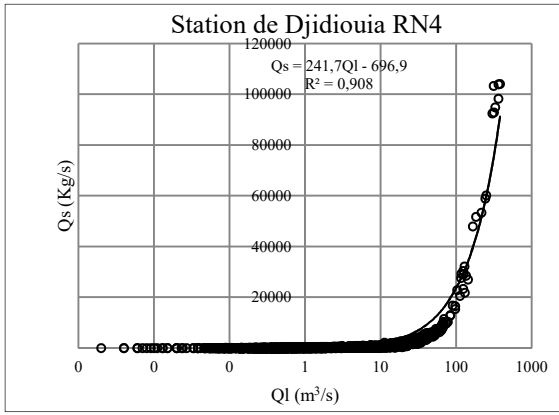


Figure III.29.Fig.II.30. Carte de sensibilité à l'érosion de la région.

### III. 5. ANALYSE DES DONNEES.

#### III. 5. a. DISTRIBUTION DE DEBIT SOLIDE EN FONCTION DE DEBIT LIQUIDE.

La représentation des débits solides mesurés en fonction des débits liquides mesurés de chaque station hydrométrique étudiée est montrée dans les graphes ci-dessous (*Fig.III.31.*)



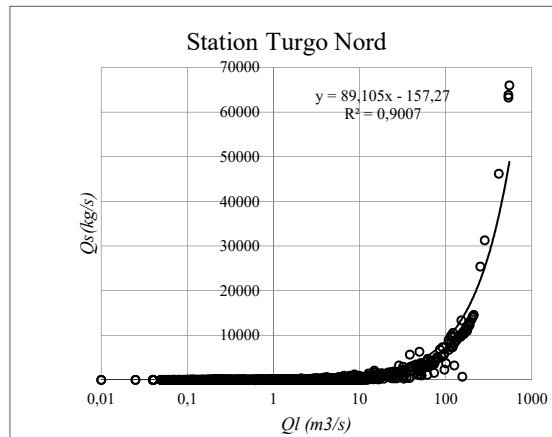
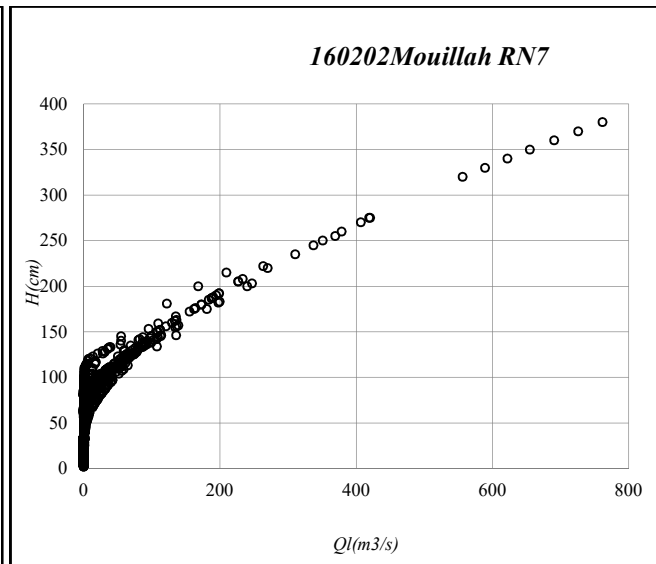
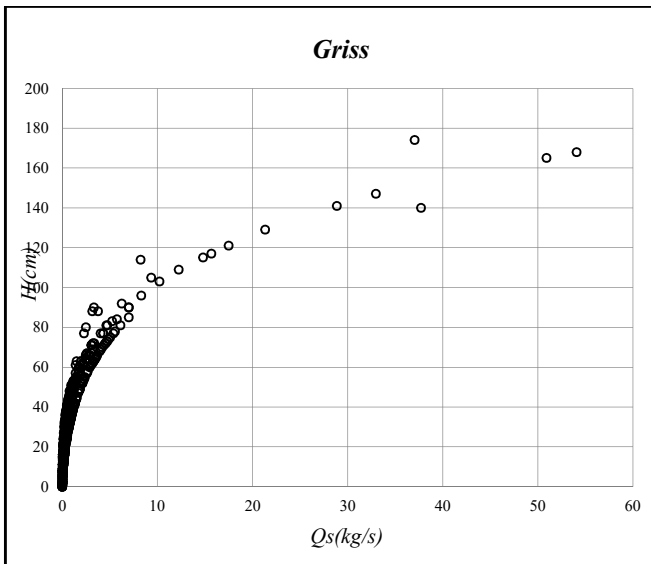
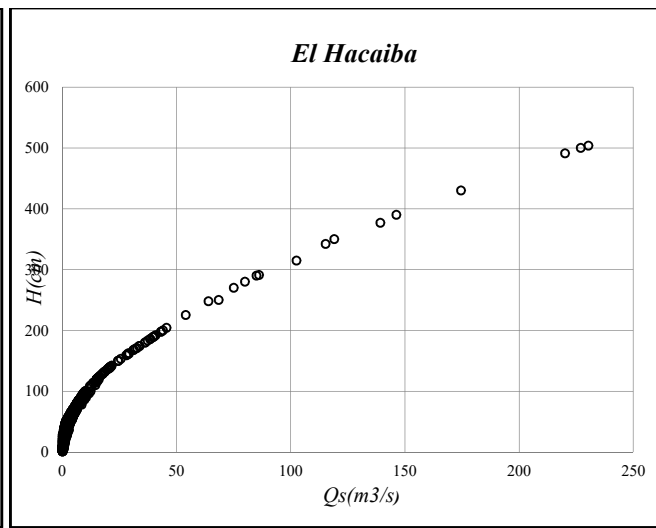
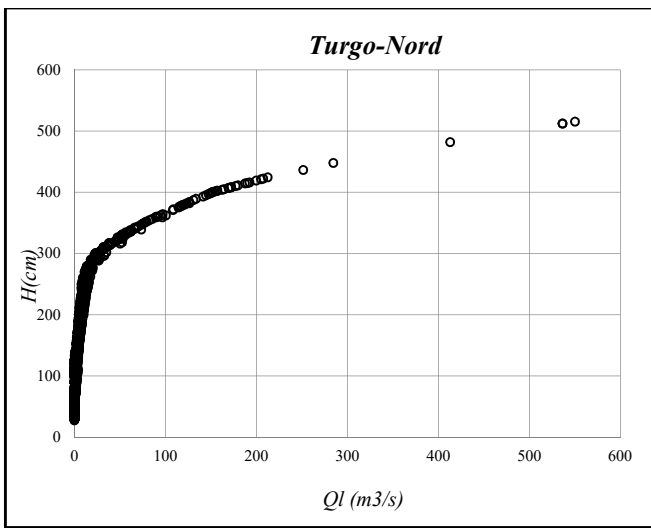
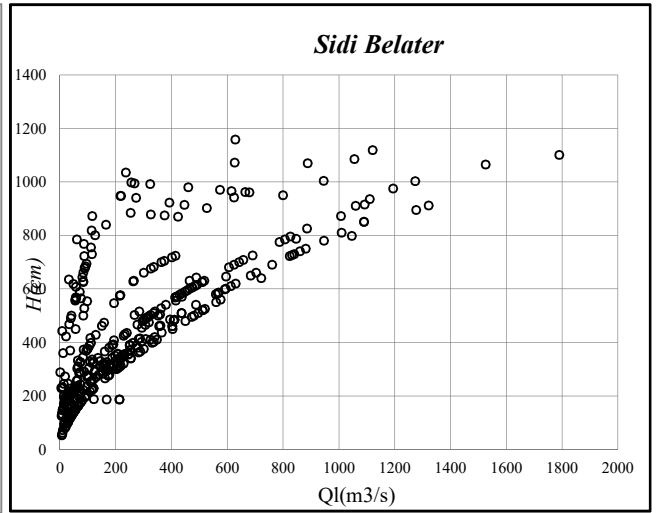
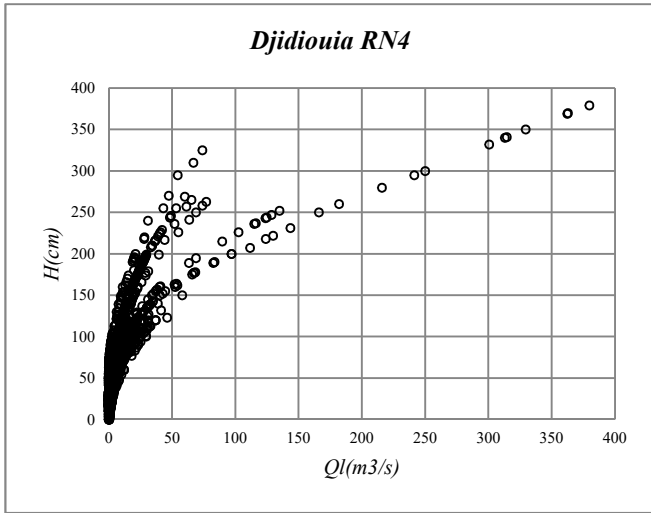


Figure III.30. Représentation de débits solides en fonction de débits liquides mesurés dans chaque station.

La représentation de débits solide-débit liquide montre une bonne régression linéaire interprétée par les coefficient de corrélation qui s'approche de (1), dans l'ensemble des stations de mesure en l'occurrence, les débits solides les plus importants sont enregistrés dans les crues pendant les périodes de sécheresse ou après, à savoir (juin, juillet aout, septembre et octobre) à cause de la dégradation du sol dû au différents facteurs d'érosion, notamment, la haute température, l'être humain, le manque d'adhérence du sol ...,néanmoins en dehors de ces périodes nous avons pu constater que le débits solide est moins important à cause des facteurs hivernaux de la région où la température est basse et la forte cohésion du sol, après les crues importantes, il n'est guère possible qu'un débit solide soit important car le sol dégradé est ravagé par les premières crues

### III. 5. b. VARIATION DE DEBIT LIQUIDE EN FONCTION DE LA HAUTEUR D'EAU.

La représentation des débits liquides mesurés en fonction des niveaux d'eau, dans chaque station hydrométrique étudiée est montrée dans les graphes ci-dessous (Fig.III.32.)





