

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



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

Thèse présentée en vue de l'obtention
du diplôme de
Doctorat en sciences en : HYDRAULIQUE

Option : Sciences HYDRAULIQUES

**Vulnérabilité à l'Envasement des Barrages
(cas du bassin Hydrographique des Côtiers Algérois)**

Présentée par :
Ammari Abdelhadi

Soutenue publiquement le : Jeudi 27 Septembre 2012

Devant le jury composé de :

Dr. Achour Bachir	Professeur	Président	Université de Biskra
Dr. Remini Boualem	Professeur	Rapporteur	Université de Blida
Dr. SAAD Abdelamir Hamoudi	Professeur	Examineur	Université de Chlef
Dr. Debabeche Mahmoud	Professeur	Examineur	Université de Biskra

مستخلص:

الدراسة الحالية تنقسم إلى قسمين: موارد مائية و رسوبيات. بالنسبة للأولى تحليل و معالجة المعطيات أمكنت التقدير من تقدير كمية التهاطلات المطرية المتوسطة التي أظهرت تباينا كبيرا من الشرق إلى الغرب بمتوسط يقدر ب 700ملم سنويا و سيح سطحي يعادل 140ملم الذي يشكل ما مقداره 1.5مليار متر مكعب من المياه أمام طاقة تخزينية تقدر ب 628مليون متر مكعب ، لكن للأسف غير موزعة بشكل جيد.

الدراسة اهتمت أيضا بطرق و أساليب جمع البيانات. من بين الطرق الأكثر أهمية هناك طريقة الأنتروبيا لشيو ، التي أعطت نتائج جيدة عند تطبيقها على عشرين واديا من الحوض الهيدروغرافي .

في النهاية فان تحليل البيانات الخاصة بنقل الرسوبيات سمحت برسم خريطة الحساسية للحت السطحي لمجمل الحوض الهيدروغرافي ، و التي أظهرت حساسية كبيرة بالنسبة لأعلى واد الحراش و بورومي، وحساسية أقل بكثير بالنسبة لمنطقة سيباو.

مفتاح الكلمات : الحوض الهيدروغرافي للساحل الجزائري ، الأمطار ، السيح السطحي ، نقل الرسوبيات ، الحت ، الترسيب ، الأنتروبيا .

Résumé:

La présente étude se scinde en deux principaux volets : hydrométrie et transport solide . Pour le premier volet : l'analyse des données a permis d'évaluer la pluie moyenne annuelle sur l'ensemble du bassin , cette dernière est très variable de l'Est à l'Ouest avec une moyenne de 700mm sur l'ensemble et une lame écoulée de 140mm, ce qui représente un apport moyen de 1.5 Milliard s de m³ devant une capacité globale de stockage de 628Hm³; malheureusement mal répartie. L'étude s'est intéressée aussi aux méthodes de collecte de données, parmi les plus révolutionnaires il ya de celle de Chiu qui a donnée des résultats très intéressants après application sur vingt cours du bassin.

A la fin, l'examen de la donnée T.S a permis l'élaboration d'une carte de sensibilité à l'érosion spécifique (dégradation spécifique), ou on peut voir des zones très touchées telles que l'amont El Harrach et Bouroumi , et des zones beaucoup moins sensibles comme le Sébaou. Cette carte est un outil intéressant de prise de décision, pour une bonne gestion de ressources en eau du bassin hydrographique des Côtiers Algérois.

Mots clés : Côtiers Algérois, pluviométrie, hydrométrie, transport solide, érosion spécifique, envasement, entropie.

Abstract :

The present study is divided into two principal parts; hydrometric and sediment transport. For the first one; the analysis of the data gave possibility to evaluate the average annual rainfall over the whole basin, this one is very variable from the East to the West with an average of 700mm with a surface runoff of 140mm, which represents a mean contribution of 1.5 Billion cubic meters in front of a storage capacity of 628 Hm³, unfortunately badly distributed. The study was also interested on the data acquisition methods, among most revolutionary ones there is the Chiu's Entropy method, which gave very interesting results after application on Twenty Oueds of the basin.

In the end, the examination of the sediment transport data allowed the development of a specific erosion sensitivity map (specific degradation), where we can see zones very touched such us upstream El Harrach and Bouroumi, and zones much less like Sebaou . This map is an interesting decision-making tool, for a good water resources management in the catchment's area of the Coastal Algiers watershed.

Key words: Coastal Algiers watershed, rainfall, runoff, sediment transport, specific erosion, reservoir siltation, Entropy.

Liste des Figures :

Figure	Page
- Figure (1,1) : Dépôt de vase.	03
- Figure (1,2) : Envasement moyen au Maghreb.	05
- Figure (1,3) : Sensibilité à l'envasement des barrages.	06
- Figure (1,4) : Régions affectées par la dégradation des terres dans le bassin méditerranéen.	17
- Figure (1,5) : Modes du transport solide.	19
- Figure (1,6) : Schémas des modes de transport solide.	20
- Figure (1,7) : Diagramme de Yalin-Schiels.	21
- Figure (1,8) : Bouteille d'échantillonnage.	25
- Figure (1,9) : Appareil de mesure de la charge en suspension.	26
- Figure (1,10) : Echantillonneurs du T.S charrié, (a) USBM 54, (b) BTMA.	27
- Figure (2,1) : Echelle limnimétrique.	34
- Figure (2,2) : Limnigraphe à flotteur	34
- Figure (2,3) : Mesures à l'aide d'ultrasons.	35
- Figure (2,4) : utilisation des flotteurs.	36
- Figure (2,5) : Méthode de dilution.	37
- Figure (2,6) : Canal Venturi.	37
- Figure (2,7) : Utilisation de l'ADCP.	38
- Figure (2,8) : Grille d'exploration du champ de vitesses.	38
- Figure (2,9) : Verticales de mesure.	38
- Figures (2,10) : Mesure au moulinet.	40
- Figure (2,11) : Distribution des vitesses :(a) $h \leq 0$, (b) $h \geq 0$.	44
- Figure (3,1) : Situation géographique de la zone d'étude.	48
- Figure (3,2) : Découpage du bassin hydrographique en sous bassins.	49
- Figure (3,3) : Situation Topographique de la zone d'étude.	50
- Figure (3,4) : Carte de la pluviométrie moyenne annuelle de la région d'étude (ANRH).	53
- Figure (3,5) : Pluies moyennes mensuelles (en mm) de quelques stations du bassin Algérois.	54
- Figure (3,6) : Températures moyennes mensuelles (en °C).	55
- Figure (3,7) : Carte géologique du centre Algérois.	61
- Figure (3,8) : Carte du couvert végétal d'Algérie.	65
- Figure (3,9) : Carte de l'indice de Végétation.	65
- Figure (3,10) : Photo Satellite du Côtier Cherchell et Ténés.	66
- Figure (3,11) : Réseau hydrographique du Côtiers Algérois.	68
- Figure (4,1) : Implantation des retenues collinaires.	70
- Figure (4,2) : Localisation des barrages.	71
- Figure (4,3) : Digue du barrage.	72
- Figure (4,4) : Photos satellite du lac du barrage Taksebt.	73
- Figure (4,5) : Digue du barrage Keddara.	74
- Figure (4,6) : Photos satellite de la cuvette du barrage Keddara.	75
- Figure (4,7) : Digue du barrage El Hamiz.	76
- Figure (4,8) : Image satellite du lac du barrage El Hamiz.	76
- Figure (4,9) : Barrage Bouroumi.	77
- Figure (4,10) : Image satellite du lac du barrage Bouroumi.	78
- Figure (4,11) : Digue du barrage Meurad.	79
- Figure (4,12) : Digue du barrage Boukerdane.	80

- Figure (4,13) : Image satellite du lac du barrage Boukerdane.	80
- Figure (5,1) : Situation des Postes pluviométriques.	84
- Figure (5,2) : Ajustement des pluies moyennes annuelles à une loi log-normale.	86
- Figure (5,3) : Projection des stations sur les deux axes des 42 stations.	89
- Figure (5,4) : R12(j) de toutes les stations.	90
- Figure (5,5) : Variance cumulée des composantes principales.	91
- Figure (5,6) : Projection des stations sur les deux axes des 41 stations.	91
- Figure (5,7) : Projections des observations sur la première composante.	92
- Figure (5,8) : Projection des observations sur la deuxième composante.	92
- Figure (5,9) : Cumul des projections des observations sur les composantes.	93
- Figure (5,10) : Projection des variables sur la composante C_1 .	94
- Figure (5,11) : Projection des variables sur la composante C_2 .	95
- Figure (5,12) : Ajustement des projections sur les deux composantes suivant une loi normale.	96
- Figure (6,1) : Positions des stations hydrométriques	102
- Figure (6,2) : Variation interannuel des modules.	106
- Figure (6,3) : Ajustements des débits moyens annuels.	109
- Figure (6,4) : Apports liquides au niveau des différentes stations.	112
- Figure (7,1) : Relation vitesses maximales- vitesses moyennes.	118
- Figure (7,2) : Profils des vitesses.	121
- Figure (7,3) : Estimation de la section d'écoulement.	122
- Figure (7,4) : Sections estimées- Sections observées.	124
- Figure (7,5) : Débits estimés- débits observés.	126
- Figure (8,1) : Débits solides- débits liquides à l'échelle interannuelle.	133
- Figure (8,2) : Répartition mensuelle des apports solides en suspension.	154
- Figure (8,3) : Répartition interannuelle des apports solides en suspension.	157
- Figure (8,4) : Carte du relief du Rocher des Pigeons.	160
- Figure (8,5) : Photos satellite de la région du Rocher des Pigeons.	161
- Figure (8,6) : Photos satellite de la région de Baghlia.	161
- Figure (8,7) : Photo satellite de Tarzoute	162
- Figure (8,8) : Photo Satellite d'El Affroun.	162
- Figure (8,9) : Photo satellite de la région de Attatba.	163
- Figure (8,10) : Photo satellite de Oued Allalah.	164
- Figure (8,11) : Carte de l'érosion spécifique moyenne du bassin des Côtiers Algérois.	169

Liste des Tableaux :

<u>Tableau</u>	<u>Page</u>
- Tableau (1,1) : Etat d'envasement de quelques barrages d'Algérie.	06
- Tableau (1,2) : Valeurs de α pour différentes perméabilités	16
- Tableau (1,3) : Quelques valeurs de l'érosion spécifique.	18
- Tableau (1,4) : Valeurs caractéristique des paramètres « a » et « b » d'après Benkhaled et Remini (2003).	24
- Tableau (2,1) : Valeurs moyennes du paramètre « a ».	33
- Tableau (3,1) : Caractéristiques de formes des sous bassins du Côtiers Algérois.	51
- Tableau (3,2) : Caractéristiques du relief du bassin Algérois.	52
- Tableau (3,3) : Humidité (en %) relative de quelques stations de la région d'étude.	56
- Tableau (3,4) : Caractéristiques du réseau hydrographique.	67
- Tableau (5,1) : Stations pluviométriques retenues.	83
- Tableau (5,2) : Pluies annuelles.	87
- Tableau (5,3) : Caractéristiques des composantes principales.	89
- Tableau (5,4) : Caractéristiques des composantes principales.	90
- Tableau (5,5) : Pluies moyennes interannuelles (Observées / Reconstituées).	97
- Tableau (5,6) : Pluies moyennes interannuelles des sous bassins.	98
- Tableau (6,1) : Stations hydrométriques.	101
- Tableau (6,2) : Caractéristiques des écoulements des principaux Oueds.	103
- Tableau (6,3) : Débits moyens annuels pour diverses périodes de retour.	110
- Tableau (6,4) : Evaluation des apports liquides.	111
- Tableau (7,1) : Stations hydrométriques.	115
- Tableau (7,2) : Valeurs de $\Phi(M)$ et M .	119
- Tableau (7,3) : Modèles d'estimation de la section d'écoulement.	123
- Tableau (7,4) : Paramètres d'estimations des débits.	126
- Tableau (8,1) : Stations de mesure des concentrations solides.	130
- Tableau (8,2) : Echelle interannuelle.	133
- Tableau (8,3) : Echelle annuelle, station Baghlia.	134
- Tableau (8,4) : Echelle annuelle, station Belloua.	135
- Tableau (8,5) : Echelle annuelle, station RN30.	135
- Tableau (8,6) : Echelle annuelle, station Freha.	135
- Tableau (8,7) : Echelle annuelle, station Baraki.	136
- Tableau (8,8) : Echelle annuelle, station Gorges de Larbaa.	136
- Tableau (8,9) : Echelle annuelle, station Rocher des Pigeons.	136
- Tableau (8,10) : Echelle annuelle, station Fer à cheval.	137
- Tableau (8,11) : Echelle annuelle, station Amont des Gorges.	137
- Tableau (8,12) : Echelle annuelle, station Attatba.	137
- Tableau (8,13) : Echelle annuelle, station El Affroun.	138
- Tableau (8,14) : Echelle annuelle, station Boumedfaa.	138
- Tableau (8,15) : Echelle annuelle, station Tarzoute.	138
- Tableau (8,16) : Echelle annuelle, station Cap Sigli.	138
- Tableau (8,17) : Echelle annuelle, station Tifesouine.	139
- Tableau (8,18) : Echelle annuelle, station Azeffoun.	139
- Tableau (8,19) : Echelle annuelle, station Ouled Ali.	139
- Tableau (8,20) : Echelle annuelle, station Pont RN11.	140
- Tableau (8,21) : Echelle annuelle, station Bordj Ghobrini.	140
- Tableau (8,22) : Echelle annuelle, station Sidi Akacha.	140
- Tableau (8,23) : Echelle saisonnière, station Baghlia.	141

- Tableau (8,24) : Echelle saisonnière, station Belloua.	141
- Tableau (8,25) : Echelle saisonnière, station RN30.	141
- Tableau (8,26) : Echelle saisonnière, station Freha.	141
- Tableau (8,27) : Echelle saisonnière, station Baraki.	141
- Tableau (8,28) : Echelle saisonnière, station Gorges de Larbaa.	142
- Tableau (8,29) : Echelle saisonnière, station Rocher des Pigeons.	142
- Tableau (8,30) : Echelle saisonnière, station Fer à Cheval.	142
- Tableau (8,31) : Echelle saisonnière, station Attatba.	142
- Tableau (8,32) : Echelle saisonnière, station El Affroun.	142
- Tableau (8,33) : Echelle saisonnière, station Boumedfaa.	142
- Tableau (8,34) : Echelle saisonnière, station Tarzoute.	143
- Tableau (8,35) : Echelle saisonnière, station Cap Sigli.	143
- Tableau (8,36) : Echelle saisonnière, station Tifesouine.	143
- Tableau (8,37) : Echelle saisonnière, station Azeffoun.	143
- Tableau (8,38) : Echelle saisonnière, station Ouled Ali.	143
- Tableau (8,39) : Echelle saisonnière, station Pont RN11.	143
- Tableau (8,40) : Echelle saisonnière, station Bordj Ghobrini.	144
- Tableau (8,41) : Echelle saisonnière, station Sidi akacha.	144
- Tableau (8,42) : Echelle mensuelle, station Baghlia.	145
- Tableau (8,43) : Echelle mensuelle, station Belloua.	145
- Tableau (8,44) : Echelle mensuelle, station RN30.	145
- Tableau (8,45) : Echelle mensuelle, station Freha.	146
- Tableau (8,46) : Echelle mensuelle, station Baraki.	146
- Tableau (8,47) : Echelle mensuelle, station Rocher des Pigeons.	146
- Tableau (8,48) : Echelle mensuelle, station Fer à Cheval.	147
- Tableau (8,49) : Echelle mensuelle, station Amont des Gorges.	147
- Tableau (8,50) : Echelle mensuelle, station Attatba.	147
- Tableau (8,51) : Echelle mensuelle, station El Affroun.	148
- Tableau (8,52) : Echelle mensuelle, station Boumedfaa.	148
- Tableau (8,53) : Echelle mensuelle, station Tarzoute.	148
- Tableau (8,54) : Echelle mensuelle, station Cap Sigli.	149
- Tableau (8,55) : Echelle mensuelle, station Tifesouine.	149
- Tableau (8,56) : Echelle mensuelle, station Azeffoun.	149
- Tableau (8,57) : Echelle mensuelle, station Ouled Ali.	150
- Tableau (8,57) : Echelle mensuelle, station RN11.	150
- Tableau (8,58) : Echelle mensuelle, station Bordj Ghobrini.	150
- Tableau (8,59) : Echelle mensuelle, station Sidi Akacha.	151
- Tableau (8,60) : Apports solides pour différentes périodes de retour en tonnes.	158
- Tableau (8,61) : Erosion spécifique des différents sous bassins.	159
- Tableau (8,62) : Matrice de corrélation.	166
- Tableau (8,63) : Données de base de la cartographie.	168

INTRODUCTION GENERALE :

Tout le monde est unanime sur le fait que l'eau est le moteur essentiel de tout développement économique, la maîtrise des techniques de mobilisation des eaux est le premier maillon dans n'importe quelle stratégie d'avenir.

Malheureusement l'eau douce ne représente qu'une infime partie de l'eau disponible sur la planète, en plus de cela elle est mal répartie ; on voit des pays très riches en eau (Pays du Nord principalement) et des pays pauvres en eau (Pays du Sud) dont l'Algérie.

L'Algérie enregistre un apport pluviométrique moyen annuel de près de 100 Milliards de m³, sur lequel les eaux de surface ne représentent que 12,5 Milliards de m³, le reste se partage entre l'évaporation, l'infiltration et le déversement vers la mer. De ces 12,5 Milliards de m³, le pays a tenté de mobiliser près de la moitié en construisant 67 barrages d'une capacité totale de stockage de 6,4 Milliards de m³ après qu'elle été de l'ordre de 1 Milliard de m³ à l'indépendance.

Malheureusement les barrages d'Algérie ont subis de plein fouet le phénomène d'envasement, qui a déjà envahie 1,1 Milliards de m³ d'après le dernier rapport de l'UNESCO (Remini et al, 2009), avec un taux moyen annuel de 0,65% de la capacité totale, ce qui représente une durée de vie moyenne de 140ans. Mais avec l'augmentation de la demande dans tous les domaines (AEP, Agricultures, industrie et même la production d'énergie électrique), l'Algérie doit augmenter considérablement sa capacité de mobilisation, sauf qu'avec l'accélération du phénomène d'envasement, elle perd près de 45 Millions de m³ chaque année, soit l'équivalent d'un grand barrage chaque deux ans, ce qui représente une perte de près de 25 Millions de Dollars annuellement. Un volume de stockage perdu est difficilement remplaçable, surtout avec la difficulté de trouver des bons sites potentiels.

L'envasement est la conséquence directe de l'érosion et la sédimentation, qui sont aussi la cause de la dégradation des sols agricoles ; 45% des sols agricoles du Nord Algérien sont directement menacés par l'érosion, soit 12 Millions d'hectares (Chebbani et al, 1999).

La maîtrise de ce phénomène ne peut passer qu'à travers des modèles qui nous permettent de décrire et de quantifier dans la mesure du possible les taux de dégradation des sols et ainsi les conséquences qui se suivent. La validité de ces modèles est tributaire de la qualité et la quantité de donnée disponible. Le manque de données conduit souvent l'ingénieur à utiliser les méthodes empiriques disponibles afin d'évaluer les quantités de sédiments transportés annuellement par les cours d'eau (Meddi et al, 1998), sans qu'on ait des dispositifs de contrôle de ces résultats.

Dans ce travail, on tentera de mettre en évidence les risques directs d'envasement des barrages situés dans le bassin des Côtiers Algérois, des risques liés directement à la cadence accélérée de l'érosion hydrique, avec la dégradation continue du couvert végétal comme facteur principal.

Le choix s'est porté sur ce bassin à cause de son importance capitale ; car malgré qu'il ne représente que 0,5% de la superficie de l'Algérie, il regroupe 20% de la population et représente près de 1/6 des apports liquides nationaux.

Vue le changement continu du cycle hydrologique et du climat de la région, le modèle le plus représentatif est certainement celui basé sur les données les plus récentes, malheureusement, la décennie noire qu'a connue l'Algérie a eu son impact sur la collecte des données, pour cela, on s'est intéressé à la mesure hydrologique, en proposant des méthodes simples et précises, qui permettront sans doute de palier au manque de données hydrométriques et du transport solide, en augmentant facilement la fréquence des mesures avec une meilleure qualité de la donnée.

1- Introduction :

L'envasement est défini comme étant le dépôt de sédiments dans les retenues et barrages, réduisant ainsi leurs capacités de stockage.

La construction d'un barrage change les caractéristiques hydrauliques de l'écoulement et la capacité de transport des sédiments (Chow,1964), transportée par l'écoulement, la matière solide tend a se déposer à l'approche des plans d'eau, car en réduisant sa vitesse, l'écoulement perd petit à petit sa capacité de transport quand le cour d'eau s'approche et se jette dans le lac du réservoir, les particules grossières se déposent en premier ensuite les plus fines jusqu'à atteindre la digue, n' ayant pas où s'échapper le dépôt se tasse et se consolide en réduisant ainsi la capacité de stockage du réservoir, sachant qu'en moyenne 90% des sédiments transportés par le cour d'eau sont piégés (Chow, 1964).

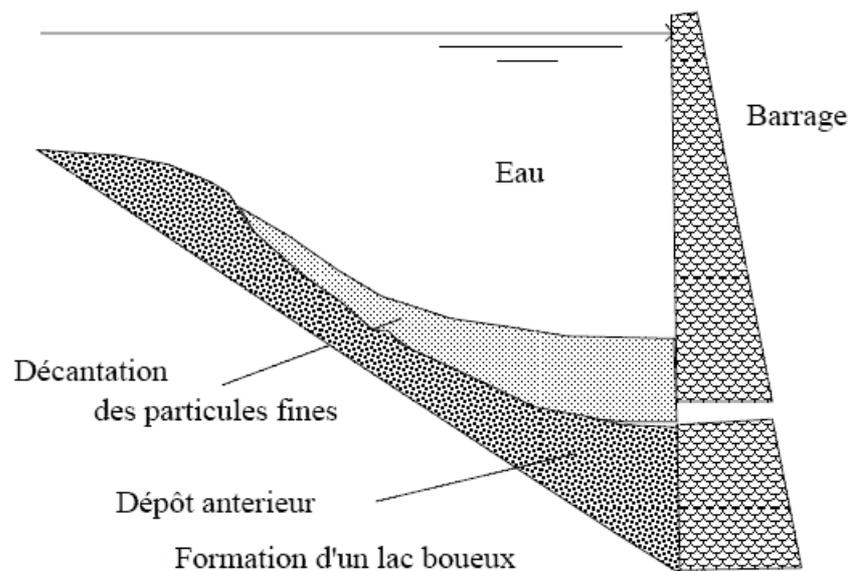


Figure (1,1) : Dépôt de vase (Remini, 2003)

Dans ce chapitre on s'intéressera au phénomène d'envasement dans le monde et en particulier en Algérie, ainsi qu'au transport solide, sa genèse, son mécanisme et les moyens de son estimation.

2- Problématique de l'envasement :

Dans de nombreux pays du monde, le transport de sédiments dans les réseaux hydrographiques des bassins versants et leurs dépôts dans les retenues pose aux exploitants de barrages des problèmes dont la résolution ne peut qu'être onéreuse, non seulement la capacité utile est progressivement réduite, mais encore l'enlèvement de la vase est une opération délicate et difficile (Remini, 2003).

Le problème d'envasement des barrages n'est pas un problème propre à l'Algérie, beaucoup de pays dans le monde souffrent du problème surtout dans les zones arides et semi-arides, où le manque de ressources hydrique est accentué par l'érosion des sols qui peut atteindre les 5000 t/km²/an contre 30 à 50 t/km²/an en Europe (Abdeli, 2007).

En Australie Chanson (1998) a cité quelques exemples de petits barrages, comme celui de Moore Creek, où deux averses ont pu transporter 85000 m³ de vase, et le barrage été complètement envasé au bout de 26 ans de service, même chose pour le Korrumbyn Creek Dam, qui à été complètement envasé au bout de 20 ans de service.

En Afrique du Sud la moyenne d'envasement pour 170 barrages d'un volume allant de 0,5 à 5000 Hm³ est de 0,35%, ce qui engendre une perte de capacité de 105 Hm³ par an ce qui correspond à une perte économique de 21,2 Millions de Dollars (Braune, 1989).

Pour les USA, vu l'immensité du pays elle diffère d'une région à une autre avec une moyenne de 0,23%, sauf qu'elle varie de 0,07 à Prattsville jusqu'à 5% à Bennington qui enregistre une érosion record de 5311 tonnes/mil²/an (Chow, 1964).

Le Maghreb est considéré comme le plus touché par le problème d'érosion et d'envasement en Afrique, surtout si on se réfère aux travaux de Walling (1984) qui a lancé une fourchette de l'érosion spécifique de 1000 à 5000 t/km²/an. Les trois pays du Maghreb dispose de 230 barrages d'une

capacité totale de 23 Milliards de m^3 Dont 61% reviennent au Maroc, 23 % à l'Algérie et 16% à la Tunisie (Remini,2003), ces barrages enregistre une perte annuelle de capacité de 125 Hm³.

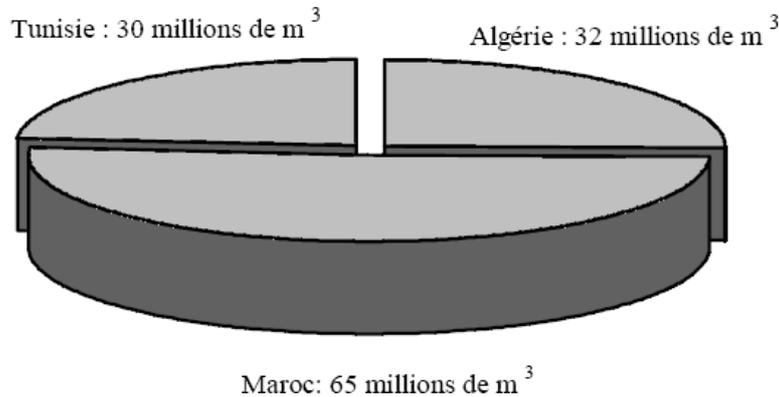


Figure (1,2) : Envasement moyen au Maghreb (Remini,2003).

D'après Fox (1997) l'envasement moyen au Maroc varie entre 0,11% à 1,6% suivant la région, en Algérie c'est une moyenne de 0,6% de la capacité de stockage qui disparaît chaque année sous la vase, ce chiffre est en hausse d'après le rapport des ressources en eau au Maghreb (2009) pour atteindre 45 Hm³/an avec un volume envasé global de 1,1 Milliards de m^3 , ce qui représente 17% du volume total de stockage .Ces valeurs paraissent assez réduites, mais leurs conséquences économiques et aussi environnementales sont considérables, en plus des risques sur la stabilité de l'ouvrage, et le fonctionnement des équipements hydromécaniques, sachant que la densité de la vase derrière la digue peut atteindre 1,8.

Malgré l'importance du problème, on à trouvé que la plupart des études de faisabilité des barrages se base sur des formules expérimentales pour déterminer le volume de vase de projet considéré comme un volume mort, sans être guidé par des facteurs régionaux, ce qui peut engendrer des écarts d'estimation assez considérable.

Le tableau suivant résume l'état d'envasement de quelques barrages Algériens d'après plusieurs auteurs ainsi que les données de l'ANBT pour les six barrages du bassin des Côtiers Algérois.

Tableau (1,1) : Etat d'envasement de quelques barrages d'Algérie.(2004).

Barrage	Année de mise en service	Volume initial Hm^3	Envasement moyen annuel Hm^3	Perte de volume %
Oued El Fodda	1932	228	2,31	71
Ghrib	1939	280	3,2	72
Ighil Emda	1953	155	1,33	42
Boughezoul	1934	55	0,66	81
Derdeur	1984	110	1,05	25
Taksebt	2001	175	0,27	--
Keddara	1986	145,6	0,05	2,2
El Hamiz	1879	21	0,35	26
Bouroumi	1985	188	0,8	3,4
Meurad	1861	1,2	0,005	83,3
Boukerdane	1992	97	0,21	--

On voit que les barrages de notre zone d'étude enregistrent de faibles taux d'envasement sauf les petits barrages anciens comme Meurad, cela est du principalement du fait que ces ouvrages sont plus ou moins récents, malgré ça le problème d'envasement est à prendre au sérieux.

Remini (2005) a développé un model prévisionnel de l'envasement en se basant sur les données de près de 90 barrages, ce qui a donné la carte de sensibilité à l'envasement suivante.

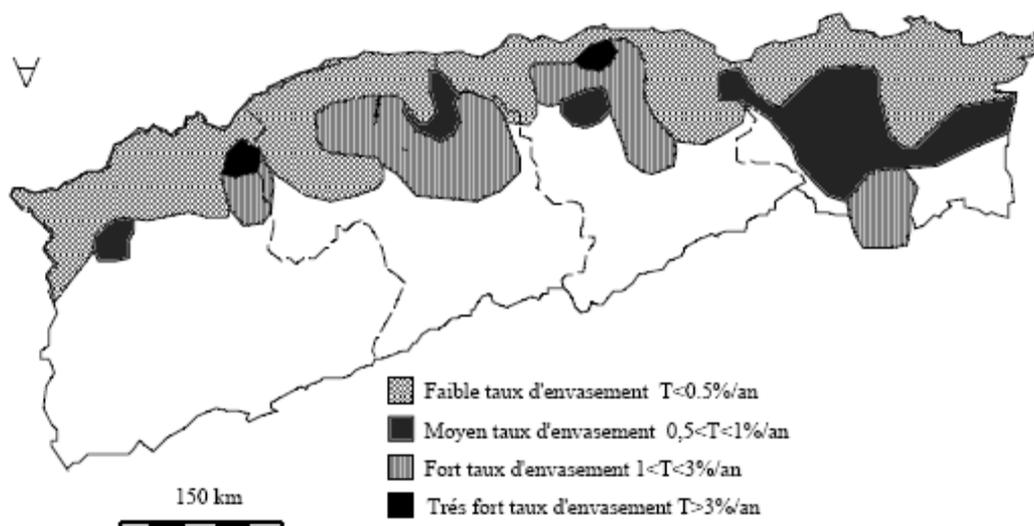


Figure (1,3) : Sensibilité à l'envasement des barrages (Remini,2005).

3- Erosion :

3-1- Définition : Le terme érosion vient du latin « ERODERE » qui signifie « Ronger », donc l'érosion est le détachement des particules du sol de leur emplacement initial pour les transportés en aval. Malgré que l'érosion a un effet néfaste sur les zones amonts, sauf qu'elle enrichit les plaines qui constituent les principaux terrains agricoles.

L'érosion apparaît sous plusieurs formes (Wikipedia) :

- L'érosion hydrique.
- L'érosion aratoire ou mécanique sèche : C'est le travail du sol qui arrache les particules, les transporte et les dépose.
- L'érosion thermique : La différence de température peut dégrader le sol et effriter les roches.
- L'érosion chimique : l'attaque chimique est un facteur essentiel d'érosion, comme c'est le cas pour les roches calcaires.
- L'érosion causée par les êtres vivants : parmi les êtres vivants qui causent le plus de dégâts c'est bien l'homme, en dégradant directement le sol ou en favorisant d'autres facteurs.

3-2- Erosion hydrique :

3-2-1- Définition : L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules du sol. Elle se définit comme la perte de sol due à l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt.

3-2-2- Origine et mécanisme : La pluie et le ruissellement superficiel sont à l'origine de l'arrachage, du transport et du dépôt de la terre enlevée. L'arrachage est due à la fois aux gouttes d'eau (par rejaillissement) et aux eaux de ruissellement, dont le transport est assuré par elles.

a- Impacte de la goutte de pluie : Les sols subissent un martèlement considérable causé par les gouttes de pluie. Les premières gouttes s'infiltrent dans le sol d'autant plus aisément qu'il est meuble et que sa porosité est élevée.

Cette première phase s'accompagne d'un déplacement des particules et d'un tassement du sol. Lorsque la couche superficielle s'humidifie, trois processus se développent simultanément :

- La dégradation de la structure.
- La formation d'une pellicule de battance.
- L'érosion par splash ou érosion par rejaillissement.

b- Ruissellement : Comme les précipitations, le ruissellement agit sur le sol par des actions de détachement et de transport.

3-2-3- Les Formes de l'érosion :

a- L'érosion en nappe ou "sheet érosion"

L'érosion en nappe est liée à 2 mécanismes :

- Le détachement des particules de terre causé par le choc de gouttes des pluies (effet splash).
- Le ruissellement lorsque l'intensité devient supérieure à la vitesse d'infiltration.

Cette forme d'érosion est caractéristique des sommets de bassin versant. Le martèlement des pluies (splash) détache les particules et les maintient en suspension par turbulence.

L'érosion en nappe a un effet érosif maximal au sommet des versants ou à l'aval d'un obstacle. Au bas des versants, au contraire, il s'agit d'accumulation.

b- L'érosion linéaire (micro-channel ou Rill érosion)

Un micro-filet ou une rigole est une dépression suffisamment petite pour pouvoir être supprimée par les façons culturales. Sur un bassin versant ou une parcelle, l'érosion en rigole succède à l'érosion en nappe par concentration

du ruissellement dans les creux. A ce stade, les rigoles ne convergent pas mais forment des ruisselets parallèles.

c- L'érosion par ravinement (Gully érosion)

La ravine est une rigole approfondie (figure 4) où se concentrent les filets d'eau. La rigole se transforme en ravine lorsque sa profondeur interdit son nivellement par des simples instruments aratoires. Le ravinement constitue un stade avancé de l'érosion. Les ravines peuvent atteindre des dimensions considérables.

L'approfondissement des ravines remonte du bas vers le haut de la pente (érosion régressive). Cette forme d'érosion peut transformer le paysage en "badlands" et explique également la sape d'ouvrages (ponts, radiers, digues filtrantes...). Lorsque l'aménagement des ravines n'est pas prolongé suffisamment en aval.

d- La sédimentation :

Les particules arrachées aux terres se déposent entre le lieu d'origine et les mers en fonction :

1. de leur dimension
2. de leur densité
3. de la capacité de transport du ruissellement ou de la rivière.

Les particules se déposent dans l'ordre suivant :

1. sable
2. sable fin
3. limon.

Les argiles et l'humus colloïdal sont généralement transportés jusqu'à l'embouchure du cours d'eau où ils se déposent soit après évaporation de l'eau, soit après floculation

3-2-4- Les Facteurs de l'érosion hydrique :

a- Intensité et agressivité des précipitations :

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

$$E_c = \frac{1}{2} mV^2 \quad (1,1)$$

Où, m est la masse de la goutte (kg) et V la vitesse (m/s), E_c l'énergie cinétique (joules).

L'évaluation de l'énergie cinétique des gouttes reste un bon critère d'évaluation de l'agressivité des pluies. Il existe d'ailleurs une relation empirique reliant l'intensité d'une pluie et son énergie cinétique (Remy, J.C. et al. 1998) d'après Touaïbia (2000).

$$E_c = 11.9 + 8.73 \log I_p \quad (1,2)$$

Avec, E_c : Energie cinétique en $\text{j/m}^2 / \text{mm}$ et I_p : intensité de pluie en mm/h .

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

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

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

b- Le ruissellement :

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

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

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

Selon Laouina et al (1993), les pluies continues mais de faibles intensités permettent une certaine infiltration de l'eau et réduisent le ruissellement sur les versants, par contre les épisodes de fortes intensités entraînent un ruissellement plus important. Mais ce sont les épisodes pluvieux durables avec des événements de forte intensité répétitifs qui occasionnent la dégradation la plus forte, avec en particulier le passage du ruissellement en nappe au ruissellement en griffes et rigoles. D'une manière générale, il est admis que la vitesse du ruissellement est le paramètre prépondérant de l'action érosive du ruissellement superficiel. En 1965, Meyer a proposé la relation suivante pour évaluer cette vitesse (Vanoni, 1977) :

$$V_R = (I^{0.33} \cdot Q_R^{0.33}) / n^{0.66} \quad (1,3)$$

Où

V_R : vitesse de ruissellement

I : pente du terrain

Q_R : débit du ruissellement

n : rugosité du sol.

Les facteurs qui régissent le ruissellement sont principalement :

- L'infiltration ;
- Détention superficielle et rugosité du sol : Elle correspond à la capacité de stockage temporaire de la surface du sol vis-à-vis de l'eau. La détention superficielle se fait sous forme de flaques dans les micro-dépressions, dont la capacité de stockage est liée à la rugosité.
- Le relief.
- Le couvert végétal.

c- L'état hydrique initial

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

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

Lorsque le sol en surface est argileux sensible à la dispersion par l'effet de l'impact des gouttes de pluie à la désagrégation mécanique par l'alternance des cycles de dessiccation et d'humectation, il y a mobilisation des particules argileuses sous l'action de l'impact des pluies (Chebbani et al, 1997). En effet, l'humectation des sols argileux entraîne un gonflement qui est une forme analogue de désagrégation. Cette argile mobilisée migre dans l'eau de l'infiltration, couvre la périphérie des agrégats et colmate les interstices intra-

agrégats ou bien se dépose à la surface du sol pour former une croûte. La formation des croûtes ou organisation pelliculaire de surface, entraîne une réduction de l'infiltrabilité, accroît les risques de ruissellement et d'érosion.

d- L'homme :

L'homme peut être à l'origine de déclanchement et de l'accélération de l'érosion par des actions telles :

- Défrichement de la forêt.
- Incendie et surpâturage.
- Techniques culturales.

3-2-5- Quantification de l'érosion hydrique :

La quantification de l'érosion hydrique peut se faire soit :

- Par la mesure directe du transport solide au niveau des stations de mesure.
- Par des formules expérimentales.

On citera dans ce qui suit quelques formules les plus utilisées.

a- Formule de Henin 1950 :

Cette formule symbolise la relation existante entre l'érosion pluviotile et les facteurs susceptibles de la favoriser ou de la limiter. La quantification de l'érosion spécifique "Es" est donnée par la formule (1.4)

$$Es = \frac{I_p I S}{K V_e} \quad (1,4)$$

Avec

I_p : Intensité des précipitations;

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

S : Susceptibilité des sols;

K : Perméabilité;

V_e : Végétation.

b- Formule de Wischmeier et Smith (Universal Soil Loss Equation - 1958)

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

La formule s'écrit :(Schmitt,1992)

Avec ; $A = 2,24RKLSCP \quad (1,5)$

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

R : facteur d'agressivité climatique.

K : facteur sol.

S : facteur pente.

C : facteur agronomique.

P : facteur des aménagements antiérosifs.

c- Formule de Fournier (1960) :

$$A_{ss} = \left(\frac{1}{36}\right) \left(\frac{P_m^2}{P_{am}}\right)^{2,65} \left(\frac{h^2}{S}\right)^{0,46} \quad (1,6)$$

Avec ;

A_{ss} : apport solide spécifique (t/km²/an)

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

P_{am} : précipitations annuelles (mm)

h : dénivelée moyenne (m)

S : superficie du bassin versant (km²).

d- Formule de Tixeront (1960) :

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

$$A_{ss} = 354E^{0,15} \quad (1,7) : \text{Pour les bassins Tunisiens.}$$

$$A_{ss} = 92E^{0,21} \quad (1,8) : \text{Pour la région Est Algérien.}$$

$$A_{ss} = 200E \quad (1,9) : \text{Pour la région centre Algérien.}$$

Avec :

A_{ss} : apport solide spécifique en t/km²/an

E : Ecoulement en mm.

e- Formule de Gravičovic (1960) :

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

$$E_s = 3,14 \cdot T \cdot P_0 \sqrt{Z^3} \quad (1,10)$$

Où :

E_s : érosion spécifique dans le bassin versant (T/km²/an)

T : coefficient de température : $T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0.1$ (1,11)

Avec :

t_0 : température moyenne annuelle en °c.

P_0 : pluie annuelle en (mm).

Z : coefficient d'érosion : $Z = y \cdot [x.a] (\delta + \sqrt{I_{moy}})$ (1,12)

Où :

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

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

δ : équivalent numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant.

I_{moy} : indice de pente moyenne du bassin versant.

f- Formule de L'A.N.R.H (1970) :

$$T_{ss} = 26,62 I_e + 5,071 I_p + 9,77 C_t - 593,59 \quad (1,13)$$

Où :

T_{ss} : transport solide spécifique moyen annuel (T/Km²/an)

I_e : indice lithologique (%).

I_p : indice des précipitations (%).

C_t : coefficient de torrentialité.

Cette formule est applicable dans les conditions suivantes : $I_e > 10\%$ et $I_p > 300$

g- Formule de la SOGREAH :

Basée sur les données de 30 bassins algériens, de superficie comprise entre 100 et 300 km², soumis à une pluviométrie annuelle comprise entre 300 et 1000 mm.

$$A_{ss} = \alpha \cdot E^{0.15} \quad (1,14)$$

Avec :

A_{ss} : apport solide spécifique (t/km²/an)

α : coefficient dépendant de la perméabilité du sol, donné au Tableau ci dessous

E : Ecoulement annuel (mm)

Tableau (1,2) : Valeurs de α pour différentes perméabilités (Zaibak,2007)

Perméabilité	α
Forte	8.5
Moyenne	75
Moyenne à faible	350
Perméabilité faible	1400
Imperméable	3200

3-3- Erosion dans les pays du Maghreb :

Le région du Maghreb est une région très touchée par l'érosion hydrique des sols, vue ça géologie, la morphologie de son relief, son caractère hydrologique particulier...etc, comme le montre la carte suivante basée sur des travaux publiés par la FAO.

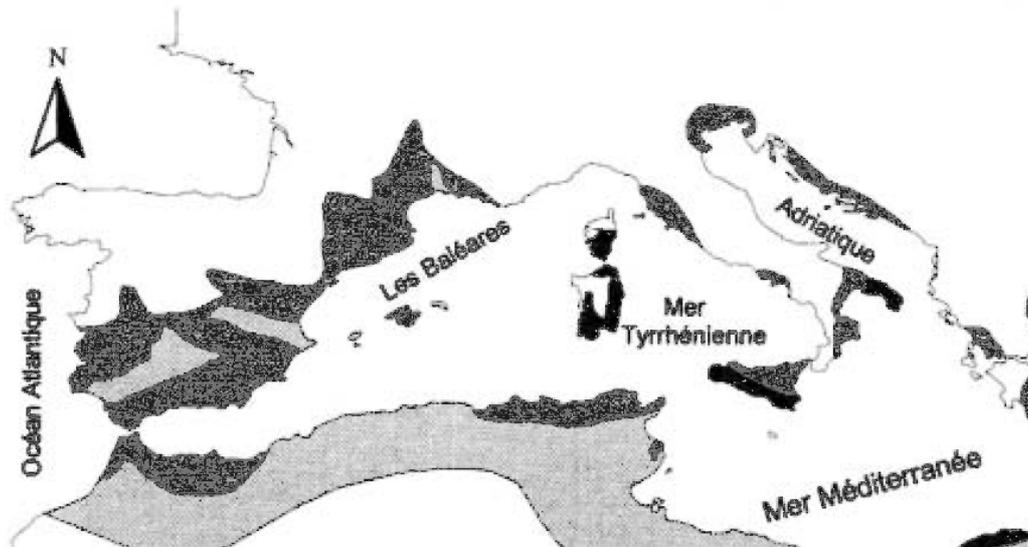


Figure (1,4) : Régions affectées par la dégradation des terres dans le bassin méditerranéen (Bou Kheir,2001).

Les zones les plus sombres sont les plus affectées par l'érosion. D'après Bou Kheir (2001) toujours, 45% de la surface de la Tunisie sera menacé par l'érosion, 40% au Maroc, et 45% de la zone Tellienne en Algérie sont menacées, soit près de 12 Millions d'hectares.

Le seuil de tolérance de l'érosion sous climat humide tempéré est situé entre 2,5 et 12,5 T/Ha/an suivant le type de sol selon l'USDA (US department of Agriculture), cette tolérance doit être moindre dans les pays du Maghreb à cause de : (Bou Kheir,2001)

- La pédogenèse qui est plus lente sous climat à aridité estivale et à saison sèche très longue.
- Les sols sont le plus souvent superficiels et les taux d'altération sont relativement bas.
- Les terres cultivables sont peut étendues et diminues chaque année étant urbanisées.

Ce seuil est largement dépassé dans nos pays, plus que ça elle détienne le taux moyen d'érosion le plus élevé d'Afrique (Braune,1989), ce qui cause selon la FAO :

- Une réduction de la superficie des terres agricoles et une baisse de rendement ainsi qu'une évolution de la désertification.
- Une accélération du taux d'envasement des barrages, réduisant ainsi la quantité et la qualité de l'eau disponible.
- Une aggravation des coulées boueuses qui mettent en péril les infrastructures humaines.
- Atterrissement des sédiments érodés dans les zones urbaines.

L'érosion dans les pays du Maghreb a été surtout étudiée pour la prévention contre l'envasement des barrages. Voici un tableau qui recueille quelques résultats d'érosion spécifique d'après plusieurs auteurs, Boudjadja (2003), Terfous (2001), Meddi (1998), Kassoul (1997), Taibi (1989), Zaïbak (2007).

Tableau (1,3) : Quelques valeurs de l'érosions spécifique.

Pays	Oued	Erosion Spécifique (T/km²/an)
Maroc	Nekor	1500
	Moulaya	130
	Oum Rabia	420
	Mharhar	4700
	Loukkous	2000
	El Abid	1484
Tunisie	Mellegue	695
	Kébir	1313
	Medjerda	430
Algérie	Allalah	2701 (d'après Boudjadja)
	Allalah	4654 (d'après Demmak)
	Damous	2879
	Essebt	2950
	Messelmoun	2500 (Taibi)
	Messelmoun	3029 (d'après boudjadja)
	El Hachem	2905 (d'après boudjadja)
	El Hachem	1542 (d'après Demmak)
	Mouilah	126
	El Harrach	792
	Ebda	856 (d'après Meddi)
	Ebda	2493 (d'après Taibi)
	Mazafran	1610
	Sly	561 (d'après Meddi)
	Sly	1920 (d'après Zaïbak)
Seybousse	332	

On remarque dans ces valeurs une variabilité spatial assez importante, de plus pour la même région on trouve des valeurs différentes d'un auteur à l'autre, cette différence peut s'expliquer par la méthodologie suivie par chaque auteur, la chronologie des séries hydrologiques traitées...etc. Cela met encore plus en évidence la complexité du phénomène de transport solide, et pour mieux étudier se phénomène, la qualité et la quantité de la donnée est primordiale.

Parmi les exemples de la difficulté de déterminer une valeur de la dégradation spécifique, il y a le cas de l'étude de faisabilité d'un barrage sur l'Oued Tarzout faite par l'ANRH, où ils ont opté pour une dégradation spécifique de 2600 T/km²/an (en l'absence d'une station de mesure) malgré que le bassin de Oued Tazrout est directement voisin de Oued Allalah où la valeur proposée par Demmak été de l'ordre de 4654 T/km²/an.

4- Transport Solide :

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

4-1- Modes de Transport :

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

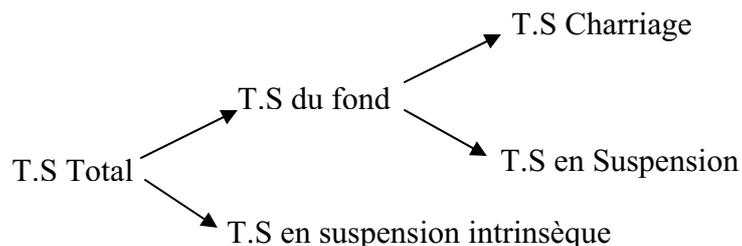


Figure (1,5) : Modes du transport solide (Graf,2000).

a- Charriage :

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

b- En Suspension :

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

c- Suspension intrinsèque :

Si les particules ne sont jamais en contact avec le fond, elles se déplacent en étant emportées par l'écoulement. Ceci concerne les particules très fines.

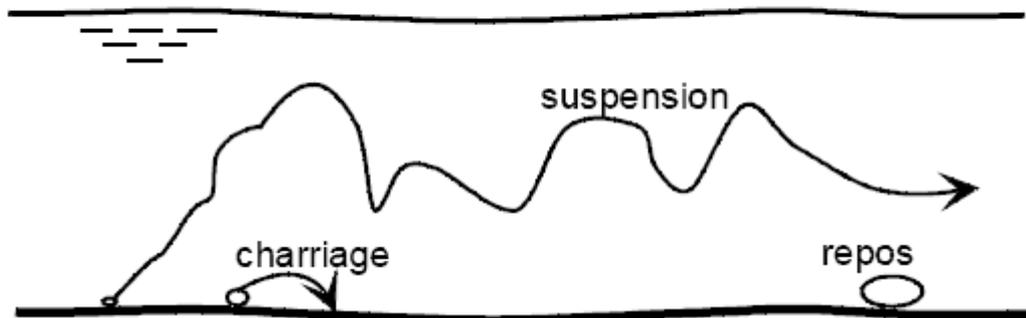


Figure (1,6) : Schémas des modes de transport solide.

Le Diagramme de Yalin-Schiels donne les conditions de mouvement des particules solides en fonction de τ^* et d^* (Dégoutte,2002).

$$\tau^* = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma_w)d} = \frac{\gamma_w Ri}{(\gamma_s - \gamma_w)d} \quad (1,15)$$

$$\text{Et :} \quad d^* = d \left(\frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \frac{g}{v^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1,16)$$

τ^* : indice de Schields.

Γ_w : Poids volumique de l'eau, γ_s : poids volumique spécifique des grains.

R : rayon hydraulique, i : pente de l'écoulement, d : Diamètre des grains.

N : Viscosité cinématique de l'eau, g : accélération de la gravité.

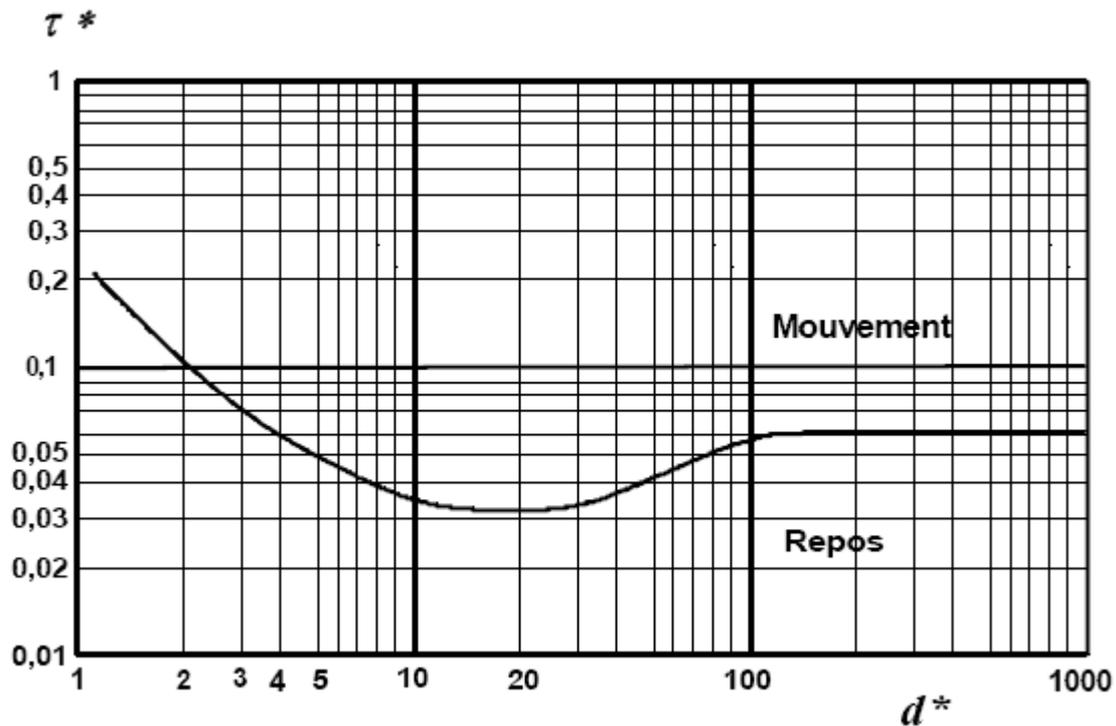


Figure (1,7) : Diagramme de Yalin-Schiels.

4-2- Estimation analytique du débit solide :

De nombreux hydrauliciens ont cherché à établir des relations permettant d'estimer le débit solide d'un cours d'eau, à partir de nombreuses mesures en modèles réduits ou sur fleuves, ces différentes formules donnent rarement des résultats comparables, car elles ont été établies dans des conditions différentes, il n'y a pas de formule universelle de transport solide (Dégoutte, 2000).

4-2-1- Transport solide par Charriage :

4- -1 - Dubois (1879) : (Vanoni, 1977)

C'est l'une des premières formules de détermination du débit solide.

$$g_s = \psi \tau (\tau - \tau_c) \quad (1,16)$$

τ : contrainte tractrice au fond, τ_c : contrainte tractrice critique.

Ψ : paramètre en fonction de la taille des grains.

G_s : Débit solide par unité de largeur du cours d'eau.

b- Meyer-Peter Müller (1948) : (Dégoutte,2000)

Elle donne la capacité de transport solide quand les grains sont plus ou moins uniformes.

$$\frac{q_s}{\sqrt{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)gd^3}} = 8(\beta\tau^* - 0,047)^{\frac{3}{2}} \quad (1,17)$$

q_s : débits solides en $m^3/s/m$ de largeur, exprimé en volume des grains.