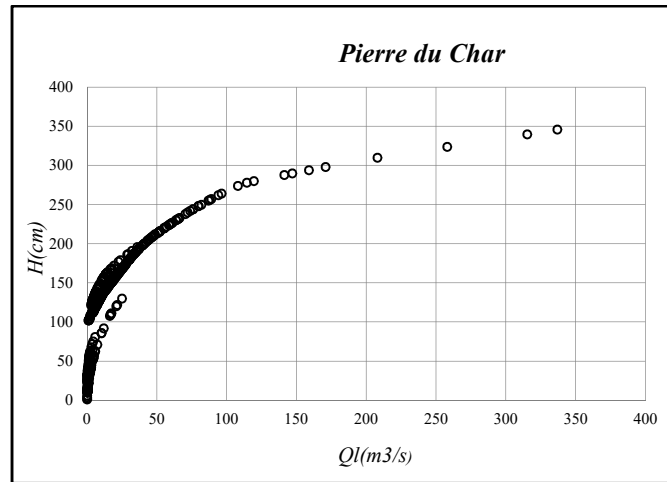
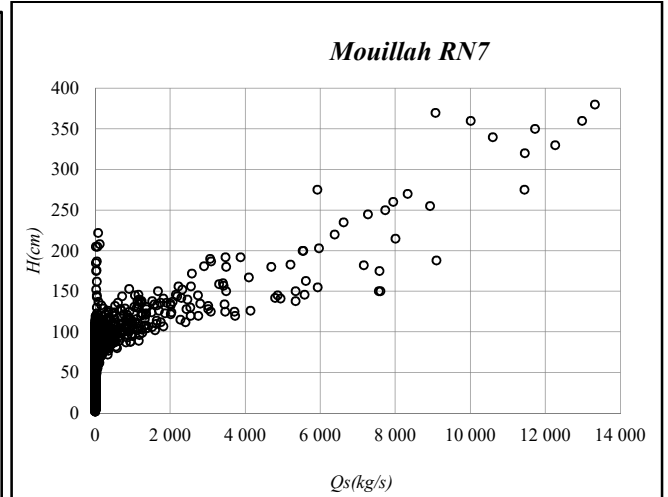
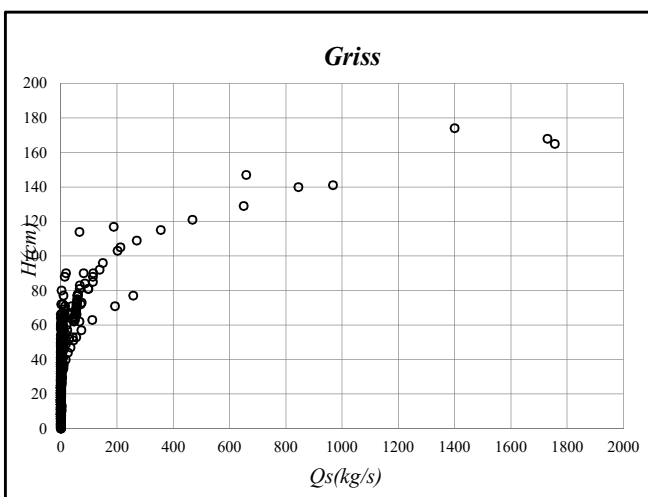
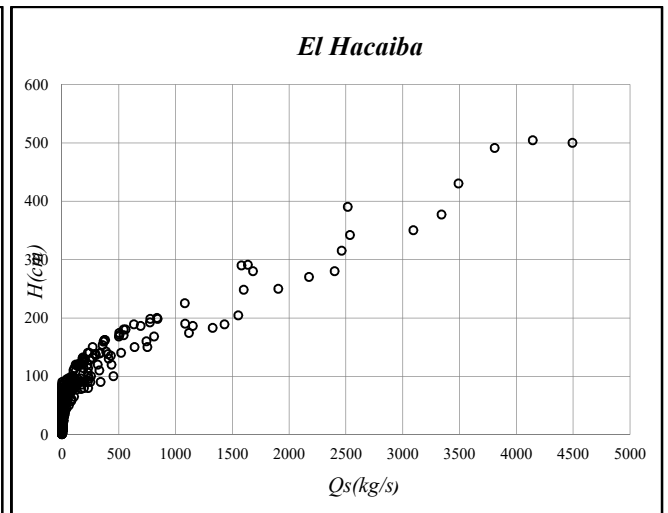
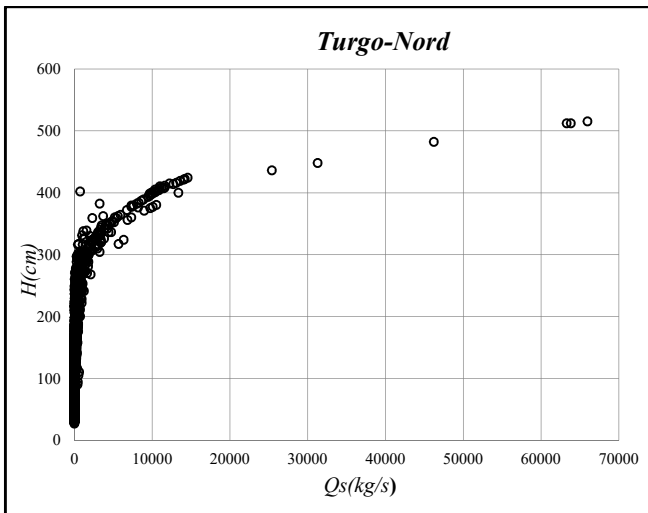
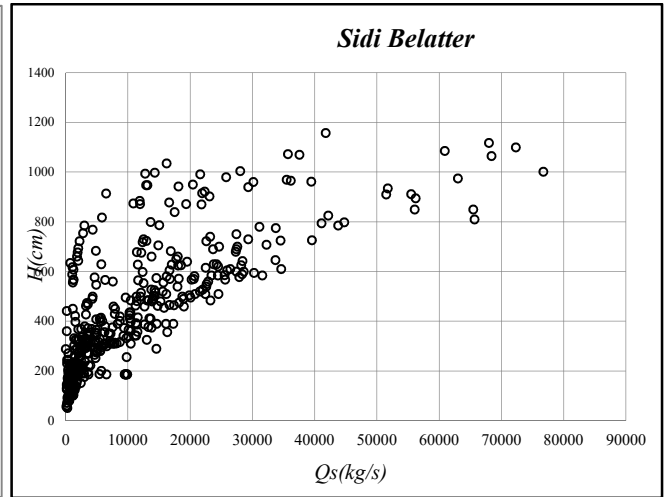
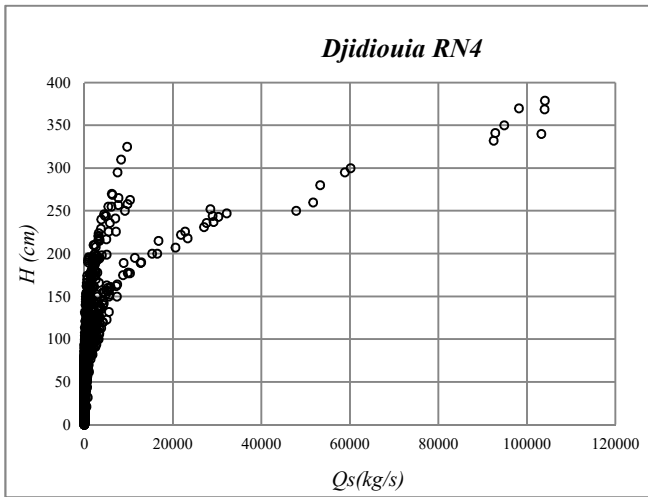


Figure III.31. Représentation de débits liquide en fonction de la hauteur d'eau mesurés dans chaque station.

La distribution de débits liquides par rapport aux niveaux d'eau montre une croissance parabolique, en l'occurrence quand le niveau d'eau augmente le débit augmente et vis versa, (**Fig.II.32.**), dans certaines stations, nous avons constaté une seule courbe parabolique citant les stations de Turgo-Nord, El Hacaiba, Griss et Mouillah, c.à.d. pour une seule hauteur, on trouve une valeur unique de débit. Par contre dans d'autres stations, à savoir, Djadaouia et Sidi Belatter, le phénomène est plus complexe, car on distingue plusieurs courbes paraboliques c'est le cas de Djidaouia RN7 et Sidi Belatter, la variation de débit avec une même hauteur d'eau est due a la variation de la section dans l'intervalle du temps, et elle devient de plus en plus grande ou l'inverse. Cela nous ramène à dire, que la section de mesure est aussi victime du phénomène de l'érosion ou la précipitation, depuis son installation à nos jour, les différentes courbes représentent l'évolution de la section à travers le temps.

### III. 5. c. VARIATION DE DEBIT SOLIDE EN FONCTION DE LA HAUTEUR D'EAU.

La représentation des débits solides mesurés en fonction des niveaux d'eau de chaque station hydrométrique étudiée est montrée dans les graphes ci-dessous (**Fig.III.33.**)



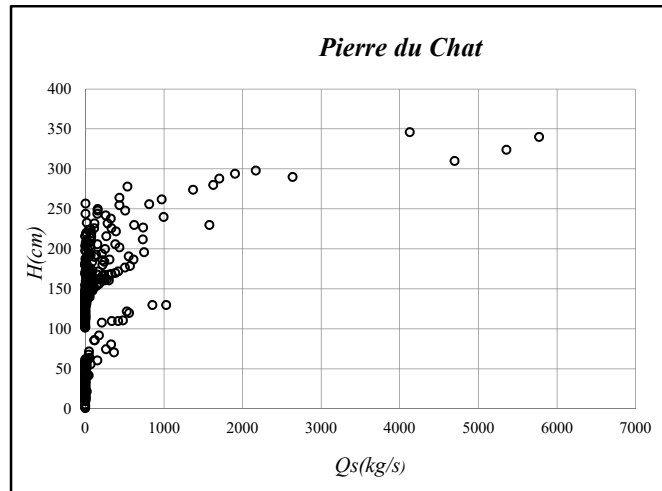


Figure III.32. Représentation de débits solide en fonction de la hauteur d'eau mesurés dans chaque station.

La variation de débit solide en fonction de la hauteur de l'eau, représente une croissance parabolique. Nous avons remarqué aussi que dans la cas des valeur petite des hauteurs de l'eau, le débit solide est négligeable et ce dernier commence à ce croit des que les valeur de hauteur deviennent plus importante, ce la montre que dans les période de crues le volume de solide arraché est très important néanmoins dans certains cas nous avons constaté que même avec des valeur de hauteurs important le débit solide reste minime voire négligeable cette période est très remarquable car ces des périodes suivent les crues important où le volume d'eau ruisselé ne trouve rien à arracher en l'occurrence en été en automne, puisque la cohésion de sol devient plus importante que la force tractrice de l'eau.

## IV. CHAPITRE III. LES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS

### IV. 1. INTRODUCTION

Le développement surprenant de l'informatique, tant sur le plan matériel que logiciel, a conduit au développement des techniques de traitement de l'information. La construction de logiciels s'appuie sur plusieurs approches. Parmi les plus utilisées sont l'approche algorithmique, l'approche basée sur la connaissance et l'approche par réseaux de neurones artificiels.

Cette approche de traitement automatique de l'information s'inspire du traitement de l'information effectué par le cerveau. L'hypothèse principale, à la base de l'essor des réseaux de neurones artificiels, est que le comportement intelligent est sous-tendu par un ensemble de mécanismes mentaux. Ces mécanismes étant basés sur des processus neurophysiologiques, nous supposons donc que la structure du système nerveux central est à la base du développement d'un comportement intelligent.

Les réseaux de neurones artificiels sont des réseaux fortement connectés de processeurs élémentaires fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau.

### IV. 2. HISTORIQUE

Bien que la notion de la mémoire associative fût lancée par le psychologue américain W. James(1890), le concept de réseaux de neurones a été introduit par J. Mc Culloch et W. Pitts en 1943 qui ont montré que des réseaux formels simples peuvent réaliser des fonctions logiques, arithmétiques et symboliques complexes. En 1949, le physiologiste américain D. Hebb, explique le conditionnement chez l'animal par les propriétés des neurones eux-mêmes, il montre aussi l'importance du couplage synaptique dans le processus d'apprentissage en se fondant sur le comportement psychophysiologique (1949), ce qui donne naissance de la première règle d'apprentissage. La construction du premier neuro-ordinateur basé sur le modèle de Perceptron, appliqué au domaine de la reconnaissance de formes, a été réalisée par F. Rosenblatt (1957).

Inspiré de l'idée de Hebb, B. Widrow (1960) développe le modèle Adaline (Adaptative Linear Element). Dans sa structure, le modèle ressemble au Perceptron, cependant la loi d'apprentissage est différente. Celle-ci est à l'origine de l'algorithme de rétro-propagation de gradient très utilisé aujourd'hui avec les Perceptrons multicouches. Les réseaux de type Adaline restent utilisés de nos jours pour certaines applications particulières.

Suite aux travaux de certains chercheurs tel que M. Minsky et S. Papert, 1969, qui mettent en exergue les limitations théoriques du perceptron, la théorie des réseaux de neurones a connue un « séisme » dans le fond. Limitations alors connues, notamment concernant l'impossibilité de traiter par ce modèle des problèmes non linéaires. Ils étendent implicitement ces limitations à tous modèles de réseaux de neurones artificiels.

Malgré cela, les recherches ne sont, bien sûr, pas interrompues. Elles se poursuivent, mais déguisées, sous le couvert de divers domaines comme : le traitement adaptatif du signal, la reconnaissance de formes, la modélisation en neurobiologie, etc. De grands noms travaillent durant cette période tels que : S. Grossberg, T. Kohonen. Ces recherches parviennent en 1980, grâce aux chercheurs Wilkie Stonhan et Aleksander, à résoudre les problèmes d'apprentissages difficiles, tel que la non linéarité de certains phénomènes, en utilisant des réseaux de neurones multicouches.

En 1982, le célèbre physicien, J. J. Hopfield, à qui l'on doit le renouveau d'intérêt pour les réseaux de neurones artificiels, présente une théorie du fonctionnement et des possibilités des réseaux de neurones. Alors que les auteurs s'acharnent à proposer une structure et une loi d'apprentissage, puis à étudier les propriétés émergentes ; J. J. Hopfield, par son esprit anticonformiste, fixe préalablement le comportement à atteindre pour son modèle et construit à partir de là, la structure et la loi d'apprentissage correspondant au résultat escompté. Ce modèle est aujourd'hui encore très utilisé pour des problèmes d'optimisation.