B : Paramètre adimensionnelle compris entre 0,35 et 1 qui dépend de la rugosité des grains et du fond.

4-2-2- Transport Solide Total :

4- - τ - Engelund et Hansen (1967) : (Vanoni,1977)

Cette formule donne le transport solide total en volume de grains ;

$$\frac{q_s}{\sqrt{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)gd^3}} = 0,05 \left(\frac{K^2 R^{\frac{1}{3}}}{g} \right) \tau^{\frac{5}{2}} \quad (1,18)$$

K : coefficient de Strickler global du lit mineur.

Cette formule a été établie pour : $0,15mm < d < 5mm$ (sables).

b- Karim et Kennedy (1981) : (Cheniti, 2004)

C'est une formule qui donne le transport solide en $m^3/s/m$ de largeur du cour d'eau.

$$\frac{q_s}{\sqrt{g\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)d_{50}^3}} = 0,00151 \left[\frac{U}{g\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)d_{50}} \right]^{3,369} \left[\frac{u^* - u_c^*}{g\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)d_{50}} \right]^{0,84} \quad (1,19)$$

U : vitesse d'écoulement, u^* : vitesse de frottement, u_c^* : Vitesse critique de frottement.

En plus de ces formules les plus connues, il y a :

- Schoklitsch 1934
- Shields 1936
- Einstein- Broun 1950.

- Laursen 1958.
- Blench 1966.
- Colby 1964.
- Tofaletti (1969).

4-3- Estimation des débits solides par models de terrain :

La mobilisation et le transport des matériaux solides par l'écoulement de l'eau représentent deux phénomènes distincts, mais liés entre eux. Le transport solide en suspension peut s'exprimer par :

$$Q_s = Q_L C_s \quad (1,20)$$

Q_s : débit solide, Q_L : débit liquide, C_s : Concentration de sédiments.

Depuis longtemps, on a essayé de corrélérer les débits solides aux débits liquides et de déterminer une relation qui permettait d'estimer les premiers à partir des seconds. A ce titre, nous citons les travaux de Jakuschoff (1932) sur les rivières de Turquie et ceux de Straub (1936) sur le fleuve du Missouri (USA) (Einstein, 1950 ; Leopold et al,1953).

La concentration des sédiments en suspension C_s et le débit liquide évoluent en général suivant un modèle de puissance $Y = a X^b$ (Walling et al, 1981).

$$C_s = a Q_L^{b-1} \quad (1,21)$$

Une autre relation empirique communément appelée courbe du transport solide (Cambell et al, 1940 ; Crawford, 1991) lie le débit solide au débit liquide :

$$Q_s = a Q_L^b \quad (1,22)$$

Ce type de relation a été proposé dès 1895 par Kennedy, (Touaïbia,2000). Depuis, plusieurs chercheurs ont essayé d'identifier surtout la valeur de l'exposant b . Leopold et al (1953) proposent pour les rivières de l'ouest des Etats Unis d'Amérique des valeurs de b variant entre 2 et 3, d'autres auteurs tels que Wood (1977), Walling et Webb (1981,1982), ainsi que Probst et Bazerabachi (1986) les limitent entre 1 et 2, en fonction des caractéristiques physiques, climatiques et

hydrologiques des bassins versants, ou des conditions hydrauliques de l'écoulement dans les cours d'eau.

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

Tableau (1,4) : Valeurs caractéristique des paramètres a et b d'après Benkhaled et Remini (2003).

Equation	a	b	Source
$Q_s = QC_s$	4000 à 4446000	2 à 3 0,72 à 1,02 1,2	Leopold et al (1953) Fleming (1969) Dawdy (1967)
$Q = aQ^{b-1}$	0,0004	1,63 2 à 3	Battala et al (1992) Vononi (1977)

Benkhaled et Remini (2003) ont élaboré une étude très intéressante sur les paramètres a et b de la relation puissance débit liquide- débit solide dans la région de Oued Wahrane pour différentes échelles temporelles, même à l'échelle des crues. Ils ont mis en évidence la complexité de trouver une relation unique pour ces paramètres, ils ont conclu que l'exposant b est relié aux caractéristiques de l'écoulement, tandis que a est considéré comme paramètre représentatif de l'état du sol. L'exposant b varie en générale entre 1 et 2 et a varie dans des intervalles plus larges, même intervalle trouvé par Achite et Meddi (2004) pour Oued Haddad situé dans le Cheliff, sur le même bassin Zaïbak a trouvé des valeurs proches mais toujours différentes.

On voit bien que ces modèles sont des modèles locaux et temporelle aussi, donc difficile de les généraliser, ou de garder pour une région le même modèle unique, le climat est en mutation, le sol aussi, donc la validité de ces modèles est toujours limitée dans le temps.

4-4- Mesure du transport solide :

La quantité de sédiments transportés par un cours d'eau, à une section donnée peut être mesurée par plusieurs méthodes (Mussy,2002)

- Collecte d'échantillons.
- Levé topographique et bathymétrique de lacs ou de retenues pour évaluer l'apport global de sédiments.
- Utilisation de traceurs de sédiments dont les signatures permettent surtout d'évaluer les taux de sédimentation.

4-4-1- Mesure du transport en suspension :

Elle consiste à mesurer une concentration en matière en suspension, une large gamme d'options est disponible, la méthode la plus rigoureuse pour obtenir la charge solide en suspension consiste à procéder, comme pour la mesure du débit, à une intégration de différentes concentrations et de vitesses sur plusieurs verticales, cette technique nécessite un matériel adapté.

Le dispositif de prélèvement le plus simple est la bouteille d'échantillonnage.

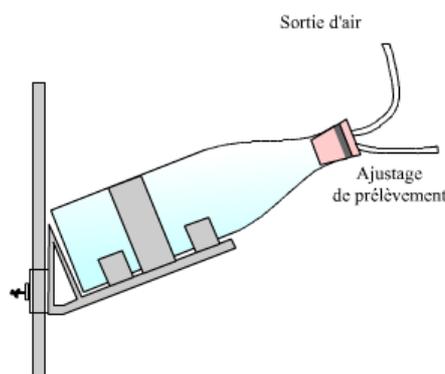


Figure (1,8) : Bouteille d'échantillonnage.

Ou par les échantillonneurs standardisés qui prélèvent à chaque verticale un certain nombre de mesures, comme le montre la figure suivante.



Figure (1,9) : Appareil de mesure de la charge en suspension (Gautier,2007)

Le calcul du débit solide en suspension se fait par intégration sur toute la section.

$$Q_s = \iint_S q_s = \iint_S CVdS$$

C : concentration de sédiment, V : vitesse d'écoulement.

Une mesure continue du transport solide en suspension est aussi possible suivant deux principaux types de mesures (Mussy,2002) :

- a- Une mesure à l'aide de préleveurs d'échantillons automatiques réglés pour un pas de temps donnée, ce dispositif comprend un système de pompage et un transfert vers une série de flacons d'échantillonnages.
- b- Une mesure de la turbidité à l'aide de turbidimètre, cette technique nécessite un calibrage préalable.

4-4-2- Mesure du transport solide par charriage :

Divers méthodes sont utilisées, les plus connues sont les pièges à sédiments, comme ceux du US Bureau of Reclamation ou du British Standards.

La photo suivante montre deux types d'échantillonneurs pour le T.S charrié.

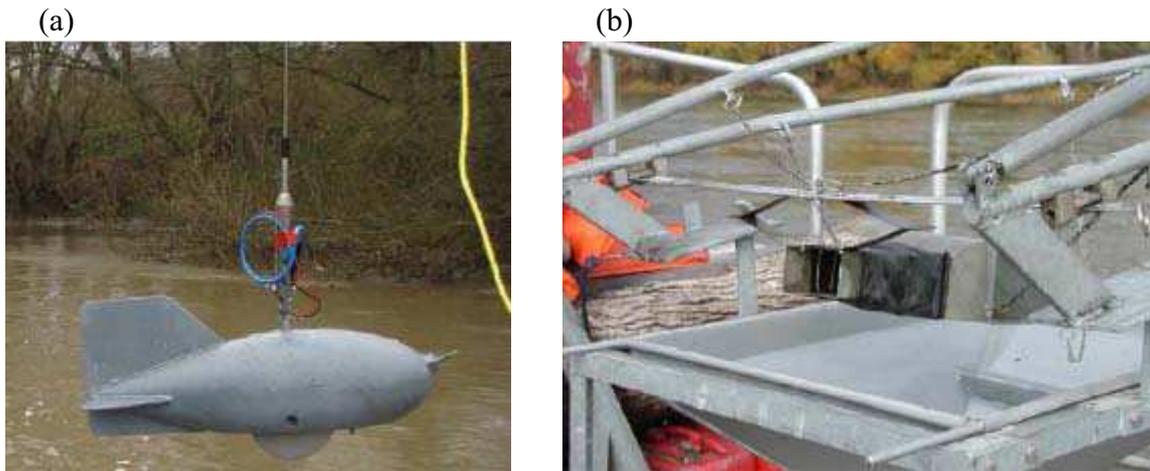


Figure (1,10) : Échantillonneurs du T.S charrié, (a) USBM 54, (b) BTMA.
(Gautier, 2007)

Des sondes à ultrason peuvent être utilisées pour suivre le déplacement des dunes dans les fonds sableux à faible pente (Mussy,2002)

La technique la plus récente est sans doute celle initié par Belleudy (2009), qui consiste en une technique de mesure du T.S charrié basée sur l'enregistrement par hydrophones et l'analyse du signal émis par les matériaux en mouvement au fond du lit.

Hors, des parcelles et des petits bassins versants dont les exutoires peuvent être équipés de pièges ou fosses à sédiments. Malgré ça la mesure du transport du fond reste imprécise, car les dispositifs utilisés peuvent perturber le régime du transport de fond.

5- Application de la théorie de l'information pour développer un model de profiles de distribution des concentrations solides :

Comme il a été rapporté, la qualité de la mesure du T.S est un élément essentiel pour valider les models de transport solide déterminés sur la base de ces données, chose qui fait défaut surtout en période de crue, où l'échantillonnage reste limité, malgré que les crues génèrent la plus grande portion de transport solide, comme c'est le cas pour Oued Allalah, où Demmak (1982) a signalé que 80% de transport solide été le fruit de crues supérieures à 30 mm/h d'intensité.

Dans ce cas la nécessité d'avoir un model de répartition de la concentration solide, qui nous permet de générer les profils de transport solide par une seule mesure, est évidente.

Plusieurs models ont été développés à partir de l'équation différentielle qui gouverne la distribution de la concentration solide (Chiu, 1999) :

$$-\varepsilon_s \frac{dC}{dy} = V_s C \quad (1,23)$$

Où : ε_s est le coefficient de diffusion du transport de sédiment, C : concentration de sédiments, y : distance verticale à partir du fond, V_s : Vitesse de chute de la particule solide.

A partir de cette équation Rouse à développer l'expression suivante (Chiu, 1999) :

$$\frac{C}{C_a} = \left[\frac{D-y}{y} \frac{a}{D-a} \right]^Z \quad (1,24)$$

$C_a = C$ à $y=a$, D : Profondeur d'eau et $Z = \frac{V_s}{\beta K u_*}$

β : est un coefficient, K constante universelle de Von Karman.

De même que l'expression logarithmique des profils des vitesses de Von Karman, l'expression de Rouse perd sa validité à l'approche de la surface libre et du fond.

Hanes, Bowen et Wilson ont proposé l'expression suivante (Wang, 2007) :

$$C(z) = C_0 - (C_0 - C_h) \frac{z}{h} \quad (1,25)$$

$C(h)$ est la concentration à la profondeur h.

Voulant s'éloigner des contraintes de l'hydrodynamique, Chiu (1999) a proposé au même titre que l'expression des profils des vitesses, une expression des profils des concentrations solides à partir de celle des profils des vitesses et des contraintes tangentielles.

$$\frac{C}{C_0} = \left[\frac{1 - \frac{y}{D}}{1 + (e^M - 1) \frac{y}{D}} \right]^{\lambda'} \quad (1,26)$$

C_0 est la concentration à $y=0$,

$$\lambda' = \frac{V_s u_{\max} (1 - e^{-M})}{\beta u_*^2 M} = \frac{V_s \bar{u} (1 - e^{-M})}{\beta u_*^2 M \Phi} = \lambda G, \quad G = \frac{1 - e^{-M}}{M \Phi}, \quad \lambda = \frac{V_s \bar{u}}{\beta u_*^2}$$

M est le paramètre d'entropie, \bar{u} : est la vitesse moyenne de l'écoulement.

Cette expression peut générer les profils des concentrations à partir d'un seul échantillonnage de la concentration solide, ce qui peut réduire considérablement le temps de prélèvement, connaissant les régimes à caractère non permanent des écoulements liquides et solides, et ainsi augmenter la quantité et surtout la qualité de la donnée T.S.

Malheureusement, cette méthode n'a pas pu être appliquée sur les cours d'eau de notre région d'étude, à cause de l'absence des profils des concentrations solides, la plupart de l'échantillonnage se fait par une seule mesure, souvent à l'extrémité du cour d'eau et souvent avec un matériel inadéquat. Ce qui met l'accent sur la validité des models T.S développés en Algérie vu la qualité de la donnée qui nécessite une remise à niveau rapide.

6- Conclusion :

Dans ce chapitre on a mis en évidence la théorie de l'envasement et du transport solide, ce problème qui fait l'objet de beaucoup de recherche qui n'ont point diminué ça complexité vue le nombre et le comportement qui entre en jeux, ce comportement qui est souvent imprévisible.

Le problème d'érosion et d'envasement des barrages et retenues est un problème mondiale qui contribue à l'augmentation de l'aridité des terres et la réduction des capacité de stockage des réservoirs ce qui s'ajoute au ressources limitées des pays qui se trouvent dans les régions arides et semi arides dont l'Algérie, où les taux d'érosion peuvent atteindre jusqu'à 5000 t/km²/an et

engendré des taux d'envasement considérable, ce taux qui a atteint 17% en Algérie, un taux qui correspond a une perte de capacité de stockage de plus d'un milliard de m³.

Beaucoup d'auteurs ont essayé de décrire et quantifier le transport solide suivant des principes hydrodynamiques, mais ils se sont heurtés à la complexité du phénomène, d'où l'orientation vers les models locaux de transport solide, qui peuvent expliquer et quantifier le transport solide en fonction de paramètres climatiques, hydromorphométriques, ...etc, locaux, mais aussi ces models sont la plupart du temps tributaires de paramètres qui nous échappent. Cela a poussé certain hydraulicien comme Chao-Lin Chiu de l'université de Pittsburgh à développer des models en se basant sur la théorie de l'information qui a prouvé son efficacité dans plusieurs domaines dont le traitement du signal, cette nouvelle tendance peut avoir de l'avenir, car le besoin est là.

1- Introduction :

L'estimation des débits et apports est un maillon incontournable d'une bonne gestion des ressources en eau. Cette estimation des débits aura plus d'importance si on sait que l'estimation du transport solide est faite toujours en se basant sur l'hydrométrie des cours d'eau, c'est pour cette raison qu'on a donné plus d'importance à l'hydrométrie dans ce travail.

L'estimation des débits liquides et apports se fait soit par des modèles expérimentaux en fonction de la pluviométrie, ou par mesure directe sur les cours d'eau, il est clair que la deuxième option est plus exacte si elle se fait sous des conditions favorables en moyens et techniques de mesures.

L'hydrométrie est une branche de la métrologie, c'est la science de la mesure, qui s'intéresse aux écoulements de l'eau. C'est aussi l'art de mesurer des grandeurs caractéristiques relatives à l'état de la rivière grâce à des instruments de mesure.

L'emplacement de la station hydrométrique est le premier facteur qu'il faut prendre en considération, la station doit répondre à un certain nombre de critères (Choo, 1998) :

- La section du cours d'eau doit être droite et uniforme (section et pente restent invariables) ;
- Les berges et le lit du cours d'eau doivent être stables afin d'empêcher les changements dus aux affouillements ou à l'envasement ;
- Il ne doit y avoir aucun débordement en cas des crues ;
- Les berges et le lit du cours d'eau doivent être exempts d'une quelconque présence aquatique ;
- La section doit éviter les confluent des cours d'eau ;
- L'emplacement de la station doit être facilement accessible pour l'installation ainsi que pour le jaugeage ;
- La lecture d'échelle doit être facile, précise pour tous les débits.

Commençant par quelques modèles et formules souvent utilisés pour l'estimation des débits et apports.

2- Formules et modèles d'estimations des apports et débits :

On a rassemblé les formules les plus utilisées pour l'estimation des apports liquides dans les études en Algérie.

2-1- Formule de SAMIE : (Kabouya, 1991)

Cette formule donne la lame écoulée en fonction des précipitations moyennes.

$$L_e = 0,694(P - 434) \quad (2,1)$$

P : est la pluie moyenne annuelle en mm.

Une autre forme de cette formule est souvent utilisée (Bouedja, 1992) :

$$L_e = P^2(293 - 2,2\sqrt{S}) \quad (2,2)$$

S : Superficie du bassin versant en km².

2-2- Formule de Dery : (Kabouya, 1991)

Cette formule donne l'apport moyen annuel :

$$A = 0,915P^{2,684} S^{0,842} \quad (2,3)$$

La deuxième forme : $Q = 11,8P^{2,82} S \quad (2,4)$

A : Apport moyen (Hm³), P : Pluie moyenne annuelle (m), S : superficie du bassin versant (km²), Q : débit moyen annuel (l/s).

2-3- Formule de Chaumont : (Taïbi, 1988)

$$L_e = 0,6P(1 - 10^{-0,36P}) \quad (2,5)$$

P : Pluie moyenne annuelle en mètres, L_e : lame écoulée en mètres.

2-4- Formule de Medinger : (Taïbi, 1989)

$$L_e = 1,024(P - 0,26) \quad (2,6)$$

L_e : Lame écoulée en mètres, P : Pluie moyenne annuelle en mètres.

2-5- Formule SOGREAH : (Taïbi, 1989)

$$L_e = 0,805(P - 0,392) \quad (2,7)$$

L_e : Lame écoulée (m), P : Pluie moyenne (m)

2-6- Model Touazi – Laborde :

Beaucoup de models ont été développés en Algérie concernant plusieurs régions, mais le model Touazi – Laborde (2004) à une importance particulière car il couvre tout le nord Algérien, soit une superficie de 325000 km² avec 467 postes pluviométriques et 50 stations hydrométriques, réparties sur toute la zone d'étude. L'analyse des données pluviométriques et hydrométriques a débouché sur le model suivant :

$$Q = aP^2 S_{bv}^{0,8} \quad (2,8)$$

Q : Débits moyen annuel (m³/s), P : pluie annuelle (mm), S_{bv} : superficie du bassin versant (km²), a : paramètre du model.

Le model a donné un coefficient de corrélation de 0,87 entre les débits estimés et mesurés.

Le tableau suivant donne quelques valeurs du paramètres a pour quelques stations du bassin côtiers Algérois.

Tableau (2,1) : Valeurs moyennes du paramètre « a ». (Touazi et Laborde, 2004)

Stations	a . 10⁸	Stations	a . 10⁸
Bordj Ghobrini	3,64	Amont de Gorges	5,87
Boumedfaa	2,74	Fer à Cheval	4,85
El Affroun	2,49	Baraki	5,87
Attatba	2,74	Baghlia	7,10

3- Mesure des débits :

L'estimation la plus rigoureuse est sans doute la mesure directe des débits sur les cours d'eau. Les Techniques de mesures sont en perpétuelle développement afin d'arriver à la technique la plus précise, la plus courte, la plus continue, et la plus rentable sur le plan économique.

On distingue plusieurs types de techniques de mesures :

3-1- Mesure de la hauteur d'eau :

La mesure de la profondeur de l'écoulement dans les cours d'eau est l'une des techniques les plus utilisées et les plus anciennes. Cette mesure peut indiquer le débit d'écoulement s'il y a étalonnage sous forme de courbe de tarage, cet étalonnage se fait toujours sur la base de mesures plus rigoureuses telle l'exploration du champ de vitesses.

L'instrument basique de mesure est sans doute l'échelle limnimétrique, ou limnimètre.



Figure (2,1) : Echelle limnimétrique (ANRH)

Les Limnigraphes permettent aussi de faire une mesure du niveau d'eau continue, les mesures peuvent être enregistrées sur du papier ou sur un support électronique.

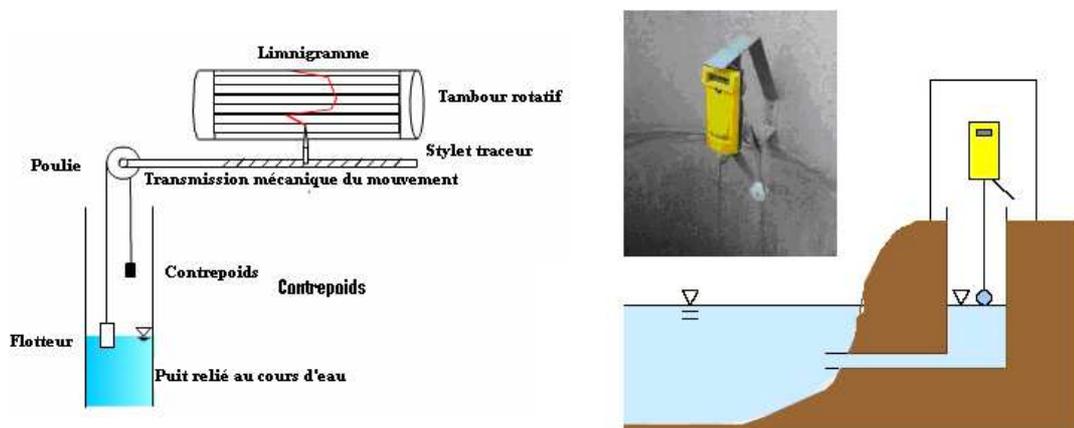


Figure (2,2) : Limnigraphes à flotteur (Mussy,2002)

La mesure du niveau peut aussi se faire par des appareils optiques ou ultrasoniques.



Figure (2,3) : Mesures à l'aide d'ultrasons (USGS).

L'inconvénient essentiel de l'estimation des débits liquides par des mesures de profondeurs, c'est qu'elle nécessite un étalonnage périodique, car la courbe de tarage est susceptible de changements du fait du changement continue de la section d'écoulement, surtout dans le cas des fonds mobiles.

La forme la plus utilisée de la courbe de tarage traite le débit comme une fonction unique de la hauteur. Ces courbes suivent typiquement une courbe de puissance de la forme donnée par l'équation suivante (Herschy, 1985, 2002) :

$$Q = a(H \pm h_0)^b \quad (2,9)$$

Q : débit, H : hauteur d'eau, H_0 : hauteur mesurée au débit nul,

a,b : constantes fonction des caractéristiques hydrauliques du cour d'eau.

Zerouel (2008) a pu modéliser les courbes de tarage de quelques cours d'eau du bassin Algérois, et a pu trouver des expressions qui relient les paramètres a et b à quelques caractéristiques hydromorphométriques des bassins drainés.

3-2- Méthode des flotteurs :

Les flotteurs peuvent être utilisés pour deux principales raisons (Gautier,2007) :

- Etude des Trajectoires des courants de surface.
- Mesure des débits.

Pour la mesure des débits, cette technique est très utilisée surtout en temps de crues, où les autres méthodes risquent d'être inefficaces. La méthode consiste à mesurer le temps mis par un flotteur pour parcourir une certaine distance, ensuite on détermine la vitesse du flotteur. Celle-ci est multipliée par un certain coefficient pour avoir la vitesse moyenne de l'écoulement, ensuite en multipliant celle-ci par la section d'écoulement on trouve le débit. Le US Geological Survey propose des temps de déplacement qui n'excèdent pas les 20 secondes.



Figure (2,4) : utilisation des flotteurs. (Gautier, 2007)

Les résultats de cette méthode enregistrent souvent des écarts assez considérables.

3-3- Méthode de Dilution :

Cette technique est utilisée surtout dans les torrents ou rivières à forte pente, où l'exploration du champ de vitesse est impossible (Mussy, 2002).

Le principe consiste à injecter dans la rivière une solution concentrée d'un traceur (sel, colorant...etc) et à rechercher dans quelles proportions cette solution a été diluée par le cour d'eau, après prélèvement d'un échantillon d'eau à l'aval. Le débit est estimé par l'expression :

$$Q = k \left(\frac{C_1}{C_2} \right) \quad (2,10)$$

Q étant le débit, C_1 et C_2 représentent la concentration initiale et du prélèvement, k est un coefficient caractéristique.

Toutefois cette méthode nécessite un certain nombre de conditions.

- Le régime doit être plus ou moins permanent.

- Il faut qu'il y ai un bon mélange.
- Le traceur doit passer dans sa totalité par la section de mesure.

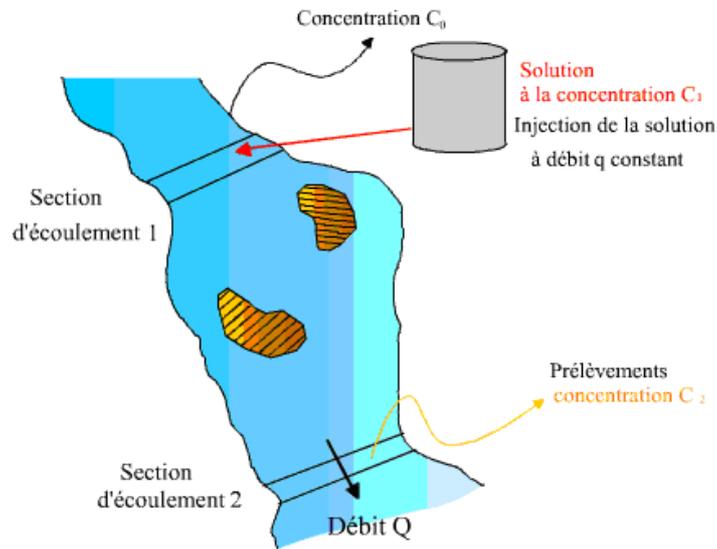


Figure (2,5) : Méthode de dilution.

3-4- Mesure par ouvrages calibrés :

Les déversoirs ou les canaux calibrés sont toutefois utilisés pour mesurer les débits dans les cours d'eau à faible écoulement en générale, les canaux venturi sont les plus utilisés car ils ne subissent pas de dépôts comme les déversoirs. Le canal le plus utilisé est celui de Parshall (Akers, 1978).



Figure (2,6) : Canal Venturi.

3-5- Vélocimétrie acoustique et électromagnétique :

Ces appareils qui étaient réservés seulement au laboratoire, ont fait leur apparition sur le terrain depuis moins de deux décennies seulement. L'ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) ou l'ADCP (Acoustic Doppler Current profiler),

repose sur l'analyse doppler d'une onde acoustique émise dans l'eau et réfléchiée par les particules retro-diffusantes portées par le courant (Moramarco et al, 2006).



Figure (2,7) : Utilisation de l'ADCP.

Après avoir fait une synthèse des principales méthodes, on revient à la méthode la plus utilisée, qui est l'exploration du champ de vitesses, signalons que la méthode de l'ADCP, est une forme de l'exploration du champ de vitesses.

4- Exploration du champ de vitesses :

L'exploration du champ de vitesses est certainement la méthode qui donne les meilleurs résultats, malgré les difficultés de mise en œuvre qu'elle présente, malgré aussi le caractère non permanent de l'écoulement, où le débit peut changer au cours de l'opération de mesure.

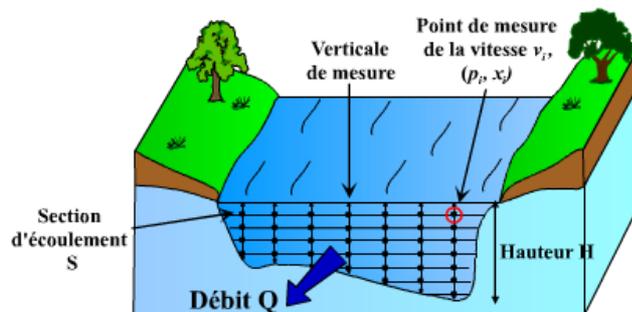


Figure (2,8) : Grille d'exploration du champ de vitesses.

La méthode consiste à déterminer les vitesses en diverses verticales, et pour chaque verticale en un certain nombre de points. Pour chaque verticale on aura un profile des vitesses dont la surface représente un débit par unité de largeur, l'ensemble de ces débits forme une surface dont la valeur est le débit d'écoulement.

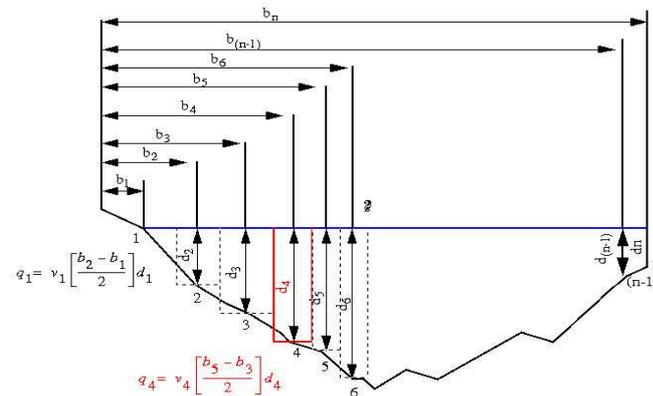


Figure (2,9) : Verticales de mesure.

$$Q = \sum V_i d_i \left(\frac{b_{i+1} - b_{i-1}}{2} \right) \quad (2,11)$$

Q : est le débit d'écoulement, V_i : vitesse ponctuelle d'écoulement, d_i : Profondeur d'écoulement, b : distance à partir d'un point fixe.

Les mesures de vitesses se font souvent par jaugeage au moulinet à l'aide d'un câble (si le cour d'eau est assez profond), par embarcation (si le cour d'eau est large) ou seulement par moulinet porté par un opérateur (si la profondeur le permet).

L'inconvénient essentiel de cette méthode est :

- qu'elle prend énormément de temps, ce qui peut influencer l'exactitude de la mesure connaissant le caractère non permanent des écoulements naturels, en plus du coût économique élevé, ce qui réduit considérablement les fréquences de mesures (Chiu et Chen, 1999).
- Elle est impossible à réaliser lors des crues importantes, à cause de la difficulté de maintenir l'instrument dans une position adéquate au milieu du cours d'eau (Moramarco et al, 2006).



Figures (2,10) : Mesure au moulinet. (Moramarco et al ,2006)

Afin d'éviter ces inconvénients, des techniques ont été développées pour estimer la vitesse moyenne, ou directement générer les profils des vitesses par quelques mesures seulement.

4-1- Méthodes d'échantillonnage des vitesses :

4-1-1- Méthodes traditionnelles :

Toutes les méthodes d'estimation de la vitesse découlent principalement de la loi logarithmique de Prandtl- Von Karman :

$$U(y) = \frac{U_*}{k} \ln \frac{y}{y_0}, y > y_0 \quad (2,12)$$

U_* : vitesse de frottement (Shear velocity), y_0 : profondeur où la vitesse est supposée nulle, k : constante universelle de Von Karman.

L'inconvénient essentiel de cette loi est qu'elle ne représente pas fidèlement l'écoulement aux voisinages du fond et de la surface libre. (Chiu, 2007).

a- Méthode du point unique :

Cette méthode suppose que la vitesse moyenne correspond à la vitesse à une profondeur égale à 60% de la profondeur globale à partir de la surface

libre. Cette méthode est basée sur la loi logarithmique sus citée et sur beaucoup de mesures de terrain, surtout dans les cours d'eau peut profond. (Moramarco et al, 2006)

$$\bar{U} = U_{0,6} \quad (2,13)$$

b- Méthode des deux points :

Dans ce cas, la vitesse moyenne est prise égale à la moyenne arithmétique des deux vitesses aux points situés à 20% et 80% de la profondeur.

$$\bar{U} = U_{0,2} + U_{0,8} \quad (2,14)$$

c- Méthode des trois points :

Ici la vitesse moyenne est calculée par :

$$\bar{U} = \frac{1}{4}(U_{0,2} + 2U_{0,6} + U_{0,8}) \quad (2,15)$$

Ou par :

$$\bar{U} = \frac{1}{3}(U_{0,2} + U_{0,6} + U_{0,8}) \quad (2,16)$$

d- Méthode des cinq points :

La vitesse moyenne est estimée par :

$$\bar{U} = 0,1(U_{surf} + 3U_{0,2} + 3U_{0,6} + 2U_{0,8} + U_{fond}) \quad (2,17)$$

Où : U_{surf} et U_{fond} sont les vitesses à la surface et au voisinage du fond.

e- Méthode des six points :

Utilisée pour les rivières assez profondes :

$$\bar{U} = 0,1(U_{surf} + 2U_{0,2} + 2U_{0,4} + 2U_{0,6} + 2U_{0,8} + U_{fond}) \quad (2,18)$$

4-1-2- Méthodes Alternatives :

Afin de générer les profils des vitesses des écoulements, plusieurs auteurs ont proposés des expressions toutes inspirées de la loi universelle de Von Karman.

Fenton (2002) proposa l'expression suivante :

$$U(y) = \frac{U_*}{k} \ln \frac{y}{y_0} + a_1 \frac{y}{D} \quad (2,19)$$

Où a_1 est un paramètre, D : la profondeur de l'écoulement.

A l'aide de trois mesures de vitesses à des profondeurs différentes, on peut évaluer les paramètres inconnus à savoir $\frac{U_*}{k}$, y_0 et a_1 .

Afin de mieux représenter la courbure des profils des vitesses, Fenton a introduit un paramètre quadratique.

$$U(y) = \frac{U_*}{k} \ln \frac{y}{y_0} + a_1 \frac{y}{D} + a_2 \left(\frac{y}{D} \right)^2 \quad (2,20)$$

Yang et al (2004) ont proposé une expression modifiée.

$$U(y) = U_* \left[\frac{1}{k} \ln \frac{y}{y_0} + \frac{\mu}{k} \ln \left(1 - \frac{y}{D} \right) \right] \quad (2,21)$$

μ est un facteur de correction (Dip- Correction factor) qui dépend seulement de la position de la vitesse maximale y_{\max} .

$$\mu = \frac{D - y_{\max}}{y_{\max}} \quad (2,22)$$

D : est la profondeur de l'écoulement.

5- Méthodes probabilistiques :

Les Méthodes dérivées de la loi de Von Karman subissent les mêmes inconvénients que la loi elle-même, à savoir l'impossibilité de décrire l'écoulement aux voisinages de la surface libre et du fond. Afin de dépasser cette handicap, il a fallu trouver des méthodes qui se libèrent un peu de l'hydrodynamique, c'est de cette nécessité que les méthodes probabilistiques ont vu le jour. On citera les plus connues à savoir celle de Dingman et celle de Chiu sujet de cette étude.

5-1- Méthode de Dingman :

Dingman (1989) a développé une loi puissance (power law) pour décrire la répartition des vitesses dans une section d'écoulement.

$$\begin{aligned} f_{PL}(X) &= CX^{C-1} \\ F_{PL}(X) &= X^C \end{aligned} \quad (2,23)$$

f_{PL} est la fonction de densité de probabilité.

F_{PL} est la fonction de répartition.

A partir de cela l'auteur a déduit le rapport entre la vitesse moyenne (U_m) est la vitesse maximale (U_{\max}) d'une section d'écoulement.

$$\frac{U_m}{U_{\max}} = \frac{C}{C+1} \quad (2,24)$$

Mais cette dernière expression est inspirée de la loi logarithmique de Von Karman (Chiu, 2007), de ce fait le model de Dingman risque de présenter les mêmes points faibles que la loi logarithmique, surtout pour les faibles vitesses.

5-2- Méthode d'entropie de Chiu :

Comme il a été cité, les méthodes probabilistiques tendent à dépasser les limites hydrodynamiques de la loi logarithmique. C'est dans ce concept que Chiu (1987) a proposé une nouvelle approche basée sur la théorie de l'information de Shannon (1948).

Le model proposé par Chiu permet de modéliser et la distribution et l'effort tangentiel de frottement ainsi que la concentration solide (cité dans le chapitre précédent). Ce model parait supérieur à la loi de Von Karman en divers aspects (Hsu, 2004).

Donc, en se basant sur le concept d'entropie, chiu a développé une expression simple, qui peut décrire un profil possible de vitesses dans un écoulement à surface libre quelque ce soit le régime, (Chiu 1987,1988,1989) :

$$u = \frac{U_{\max}}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\max} - \xi_0} \right] \quad (2,25)$$

Où u : la vitesse, U_{\max} : la vitesse maximale, M : paramètre d'entropie, ξ : paramètre adimensionnel avec lequel u varie [figure (2,11)], ξ_{\max} la valeur maximale de ξ . ξ_0 est la valeur minimale de ξ prise en générale égale à 0.

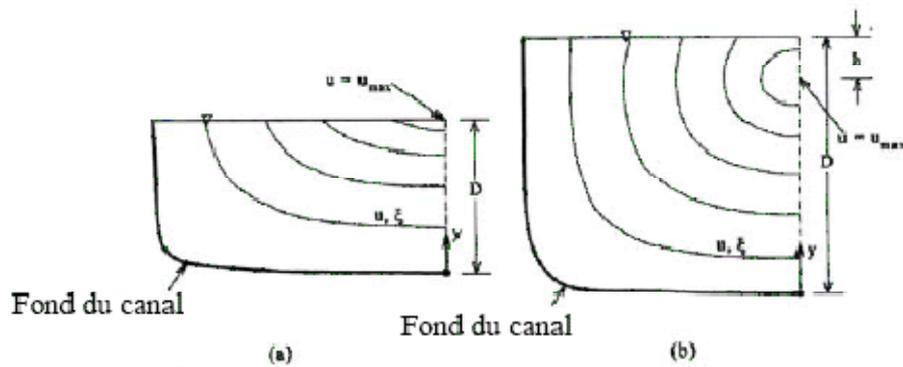


Figure (2,11) : Distribution des vitesses ⊗(a) $h \leq 0$, (b) $h \geq 0$, (Chiu et al., 1999).
 Dans le cas des sections irrégulières, ξ peut être exprimée comme une fonction de y , (Chiu et al., 1999) :

$$\xi = \frac{y}{D-h} \exp\left(1 - \frac{y}{D-h}\right) \quad (2,26)$$

D : la profondeur du tirant d'eau à la verticale y , y : la distance verticale à partir du fond du canal, et h : un paramètre qui a l'unité d'une longueur.

Si la vitesse maximale apparaît au dessous de la surface, h est considéré comme la profondeur où se produit la vitesse max (U_{\max}), et si U_{\max} se produit à la surface libre, h est considéré comme un paramètre qui décrit la pente du profil des vitesses au voisinage de la surface libre, il est choisi de telle sorte à ajuster convenablement le profil des vitesses dans le cas où la vitesse maximale se produit directement à la surface libre.

La relation entre la vitesse moyenne (U_m) et la vitesse maximale (U_{\max}) dans une section de mesure peut être décrite par (Chiu et al., 1995) :

$$U_m = \Phi(M)U_{\max} \quad (2,27)$$

$\Phi(M)$ est une fonction du paramètre d'entropie M (M est fonction de la probabilité $f(u/U_{\max})$), cette fonction est déduite par majoration de l'entropie (Chiu et al., 2006).

$$\Phi(M) = \frac{U_m}{U_{\max}} = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \quad (2,28)$$

Si $\Phi(M)$ est constante pour une même section de mesure, donc M l'est aussi et peut décrire le profile des vitesses suivant l'expression (2,25).

Pour appliquer cette méthode il suffit d'utiliser les données historiques de jaugeage pour déduire le paramètre « M », localiser la verticale où apparaît la vitesse maximale et déduire le model de section d'écoulement approprié en fonction de paramètres facilement et rapidement mesurables.

Moramarco et al (2008) ont essayé d'expliquer le paramètres d'entropie M en fonction de la classe du cours d'eau suivant la classification de Rosgen, pris comme cas d'étude quelques cours d'eau d'Italie et du bassin des Côtiers Algérois de cette présente étude, ils ont trouvé que pour les cours d'eau appartenant à une même classe tendent à avoir des paramètres d'entropie voisins.

Cette technique fut utilisée aux USA (Mississippi, Ohio, Alleghny) (Chiu et al,1999) et à Taiwan (Le Tanshui) (Chen et al.,2002) ainsi qu'en Italie (Tiber, Basento) (Moramarco et al.,2004) et a donné de très bons résultats.

Dans ce qui suit, on appliquera cette méthode sur quelque oueds du nord Algérien, situé dans le Côtiers Algérois.

Les oueds d'Algérie présentent pour leur majorité un régime d'écoulement très variable (secs en été, torrentiels en hiver) avec des taux très importants de sédiments charriés, surtout au début de la saison humide, ce qui rend l'entretien des sections de mesures aménagées très difficile, ajouter à cela le manque de moyens humains et matériels. Donc le recours à ce genre de méthodes alternatives est plus que nécessaire.

6- Conclusion :

La collecte de donnée est le premier maillon d'une chaîne qui abouti aux models explicatifs et représentatifs des différent paramètres du bassin hydrographique, telle la pluviométrie, les écoulements et le transport solide, donc s'il y a une faille au niveau du premier maillon, toute la chaîne risque de ne pas donner les résultats attendus en couverture et représentativité.

Pour cela nous nous somme axé dans ce chapitre sur les différentes techniques de mesure, parmi ceux la Méthode de Chiu, qui en plus de sa simplicité, présente d'énormes avantages pour simplifier les mesures et d'en augmenter la fréquence et la qualité de la mesure surtout en temps de crue, où la rapidité et l'efficacité est déterminante.

Ces avantages que présente la méthode, ont poussé la fameuse USGS, avec ces 7000 stations hydrométriques, d'introduire cette méthode dans ces protocoles de mesures, en utilisant les techniques dites non immersibles telle l'ADV et l'ADCP.

Les recherches se poursuivent toujours pour essayer de relier le paramètre d'entropie aux paramètres hydrauliques de l'écoulement, ce qui aidera cette méthode à se débarrasser du qualificatif d'abstraite qui la poursuis et empêche sa généralisation.

Dans le chapitre concernant l'application de cette méthode, on l'appliquera sur quelques cours d'eau, et on va démontrer son efficacité et sa simplicité, en espérant que cela peut contribuer à l'introduire dans les protocoles des mesures de l'ANRH, ce qui permettra à l'Algérie d'être parmi les pionniers dans ces nouvelles techniques.

1- Introduction :

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

2- Situation Géographique et Topographique :

Situé au Nord centre d'Algérie, il est limité au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par le bassin hydrographique des côtiers Constantinois, au sud par le bassin de la Soummam, l'Isser et le Cheliff qui le borde à l'Ouest aussi. Figure (3,1)

La limite sud est constituée principalement par la chaîne montagneuse de l'Atlas Tellien.

Le bassin des Côtiers Algérois est contenu entre les latitudes 36°1' et 36°58' Nord et entre les longitudes 5°6' et 0°7' Ouest. Il couvre une superficie de 11 972 km², et il est divisé par l'ANRH en vingt sous bassins hydrologique comme le montre la figure (3,2).

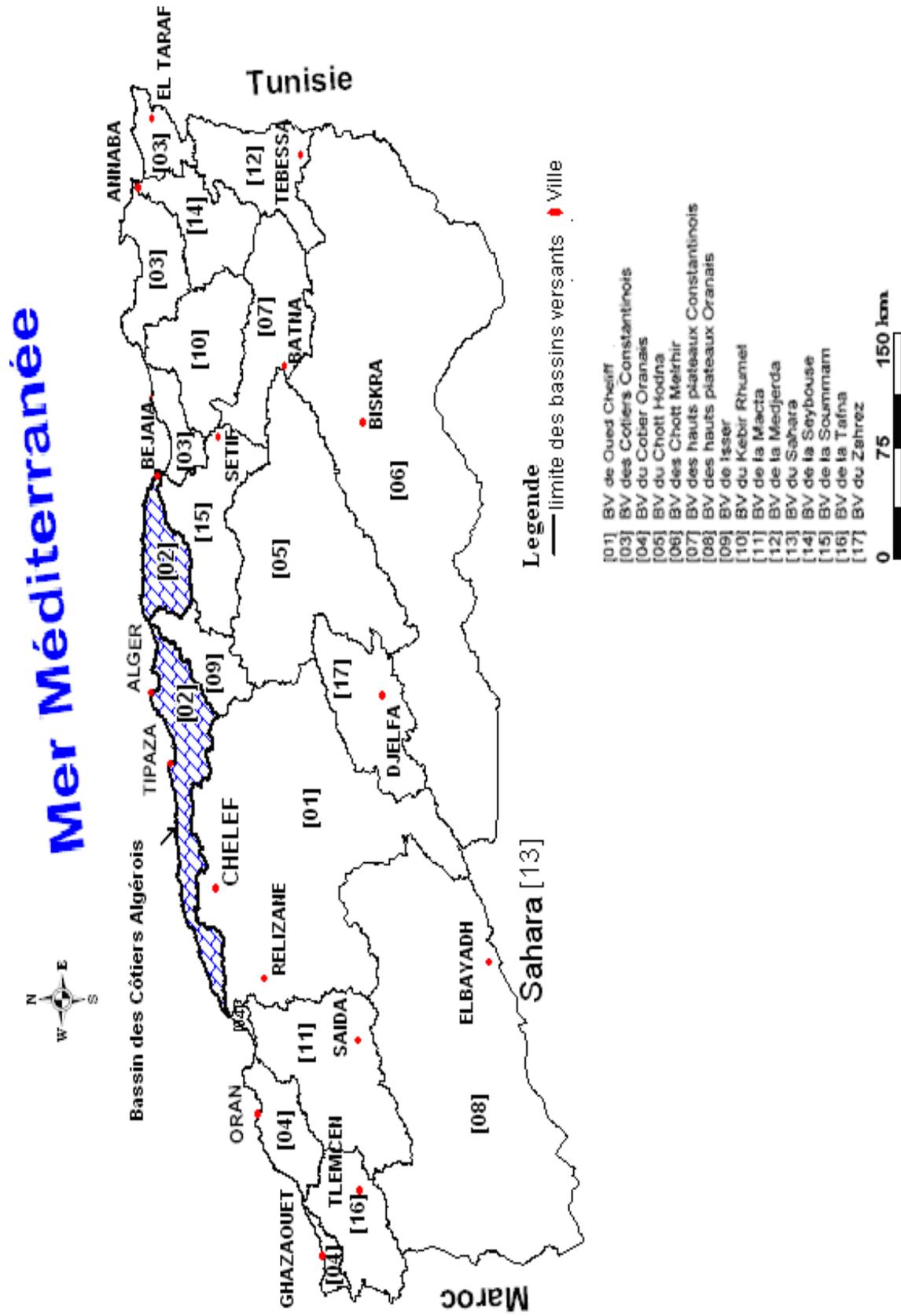


Figure (3,1) : Situation géographique de la zone d'étude (ANRH).

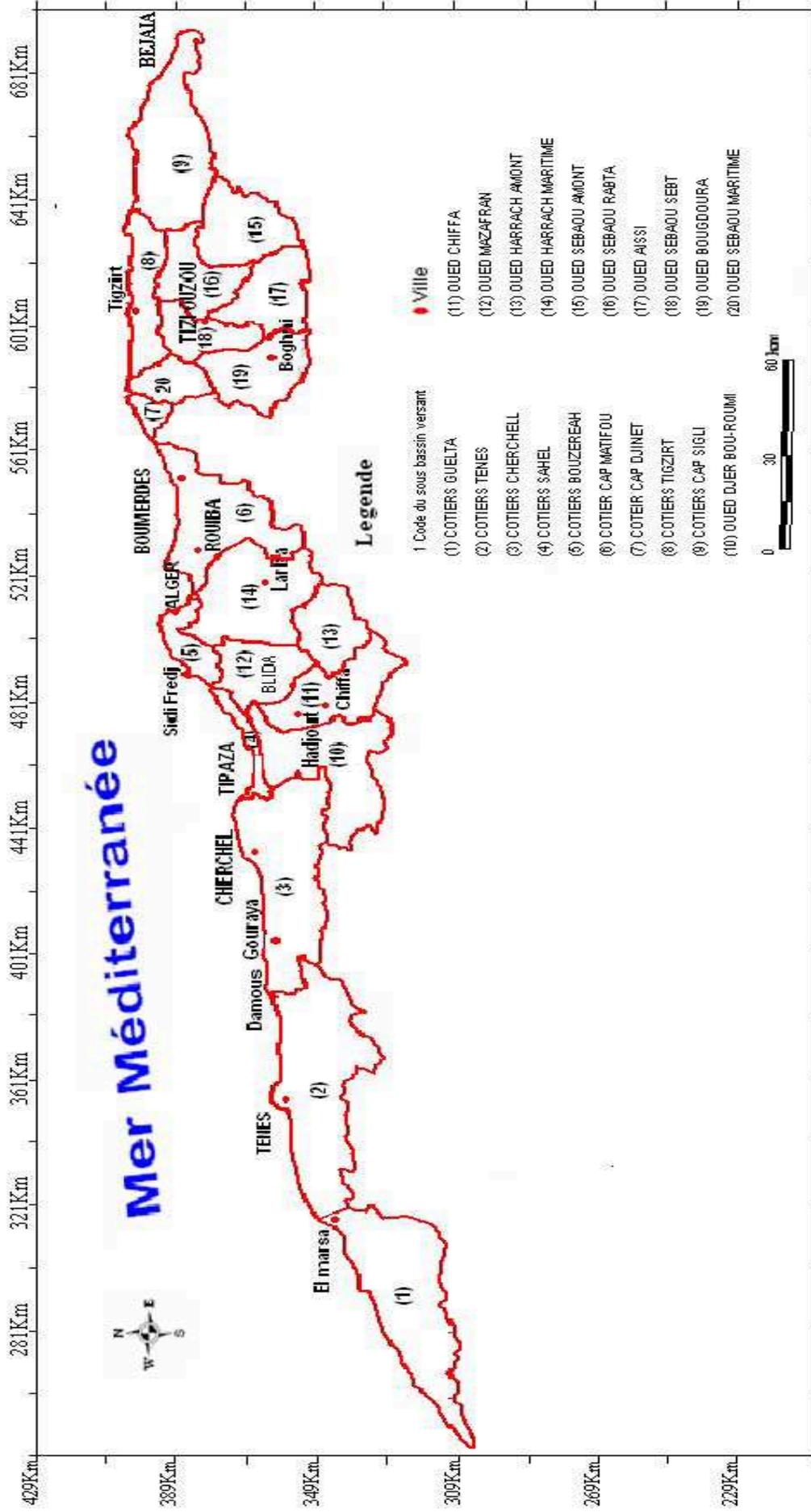


Figure (3,2) : Découpage du bassin hydrographique en sous bassins (ANRH).

Du point de vue relief, le bassin Algérois est bordé principalement au sur par les Chaînes montagneuses de l'Atlas Tellien où les altitudes dépassent facilement les 1000 m, comme Chréa (le refuge 1550m), ou le massif du Djurdjura (Lalla khedidja 2308m). A l'Ouest les Altitudes sont moins importantes que l'Est avec des Altitude de plus de 700m pour les hauteurs du Côtier Cherchell, ou 400 m pour les montagnes du Côtier Tenes. Toutes ces chaînes montagneuse ne laisse que moins de 20% de la superficie pour les plaines dont la plus importante est certainement la Mitidja avec ces 1400 km² de moins de 100m d'Altitude. Disposé au pied de l'Atlas Tellien, la Mitidja à reçu les alluvions charriés par les cours d'eau qui descendent vers la mer, ce qui lui donne le caractère de plaine Alluviale. Mis à part la Mitidja, le reste des plaines n'est qu'une fine bande aux abords de la côte.