En 1985, la rétropropagation de gradient apparaît grâce à trois groupes de chercheurs indépendants. C'est un algorithme d'apprentissage adapté aux réseaux de neurones multicouches (aussi appelés Perceptrons multicouches). Dès cette découverte, nous avons la possibilité de réaliser une fonction non linéaire d'entrée/sortie sur un réseau en décomposant cette fonction en une suite d'étapes linéairement séparables. De nos jours, les réseaux multicouches et la rétro-propagation de gradient reste le modèle le plus étudié et le plus productif au niveau des applications.

Dans les années quatre-vingt-dix, d'autres modèles et algorithmes ont été développée avec l'attention d'étendre les possibilités des réseaux statiques non bouclés par introduction progressive d'une mémoire interne et de la récurrence au sein du réseau.

### IV. 3. NEURONE BIOLOGIQUE ET NEURONE ARTIFICIEL

Le développement des connaissances de la structure interne du cerveau, et la compréhension d'une partie de son fonctionnement a contribué de façon remarquable à l'émergence des réseaux de neurones artificiels.

#### IV. 3. a. Le modèle neurophysiologique

Le cerveau se compose d'environ mille milliards de neurones, avec 1000 à 10000 synapses (connexions) par neurone. Le neurone est une cellule composée d'un corps cellulaire et d'un noyau. Le corps cellulaire se ramifie pour former les dendrites. Celles-ci sont parfois si nombreuses que l'on parle alors de chevelure dendritique ou d'arborisation dendritique. C'est par les dendrites que l'information est acheminée de l'extérieur vers le soma, corps du neurone. L'information traitée par le neurone chemine ensuite le long de l'axone (unique) pour être transmise aux autres neurones.

La transmission entre deux neurones n'est pas directe. En fait, il existe un espace intercellulaire de quelques dizaines d'Angstroms entre l'axone du neurone afférent et les dendrites du neurone efférent.

La jonction entre L'étape suivante nous conduit à l'étude de petits réseaux de neurones, tels ceux impliqués dans les arcs réflexes. Ceci nous amène à exposer les propriétés d'habituation, de sensibilisation et surtout à concevoir l'idée d'une modification physique des connexions entre neurones pour supporter ces phénomènes. L'étude du mécanisme de la vision chez l'animal (et l'homme) permet d'appréhender les notions de messages somato-sensoriels, de réduction d'information, d'étages de traitement et de complexification de l'information.

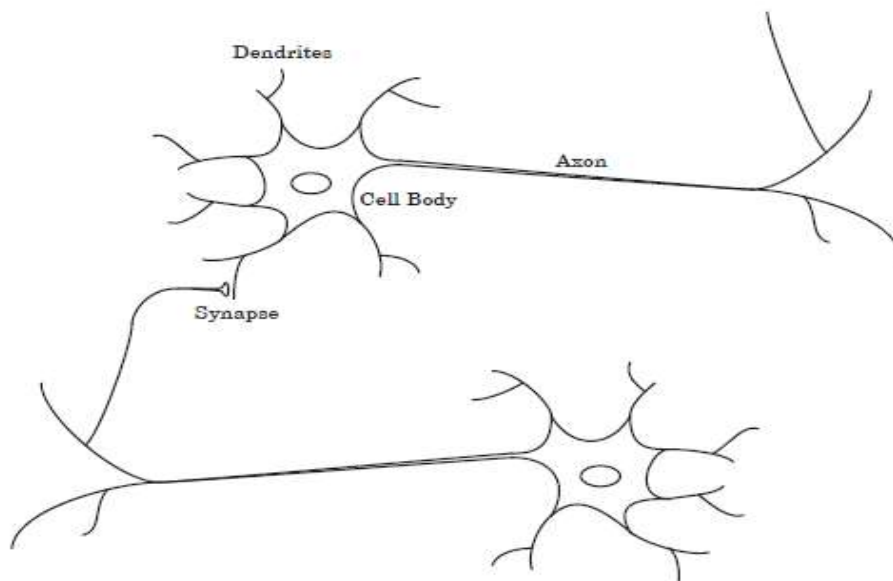


Figure IV.1. Schématisation d'un neurone biologique avec son arborisation

La longueur de l'axone peut varier de quelques microns à 1,50 mètre pour un motoneurone. De même les dendrites mesurent de quelques microns à 1,50 mètre pour un neurone sensoriel de la moelle épinière. Le nombre de synapses par neurone varie aussi considérablement de plusieurs centaines à une dizaine de milliers.

Chaque structure est dotée d'une fonction particulière et ces structures adaptent leur comportement par des mécanismes d'apprentissage. L'apprentissage implique des modifications physiques des connexions entre neurones. L'association entre plusieurs structures neuronales, dotées chacune d'une fonction précise, permet l'émergence d'une fonction d'ordre supérieure pour l'ensemble.

#### IV. 3. b. Neurone artificiel

Les réseaux de neurones artificiels sont des réseaux fortement connectés de processeurs élémentaires fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau (Touzet, 1992).

#### IV. 3. c. Les réseaux de neurones monocouche

Tels que le Perceptron et l'Adaline, ces réseaux sont exploités essentiellement dans la classification des données. Chaque neurone artificiel reçoit un nombre variable d'entrées en provenance de neurones amont. À chacune de ces entrées est associé un poids  $w$  représentatif de la force de la connexion. Chaque processeur élémentaire est doté d'une sortie unique, qui se ramifie ensuite pour alimenter un nombre variable de neurones avals.

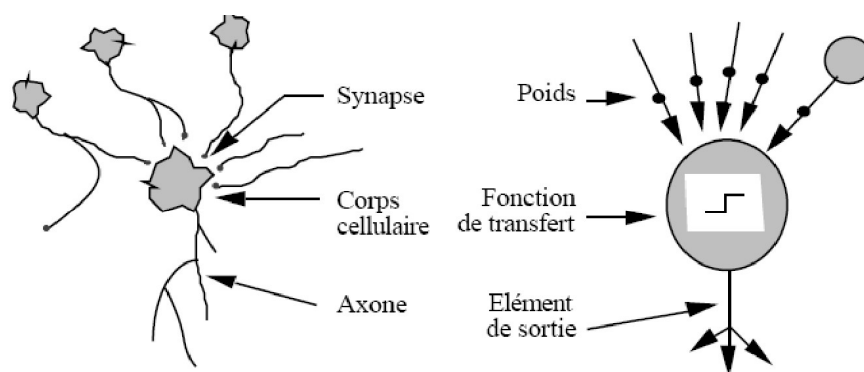


Figure IV.2. Neurone biologique et Artificiel avec multi entrées.

#### IV. 4. RESEAUX DE NEURONES MULTICOUCHES ET APPRENTISSAGE EN RETRO-PROPAGATION

Le réseau neuronal feedforward multicouche est le cheval de bataille du logiciel Neural Network Toolbox. . Il peut être utilisé à la fois pour l'ajustement de fonction et les problèmes de reconnaissance de formes. Avec l'ajout d'une ligne à retard à l'utilisation, Il peut également être utilisé pour des problèmes de prédiction, Cette rubrique explique comment utiliser un réseau multicouche. Il illustre également les procédures de base pour la conception de tout réseau neuronal.

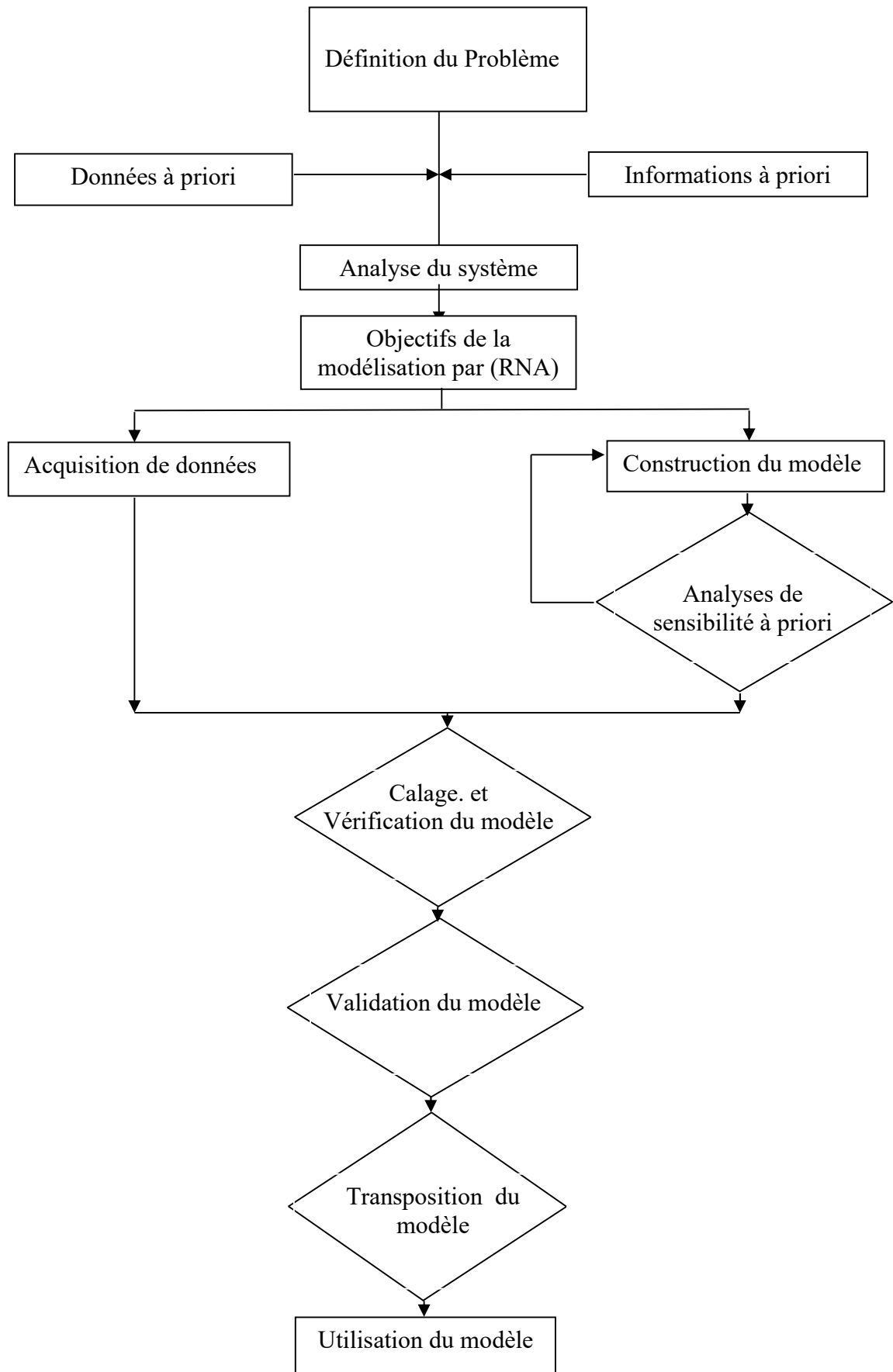
Le workflow de travail pour le processus de conception du réseau neurone général comporte sept étapes principales:

- 1- La Collection des données.
- 2- La Création de réseau.
- 3- La configuration de réseau.
- 4- L'initialisation les poids et les biais.
- 5- L'apprentissage (exercer) le réseau.
- 6- Validation du réseau.
- 7- Utilisation de réseau.

L'étape 1 peut se produire en dehors du cadre du logiciel Neural Network Toolbox, Mais cette étape est essentielle à la réussite du processus de conception.

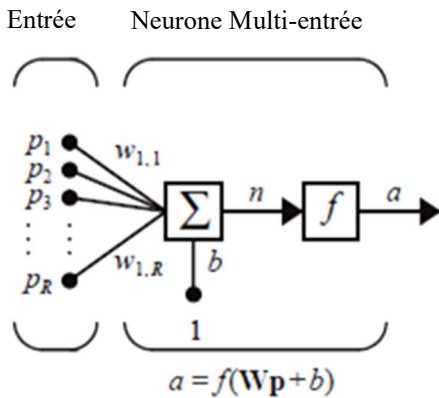
Afin d'éclaircir le travail réalisé, nous illustrons ci-après l'organigramme suivi.