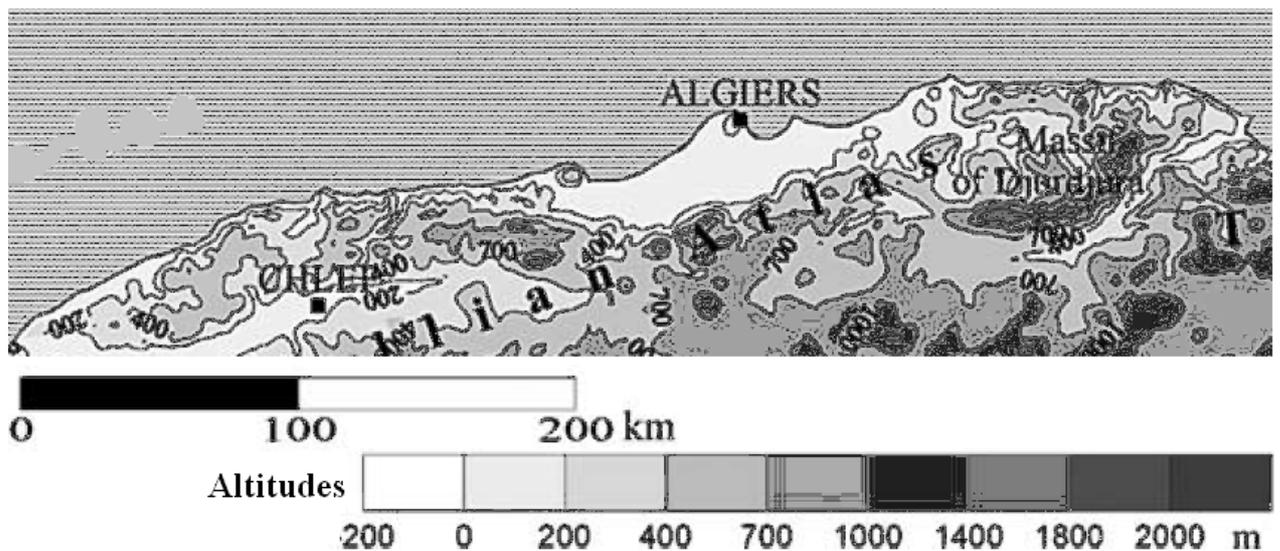


Figure (3,3) : Situation Topographique de la zone d'étude (Touazi et al, 2004)

La forme et le relief des bassins sont des facteurs essentiels dans le cycle hydrologique ; La forme du bassin versant est la configuration géométrique telle qu'elle est projetée sur un plan horizontal, elle influence le temps de réponse du bassin, c'est-à-dire le temps de parcours de l'eau à travers le réseau de drainage et par conséquent sur l'hydrogramme de crue (Bouanani,2005), quand au relief il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains,

l'infiltration, l'évaporation et même la puissance érosive de l'eau. Ce sont des éléments capitaux dans un processus hydrologique d'un bassin.

Les tableaux suivants résument les principales caractéristiques de forme et du relief des différents bassins drainés par les cours d'eau passant par les Vingt stations choisies pour l'étude et dont les emplacements seront définis ultérieurement avec précision.

Tableau (3,1) : Caractéristiques de formes des sous bassins du Côtiers Algérois.

Sou bassin	Oued	Station	Code	S (km ²)	P (km)	Rectangle Equivalent		Ic
						Long. (km)	Larg. (km)	
Oued Sebaou Maritime	Sébaou	Baghlia	02 2001	2390	200	60,5	39,5	1,14
Oued Sebaou Sebt	Sébaou	Belloua	02 1803	1490	155	42,2	35,3	1,12
Oued Aissi	Aissi	RN 30	02 1715	460	90	29,3	15,7	1,17
Oued Sebaou Rabta	Diss	Freha	02 1605	100	42	13,7	7,3	1,18
Oued El Hrrarach Maritime	El Hrrarach	Baraki	02 1418	970	143	53,3	18,2	1,28
Oued El Hrrarach Maritime	Djemaa	Gorges de Iarbaa	02 1402	130	47	14,6	2,05	1,15
Oued El Hrrarach Amont	El Hrrarach	Rocher des Pigeons	021301	387	75	19,7	19,64	1,06
Oued Mazafran	Mazafran	Fer à Cheval	021201	1900	185	61,7	30,89	1,19
Oued Chiffa	Chiffa	Amont des Gorges	021126	316	73	23,6	13,39	1,15
Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Attatba	021011	680	125	48,5	14,02	1,35
Oued Djer-Bouroumi	Djer	El Affroun	02 1007	395	90	33	11,97	1,27
Oued Djer-Bouroumi	Djer	Boumedfaa	021006	336	76	24	14	1,16
Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Tarzoute	02 1002	215	60	18,2	11,81	1,15
Côtier Cap Sigli	Daas	Cap Sigli	02 0917	208	57	16,21	12,82	1,11
Côtier Cap Sigli	S.A Youcef	Tifezouine	02 0916	220	58	17,85	12,32	1,09
Tigzirt	M'leta	Azeffoun	02 0808	35	27	10	3,5	1,27
Côtier Cap Matifou	Barek	Ouled Ali	02 0627	37	24	7	5,29	1,1
Côtiers Cherchell	Belah	Pont RN11	02 0323	55	18	10,39	5,29	0,68
Côtiers Cherchell	El Hachem	Borj Ghobrini	020301	215	65	21,5	10	1,24
Côtier Tenes	Oued allalah	Sidi Akacha	02 0207	295	78	28,7	10,28	1,27

Où :

- S : la superficie drainée.
- P : le périmètre du sous bassin.

- Rectangle équivalent : $Long. = \frac{Ic \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Ic} \right)^2} \right]$, $L arg. = \frac{S}{Long.}$

- Ic : l'indice de compacité, il est calculé par l'expression $I_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$

De l'indice de compacité, on déduit que la plupart des sous bassins sont plus ou moins allongés.

Tableau (3,2) : Caractéristiques du relief du bassin Algérois.

Sou bassin	Oued	Station	Altitudes (m)			I _{PR}	I _{PG} (%)
			Max.	Min.	Moy.		
Oued Sebaou Maritime	Sébaou	Baghlia	2305	20	590	0,17	3,78
Oued Sebaou Sebt	Sébaou	Belloua	2305	70	635	0,19	5,29
Oued Aissi	Aissi	RN 30	2305	80	655	0,21	7,59
Oued Sebaou Rabta	Diss	Freha	1278	130	8,38	0,26	8,38
Oued El Hrrach Maritime	El Hrrach	Baraki	1629	20	525	0,15	3,02
Oued El Hrrach Maritime	Djemaa	Gorges de Larbaa	1288	350	701	0,24	6,42
Oued El Hrrach Amont	El Hrrach	Rocher des Pigeons	1629	146	830	0,24	7,53
Oued Mazafran	Mazafran	Fer à Cheval	1629	10	446	0,26	2,65
Oued Chiffa	Chiffa	Amont des Gorges	1629	290	833	0,2	5,67
Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Attatba	1530	40	469	0,14	3,07
Oued Djer-Bouroumi	Djer	El Affroun	1530	100	513	0,18	4,33
Oued Djer-Bouroumi	Djer	Boumedfaa	1530	200	543	0,19	5,54
Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Tarzoute	1386	120	508	0,21	6,96
Côtier Cap Sigli	Daas	Cap Sigli	1050	0	381	0,21	6,3
Côtier Cap Sigli	S.A Youcef	Tifezouine	1100	35	405	0,2	5,8
Tigzirt	M'leta	Azeffoun	1278	12	522	0,33	12,66
Côtier Cap Matifou	Barek	Ouled Ali	832	67	323	0,29	10,92
Côtiers Cherchell	Belah	Pont RN11	736	25	254	0,22	6,84
Côtiers Cherchell	El Hachem	Borj Ghobrini	1417	14	387	0,22	6,65
Côtier Tenes	Oued allalah	Sidi Akacha	996	80	317	0,16	3,19

Où :

- I_{PR} : est l'indice de pente de Roche.
- I_{PG} : Indice de pente globale, il est égal à la dénivelée divisée par la longueur du rectangle équivalent.

On voit clairement sur le tableau précédent que le relief est assez fort à très fort, car la plupart des cours d'eau prennent leurs sources à des altitudes assez importantes et ne disposent pour la plupart que d'une bande de plaine assez étroite avant de rejoindre la mer.

3- Situation Climatique :

Le climat de la région est un climat type méditerranéen, pluvieux en hiver, sec en été avec une pluviométrie moyenne avoisinant les 900 mm par an, sauf que l'Est est beaucoup plus pluvieux que l'Ouest qui s'approche d'un climat semi-aride, comme le montre la carte pluviométrique de l'ANRH.

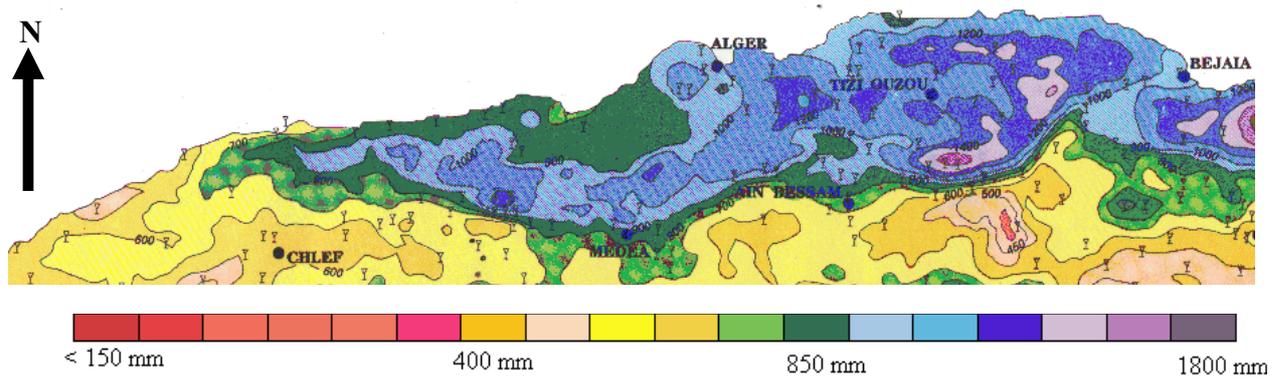


Figure (3,4) : Carte de la pluviométrie moyenne annuelle de la région d'étude (ANRH).

On voit clairement la prédominance de la couleur bleue sauf à l'extrême Ouest où le jaune apparaît du côté d'El Marsa. Donc le bassin des Côtiers Algérois a un potentiel pluviométrique assez important surtout à l'Est et au Sud Ouest d'Alger.

Les histogrammes des pluies moyennes mensuelles mettent en évidence le caractère de la région avec les hivers humides et les étés secs sauf quelques averses de saison.

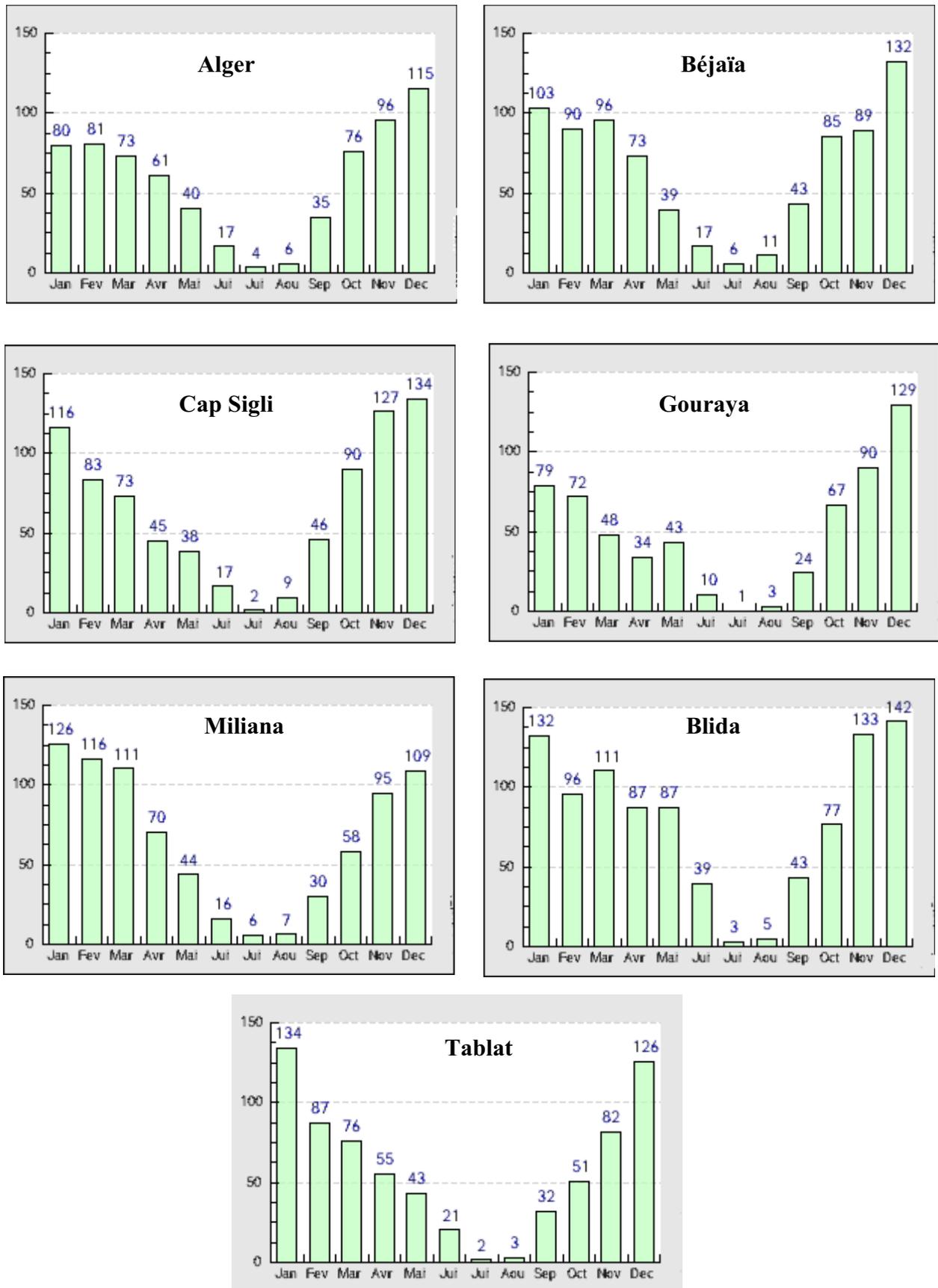


Figure (3,5) : Pluies moyennes mensuelles (en mm) de quelques stations du bassin Algérois (source : ONM).

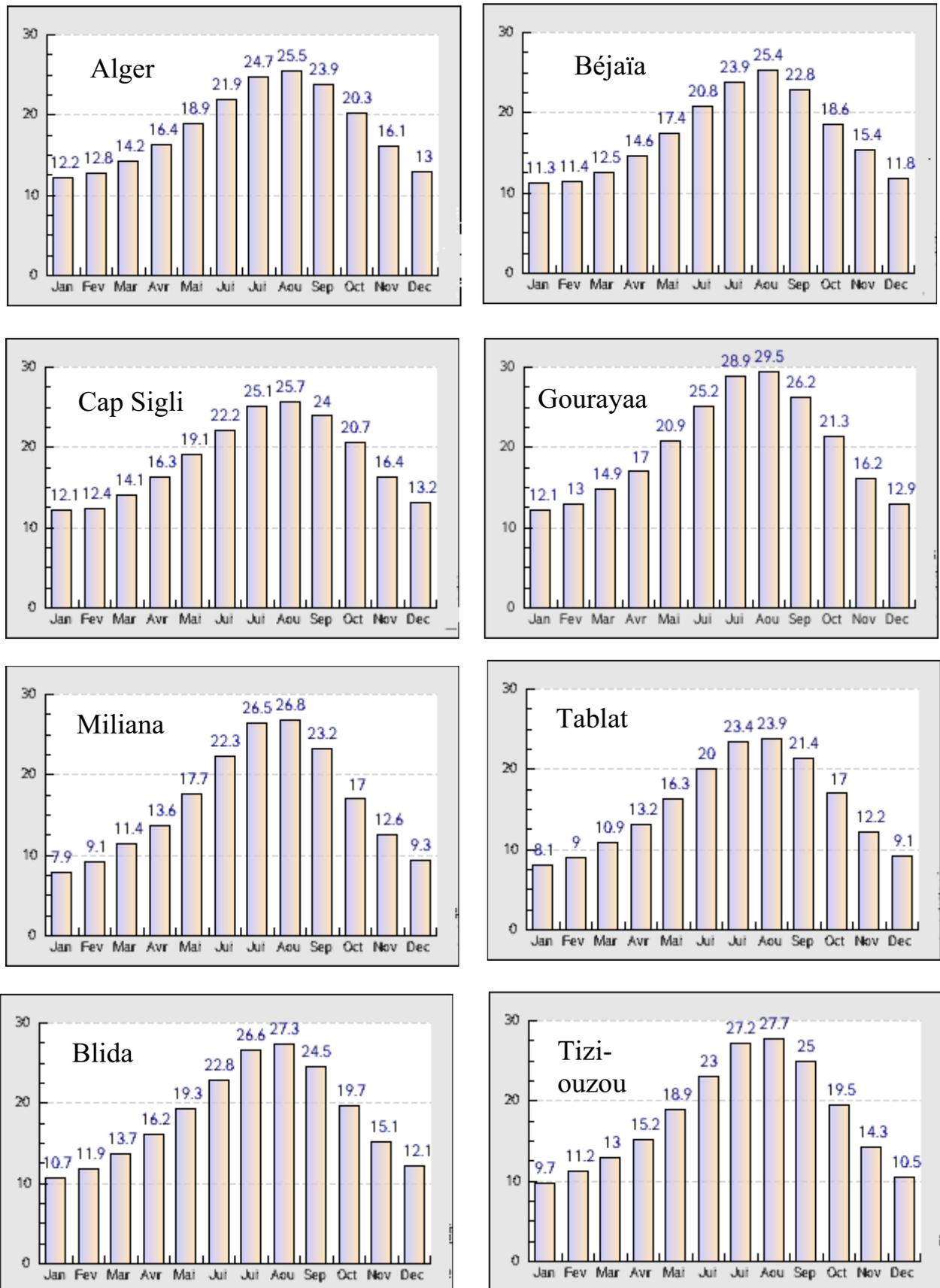


Figure (3,6) : Températures moyennes mensuelles (en °C). (Source :ONM)

Pour la température, le bassin est caractérisé par un climat assez doux, où les minima sont de l'ordre de 12°C à Alger, 10°C à Tizi ouzou, 10°C à Blida ou 8°C dans les hauteurs comme Miliana ou Tablat. Les températures maximales dépassent rarement les 30°C en moyenne en été.

Même modération pour l'humidité relative, où les quelques stations qu'on a donné sur le tableau suivant montrent une humidité assez moyenne à forte surtout dans les zones montagneuses où le couvert végétal est assez dense, comme les hauteurs de Médéa ou même à Tizi ouzou où la présence d'un plan d'eau de la taille du barrage de Taksebt a augmenté sensiblement l'humidité de la région.

Tableau (3,3) : Humidité (en %) relative de quelques stations de la région d'étude.

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Dellys	69	68	66	66	68	69	65	63	69	67	60	64
Mouzaïa	51,5	61	59	57	60,5	50	52	59	52	52	50	50
Médéa	82	77	71	70	65	53	46	50	63	68	78	83

Source (ONM)

4- Géomorphologie du bassin :

Le paysage de la région d'étude est diversifié, caractérisé par un relief montagneux très accidenté. Les grands ensembles morphologiques du bassin étudié sont décrits dans ce qui suit avec un complément de la description topographique.

a- Le sous bassin Côtier Ouest (Côtier Ténés)

Le massif de DAHRA occupe la partie Ouest du bassin. Il comprend la petite chaîne crétacée qui longe le littoral pour venir se jeter à l'embouchure de l'oued ALLALA. La zone des plateaux miocènes, qui la borde au Sud, vient contourner dans cette direction le massif montagneux.

La chaîne crétacée est assez monotone, couverte de hautes broussailles et de quelques bois de pins d'Alep. Son altitude peu élevée (500m) s'abaisse rapidement jusqu'à l'embouchure de l'oued ALLALA.

La majeure partie du bassin est occupée par le massif montagneux BNI BISSA. Cette région est délimitée à l'Ouest par la dépression miocène et la vallée de l'Oued BON CHARAL à l'Est et au sud par celle de l'Oued DAMOUS et de son affluent l'oued AMLIL. Elle comprend une vaste crête rocheuse dont l'altitude dépasse 1000m. Elle se poursuit vers l'Est par la petite chaîne des BNI AQUIL en s'abaissant rapidement et la crête et garde son caractère rocheux.

Tout au Nord, le CAP TENES est formé d'une masse calcaire rocheuse (700m) contraste par son aridité avec la zone gréseuse et boisée.

b- Le sous bassin Côtier Centre (Mitidja) :

Du Nord au Sud de la région de la Mitidja, regroupe trois ensembles géomorphologiques qui sont :

*** Le Sahel**

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

*** La plaine de la Mitidja :**

Au Sud du Sahel, elle s'étend sur une grande superficie, orientée WSW-ENE. Elle est limitée par l'Atlas Blidéen au sud et s'étend vers le NE jusqu'à Borj el Kifan et Aïn Taya. Son altitude moyenne varie de 50 à 100 m. La pente au niveau de la plaine tend vers zéro, ce qui favorise l'infiltration des eaux, là où les conditions géologiques le permettent, ainsi que les dépôts d'alluvions.

*** L'Atlas :**

La chaîne de l'Atlas forme sur 30 Kms environ une barrière continue où l'altitude moyenne est de 1400 m, certains sommets peuvent atteindre 1600 m. Les reliefs y sont escarpés et les oueds très encaissés. La pente atteint par

endroit 30 % ce qui favorise l'écoulement superficiel des eaux et augmente les risques d'érosion.

c- Le sous bassin Côtier Est (Sebaou)

Le grand bassin de Sébaou est limité au Nord par la chaîne littorale et au sud par le massif Kabyle. Cette double masse surélevée délimite un couloir étroit d'orientation générale Est-Ouest, formant la vallée de l'oued, qui s'étend d'Azazga à l'Est jusqu'au Dellys à l'Ouest.

On distingue ici trois unités morphostructurales :

*** La chaîne Djurdjura :**

Elle fait partie de la dorsale calcaire des Magrébins, elle délimite au Sud notre zone d'étude et elle représentée par un ensemble morphologique très compétant d'âge secondaire et tertiaire. Cette chaîne culmine au sommet de Lalla Khedidja (2308m) et au Ras Timedouine (2503m) sous forme d'un arc, très peu tendu et étroit qui s'achève à l'Est par un élément isolé, qui est le massif de Chellata.

*** Le massif de Kabylie :**

Morphologiquement, le massif de la grande Kabylie constitue un ensemble homogène, qui domine le bassin de Tizi-Ouzou au Nord et assure une transition de la chaîne du Djurdjura au sud. Il est limité à l'Est par l'affleurement des flysch du haut Sébaou et à l'Ouest par les flysch supra-kabyles.

Les sommets forment un bombement à grand rayon de courbure selon l'axe orienté Est-Ouest et les altitudes se relèvent d'Ouest 600m en Est 1278m.

Cet ensemble morphologique est caractérisé par des formations plus au moins tendres et compartimentées d'âges récents aux anciens.

C'est là qu'on voit se succéder les différents types d'érosions, allant du plus simple (ravinement plus simple) au plus complexe (mouvement de masse, éboulement, glissement).

* Le synclinal de Tizi-Ouzou :

C'est le seul matériel autochtone dans la région, représenté essentiellement par les grés et les limons du miocène "Post-nappe" (BenHassainne, 1980).

Dans sa partie médiane s'allonge une série de chaînons de socle aligné, que l'oued Sébaou traverse orthogonalement, il s'agit de :

L'alignement Nord :

- Massif de Naciria à l'Ouest ;
- Massif de Draà Karouche à l'Est ;

L'alignement Sud :

- Sidi Ali Bounab, Belloua à l'Ouest ;
- Massif d'Aïssa Mimoun à l'Est ;

A l'intérieur de cette cuvette, s'étale la plaine alluviale du Sébaou, qui se présente sous forme d'une bande étroite à fond plat, orientée E-W, constituée d'un remplissage alluvionnaire d'âge quaternaire.

5- Géologie du bassin :

Sur la carte géologique d'Algérie (Annexe I) on voit clairement une diversité géologique sur toute notre zone d'étude, chose qui influe largement sur les caractéristiques de chaque région dont l'érosion, qui est tributaire à un certain degré de la résistance que développe telle ou telle formation vis-à-vis de l'érosion hydrique, en plus de la répartition des écoulements. En effet, un bassin formé de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue aura en générale une densité de drainage faible, assurant une meilleure infiltration des eaux superficielles, par ailleurs un bassin formé de roche imperméables mais meuble est érodables, avec une végétation moyenne, présente souvent une densité de drainage élevée, ce qui favorise le ruissellement est augmenté le taux d'érosion (Chow, 1964).

Du côté du Sébaou on distingue l'unité tellienne de Dellys situé dans le secteur de Baghlia elle est constitué essentiellement

- De marnes intercalées de calcaires marneux (Turonien- Sémonien).
- De calcaires marneux à rares silex et calcaires silicifiés (Ypresien-lutitien inférieur).
- De marnes noires.

Du côté d'Azazga et Ain el Hammam, une formation d'olistostrome (Argiles à blocs) affleure, cette formation est constitué d'une matrice tendre (argileuse, marneuse ou pélitique).

Les formations poste nappe regroupent les terrains d'âge miocène et pliocène, le miocène occupe une grande zone synclinale entre Azazga et Dellys, où il présente des marnes puis des conglomérats qui se terminent par des marnes.

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

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

Sur la carte géologique si après, on peut voir que la Mitidja est composé essentiellement d'Alluvions perméables , ce qui signifie que cette zone est une zone de dépôts de sédiments charriés par les cours d'eau qui la traversent. On remarque aussi l'absence de formations résistantes, ce qui peut, associer à d'autres facteurs, engendrer un taux d'abrasion assez considérable, et la présence d'une telle plaine en est un témoignage. (Service de la carte géologique d'Algérie,1939).

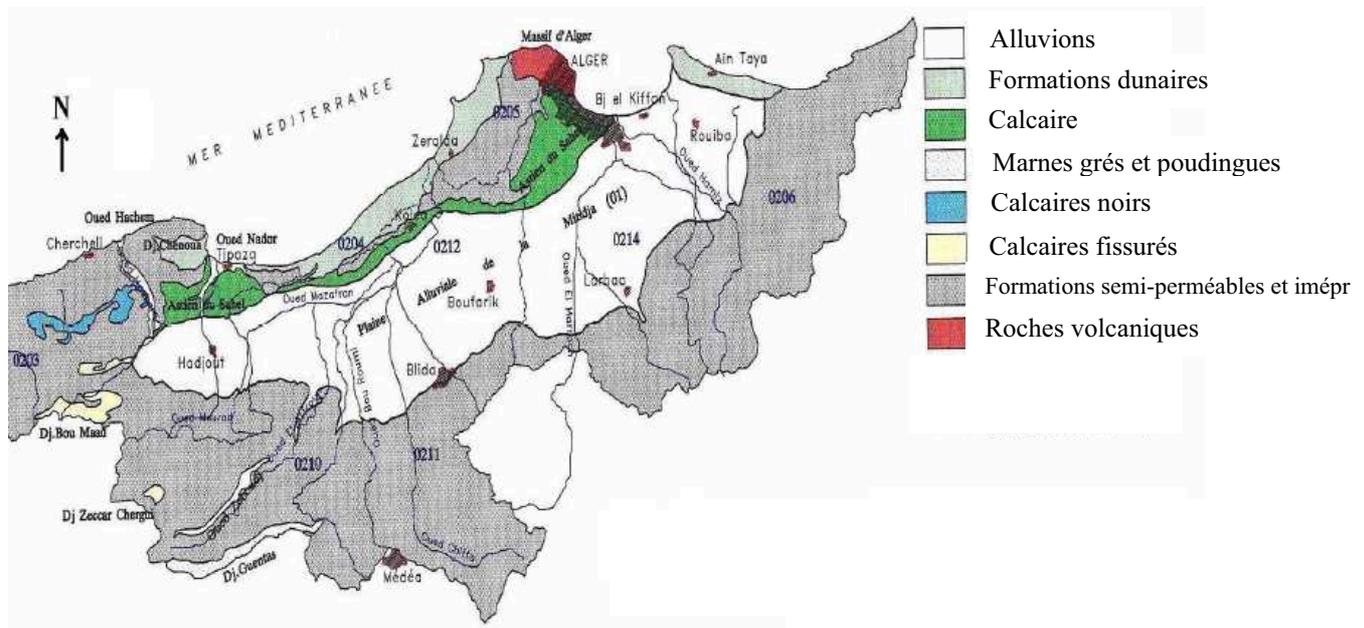


Figure (3,7) : Carte géologique du centre Algérois (Bennie et Partners,1983)

A l'Ouest du côté de Nador, le phénomène d'affaissement synclinale du bassin pendant le Miocène à été accompagné par l'apparition de roches volcaniques à la périphérique du bassin, notamment à la bordure sud. Le Pliocène marque la fin d'une période de sédimentation et le début du léger plissement de l'anticlinal du sahel lequel isole complètement la Mitidja. (COBA,1983).