#### IV. 4. a. Architecture De Réseaux Neuronaux Multicouches

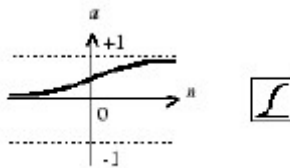
Un neurone élémentaire avec des entrées  $R$  est montré ci-dessous. Chaque entrée est pondérée avec un  $w$  approprié. La somme des entrées pondérées et du biais constitue l'entrée de la fonction de transfert  $f$ . Les neurones peuvent utiliser n'importe quelle fonction de transfert différentiable  $f$  pour générer leur sortie.



Où

$R$  = nombre d'éléments dans le vecteur d'entrée

Les réseaux multicouches utilisent souvent la fonction de transfert log-sigmoïde (logsig).

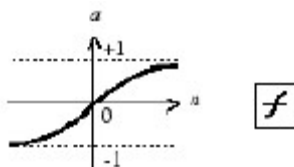


$$a = \text{logsig}(n)$$

Log-Sigmoid Fonction de transfert

La fonction logsig génère des sorties entre 0 et 1 puisque l'entrée nette du neurone va de l'infini négatif à l'infini positif.

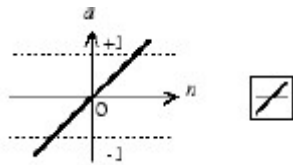
En variante, les réseaux multicouches peuvent utiliser la fonction de transfert tan-sigmoïde (tansig).



$$a = \text{Tansig}(n)$$

tan-sigmoïde Fonction de transfert.

Les neurones de sortie sigmoïde sont souvent utilisés pour des problèmes de reconnaissance de formes, Tandis que les neurones de sortie linéaires sont utilisés pour des problèmes d'ajustement de fonction. La fonction de transfert linéaire purelin est représentée ci-dessous.



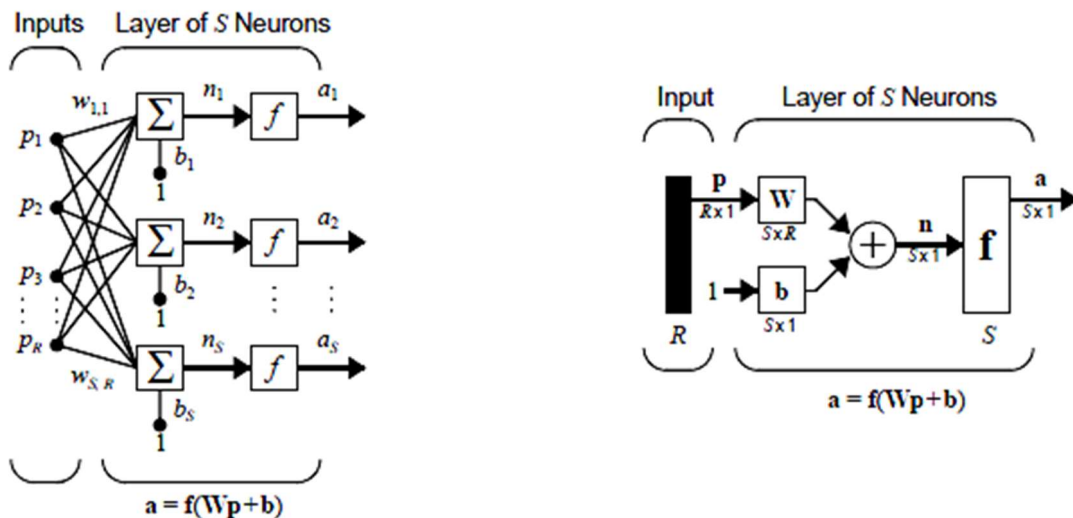
$$a = \text{Purelin}(n)$$

Linéaire Fonction de transfert.

Les trois fonctions de transfert décrites ici sont les fonctions de transfert les plus couramment utilisées pour les réseaux multicouches, mais d'autres fonctions de transfert différentiables peuvent être créées et utilisées si désiré.

#### IV. 4. b. RESEAU NEURONAL FEEDFORWARD

Un réseau monocouche de neurones S logsig ayant des entrées R est illustré ci-dessous en détail à gauche et avec un diagramme de couches à droite.



Où :

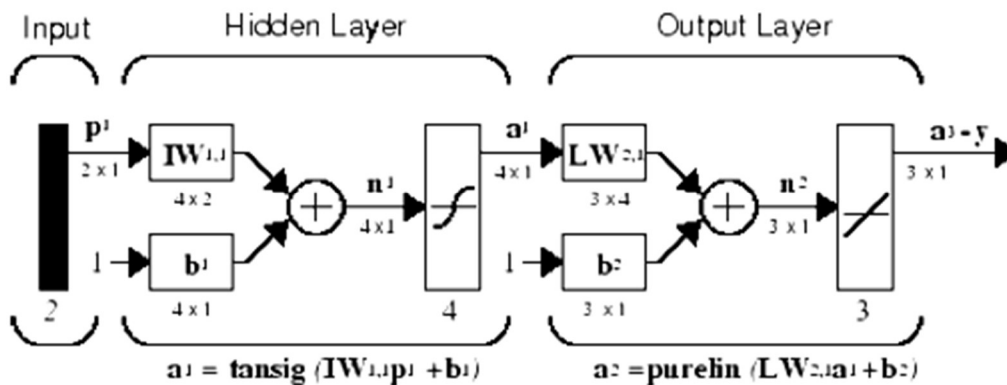
R : nombre d'éléments dans le vecteur d'entrée

S : nombre de neurones dans la couche.

Les réseaux Feedforward ont souvent une ou plusieurs couches masquées de neurones sigmoïdes suivis d'une couche de sortie de neurones linéaires. Plusieurs couches de neurones avec des fonctions de transfert non linéaires permettent au réseau d'apprendre des relations non linéaires entre les vecteurs d'entrée et de sortie. La couche de sortie linéaire est le plus souvent utilisée pour les problèmes

d'ajustement de fonctions (ou de régression non linéaire). D'autre part, si vous voulez limiter les sorties d'un réseau (par exemple entre 0 et 1), alors la couche de sortie devrait utiliser une fonction de transfert sigmoïde (telle que  $\text{logsig}$ ). C'est le cas lorsque le réseau est utilisé pour des problèmes de reconnaissance de formes (dans lesquels une décision est prise par le réseau).

Pour les réseaux à couches multiples, le nombre de couches détermine l'indice sur la matrice de poids. La notation appropriée est utilisée dans le réseau  $\text{tansig}$  /  $\text{purelin}$  à deux couches représenté ci-après.



Ce réseau peut être utilisé comme un approximateur de fonction générale. Il peut approximer n'importe quelle fonction avec un nombre fini de discontinuités arbitrairement bien, étant donné suffisamment de neurones dans la couche cachée.

Maintenant que l'architecture du réseau multicouche a été définie, le processus de conception est décrit dans les sections suivantes.

#### IV. 4. c. III.4.3. PREPARATION DES DONNEES POUR LES RESEAUX NEURONES MULTICOUCHES

Avant de commencer le processus de conception du réseau, on doit d'abord recueillir et préparer des données ( $Q_I-Q_S$ ). Il est généralement difficile d'intégrer des connaissances antérieures dans un réseau de neurones, donc le réseau ne peut être aussi précis que par les données qui sont utilisées pour son apprentissage.

Il est important que les données ( $Q_I-Q_S$ ) couvrent la gamme d'entrées pour lesquelles le réseau sera utilisé. Les réseaux multicouches peuvent être exécutés pour généraliser bien dans la gamme d'entrée pour laquelle ils ont été exécutés. Cependant, ils n'ont pas la capacité d'extrapoler avec précision au-delà de cette plage, il est donc important que les données ( $Q_I-Q_S$ ) d'entraînement couvrent toute la gamme de l'espace d'entrée.

Après que les données ont été collectées, il y a deux étapes qui doivent être effectuées avant que les données ( $Q_t-Q_s$ ) sont utilisées pour l'apprentissage du réseau: les données doivent être prétraitées, et ils doivent être divisés en sous-ensembles.

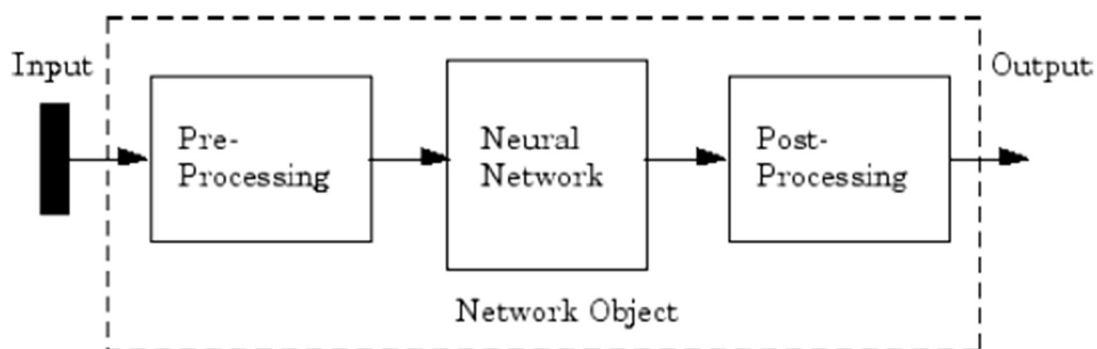
#### IV. 4. d. LE CHOIX DES FONCTIONS DE TRAITEMENT DES ENTREES-SORTIES DU RESEAU NEURONAL

L'apprentissage du réseau neurone peut être plus efficace si vous effectuez certaines étapes de prétraitement sur les entrées et les cibles du réseau. Cette section décrit plusieurs routines de prétraitement.

Par exemple, dans les réseaux multicouches, les fonctions de transfert sigmoïde sont généralement utilisées dans les couches masquées. Ces fonctions deviennent essentiellement saturées lorsque l'entrée nette est supérieure à trois ( $\exp(-3) = 0,05$ ). Si cela se produit au début du processus de l'apprentissage, les gradients seront très petits, et l'apprentissage du réseau sera très lent. Dans la première couche du réseau, l'entrée nette est un produit du temps entrée le poids plus le biais. Si l'entrée est très grande, alors le poids doit être très petit afin d'éviter que la fonction de transfert ne devienne saturée. Il est normal de normaliser les entrées avant de les appliquer au réseau.

Généralement, l'étape de normalisation est appliquée à la fois aux vecteurs d'entrée et aux vecteurs cibles dans l'ensemble de données ( $Q_t-Q_s$ ). De cette façon, la sortie du réseau tombe toujours dans une plage normalisée. La sortie réseau peut alors être transformée en retour dans les unités des données cibles originales lorsque le réseau est mis à utiliser dans le champ.

Le réseau neuronal comme ayant un bloc de prétraitement (Pre-Processing) qui apparaît entre l'entrée et la première couche du réseau et un bloc de post-traitement (Post-processing) qui apparaît entre la dernière couche du réseau et la sortie, comme le montre la figure suivante.



La plupart des fonctions de création de réseau dans la boîte à outils (toolbox), y compris les fonctions de création de réseau multicouches, telles que *feedforwardnet*, attribuent automatiquement des fonctions de traitement aux entrées ( $Q_I$ - $Q_S$ ) et aux sorties réseau. Ces fonctions transforment les valeurs d'entrée et de cible en valeurs qui conviennent mieux à la l'apprentissage en réseau.

On peut remplacer les fonctions de traitement d'entrée et de sortie par défaut en ajustant les propriétés du réseau après avoir créé le réseau.

Pour afficher une liste de matrices de cellules de fonctions de traitement affectées à l'entrée d'un réseau, accédez à cette propriété: *net.inputs{1}.processFcns*

Où l'indice 1 se réfère au premier vecteur d'entrée. (Il n'y a qu'un seul vecteur d'entrée pour le réseau feedforward.)

Pour afficher les fonctions de traitement renvoyées par la sortie d'un réseau à deux couches, accédez à cette propriété de réseau: *net.outputs{2}.processFcns*

Où l'indice 2 se réfère au vecteur de sortie provenant de la seconde couche. (Pour le réseau feedforward, il n'y a qu'un seul vecteur de sortie, et il provient de la couche finale.) on utilise ces propriétés pour modifier les fonctions de traitement que le réseau doit appliquer aux entrées et aux sorties..