6- Lithologie du bassin :

Dans ce qui suit on décrira la lithologie du bassin Algérois par sous bassins.

a- Côtier Tènes :

L'oued principal est Oued Allalah qui débouche à la station de Sidi Akacha à Tènes. Ce bassin est très érodé constitué à 73% d'Argiles helvétiennes, de marnes de catenien et de marnes schisteuses du crétaé supérieur. Les formations résistantes n'occupent que 17% de la superficie du bassin.

b- Côtiers Cherchell :

L'oued principal est oued El Hachem, jaugé par la station de Bordj Ghobrini. Le bassin est caractérisé par la présence de calcaires, grés,

schistes du miocène et du crétacé qui forment 69% du bassin, les formations érodables sont les marnes et argiles du crétacé supérieur et forment 16% du bassin.

c- Oued Bouroumi :

Les hauteurs de l'Oued Bouroumi à Tarzoute présentent une formation érodée, constituée à 71% de marnes et d'argiles du miocène supérieur et du crétacé supérieur. Les formations résistantes (grès et poudingues du miocène) occupent 10% de la superficie.

d- Oued Djer :

Oued Djer à El Affroun présente des formations résistantes de grès, de poudingues du carténien, et du calcaire du crétacé, du jurassique et du primaire, ces formations constituent 10% de la superficie.

Les formations érodables sont les marnes et argiles du miocène supérieur et du crétacé supérieur, elles représentent 50% de la superficie.

e- Oued Chiffa :

L'amont de Oued Chiffa à Amont des Gorges présente des formations résistantes de grès, poudingues du miocène supérieur, calcaire et schistes du crétacé inférieur, ces formations couvrent 14% de la superficie.

Les marnes schistoïdes et lentilles calcaires qui occupent 35% du bassin bénéficient d'un couvert végétal dense (Forêt de Djebel Mouzaïa), tandis que les marnes et argiles du miocène (30% de la superficie) qui dominent l'amont du bassin sont très dénudées et soumises à une forte érosion.

f- Oued El Harrach :

Oued EL Harrach amont à Hammam Melouane présente des formations résistantes de grès, poudingues du miocène, calcaire

marneux du crétacé moyen et des schistes du crétacé inférieur, ces formations constituent 54% du bassin.

Les formations érodables constituent 18% de la superficie, elles se composent de marnes schistoïdes, et d'argiles noires du miocène et du crétacé supérieur.

g- Cotier Cap Matifou :

Le bassin de Oued Boudouaou à Keddara présente des formations résistantes de grés, de calcaires de l'oligocène, de l'éocène, du crétacé inférieur et du lias, ainsi que des schistes du précambrien. Ces formations constituent 79% de la superficie.

Les formations érodables ne constituent que 12% de la superficie globale, elles se composent de marnes et d'argiles de l'oligocène et de l'éocène.

h- Sébaou :

Le bassin de l'oued Assif Tala à la RN25, présente des poudingues, des grés de l'oligocène et du calcaire du jurassique, ces formations constituent 37% de la superficie.

Quand aux formations érodables, elles constituent seulement 12% de la superficie, elles se composent principalement d'argiles de l'oligocène, de marnes de l'éocène moyen et du crétacé. (Demmak,1982).

7- Pédologie :

Le bassin Algérois connaît une diversité pédologique de même titre que la diversité géologique et lithologique, cette diversité se reflète sur le couvert végétal naturel et les cultures de chaque région.

On retrouve sur les zones côtières des lithosols sur des calcaires durs et grès calcaires durs aux environs de Tipaza à Bouharoune et des lithosols sur des gneiss dans la zone de Sidi Fredj. Sur le littoral entre Douaouda et Aïn Benian on retrouve des sols dunaires issues essentiellement d'apports éoliens.

Dans la zone d'Attatba à Koléa on trouve des sols limoneux sableux et des limons argilo-sableux. En bas des pentes de Bâinem, des limono-argilo-sableux assez caillouteux en surface. Les limons sableux se rencontrent souvent dans les sols rouges et bruns calcaire du côté de Hadjout à Attatba et du côté de Douera.

Les sols peu évolués d'apport alluvial sont très fréquents au voisinage des lits des oueds tels que le Mazafran ou le Nador. Les sols les plus répondus sont des sols rouges méditerranéen, et les sols bruns calcaires et les bruns méditerranéens. (ANRH,1983)

8- Couvert végétal :

La carte du couvert végétal ci après montre un couvert végétal assez dense dans le Sébaou surtout sur les maquis assez hauts, la densité diminue en se dirigeant vers l'Ouest.

Si on superpose cette carte sur la carte pluviométrique, on verra que la densité du couvert végétal suit exactement la pluviométrie, il est très dense dans les zones humides de plus de 850 mm/an et diminue progressivement.

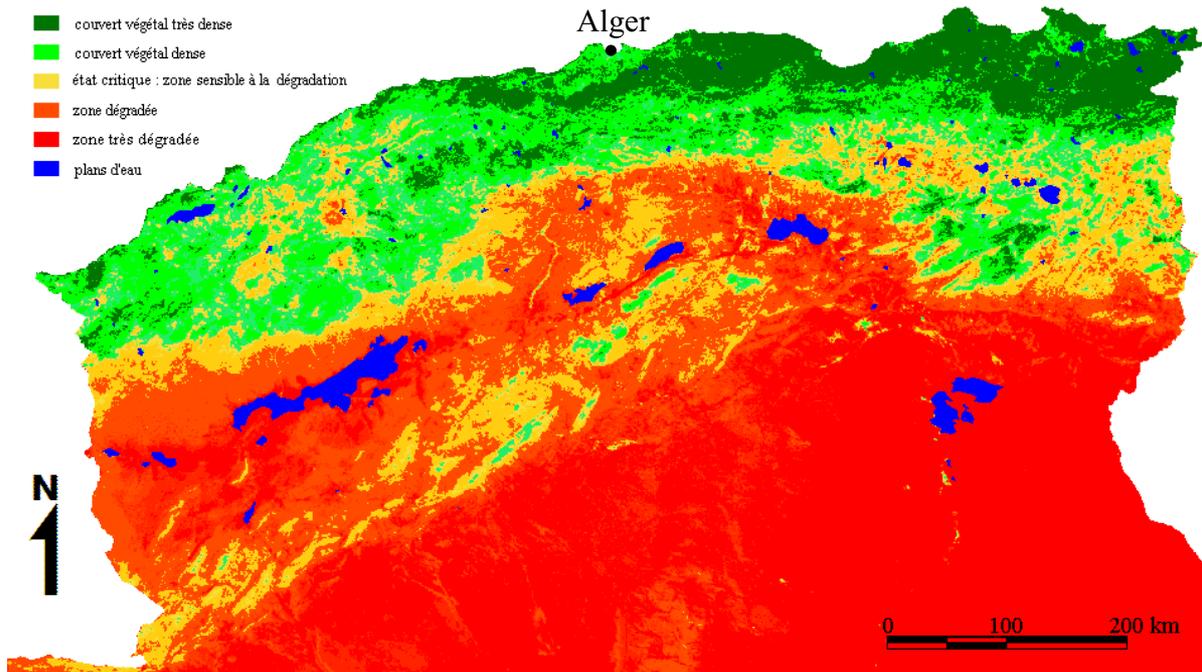


Figure (3,8) : Carte du couvert végétal d'Algérie.(Benslimane et al, 2008)

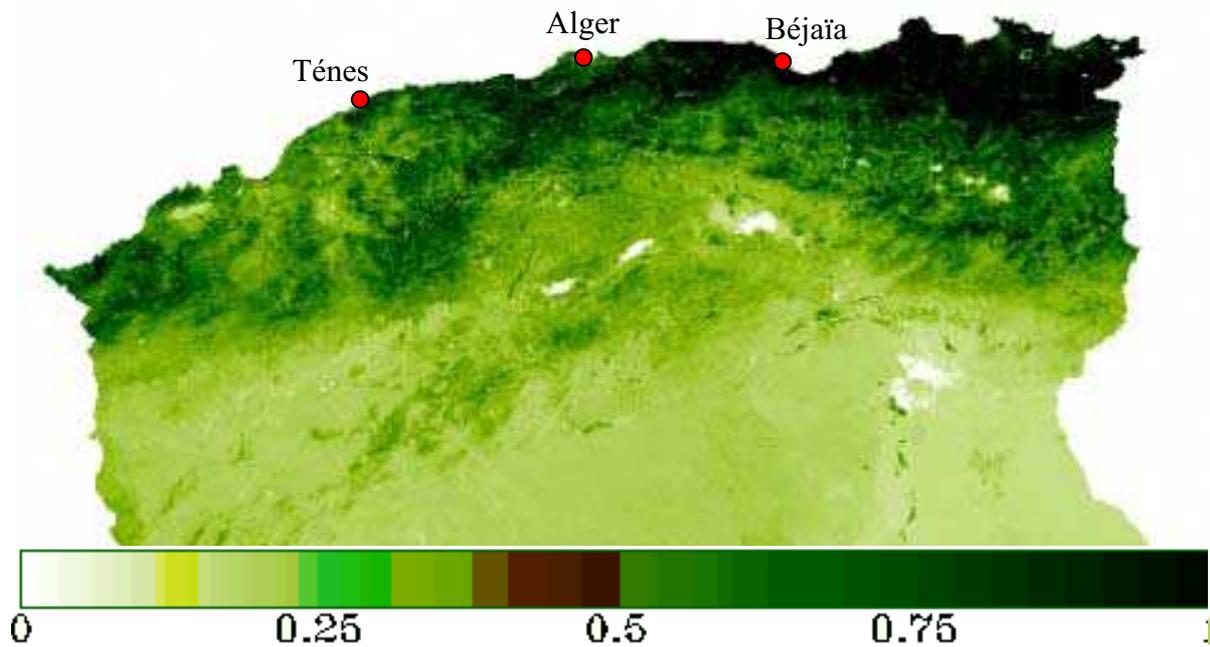


Figure (3,9) : Carte de l'indice de Végétation. (Benslimane et al, 2008)

LE couvert végétal se compose de maquis dense de feuille de résineux et de cultures (Annexe II). On voit que la zone la plus cultivée est la Mitidja d'une superficie de 140000 hectares, où les principales cultures sont les cultures maraîchères, les agrumes et les vignes, la région du Sébaou est aussi une région

agricole caractérisée par les cultures de montagnes, telles les vignes et l'arboriculture.

A l'Ouest de Tipaza, le couvert est moins dense à dégradé spécialement à cause de la diminution des précipitations par rapport à l'Est, et les cultures sont principalement maraîchères concentré sur la fine bande de plaine au voisinage de la côte.

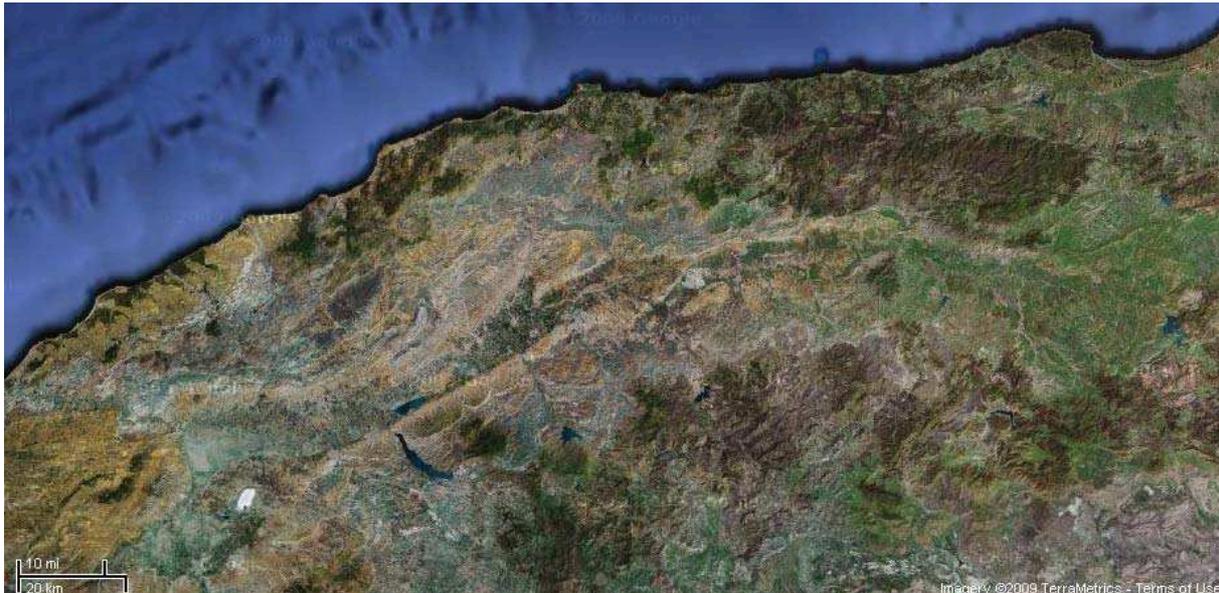


Figure (3,10) : Photo Satellite du Côtier Cherchell et Ténès.

La dernière décennie à été catastrophique pour la couverture forestière du pays, où près de la moitié de la couverture végétale du pays est partie en fumé spécialement lors des incendies de Août 2007, engendrant des conséquences graves surtout sur la dégradation des sols, spécialement dans le centre, où le parc national de Chréa a subis des dégâts considérables, ce qui est vite apparus par les éboulements sur la nationale N°1 qui à été fermée plusieurs fois à la circulation.

De cela, on constate qu'il faut actualiser les données relatives au couvert végétal qui restent assez anciennes, vu les évolutions récentes.

9- Hydrographie :

L'hydrographie est liée à plusieurs paramètres, les plus importants sont la géologie et le relief.

Le réseau hydrographique du bassin des Côtiers Algérois est assez développé surtout à l'Est dans le grand Sébaou. Les principales caractéristiques du réseau hydrographique sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau (3,4) : Caractéristiques du réseau hydrographique.

Sous bassin	Oued	Station	Code	$\sum L_i$ (km)	Dd (km/km ²)	C _t	L _T (km)	Tc (h)
Oued Sebaou Maritime	Sébaou	Baghlia	02 2001	6453	2,7	19,6	92	17
Oued Sebaou Sebt	Sébaou	Belloua	02 1803	5215	3,5	31,05	66	13,32
Oued Aissi	Aissi	RN 30	02 1715	1518	3,3	26,7	33	7,05
Oued Sebaou Rabta	Diss	Freha	02 1605	340	3,4	24,3	19	4,6
Oued El Harrach Maritime	El Harrach	Baraki	02 1418	2910	3	21,96	59	12
Oued El Harrach Maritime	Djemaa	Gorges de Larbaa	02 1402	650	5	73	15	4,54
Oued El Harrach Amont	El Harrach	Rocher des Pigeons	021301	2012	5,2	69,2	35	6
Oued Mazafran	Mazafran	Fer à Cheval	021201	5320	2,8	21	96	19
Oued Chiffa	Chiffa	Amont des Gorges	021126	1043	3,3	17,1	37	7
Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Attatba	021011	1768	2,6	15,6	65,6	13
Oued Djer-Bouroumi	Djer	El Affroun	02 1007	988	2,5	16	50	9,5
Oued Djer-Bouroumi	Djer	Boumedfaa	021006	840	2,5	16,5	30	8
Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Tarzoute	02 1002	731	3,4	22,8	42	8
Côtier Cap Sigli	Daas	Cap Sigli	02 0917	1144	5,5	54	27	6
Côtier Cap Sigli	S.A Youcef	Tifezouine	02 0916	1100	5	56,3	30	6,8
Tigzirt	M'leta	Azeffoun	02 0808	193	5,5	68,5	13	2,39
Côtier Cap Matifou	Barek	Ouled Ali	02 0627	104	2,8	15,4	14	3,54
Côtiers Cherchell	Belah	Pont RN11	02 0323	198	3,6	32,76	16	4,68
Côtiers Cherchell	El Hachem	Borj Ghobrini	020301	667	3,1	27,3	34	7
Côtier Tenes	Oued Allallah	Sidi Akacha	02 0207	1387	4,7	44,9	35	9,84

D_d : densité de drainage, C_t : Coefficient de torrentialité, L_T : Longueur du Talweg principale, $\sum L_i$: longueur du chevelu hydrographique.

L'Oued Sébaou est le plus important de la région avec ces apports considérables et sa longueur de 92 km, on trouve à sa rive droite un certain nombre d'effluents qui prennent source à la chaîne littorale du nord, parmi ceux il y a l'Oued Diss qui prend sa source au Djebel Tamgout à 1248m d'altitude et débouche sur le Sébaou au niveau de Fréha. Les effluents de la rive gauche ainsi que l'oued principal du Sébaou prennent source dans la chaîne du Djurdjura, le plus important des effluents est Oued Aïssi (sur lequel le barrage Taksebt est construit) qui prend source à 2000m d'altitude et relie le Sébaou au niveau de Belloua. Le Sébaou continue son avancée SSE-NNW pour se jeter en mer à l'Ouest de Dellys.

A l'Est on trouve Oued Boudouaou, plus à l'Ouest Oued Djemaa qui prend sa source sur les hauteurs de Larbaa à Tablat, ce dernier est un effluent de Oued El Harrach qui commence son parcours à plus de 1200m d'altitude sur les hauteurs du Rocher des Pigeons.

Dans la Mitidja on trouve aussi Oued Mazafran qui prend naissance aux environs d'Attatba après rencontre de Oued Djer et Bouroumi, pour être rejoint plus loin par Oued Chiffa au Sud Ouest de Koléa pour se jeter en mer à Douaouda. Le tracé de Oued Djer commence sur les hauteurs de Djebel Ganntas à environ 1500m d'altitude, quand à Bouroumi il commence sur les mont de l'Atlas Tellien à Djebel Ganntas au Sud de Djebel Mouzaïa à près de 1400m d'altitude. Pour Chiffa c'est au Nord de Ouzera qu'il apparaît à près de 1500m d'altitude.

A l'Ouest les principaux oueds sont Nador, Bourkika, El Hachem qui naît au pied de Djebel Bou Maad, Damous à Djebel Sidi Bernous, et Oued Allalah qui rejoint la mer à Ténés.

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

Le bassin Algérois possède six barrages d'une capacité de 628 Hm³ (ANBT) et une soixantaine de retenues collinaires destinées à l'irrigation d'un volume global de 9,69 Hm³ (ABH).

La carte suivante montre la répartition des retenues collinaires.

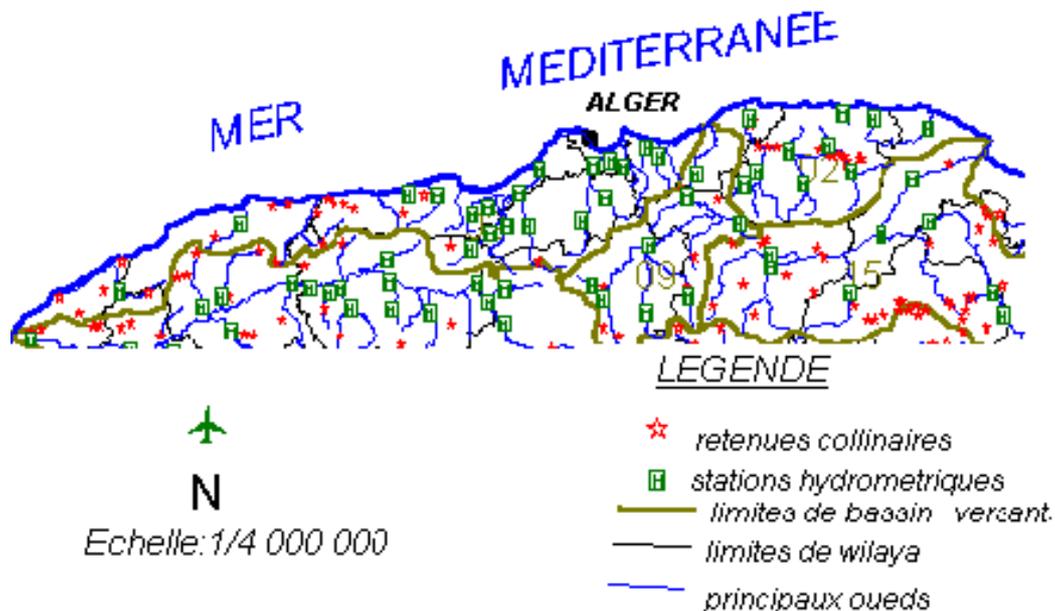


Figure (4,1) : Implantation des retenues collinaires.(ANRH)

Dans ce qui suit, on décrira les six barrages du bassin des côtiers Algérois.

Boukerdane

El Hamiz

Keddara

Taksebt



Figure (4,2) : Localisation des barrages.

1- Barrage Taksebt :

Le barrage Taksebt se trouve dans la wilaya de Tizi-ouzou, commune de Beni Aïssi, il collecte les eaux de Oued Aïssi qui est un effluent du Sébaou, il est destiné principalement à l'alimentation en eau potable des villes de Tizi-ouzou et Alger.

La construction du barrage a débuté en 1994 pour s'achever en 2001, c'est un barrage en terre de 94m de hauteur est de 515m de long.



Figure (4,3) : Digue du barrage.

Les Principales caractéristiques du barrage se résume dans ce qui suit (source ANBT) :

- Capacité initiale : 175 Hm³.
- Capacité au dernier levé (2004) :181,02 Hm³.
- Apport moyen annuel : 196 Hm³.
- Envasement moyen annuel : 0,27 Hm³/an.
- Surface du bassin versant : 448 km².
- Pluie moyenne annuelle : 960 mm.

La photo satellite suivante prise par GoogleEarth montre une cuvette assez allongée, situé dans une zone montagneuse accidentée.

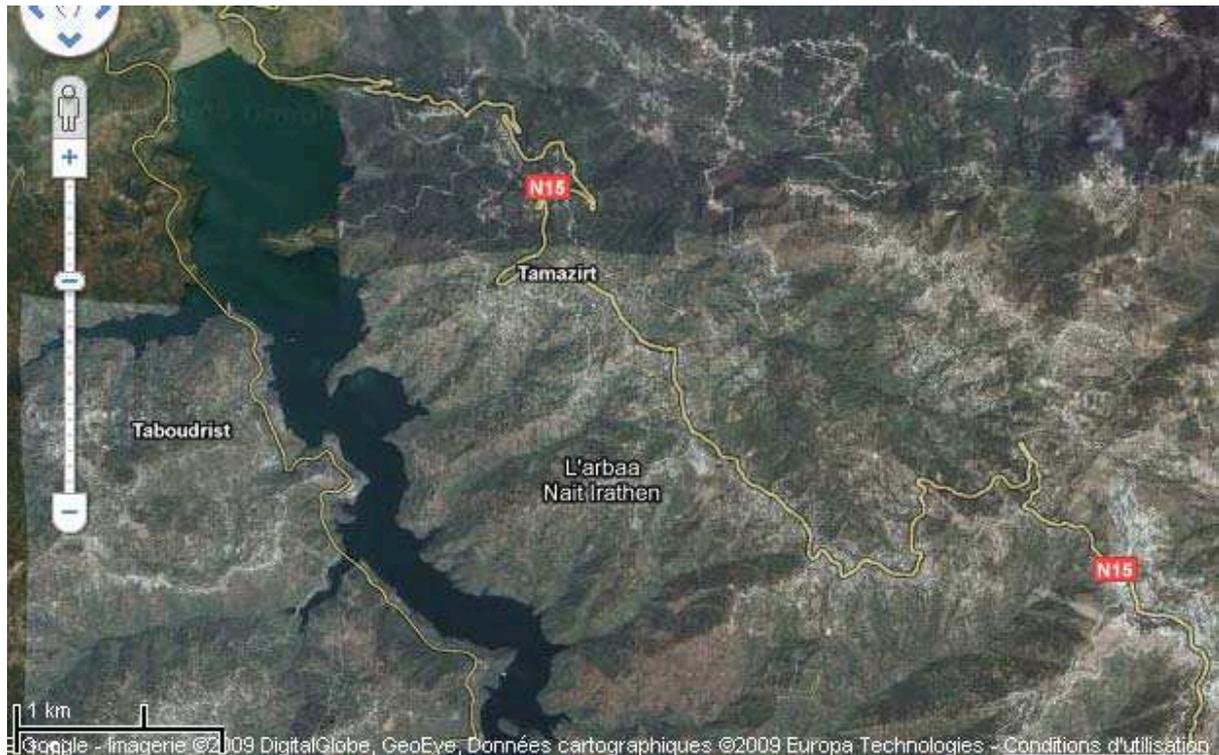


Figure (4,4) : Photos satellite du lac du barrage Taksebt.

Il est à noter que Taksebt est le seul grand barrage du Sébaou, ça capacité ne représente que près de 16% des apports moyens du Sébaou (ABH) ce qui est plus qu'insuffisant.

2- **Barrage Keddara :**

Le barrage Keddara est situé dans la wilaya de Boumerdés à 8km au Sud de Boudouaou, il ferme la vallée de oued Boudouaou à 300m en aval de la confluence des oueds Keddara et El Haad. Le remplissage de la retenue dépend du pompage des eaux de Beni Amrane , des eaux de dérivation du barrage El Hamiz et des apports de son propre bassin versant.

La construction a débutée en 1982 pour s'achever en 1986, c'est un barrage en terre dont la hauteur de la digue est de 106m sur une longueur de 468m, il est destiné principalement à l'AEP de la ville d'Alger.



Figure (4,5) : Digue du barrage Keddara.

Voici quelques caractéristiques du barrage (source ANBT) :

- Capacité initiale : $145,6 \text{ Hm}^3$.
- Capacité au dernier levé (2004) : $142,39 \text{ Hm}^3$.
- Apport moyen annuel : $32,3 \text{ Hm}^3$.
- Envasement moyen annuel : $0,05 \text{ Hm}^3/\text{an}$.
- Surface du bassin versant : 93 km^2 .
- Pluie moyenne annuelle : 880 mm .

La photo satellite, prise par GoogleEarth, du lac du barrage montre une retenue en V allongée, car il est construit à la confluence de deux oueds.

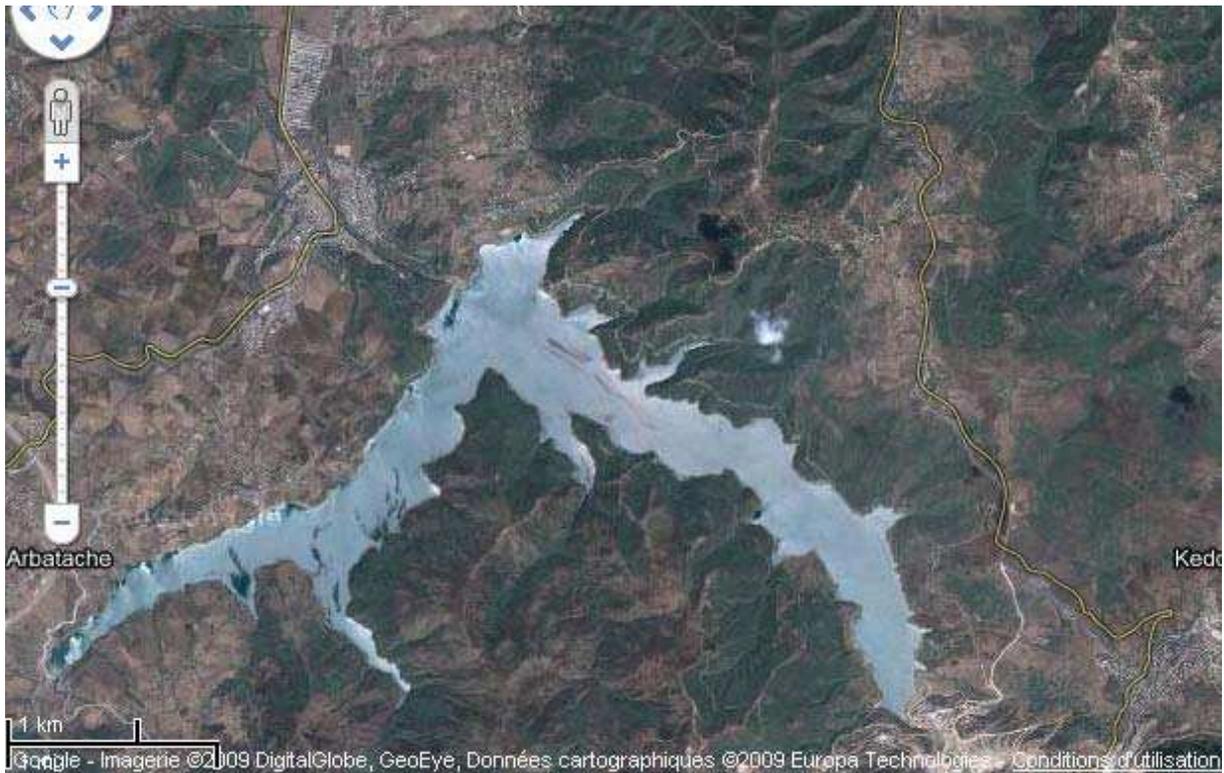


Figure (4,6) : Photos satellite de la cuvette du barrage Keddara.

3- **Barrage El Hamiz :**

El Hamiz est un petit barrage situé dans la wilaya de Boumedés à 6km au Sud Est de la ville de Khemis El Khachna. Il a été construit en 1879 sur l'Oued Arbatach et a subi une surélévation en 1935.

C'est un barrage Poids de 55m de hauteur et de 222m de longueur, il est utilisé pour le transfert des eaux vers Keddara via une galerie et pour l'irrigation d'une partie du périmètre Mitidja Est.

Les principales caractéristiques du barrage sont (source ANBT) :

- Capacité initiale : 14 Hm³.
- Capacité après surélévation : 21 Hm³
- Capacité au dernier levé (2004) :15,53 Hm³.
- Apport moyen annuel : 55 Hm³.
- Envasement moyen annuel : 0,35 Hm³/an.
- Surface du bassin versant : 139 km².



Figure (4,7) : Digue du barrage El Hamiz.

La photo satellite ci après montre une cuvette plus ou moins ramassée.



Figure (4,8) : Image satellite du lac du barrage El Hamiz (GoogleEarth).

4- Barrage Bouroumi :

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

La construction a débutée en 1979 pour s'achevée en 1985. C'est un barrage en terre de 98m de hauteur et 340m de longueur. En plus des eaux de son bassin il a été renforcé par la prise de Oued Chiffa qui transfert l'eau via une galerie.

Il est destiné principalement à l'irrigation des la Mitidja Ouest ainsi qu'a l'AEP de Boumedfaa, Hammam Righa et Alger.

Les principales caractéristiques du barrage sont (source ANBT) :

- Capacité initiale : 188 Hm³.
- Capacité au dernier levé (2004) : 181,96 Hm³.
- Apport moyen annuel : 26 Hm³.
- Envasement moyen annuel : 0,8 Hm³/an.
- Surface du bassin versant : 150 km².



Figure (4,9) : Barrage Bouroumi.

L'image satellite du lac du barrage montre une cuvette allongée dans une zone peu végétarisée.



Figure (4,10) : Image satellite du lac du barrage Bouroumi
(GoogleEarth)

5- **Barrage Meurad :**

Le barrage Meurad est situé dans la wilaya de Tipaza sur l'oued Boudjebroun à 10 km au Sud de la ville de Hadjout, il a été construit en 1852 pour être mis en eau en 1861, c'est un barrage en terre de 30m de haut et 106m de long, destiné principalement à l'irrigation.

Les principales caractéristiques du barrage sont (source ANBT) :

- Capacité initiale : 1,2 Hm³.
- Capacité au dernier levé (2004) : 0,2 Hm³.
- Apport moyen annuel : 1,5 Hm³.
- Envasement moyen annuel : 0,005 Hm³/an.
- Surface du bassin versant : 18 km².

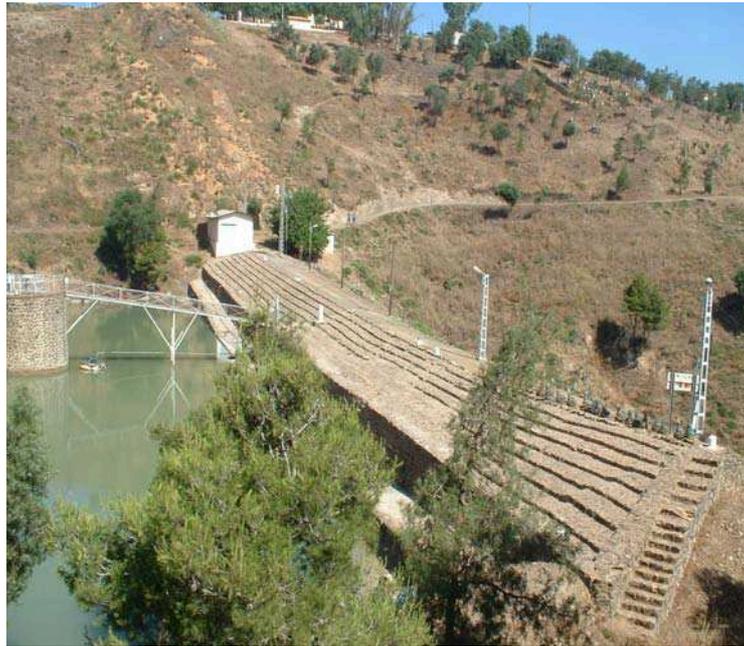


Figure (4,11) : Digue du barrage Meurad.

6- **Barrage Boukerdane :**

Le barrage Boukerdane est implanté sur Oued El Hachem dans la wilaya de Tipaza à 1km au sud de la ville de Sidi Amar, la construction a débutée en 1986 pour s'achever en 1992. C'est un barrage en terre de 74,41m de hauteur et de 609,98m de longueur, il reçoit les eaux du bassin de oued El Hachem en plus des eaux de Oued Nador à partir d'une prise d'eau, qui peut transférer 20 Hm³ en période de crues. Il est destiné à l'AEP des villes de Cherchell Tipaza et Alger en plus de l'irrigation du périmètre Mitidja Ouest.

Les principales caractéristiques du barrage sont (source ANBT) :

- Capacité initiale : 97 Hm³.
- Capacité au dernier levé (2004) : 104,99 Hm³.
- Apport moyen annuel : 35 Hm³.
- Envasement moyen annuel : 0,21 Hm³/an.
- Surface du bassin versant : 156 km².



Figure (4,12) : Digue du barrage Boukerdane.



Figure (4,13) : Image satellite du lac du barrage Boukerdane (GoogleEarth).

En voit sur l'image satellite un lac allongé ayant une forme d'Y entouré de parcelles agricoles dont les sillons sont dirigés vers la cuvette ce qui augmente plus la quantité de sédiment qui migrent vers la cuvette.

Conclusion :

L'inventaire des barrages en exploitation montre un net déficit de stockage, car pour un apport moyen qui avoisine les 1500 Hm³/an , le bassin ne dispose que de 628 Hm³ de capacité de stockage, donc un déficit de 60% qui augmente en période humide, ce déficit est important encore au Sébaou où le déficit de stockage atteint les 85%.

En ce qui concerne l'envasement, le problème n'est pas assez critique, car la plupart des grands barrages sont récents, mais il est nécessaire de prendre ce problème au sérieux afin de préserver la capacité de stockage actuelle, et d'atténuer le taux d'envasement annuel surtout pour le barrage Bouroumi.

1. Introduction :

La pluviométrie est un axe très important du cycle de l'eau, qui conditionne non seulement l'écoulement liquide dans les cours d'eau, mais aussi le taux de transport solide en plus d'autres facteurs bien sûr.

Mais, contrairement aux paramètres proprement physiques permettant une interprétation seulement qualitative du comportement hydrologique des bassins, les précipitations et les facteurs climatiques dans leur ensemble, variables aléatoires dans le temps et l'espace, permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large (Bouanani, 2004).

Ce chapitre sera consacré à l'étude de la pluviométrie dans le grand bassin hydrographique Algérois, afin de pouvoir ajouter un paramètre important du phénomène de transport solide dans la région.

Quelle que soient les données de départ, on constate bien souvent des anomalies dans les séries pluviométriques, il est pratiquement toujours nécessaire de faire une étude critique avant toute utilisation (Laborde, 2003).

Toutes les données sélectionnées seront vérifiées du point de vue existence d'anomalies ou hétérogénéités, afin de combler ensuite les lacunes et reconstituer les séries afin d'avoir des données complètes et homogènes.

2. Données pluviométriques :

Le bassin des Côtiers Algérois comprend au total près de 76 stations pluviométriques (ANRH), parmi elles des stations qui sont hors service depuis longtemps et d'autres stations qui présentent de longues périodes de discontinuités ainsi que beaucoup de lacunes. Travailler sur ces stations peut avoir un effet négatif sur la qualité de l'information pluviométrique.

A partir de cela on a choisi 42 stations ayant des données qui s'étalent sur 32 ans, de 1975 à 2006, qui est une période assez récente, et qui peuvent être confrontées aux écoulements liquides pour dégager les coefficients d'écoulement.

Les 42 postes pluviométriques assurent une moyenne d'une station pour 285 km², les stations retenues sont listées dans le tableau suivant :

Tableau (5,1) : Stations pluviométriques retenues.

N°	Sous bassin	Nom station	Code station	X (km)	Y (km)
1	Oued Sebaou Maritime	BAGHLIA VILLAGE	22002	603,7	390
2	Oued Bougdoura	TIZI LETNINE	21911	606,9	356,1
3	Oued Bougdoura	BOGHNI	21903	612,6	361,2
4	Oued Bougdoura	DRAA EL MIZAN	21902	6009	359,2
5	Oued Bougdoura	TIZI MEDENE	21901	611,7	358,4
6	Oued Sebaou Sebt	BOUASSEM M.F.	21801	620	371,5
7	Oued Sebaou Sebt	DRAA BEN KHEDDA	21804	615,2	382,5
8	Oued Sebaou Sebt	LARBAA MAKOUDA	21805	622,7	390,2
9	Oued Aissi	LARBAA NATH IRATHEN	21705	634,9	370,8
10	Oued Sebaou Rabta	BERBER (ex S. EL HAD)	21607	639,4	391,8
11	Oued Sebaou Rabta	FREHA	21603	641,9	383,5
12	Oued Sebaou Rabta	AGHRIBS (Adrar)	21601	645,1	391,3
13	Oued Sebaou Amont	AZAGA ECOLE	21504	649,3	383,9
14	Oued Sebaou Amont	DJEMAA SAHARIDJ	21503	641,7	377,8
15	Oued Sebaou Amont	AIT AICHA	21509	661,8	373,9
16	Oued El Hrarrach Amont	LA PASSERELLE	21307	528,1	352,1
17	Oued El Hrarrach Maritime	ALTAIRAC	21443	525,4	375,3
18	Oued Mazafran	FER A CHEVAL	21201	509,9	373,2
19	Oued Mazafran	OUED EL ALLEUG	21210	508,5	361,8
20	Oued Chiffa	EL HAMDANIA	21115	506,2	340,4
21	Oued Chiffa	PRISE DE MEDEA	21102	506	337,35
22	Oued Chiffa	RN4 CHIFFFA	21105	502,1	357,6
23	Oued Djer-Bouroumi	ATTATBA CAVE	21022	495,5	363,1
24	Oued Djer-Bouroumi	BOUMEDFAA MF	21017	480,1	341,2
25	Oued Djer-Bouroumi	OUED ZEBOUDJ	21014	468,1	334,8
26	Côtier Cap Sigli	TAGMA PEPINIÈRE	20909	660,3	382,9
27	Côtier Cap Sigli	YAKOURENE	20902	655,2	382,1
28	Côtier Cap Matifou	PONT D9	20629	556,4	373
29	Côtier Cap Matifou	REGHAIA	20632	557,8	382,3
30	Côtier Cap Matifou	OULED ALI	20627	553	371,7
31	Côtier Bouzaréah	MAHELMA FERME	20511	517	376,9
32	Côtier Sahel	FOUKA MARINE	20405	504,1	374,4
33	Côtier Sahel	AIN TAGOURAIT	20403	492,1	366,9
34	Côtiers Cherchell	BELLAH RN 11	20319	458,8	367,6
35	Côtiers Cherchell	SIDI GHILES	20313	448,9	364,8
36	Côtiers Cherchell	BORDJ GHOBRI	20301	460,5	367,1
37	Côtiers Cherchell	GOURAYA	20315	429,3	363,8
38	Côtiers Cherchell	DJEBABRA	20307	476,3	343,9
39	Côtiers Cherchell	MEURAD BARRAGE	20306	473,8	349,9
40	Côtier Tenes	SIDI-KKACHA	20211	372,3	354,1
41	Côtier Tenes	DAMOUS	20203	411,2	361,3
42	Côtier Tenes	TENES	20205	376,1	360,8

Suivant la méthode expliquée par Laborde (2003), si on a dans une années neuf mois de données sur douze, on admet que la fréquence de la données manquante est la même observée dans le poste le plus proche (coefficient de corrélation mensuel voisin de celui du poste le plus proche).

Soit un poste X non observé pour l'année i et le mois j, la méthode consiste à approcher la donnée inconnue X(i,j) par celle calculée x(i,j) comme suit :

$$x(i, j) = mx(j) + sx(j)(Y(i, j) - my(j))/sy(j) \quad (5,1)$$

mx(j): moyennes des pluies observées à la station X pour le mois j.

my(j) : moyennes des pluies observées à la station Y pour le mois j.

sx(j) : écart type des pluies observées à la station X pour le mois j.

sy(j) : écart type des pluies observées à la station Y pour le mois j.

Y(i,j) : pluie de l'année i et du mois j de la station Y.

b- Comblement des lacunes à l'échelle annuelle :

Parmi les méthodes qui existent pour le comblement de lacunes à l'échelle annuelle, celle basée sur le principe d'ACP (Analyse en Composantes Principales) parait la plus fiable.

L'Analyse en Composantes principales (ACP) fait partie du groupe des méthodes descriptives multidimensionnelles appelées méthodes factorielles. Ces méthodes qui sont apparues au début des années 30 ont été surtout développées en France dans les années 60, en particulier par Jean-Paul Benzécri qui a beaucoup exploité les aspects géométriques et les représentations graphiques. L'ACP propose, à partir d'un tableau rectangulaire de données comportant les valeurs de p variables quantitatives pour n unités (appelées aussi individus), des Représentations géométriques de ces unités et de ces variables. Ces données peuvent être issues d'une procédure d'échantillonnage ou bien de l'observation d'une population toute entière. Les représentations des unités permettent de voir s'il existe une structure, non connue a priori, sur cet ensemble d'unités (Duby,

2006), cette structure nous permettra de combler les vides des observations absentes.

En suivant les étapes de la méthode expliquée par Laborde (2003), on a pu reconstituer les données des années manquantes, avant de reconstituer plus tard la totalité des données moyennant les vecteurs régionaux.

5. Ajustement des précipitations à une loi de probabilité :

Afin de cerner les irrégularités interannuelles des pluies de notre zone d'étude, on essaiera de trouver une loi d'ajustement adaptée à chaque station, et de déterminer les pluies relatives à divers périodes de retours.

Le traitement des données de toutes les stations a permis de constater qu'elles suivent une loi log-normale pour la totalité des stations, ce qui est confirmé par Touazi et Laborde (2004), qui ont constatés que les pluies du Nord Algérien obéissent en générale à une loi log-normal.

La figure suivante illustre quelques stations ajustées suivant la loi log-normale, l'ensemble des stations sont représentés en Annexe (III).

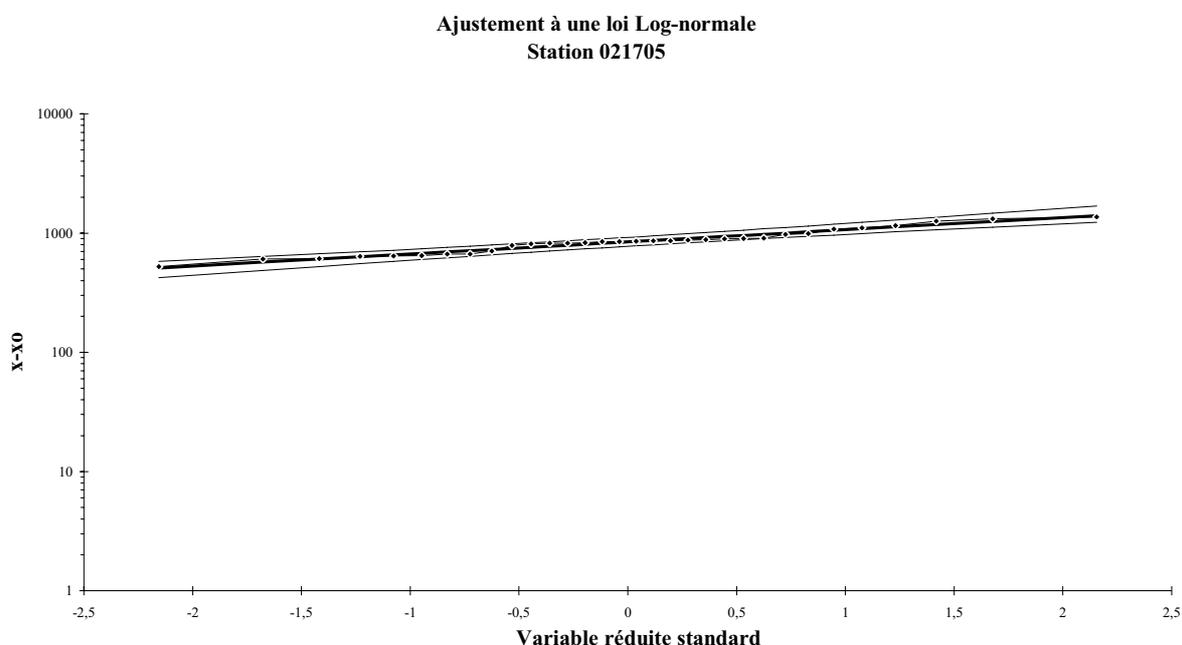


Figure (5,2) : Ajustement des pluies moyennes annuelles à une loi log-normale.

Le tableau suivant illustre les pluies moyennes, décennales, centennales et milléniales de l'ensemble des stations.

Tableau (5,2) : Pluies annuelles.

N°	Nom station	Code station	P Moyenne (mm)	P Décennale (mm)	P Centennale (mm)	P Millénaire (mm)
1	BAGHLIA VILLAGE	22002	718	920	1147	1348
2	TIZI LETNINE	21911	635	857	1122	1367
3	BOGHNI	21903	674	900	1168	1412
4	DRAA EL MIZAN	21902	661	883	1145	1385
5	TIZI MEDENE	21901	702	927	1189	1425
6	BOUASSEM M.F.	21801	821	1063	1338	1584
7	DRAA BEN KHEDDA	21804	685	918	1194	1447
8	LARBAA MAKOUDA	21805	779	1039	1346	1626
9	LARBAA NATH IRATHEN	21705	867	1139	1455	1740
10	BERBER	21607	964	1308	1723	2107
11	FREHA	21603	706	945	1228	1488
12	AGHRIBS (Adrar)	21601	1027	1362	1753	2109
13	AZAGA ECOLE	21504	896	1175	1496	1785
14	DJEMAA SAHARIDJ	21503	786	1010	1261	1484
15	AIT AICHA	21509	996	1294	1634	1937
16	ALTAIRAC	21443	536	730	963	1180
17	LA PASSERELLE	21307	717	995	1344	1674
18	FER A CHEVAL	21201	516	724	988	1240
19	OUED EL ALLEUG	21210	570	745	947	1128
20	EL HAMDANIA	21115	904	1229	1621	1984
21	PRISE DE MEDEA	21102	708	988	1338	1669
22	RN4 CHIFFFA	21105	530	717	943	1152
23	ATTATBA CAVE	21022	561	751	977	1185
24	BOUMEDFAA MF	21017	483	653	855	1041
25	OUED ZBOUDJ	21014	525	708	925	925
26	TAGMA PEPINIÈRE	20909	1167	1524	1934	2301
27	YAKOURENE	20902	1109	1467	1885	2264
28	PONT D9	20629	585	856	1217	1573
29	REGHAIA	20632	578	844	1196	1542
30	OULED ALI	20627	584	795	1049	1286
31	MAHELMA FERME	20511	578	739	917	1074
32	FOUKA MARINE	20405	553	739	960	1162
33	AIN TAGOURAIT	20403	505	685	901	1102
34	BELLAH RN 11	20319	519	707	934	1145
35	SIDI GHILES	20313	544	717	919	1102
36	BORDJ GHOBRINI	20301	500	678	893	1092
37	GOURAYA	20315	531	705	907	1091
38	DJEBABRA	20307	647	898	1212	1510
39	MEURAD BARRAGE	20306	610	800	1019	1216
40	SIDI-AKACHA	20211	507	662	839	999
41	DAMOUS	20203	513	690	902	1096
42	TENES	20205	479	653	864	1061

On remarque qu'en générale, les pluies moyennes annuelles décroissent de l'Est vers l'Ouest ; de 1167mm à Tagma, jusqu'à 479mm à Ténès, donc on peut dire que notre bassin se scinde en deux parties une à l'Est d'Alger pluvieuse, et l'autre à l'Ouest moins pluvieuse.

6. Construction des vecteurs régionaux :

6. 1- Définition :

La méthode des vecteurs régionaux, mise au point par Hiez et Cochouneau, permet la détection des données pluviométriques douteuses, et éventuellement leurs correction suivant le principe de pseudo proportionnalité des séries pluviométriques entre postes géométriquement voisins ; elle représente une aide précieuse à la régionalisation, car les vecteurs ainsi constitués déterminent des régions pluviométriques au comportement homogène (Descroix, 2001).

Le vecteur régional a pour but de définir un vecteur fictif caractéristique d'un ensemble de vecteur de vecteurs (stations), ce vecteur fictif est considéré comme représentatif de l'ensemble de la région, et pourra être utilisé comme vecteur de base pour le control individuel des vecteurs de la région.

Pour notre cas on regroupera toutes les données des stations, pour toutes les années considérées, dans une même matrice et on lancera l'ACP.

6. 2- Traitement par ACP :

La matrice des données comprend 42 stations sur 32 années d'observations, bien sur on a pris la matrice après comblement des lacunes.

Des résultats globaux de l'analyse On peut extraire les caractéristiques des composantes principales qui sont citées dans le tableau suivant.

Tableau (5,3) : Caractéristiques des composantes principales.

Composante	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Valeurs propres	27,27	4,93	1,48	1,25	1,07
Variances expliquées (%)	65	12	4	3	3
Variances cumulées (%)	65	77	80	83	86

On remarque que la première composante explique à elle seule 65% de la variance, la deuxième 12%, ces deux premières expliquent donc 77% de la variance, ce qui est plus que les 3/4, le reste ne contribue qu'avec une faible proportion. On gardera les deux premières composantes pour pouvoir reconstituer les pluies.

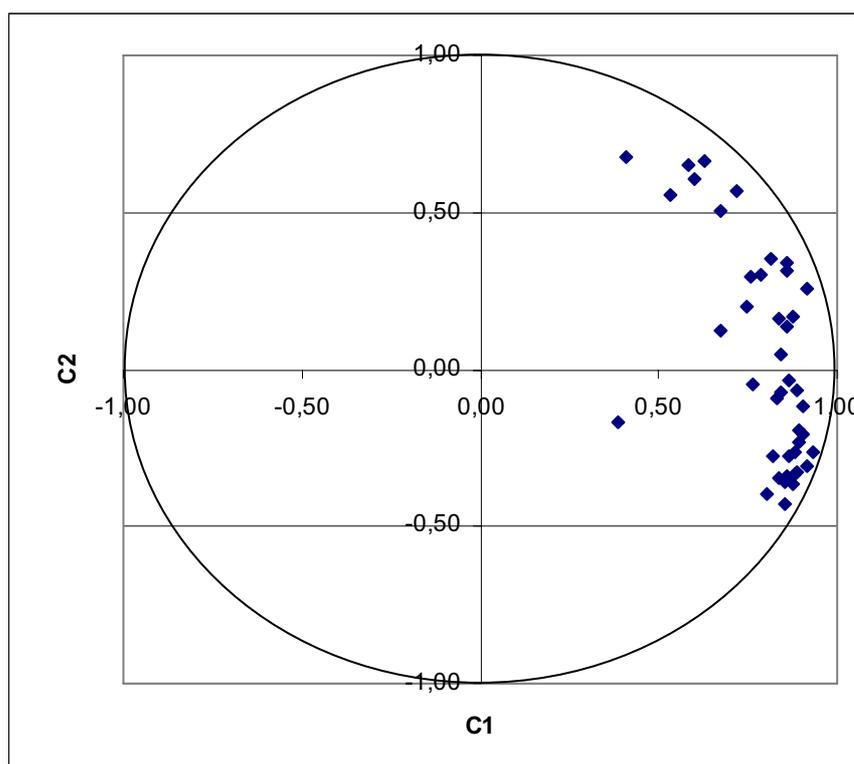


Figure (5,3) : Projection des stations sur les deux axes des 42 stations.