Plusieurs fonctions de traitement ont des paramètres qui personnalisent leur fonctionnement. On peut accéder ou modifier les paramètres de la fonction de traitement d'entrée  $i^{\text{ème}}$  pour l'entrée réseau comme suit:

*net.inputs{1}.processParams{i}*

Aussi on accède ou on modifie les paramètres de la  $i^{\text{ème}}$  fonction de traitement de sortie pour la sortie réseau associée à la deuxième couche, comme suit:

*net.outputs{2}.processParams{i}*

Pour les fonctions de création de réseau multicouches, telles que *feedforwardnet*, les fonctions de traitement d'entrée par défaut sont *removeconstantrows* et *mapminmax*. Pour les sorties, les fonctions de traitement par défaut sont aussi *removeconstantrows* et *mapminmax*.

Le tableau suivant répertorie les fonctions de prétraitement et de post-traitement les plus courantes. Dans la plupart des cas, vous n'aurez pas besoin de les utiliser directement, puisque les étapes de prétraitement deviennent partie de l'objet réseau. Lorsque on simule ou on exerce le réseau, le prétraitement et le post-traitement se feront automatiquement.

Tableau IV.1. Fonction de prétraitement

Fonction	Algorithme
Mapminmax	Normalise les entrées / cibles pour être dans la plage[-1, 1]
Mapstd	Normaliser les entrées / cibles pour obtenir une moyenne nulle et une variance unitaire.

Processpca	Extraire les composantes principales du vecteur d'entrée
Fixunknowns	Entrées de processus inconnues
Removeconstantrows	Supprimer les entrées / cibles qui sont constantes

#### IV. 4. e. Division Des Données (Q<sub>1</sub>-Q<sub>s</sub>) Pour Un Apprentissage Optimal Sur Les Réseaux Neurone

Lors de l'apprentissage de réseaux multicouches, la pratique générale consiste à diviser les données en trois sous-ensembles. Le premier sous-ensemble est l'ensemble d'apprentissage (l'apprentissage), qui est utilisé pour calculer le gradient et mettre à jour les poids  $w$  et les biais  $b$  du réseau. Le second sous-ensemble est l'ensemble de validation. L'erreur sur l'ensemble de validation est surveillée pendant le processus d'apprentissage (d'apprentissage). L'erreur de validation diminue normalement pendant la phase initiale de l'apprentissage, de même que l'erreur de l'ensemble d'entraînement (apprentissage). Cependant, lorsque le réseau commence à surcharger les données, l'erreur sur l'ensemble de validation commence généralement à augmenter. Les poids et les biais de réseau sont enregistrés au minimum de l'erreur de validation.

L'erreur de test n'est pas utilisée pendant l'apprentissage, mais elle est utilisée pour comparer différents modèles. Il est également utile de tracer l'erreur de test lors du processus d'apprentissage. Si l'erreur sur l'ensemble de test atteint un minimum à un nombre d'itérations significativement différent de l'erreur de validation, cela peut indiquer une mauvaise division de l'ensemble de données.

Il existe quatre fonctions permettant de diviser les données en ensembles d'exécution, de validation et de test. Ils sont `dividerand` (la valeur par défaut), `divideblock`, `divideint` et `divideind`. La division des données est normalement effectuée automatiquement lorsque vous formez le réseau.

Tableau IV.2. Fonction de division.

Fonction	Algorithm
<code>dividerand</code>	Divisez les données de façon aléatoire (par défaut)
<code>divideblock</code>	Divisez les données en blocs contigus

divideint	Diviser les données en utilisant une sélection entrelacée
divideind	Diviser les données par index

La fonction de division est accessible automatiquement chaque fois que le réseau est exécuté et est utilisé pour diviser les données ( $Q_T-Q_S$ ) en sous-ensembles d'exécution, de validation et de test. Si *net.divideFcn* est mis à 'dividerand', alors les données sont divisées aléatoirement en trois sous-ensembles en utilisant les paramètres de division *Net.divideParam.trainRatio*, *net.divideParam.valRatio* et *net.divideParam.testRatio*. La fraction de données qui est placée dans l'ensemble d'apprentissage est  $\text{trainRatio} / (\text{trainRatio} + \text{valRatio} + \text{testRatio})$ , avec une formule similaire pour les deux autres ensembles. Pour notre problème, les ratios pour l'apprentissage (apprentissage), les tests et la validation sont respectivement de 0.6, 0,2 et 0,2.

Si *net.divideFcn* est mis à 'divideblock', les données sont divisées en trois sous-ensembles à l'aide de trois blocs contigus de l'ensemble de données d'origine (apprentissage prenant le premier bloc, validation du second et test du troisième). La fraction des données originales qui va dans chaque sous-ensemble est déterminée par les mêmes trois paramètres de division utilisés pour *dividerand*.

Si *net.divideFcn* est réglé sur 'divideint', les données sont divisées par une méthode entrelacée, comme pour traiter un jeu de cartes. Il est fait de telle sorte que différents pourcentages de données vont dans les trois sous-ensembles. La fraction des données originales qui va dans chaque sous-ensemble est déterminée par les mêmes trois paramètres de division utilisés pour *dividerand*.

Lorsque *net.divideFcn* est défini sur 'divideind', les données sont divisées par index. Les indices des trois sous-ensembles sont définis par les paramètres de division *net.divideParam.trainInd*, *net.divideParam.valInd* et *net.divideParam.testInd*.

#### IV. 4. f. CREATION DES RESEAUX DE NEURONES MULTICOUCHES

Après la collecte des données, la prochaine étape de la formation d'un réseau consiste à créer l'objet réseau. La fonction *feedforwardnet* crée un réseau feedforward multicouche. Le réseau résultant peut alors être configuré avec la commande *configure*.

Des arguments facultatifs peuvent être fournis à *feedforwardnet*. Par exemple, le premier argument est un tableau contenant le nombre de neurones dans chaque couche cachée. (Le paramètre par défaut est 10, ce qui signifie une couche cachée avec 10 neurones. Une couche cachée produit généralement d'excellents résultats, mais on peut essayer deux couches cachées, si les résultats avec un ne sont pas suffisants. L'accroissement du nombre de neurones dans le Couche cachée augmente la puissance du réseau, mais nécessite plus de calcul et est plus



susceptible de produire du surcharge.) Le second argument contient le nom de la fonction d'apprentissage à utiliser.

La commande *configure* configure l'objet réseau et initialise également les poids et les biais du réseau; Donc le réseau est prêt pour l'apprentissage. Il est parfois nécessaire de réinitialiser les poids ou d'effectuer une initialisation personnalisée. «Initialisation des poids (*init*)».

#### IV. 4. g. AUTRES ARCHITECTURES

Alors que les réseaux *feedforward* à deux couches peuvent potentiellement apprendre pratiquement n'importe quelle relation entrée-sortie, les réseaux *feedforward* avec plus de couches peuvent apprendre des relations complexes plus rapidement. Pour la plupart des problèmes, il est préférable de commencer par deux couches, puis d'augmenter à trois couches, si la performance avec deux couches n'est pas satisfaisante.

La fonction *cascadeforwardnet* crée des réseaux cascade-forward. Ceux-ci sont semblables aux réseaux de *feedforward*, mais incluent une connexion de poids de l'entrée à chaque couche, et de chaque couche aux couches successives. Les connexions supplémentaires peuvent améliorer la vitesse à laquelle le réseau apprend la relation souhaitée.

La fonction *patternnet* crée un réseau qui est très similaire à *feedforwardnet*, sauf qu'il utilise la fonction de transfert *tansig* dans la dernière couche. Ce réseau est généralement utilisé pour la reconnaissance de formes. D'autres réseaux peuvent apprendre des relations dynamiques ou des séries chronologiques. *Initialisation des poids (init)*

Avant de former un réseau *feedforward*, on doit initialiser les poids et les biais. La commande *configure* initialise automatiquement les biais, mais on peut les réinitialiser. on le fait avec la commande *init*. Cette fonction prend un objet réseau comme entrée et renvoie un objet réseau avec tous les poids et biais initialisés. Voici comment un réseau est initialisé (ou réinitialisé):

```
net = init(net);
```

#### IV. 5. EXECUTIONNET D'UN RESEAU NEURONE MULTICOUCHES

Le processus d'apprentissage de *RNA* consiste à accorder les valeurs des poids  $w$  et des biais  $b$  du réseau pour optimiser les performances du réseau. La fonction de performance des réseaux *feedforward* utilisé dans notre cas est l'erreur quadratique moyenne *mse*: l'erreur quadratique moyenne entre les sorties du réseau  $a$  et les sorties cibles  $t$ . Elle est définie comme suit:

$$F = mse = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (e_i)^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - a_i)^2 \quad IV.1$$

Pour l'apprentissage de réseaux *feedforward* multicouches, n'importe quel algorithme d'optimisation numérique standard peut être utilisé pour optimiser la fonction de performance, mais il y a quelques clés qui ont montré une excellente performance pour l'apprentissage du *RNA*. La fonction d'apprentissage la plus rapide est généralement le `trainlm`, et c'est généralement la fonction d'apprentissage pour *feedforward*. La méthode quasi-Newton, `trainbfg`, est également assez rapide.

Tableau IV.3. liste des algorithmes d'apprentissage

Function	Algorithm
<code>trainlm</code>	Levenberg-Marquardt
<code>trainbr</code>	Bayesian Regularization
<code>trainbfg</code>	BFGS Quasi-Newton
<code>trainrp</code>	Resilient Backpropagation
<code>trainscg</code>	Scaled Conjugate Gradient
<code>traincgb</code>	Conjugate Gradient avec Powell/Beale Restarts
<code>traincgf</code>	Fletcher-Powell Conjugate Gradient
<code>traincgp</code>	Polak-Ribiere Conjugate Gradient
<code>trainoss</code>	One Step Secant
<code>traingdx</code>	Variable Learning Rate Gradient Descent
<code>traingdm</code>	Gradient Descent with Momentum
<code>traingd</code>	Gradient Descent

Lors de l'apprentissage de grands réseaux, et lors de l'entraînement des réseaux de reconnaissance de formes, `trainscg` et `trainrp` sont de bons choix. Leurs besoins de mémoire sont relativement faibles, et pourtant ils sont beaucoup plus rapides que les algorithmes de descente en gradient standard. On lance maintenant notre réseau de *RNA* pour chaque station de mesure avec  $Q_i$  comme données d'entrée (Input) et  $Q_s$  comme cible (Target), basant sur les étapes de calcul citées auparavant.

#### IV. 6. AMELIORATION DES RESULTATS

Si le réseau formé n'est pas suffisamment précis (ne donne pas des bonne résultats), on essaie de réinitialiser le réseau et l'exécuter à nouveau. Chaque fois qu'on initialise un réseau *feedforward*, les paramètres réseau sont différents et peuvent produire des solutions différentes.

En tant que deuxième approche, on peut augmenter le nombre de neurones cachés au-dessus de 10. Un plus grand nombre de neurones dans la couche cachée donne au réseau plus de flexibilité. Une troisième option est d'essayer les différentes fonctions d'apprentissage.

Enfin, utiliser des données d'apprentissage supplémentaires. Fournir des données supplémentaires pour le réseau est plus susceptible de produire un réseau qui se généralise bien à des nouvelles données. Le tableau 4 illustre les paramètres de calcul que nous avons atteint après plusieurs tentatives effectuées, afin d'avoir des meilleurs résultats.

## V. APPLICATION ET COMPARAISON DES METHODES DU CALCUL

### V. 1. MODELISATION PAR RNA

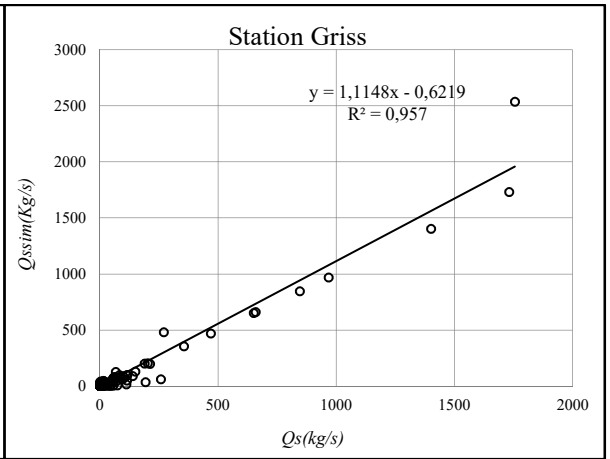
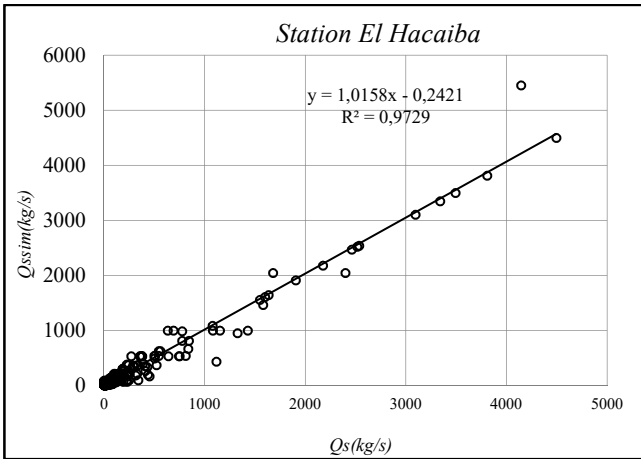
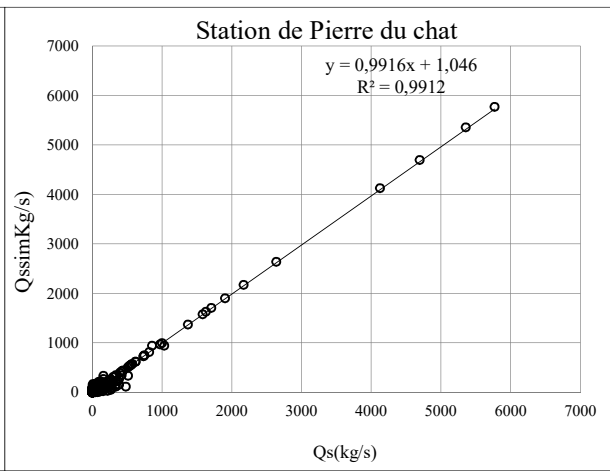
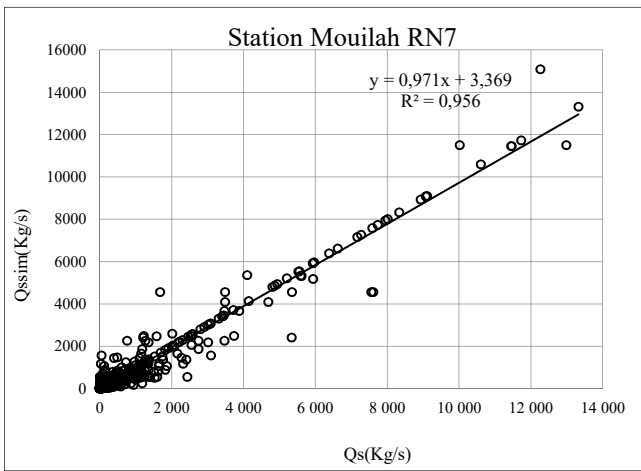
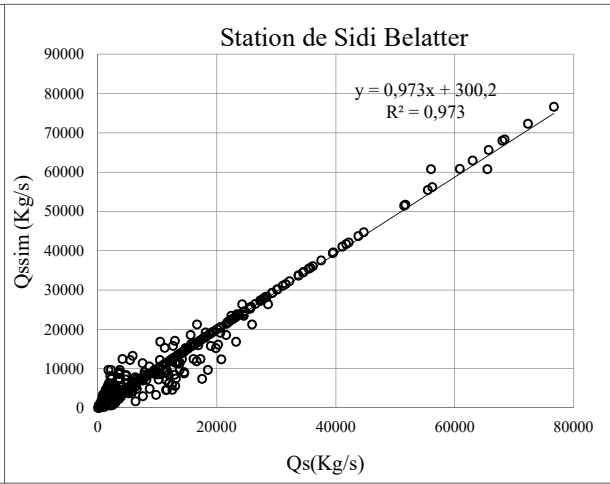
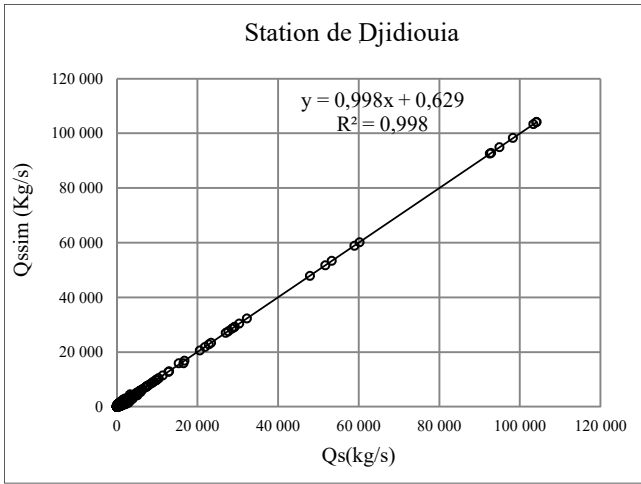
#### V. 1. a. Modèle de chaque station

Les paramètres de calcul que nous avons pu atteindre, afin d'avoir des meilleurs résultats, sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau V.1. Paramètres de calcul de chaque station de mesure.

Station	Année s	Nbre de données	Méthode de RNA utilisée	Fonction d'apprentissage	Nbre de couche	Fonction de transfert	Nombre d'itération	Nbre de neurones
Djidiouia RN4	1974-2000	4 995	Feedforwardbackprop	Trainlm	deux	Tansig-Purelin	100	800
Sidi Belatter	1969-2001	432	Feedforwardbackprop	Trainlm	deux	Tansig-Purelin	100	800
Mouilah RN7	1973-2001	5 943	Feedforwardbackprop	Trainlm	deux	Tansig-Purelin	100	800
Pierre du chat	1971-2005	537	Feedforwardbackprop	Trainlm	deux	Tansig-Purelin	100	1000
El Hacaiba	1989-2003	1905	Feedforwardbackprop	Trainlm	deux	Tansig-Purelin	100	50
Griss	1976-2003	652	Feedforwardbackprop	Trainlm	deux	Tansig-Purelin	100	30
Turgo Nord	1978-2003	5083	Feedforwardbackprop	Trainlm	deux	Tansig-Purelin	100	10

On décrit la variation  $Q_s$  calculé par du modèle construit à l'aide du programmes *RNA*(données de sortie) en fonction de  $Q_s$  réel mesuré de chaque station hydrométrique (données de cible), les graphes ci-joint illustre la variation ( $Q_{ssim}-Q_s$ ) obtenus dans chaque station de mesure (Fig.III.3.).



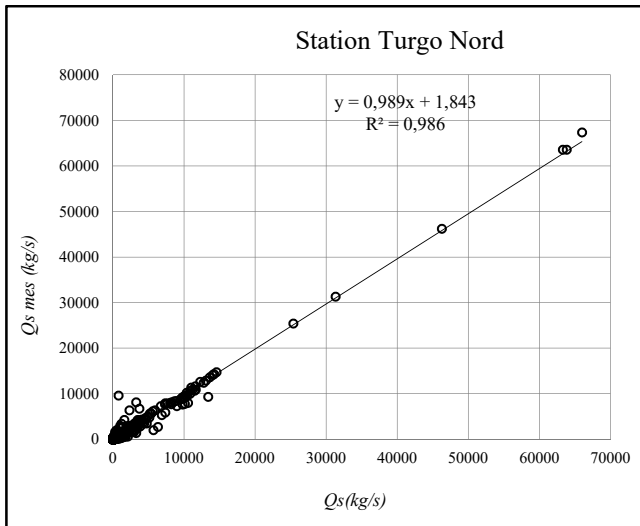


Tableau V.2. Variation des débits solides calculés-débits réels ( $Q_{ssim}-Q_s$ ) dans les différentes stations étudiées.

Les représentations graphiques montrent les variations des données ( $Q_{ssim}-Q_s$ ), en l'occurrence le  $Q_{ssim}$  se sont les données de sortie du modèle construit de réseau de neurones RNA en fonction de  $Q_s$  leurs cible. On aperçoit une régression presque linéaire entre ( $Q_{ssim}-Q_s$ )

Les données d'apprentissage indiquent un bon ajustement. Les résultats de validation et de test montrent également des valeurs de corrélation (R) supérieures à 0,9. Le diagramme de dispersion est utile pour montrer que certains points de données ont des ajustements pauvres.

Dans les sept (07) stations de mesure hydrométrique étudiées (Fig.V.2.), les coefficients de corrélation atteignent des valeurs dans l'intervalle ( $R=0.98-0.99$ ). Le résultat obtenu par RNA montre une excellente approche, les valeurs mesurées de chaque station de mesure sont presque les mêmes et les variables s'agglutinent sur un meilleur ajustement par des droites linéaires croissantes.

## V. 2. Modèle Global du Nord-Ouest Algérien

En collectant toutes les données débit liquide-débit solide de toutes les stations de mesure dans un seul Bloc de données, pour faire construire un seul modèle de RNA de tous les oueds étudiés. Dans ce cas nous avons mis une série d'apprentissage de 70% des données, pour la validation et le test sont de 15%,15%.

Tableau V.3. Paramètres de calcul de chaque station de mesure.

Station général	Année s	Nbre de données	Méthode de RNA utilisée	Fonction d'apprentissage	Nbre de couche	Fonction de transfert	Nombre d'itération	Nbre de neurones
Djidiouia RN4	1974-2000	19 547	Feedforwardbackprop	Trainlm	deux	Tansig-Purelin	100	400

Les résultats obtenus sont représentés dans la (Fig.V.2)

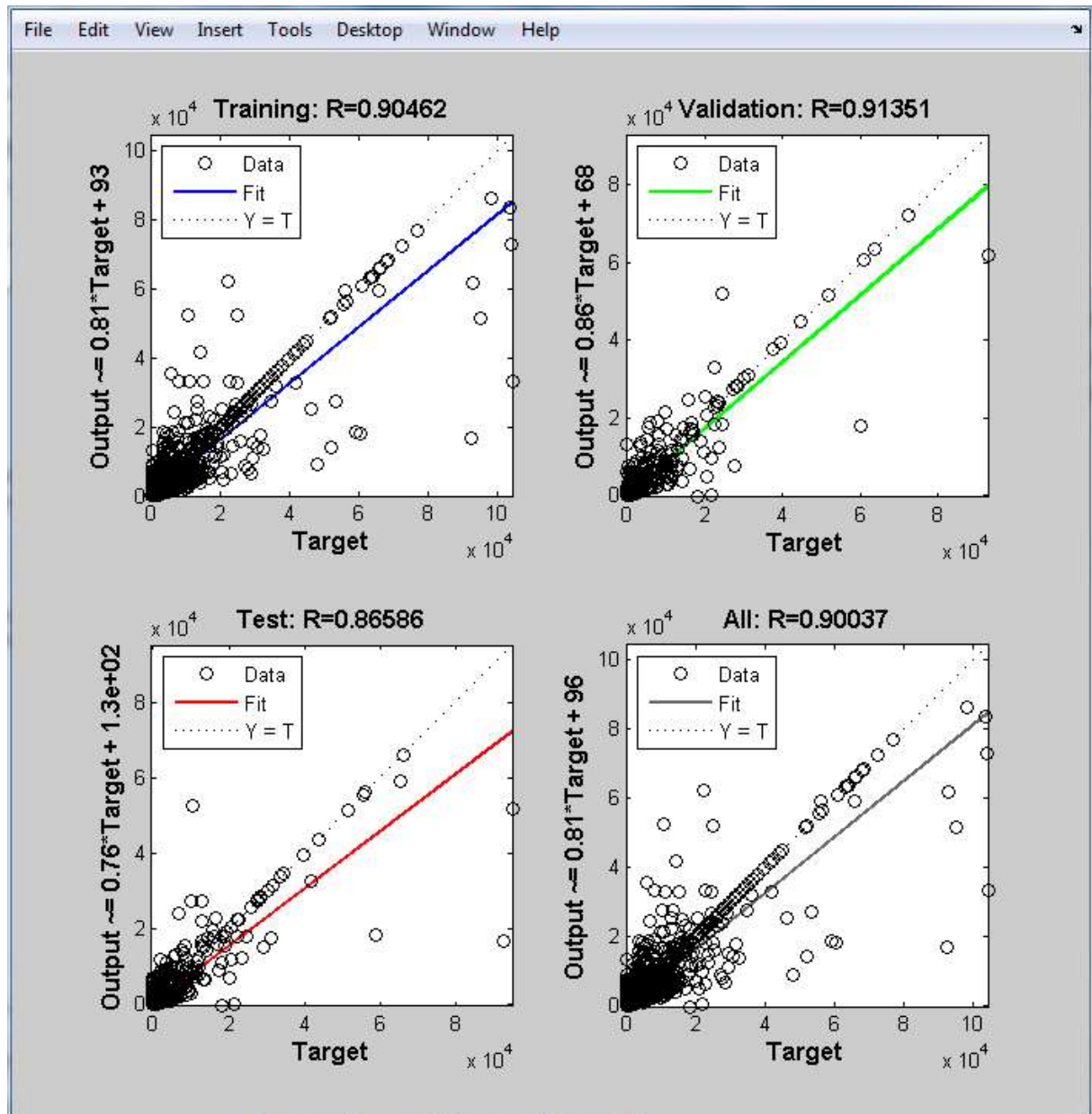


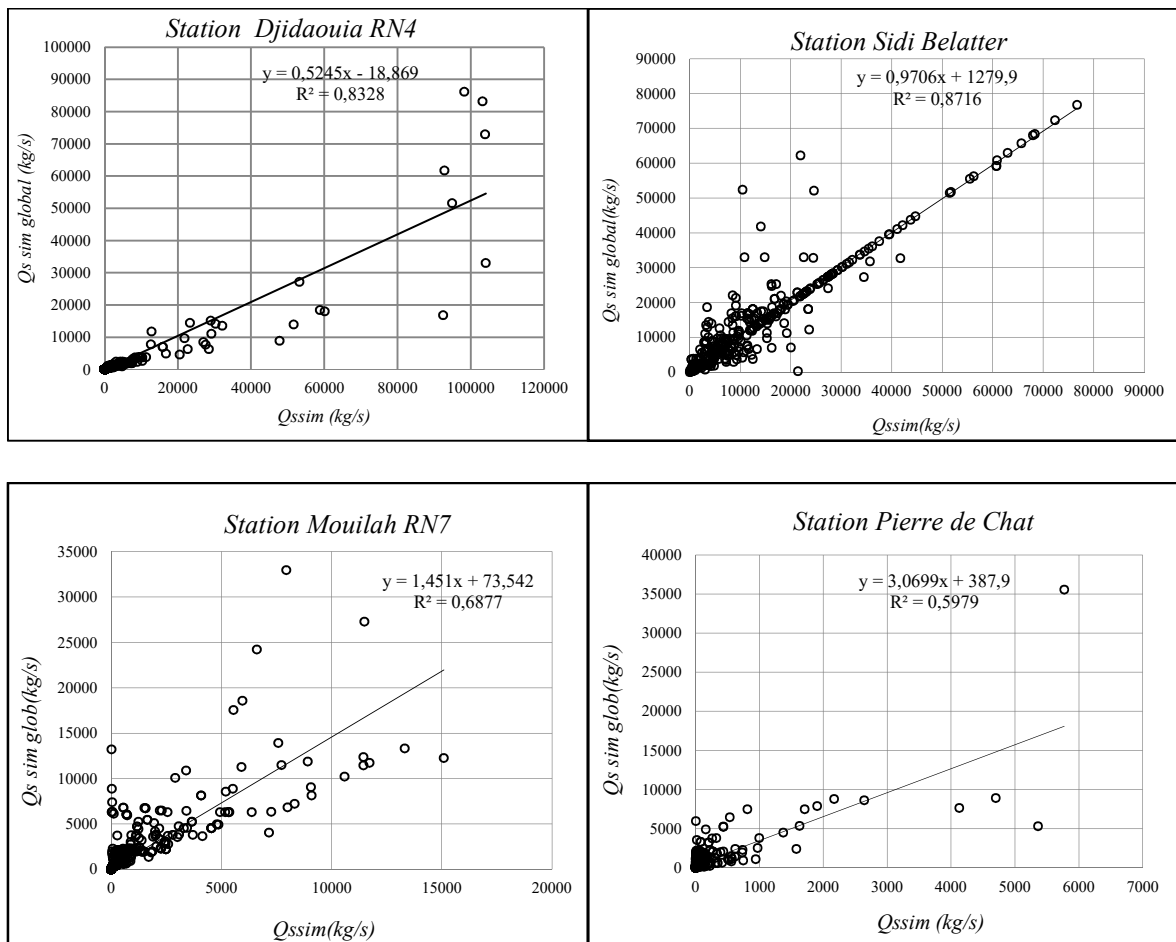
Figure V.1. Représentation des débits solides simulés (Output) en fonction de débits solides mesurés (Target) (apprentissage, validation, test et global) simulés par modèle global.

Comme il est montré sur les graphes obtenus par le RNA global, on peut discerner un ajustement presque linéaire dans les trois blocs d'exécution (apprentissage, validation et test), le coefficient de

corrélation s'approche de 1 et présente la plus faible corrélation de l'ordre de 86.6% dans le graphe de test. On peut donc déduire que le modèle général effectuée est fiable et puissant.

### V. 3. TEST DU MODÈLE GLOBAL DANS CHAQUE BASSIN

Pour prouver la puissance du modèle général de simulation, nous l'avons testé pour chaque station de mesure étudiée. Les résultats de simulations élaborées sont représentés dans le graphe suivant.





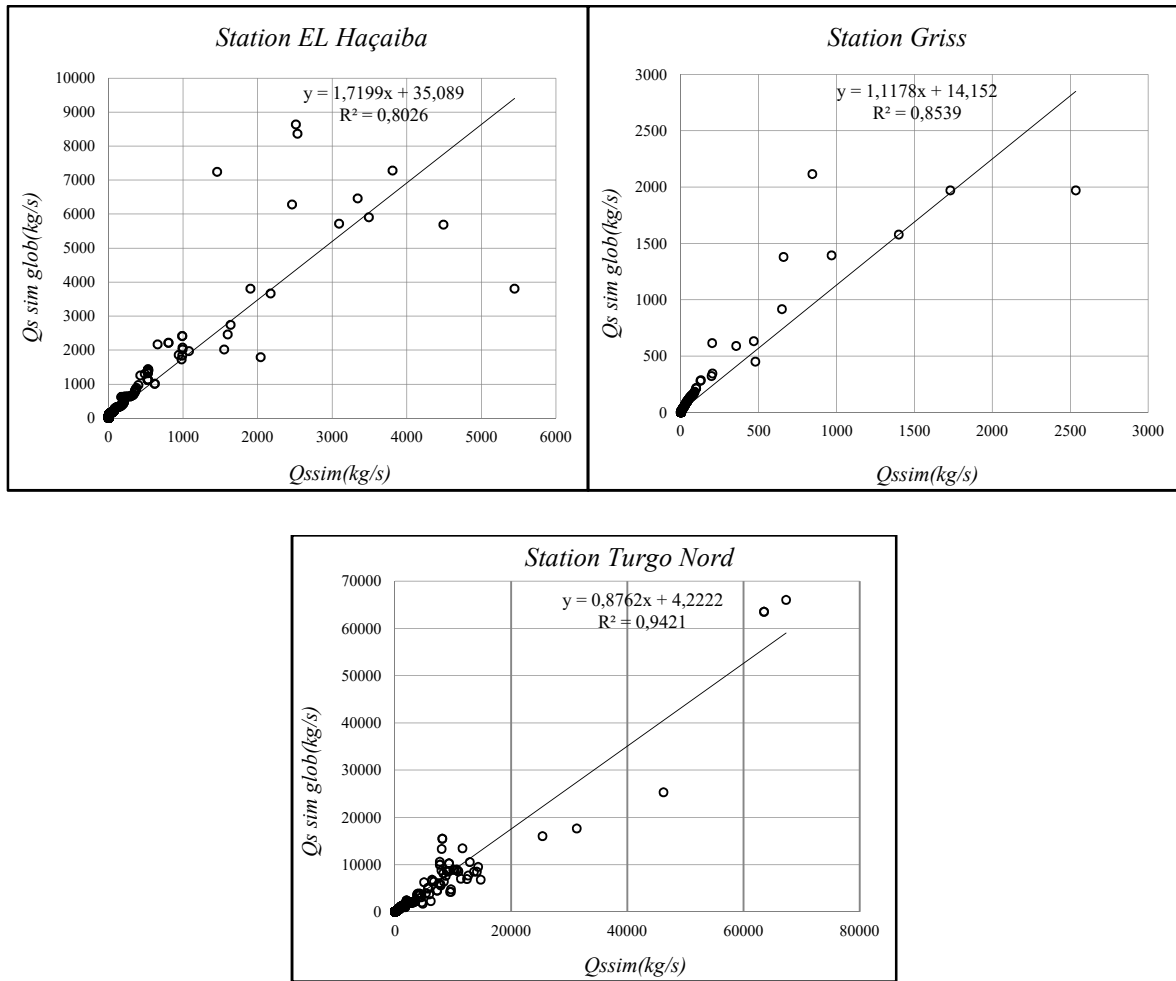


Figure V.2. Variation des débits solides simulés de modèle générale aux débits solides simulés de modèle individuel ( $Q_{ssimglob}-Q_{ssim}$ ) dans les différentes stations étudiées.

Les représentations graphiques de débits simulés par les modèles individuels aux débits simulés par le modèle général montrent les bonnes tendances linéaires. La corrélation dépasse le 77% dans l'ensemble des stations de mesure, il atteint une corrélation maximale de (97%), le cas de la station de Turgo Nord dans le bassin de l'Oranais (Fig.V.4) et une tendance minimale de (77%), à la station de Pierre du Chat au niveau du bassin de Tafna. Ces résultats éloquentes obtenus, approuvent le modèle général de simulation trouvé et confirme bien sa fiabilité d'estimation dans l'ensemble des stations de mesure hydrométrique malgré l'échantillon d'apprentissage qui ne dépasse pas le 70%.

## V. 4. MODEL MATHEMATIQUE

Le problème consiste à obtenir une relation qui peut éventuellement exister entre les valeurs de débits mesurées in situ de  $q_s$  et  $q_l$ , par exemple de forme  $q_s=f(q_l)$ , lorsque la relation recherchée est affine, c'est-à-dire de la forme  $q_s=A q_l +b$ , on parle de régression linéaire, mais même si une telle relation est effectivement présente, les données mesures ne vérifient pas en général cette relation exactement. Pour tenir compte dans le modèle mathématique des erreurs observées, on considère ( $q_{s1}$ ,  $q_{s2}$ , ...,  $q_{sn}$ ) comme autant de réalisations d'une variable aléatoire  $Q_s$  et parfois aussi les données ( $q_{l1}$ ,  $q_{l2}$ , ...,  $q_{ln}$ ) comme autant de réalisation d'une variable aléatoire  $Q_l$ . On dit que le débit solide est la variable dépendante ou variable expliquée et que le débit liquide est variable explicative, pour construire le modèle mathématique on fera recours aux deux méthodes, la première est la méthode itérative de GAUSS SAIDEL et la seconde est celle de MOINDRES CARRES.

### V. 4. a. METHODE DE LEVENBERG-MARQUARDT (LM)

Dans cette partie, on présentera la discrétisation des équations qu'on cherche à résoudre. En effet, contrairement ce qu'on a présenté précédemment, nous supposons que les équations sont non linéaire, dont les équations proposées sont illustrées ci-dessous.

$$q_s = a + bq_l + bq_l^2 \quad V.1$$

$$q_s = aq_l^b + c \quad V.2$$

Pour résoudre la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> équation, nous avons fait appel à la méthode LM, le choix de cette méthode car elle est connu de sa convergence rapide vers la solution, on quelques sorte la diminution de nombre d'itération d'un algorithme d'optimisation dû à l'utilisation des dérivées seconde de l'équation. On démarre des valeurs initiales, qu'on les suppose proche de la solution, à chaque  $a$ ,  $b$ ,  $c$ .

$$q_s = -45.922 + 51.24q_l - 0.007q_l^2 \quad V.3$$

$$q_s = 76.05q_l^{0.922} - 87.37 \quad V.4$$

### V. 4. b. METHODE DE MOINDRE CARRE

Dans cette méthode on fera une représentation linéaire des débits solide en fonction de ses débits liquide sous forme d'équation suivante :

$$q_s = Aq_l + b \quad V.5$$

Tel que  $Q_s$  : est le débit solide et  $Q_l$  :le débit liquide.

Pour déterminer les constants A et B

On remarque que  $A$  est le coefficient de corrélation de Pearson, on peut le déterminer comme suit :

$$A = R^2 = (\sum(q_{li} - \bar{q}_{li})(q_{si} - \bar{q}_{si})) / \left( \sqrt{\sum(q_{li} - \bar{q}_{li})^2} \sqrt{\sum(q_{si} - \bar{q}_{si})^2} \right) \quad V.6$$

On trouvera  $A=0.626$

Après on remplace la valeur de  $A$  dans l'équation (1) on trouve de

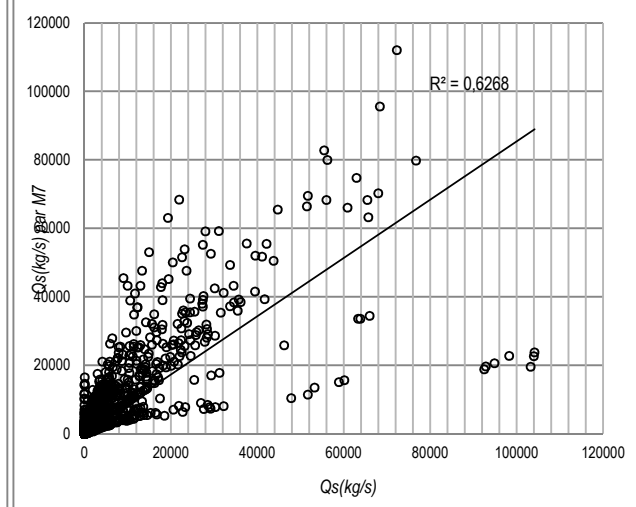
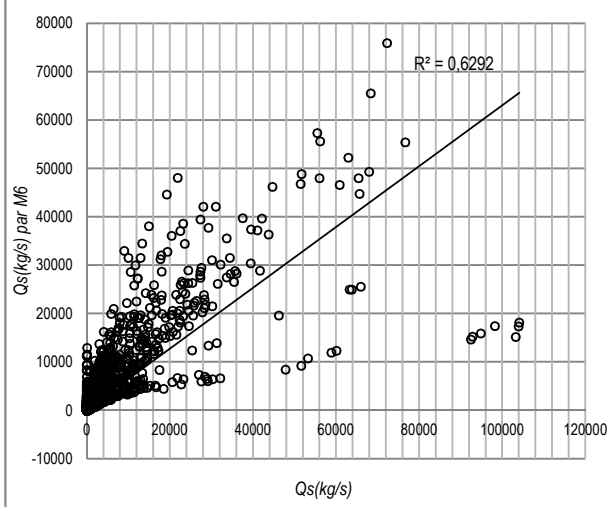
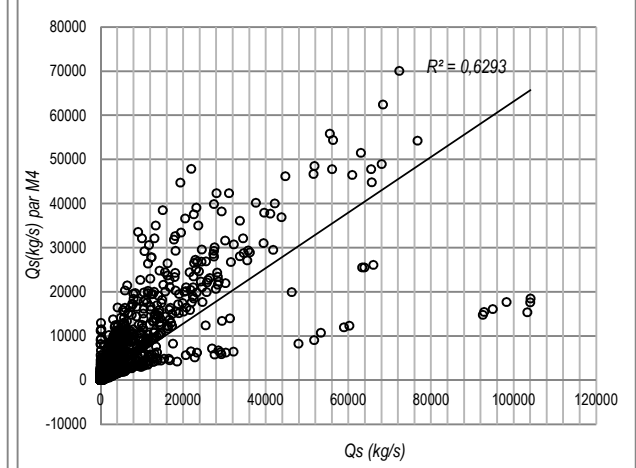
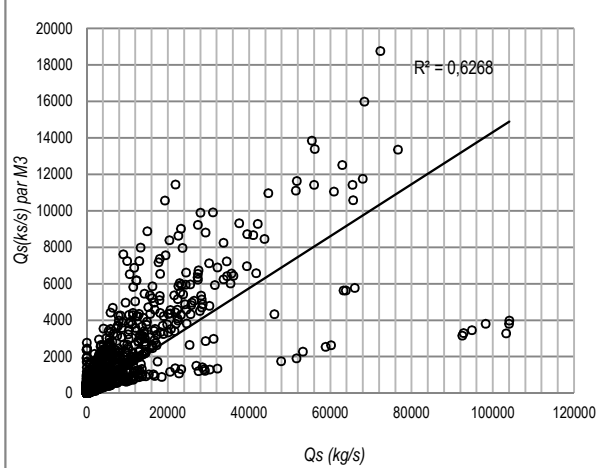
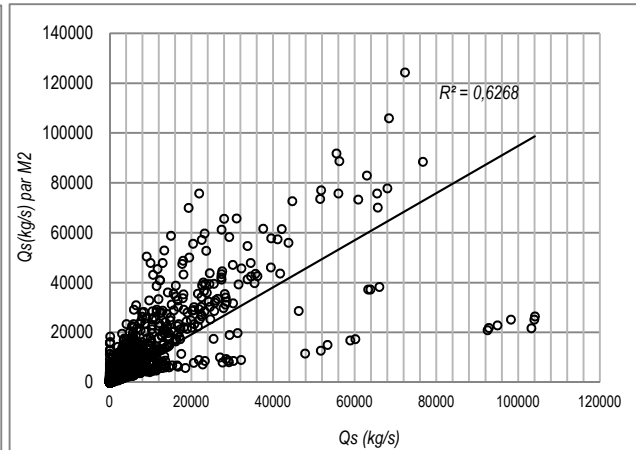
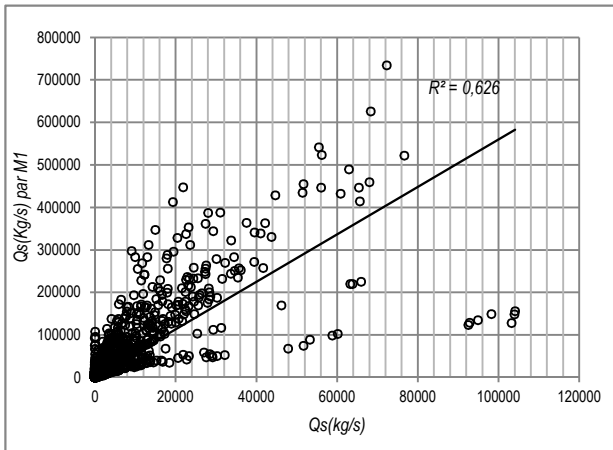
$$b = \bar{q}_s - A\bar{q}_l = -15.37 \quad V.7$$

Donc l'équation finale de débits solide sera :

$$q_s = 0.626q_s - 15.37 \quad V.8$$

## V. 5. APPLICATION DE QUELQUES METHODES

A la quête d'une comparaison de la méthode de RNA avec les différentes méthodes des chercheurs. Nous avons opté de sélectionner trois (03) méthodes de calcul, à savoir la méthode de Choklitch, Erkek et Daougueli. Le choix de ces trois méthodes s'est fondé sur à la disponibilité des différents paramètres des oueds étudiés, vu que nous disposons des pentes, débits liquides et diamètres moyens des matériaux en suspension, ces données nous ont été fournies par les services de ANRH d'Alger, Nous avons aussi intégré dans le calcul les trois modèles mathématique, les résultats de ces calculs trouvés sont illustrés dans les graphs ci-dessous.



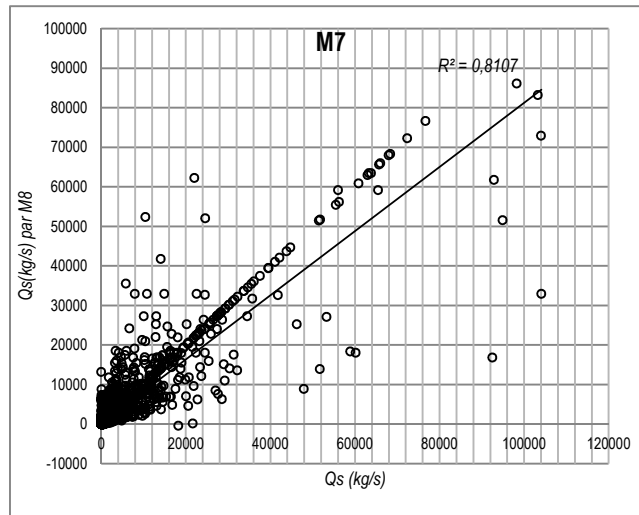


Figure V.3. Présentation des débits calculés par les différentes méthodes en fonction de débits mesurés. (M1 : Méthode de Choklitch , M2 : Méthode de Erkek , M3: Méthode de Daougueli, M4: Modèle mathématique 1, M5: Modèle mathématique 2, M6 : Modèle mathématique 3, M7 : Méthode de réseaux neurones)

En méditant les graphes de la (fig. V.5) où les débits solides calculés de chaque méthode se sont représentés par rapport au débit liquide mesuré, nous observons que les méthodes Choklitch, Ekrek, Daougueli, ainsi que les équations mathématiques ont toutes abouties à une corrélation entre 79-79.3%, cependant la méthode de RNA a donné une corrélation très élevé qui est de l'ordre de 90%. de première vue nous remarquons que cette méthode est plus meilleure par rapport aux autres méthodes appliquées, ces résultats prouvent que le modèle RNA est adéquat, et capable de fournir des résultats satisfaisante tant que les données de débits liquides mesurés ne sortent ou bien ne dépassent pas l'intervalle (marge) d'exécution de ce derniers.

## V. 6. CONCLUSION

A travers les résultats obtenus des différents modèles construits soit pour chaque station au bien pour la station total, le réseau de neurones a prouvé sont superpuissance de prédiction de fiabilité des modèles. En vertu des dispersions et éloignement des stations choisi allant jusqu'au 273 Km entre les stations de Djadaouia (Bassin de Cheliff) et Mouilleh (Bassin de Tafna) de l'Est vers l'Ouest ; ainsi que 100 km entre les stations de Melah (Bassin Oranais) et de Mekatta (Bassin de Macta). Ce superbe résultat obtenu nous suscité a distinguer que les caractéristiques des bassins dans le Nord-Ouest d'Algérie sont très proche dans quelque cas son similaire. Les deux stations où on a enregistré un coefficient de corrélation faible (inferieur à 90%), sont les stations de Bassin de Tafna, vu que la géologie de ce Bassin est peu différente par rapport au autres bassin.

## VI. CONCLUSION GENERALE

La quantification de la charge sédimentaire par la méthode du *RNA*, a été appliquée dans tous les Bassins de nord-ouest Algérien notamment Chélif, Tafna, Macta et L'Oranais, cette méthode a prouvé son efficacité de calcul. Les résultats obtenus sont parfaits et présentent des corrélations idéales; le modèle construit a été testé sur plusieurs données historiques de débits liquides de chaque stations hydrométriques, afin d'avoir sa fiabilité dans le temps. L'approche a permis de calculer le débit solide d'une manière concrète et précise, en conséquence, elle facilite aux ingénieurs et aux gestionnaires des ouvrages hydrauliques de mieux estimer l'apport solide et prédire leurs protection, également il permet aussi de gagner du temps, des moyens et de minimiser le cout de projet. Le modèle réalisé n'a besoin qu'aux débits liquides comme données à l'entrée du programme pour prédire la quantité des sédiments transportée dans l'eau. Prendre des mesure directement sur site est aussi possible à l'aide de l'introduction d'un programme (*software*) dans le Hardware (de l'appareil de mesure du débit liquide ) chose qui nous permet de lire la quantité du débit solide directement sur l'appareil de mesure (il affiche en même temps les valeurs de débit solide et débit liquide). Il sera très utile de généraliser le modèle de tous le nord Algérien.