On remarque que l'ensemble des points est au voisinage du cercle, ce qui confirme que les autres composantes n'ont pas beaucoup d'influence, sauf que la station (021443) dévie considérablement de l'ensemble. On remarque aussi que

les stations se scindent en deux parties de régimes homologues comme il a été cité.

Le calcul du coefficient de régression multiple de toutes les stations avec les deux premières composantes nous permettra de nous prononcer définitivement sur la station (021443).

$$R12(j) = [a(1, j)^2 + a(2, j)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (5,2)$$

a(i,j) : coefficient de corrélation.

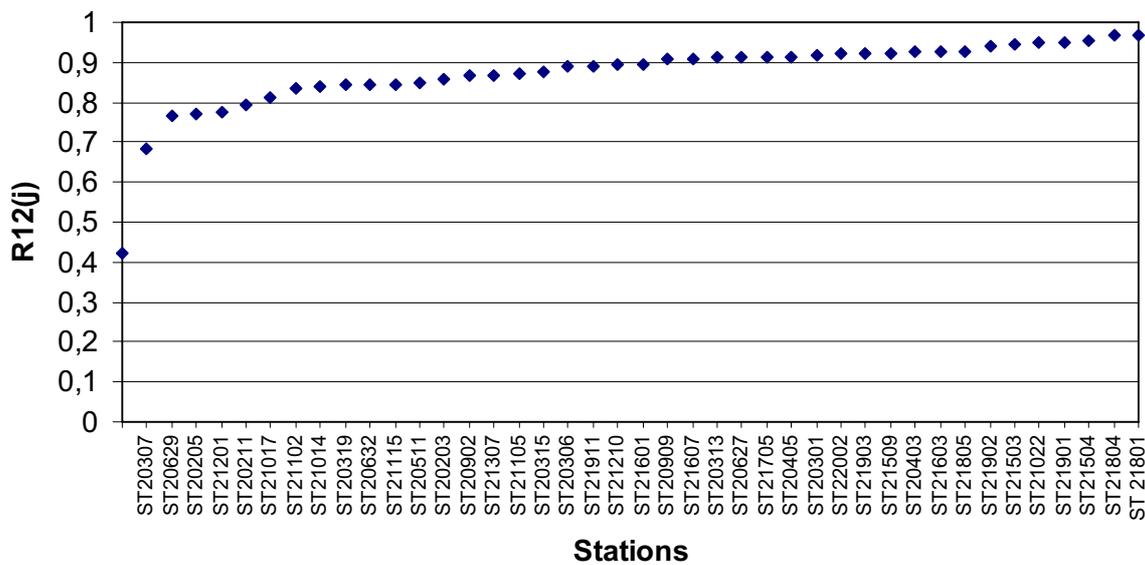


Figure (5,4) : R12(j) de toutes les stations.

On constate a partir de la figure que le R12 de la station (021443) est au dessous de 0,6 ce qui est considéré comme insuffisant (Mussy,1998), cette station doit de ce fait être écartée.

Après cela on refait le calcul ACP avec les 41 stations restantes

Tableau (5,4) : Caractéristiques des composantes principales.

Composante	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Valeurs propres	27,13	4,9	1,37	1,24	1,05
Variances expliquées (%)	66	12	3	3	3
Variances cumulées (%)	66	78	81	85	88

Suivant le critère de Cattell (1966) , la cassure de la ligne se fait au niveau de la deuxième composante, donc on prend seulement deux composantes principales.

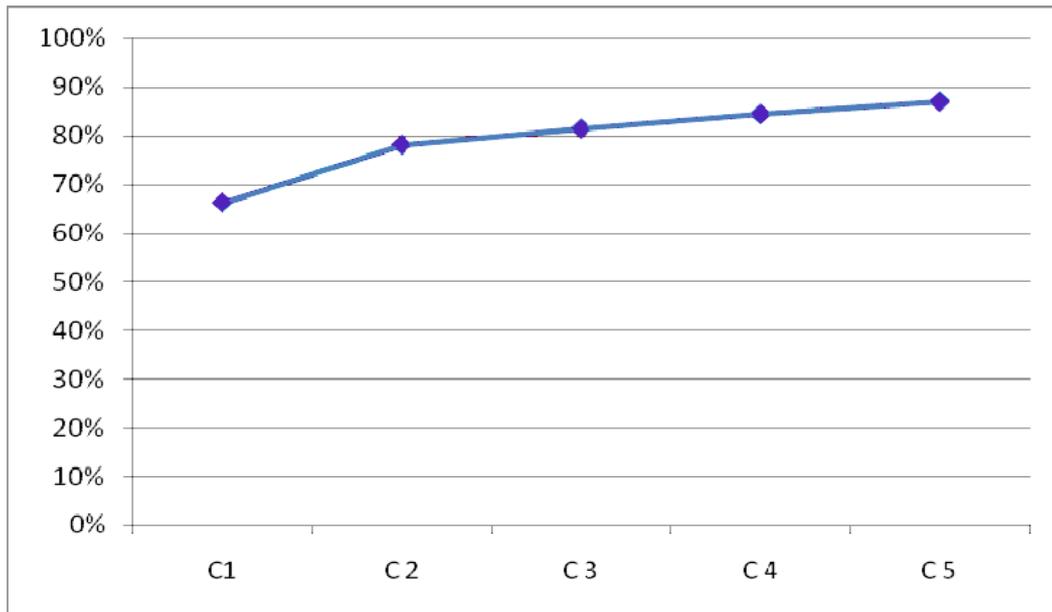


Figure (5,5) : Variance cumulée des composantes principales.

On peut constater cette fois que les points relatifs aux stations sont voisins du cercle, figure (5,5), donc les deux composantes expliquent suffisamment la variance.

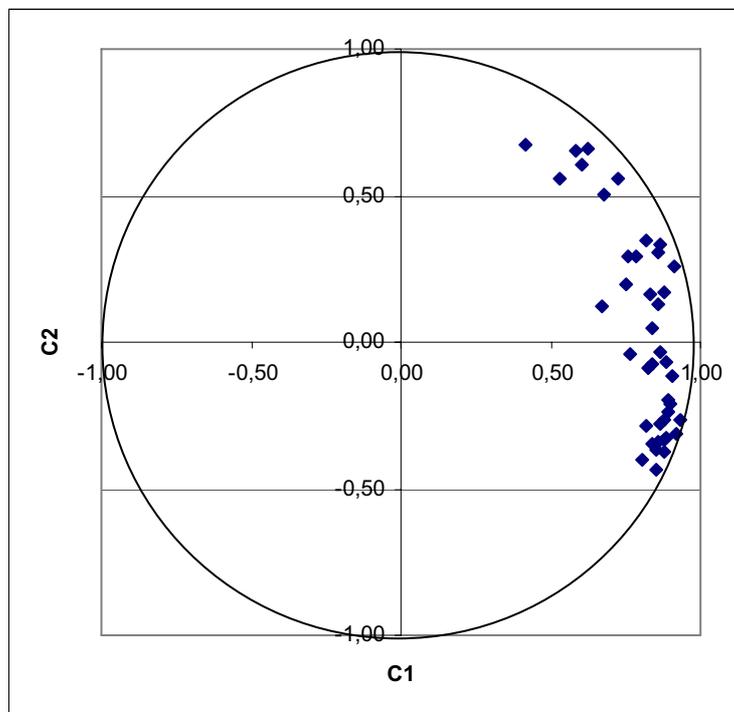


Figure (5,6) : Projection des stations sur les deux axes des 41 stations.

Les figures (5,7) et (5,8) représentent l'évolution des composantes C1 et C2 suivant les années.

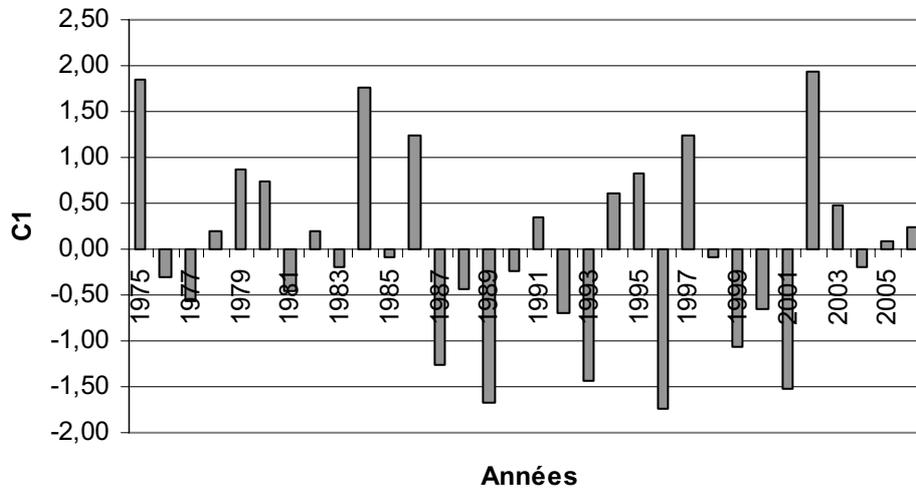


Figure (5,7) : Projections des observations sur la première composante.

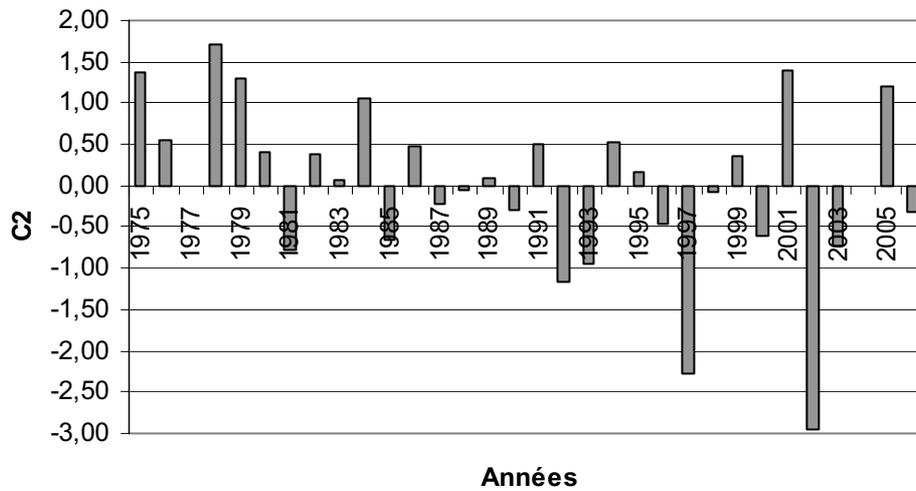


Figure (5,8) : Projection des observations sur la deuxième composante.

La première composante C1, montre une évolution temporelle des précipitations avec une alternance des années humides et sèches.

La deuxième composante C2 est caractérisé par une première période humide de 1975 a 1984, puis une période sèche plus accrus de 1985 à 2003 .reste que la première est celle qui explique le plus.

Le graphique du cumul des projections des observations sur les composantes, figure (5,9), montre une nette période excédentaire jusqu'à 1986 suivie d'une longue période de récession de 1987 à 2003 ensuite une légère reprise après.

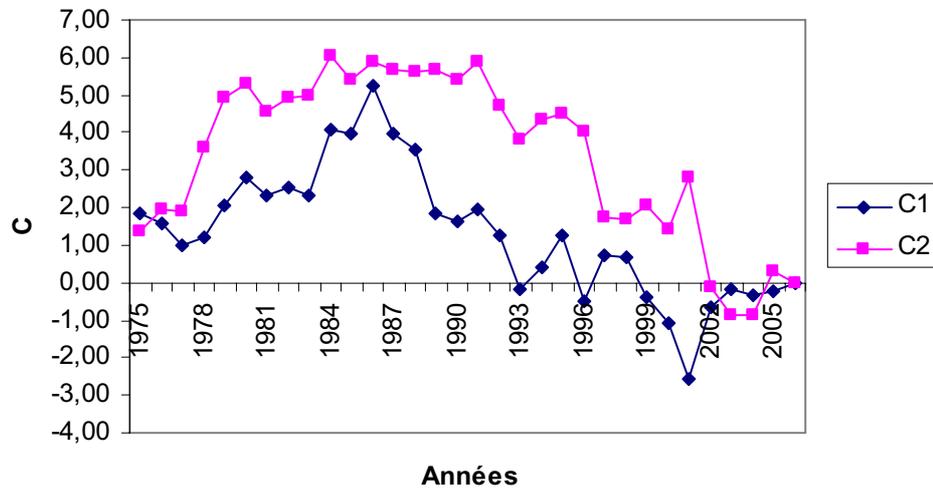


Figure (5,9) : Cumul des projections des observations sur les composantes.

Les composantes principales C1 et C2 expliquent 78% de la variance, ce qui signifie que ces deux composantes fournissent la signature des événements hydro-climatiques débarrassées du bruit qui peut altérer la qualité de l'information, donc les valeurs prises par ces deux premières composantes constituent les deux vecteurs régionaux.

Les deux cartes qui suivent illustrent les projections des stations sur les deux composantes principales.

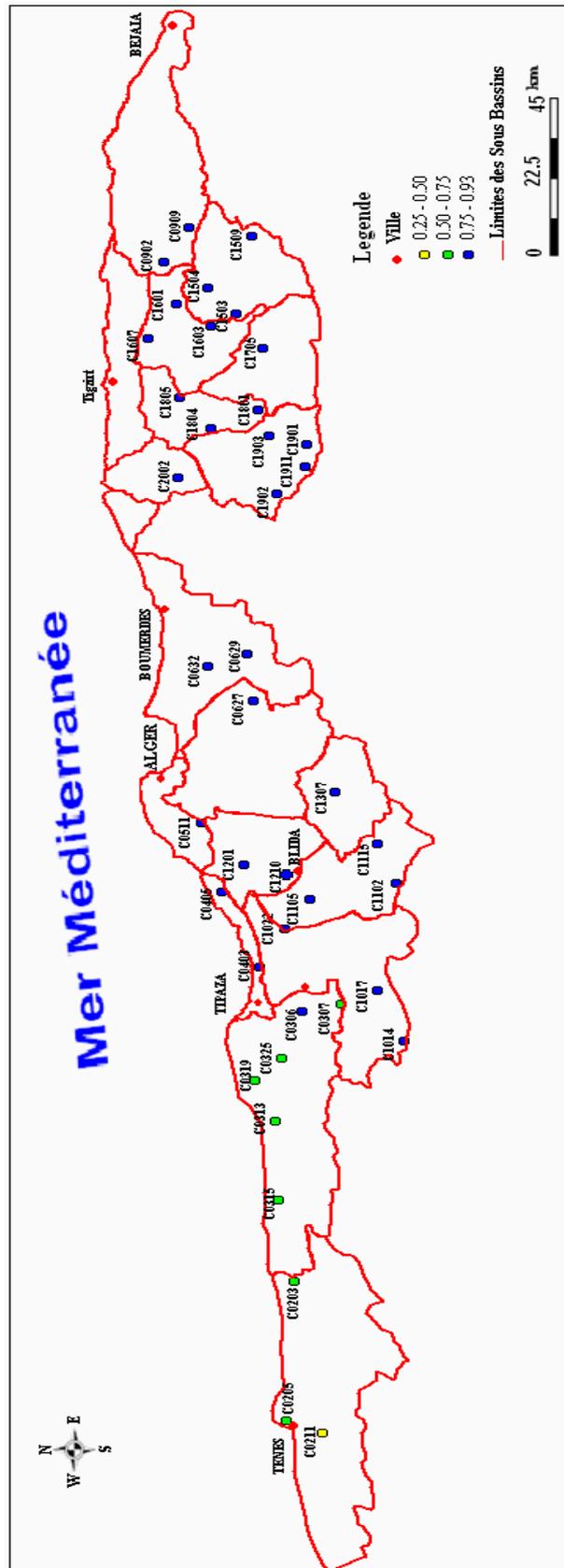


Figure (5,10) : Projection des variables sur la composante C_1 .

6. 3- Reconstitution des pluies :

L'ajustement des composantes C_1 et C_2 suivant une loi de probabilité montre qu'elles s'ajustent bien à une loi normale, Figure (5,12), donc on peut dire que la pluie dépend de C_1 et C_2 suivant une loi linéaire, de ce fait on a qu'a déterminer les paramètres d'une régression multiples entre la pluie d'une part, et C_1 et C_2 d'autre part, ainsi pour chaque observation on retrouve son estimation X_e .

$$X_e = a C_1 + b C_2 + c \quad (5,3)$$

a, b et c : paramètres de régression multiples.

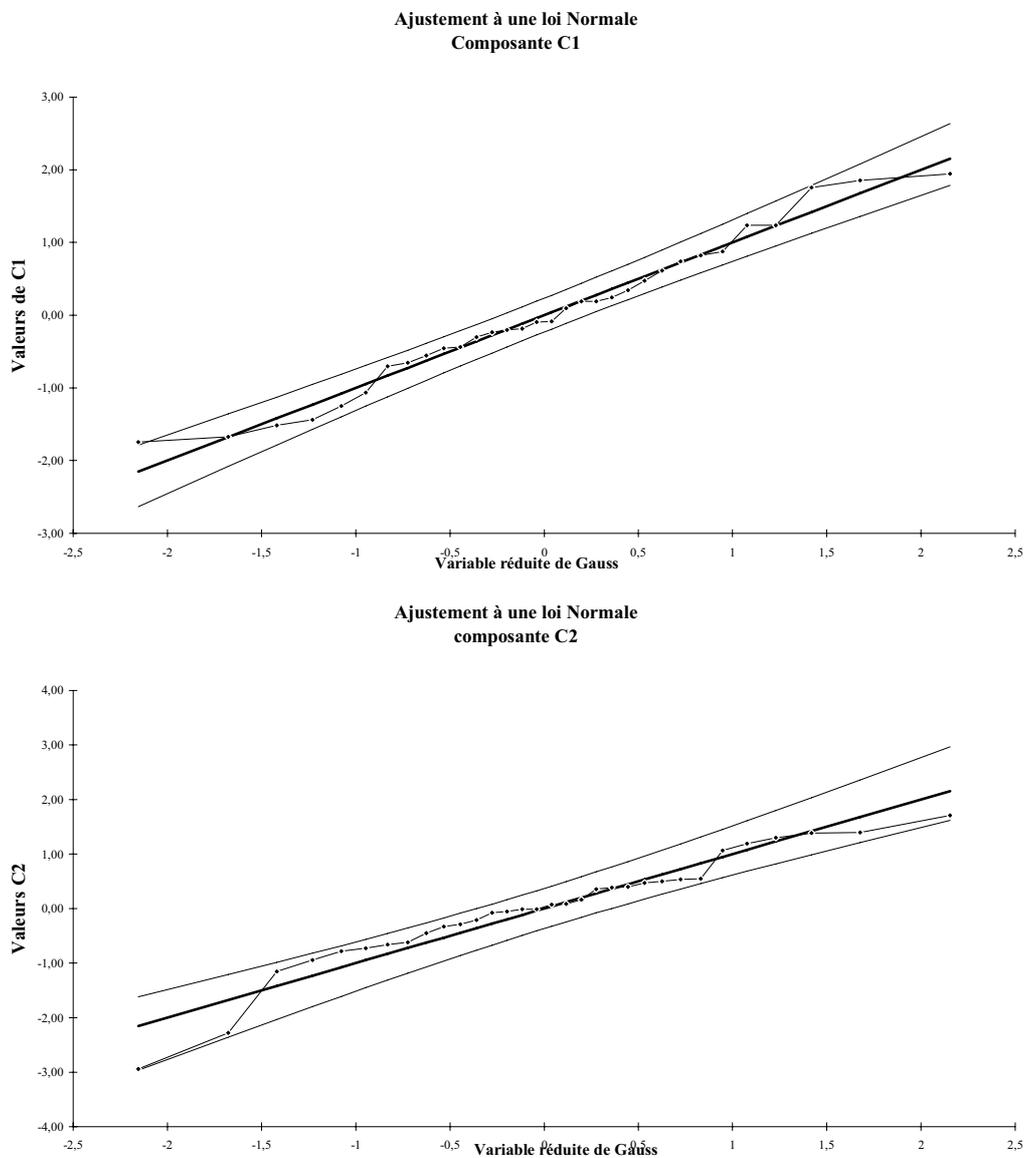


Figure (5,12) : Ajustement des projections sur les deux composantes suivant une loi normale.

Le tableau suivant illustre les observations réelles avec les données reconstituées.

Tableau (5,5) : Pluies moyennes interannuelles (Observées / Reconstituées).

N°	Sous bassin	Nom station	Code station	P Moy. Observée (mm)	Pluie reconstituée (mm)
1	Oued Sebaou Maritime	BAGHLIA VILLAGE	22002	718	717
2	Oued Bougdoura	TIZI LETNINE	21911	635	628
3	Oued Bougdoura	BOGHNI	21903	674	673
4	Oued Bougdoura	DRAA EL MIZAN	21902	661	657
5	Oued Bougdoura	TIZI MEDENE	21901	702	700
6	Oued Sebaou Sebt	BOUASSEM M.F.	21801	821	823
7	Oued Sebaou Sebt	DRAA BEN KHEDDA	21804	685	688
8	Oued Sebaou Sebt	LARBAA MAKOUDA	21805	779	774
9	Oued Aissi	LARBAA NATH IRATHEN	21705	867	857
10	Oued Sebaou Rabta	BERBER	21607	964	990
11	Oued Sebaou Rabta	FREHA	21603	706	696
12	Oued Sebaou Rabta	AGHRIBS (Adrar)	21601	1027	1044
13	Oued Sebaou Amont	AZAGA ECOLE	21504	896	898
14	Oued Sebaou Amont	DJEMAA SAHARIDJ	21503	786	786
15	Oued Sebaou Amont	AIT AICHA	21509	996	995
16	Oued El Hrarrach Amont	LA PASSERELLE	21307	717	721
17	Oued Mazafran	FER A CHEVAL	21201	516	500
18	Oued Mazafran	OUED EL ALLEUG	21210	570	565
19	Oued Chiffa	EL HAMDANIA	21115	904	905
20	Oued Chiffa	PRISE DE MEDEA	21102	708	704
21	Oued Chiffa	RN4 CHIFFFA	21105	530	538
22	Oued Djer-Bouroumi	ATTATBA CAVE	21022	561	562
23	Oued Djer-Bouroumi	BOUMEDFAA MF	21017	483	485
24	Oued Djer-Bouroumi	OUED ZEBODJ	21014	525	528
25	Côtier Cap Sigli	TAGMA PEPINIÈRE	20909	1167	1173
26	Côtier Cap Sigli	YAKOURENE	20902	1109	1088
27	Côtier Cap Matifou	PONT D9	20629	585	585
28	Côtier Cap Matifou	REGHAIA	20632	578	582
29	Côtier Cap Matifou	OULED ALI	20627	584	582
30	Côtier Bouzaréah	MAHELMA FERME	20 :511	578	577
31	Côtier Sahel	FOUKA MARINE	20405	553	553
32	Côtier Sahel	AIN TAGOURAIT	20403	505	496
33	Côtiers Cherchell	BELLAH RN 11	20319	519	520
34	Côtiers Cherchell	SIDI GHILES	20313	544	543
35	Côtiers Cherchell	BORDJ GHOBRINI	20301	500	494
36	Côtiers Cherchell	GOURAYA	20315	531	531
37	Côtiers Cherchell	DJEBABRA	20307	647	654
38	Côtiers Cherchell	Meurad barrage	20306	610	605
39	Côtier Ténès	SIDI-KKACHA	20211	507	503
40	Côtier Ténès	DAMOUS	20203	513	515
41	Côtier Ténès	TENES	20205	479	449

7. Pluies moyennes de chaque sous bassin :

On dispose dans notre étude de 20 stations hydrométriques dispersées sur l'ensemble du bassin hydrographique, les caractéristiques des sous bassins drainés par ces stations sont rapportés dans la description de la région d'étude, mais a ce niveau on s'intéressera à la détermination de la pluie moyenne interannuelle précipitée sur chaque sous bassin. Pour cela, la méthode des polygones de Thiessen paraît intéressante :

$$P_{\text{moy}} = \frac{\sum P_i A_i}{A} \quad (5,4)$$

P_{moy} : la pluie moyenne interannuelle précipitée sur le bassin

A_i : Surface du sou bassin sur lequel tombe une pluie P_i de la station i

A : surface globale du sous bassin

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau (5,6) : Pluies moyennes interannuelles des sous bassins.

N°	Sous Bassin	Station	Code	P (mm)
1	Côtier Tenes	Sidi Akacha	20207	500
2	Côtier Cherhell	Bordj ghobrini	20301	550
3	Côtier Cherhell	Pont RN11	20323	550
4	Côtier Cap Matifou	Ouled Ali	20627	583
5	Côtier Tigzirt	Azfeffoun	20808	990
6	Côtier Cap Sigli	Tifezouine	20916	1100
7	Côtier Cap Sigli	Cap Sigli	20917	1100
8	Oued Djer-Bouroumi	Tarzoult	21002	528
9	Oued Djer-Bouroumi	Boumedfaa	21006	530
10	Oued Djer-Bouroumi	El affroun	21007	530
11	Oued Djer-Bouroumi	Attatba	21011	530
12	Oued Chiffa	Amont des gorges	21126	705
13	Oued Mazafran	Fer à cheval	21201	565
14	Oued El Harrach Amont	Rocher des pigeons	21301	720
15	Oued El Harrach Maritime	G. de Larbaa	21402	583
16	Oued El Harrach Maritime	Baraki	21418	583
17	Oued Sebaou Rabta	Freha	21605	990
18	Oued Aissi	RN30	21715	857
10	Oued Sebaou Sebt	Belloua	21803	774
20	Oued Sebaou Maritime	Baghlia	22001	720

8- Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons recueillie les données d'une soixantaine de stations pluviométriques réparties sur l'ensemble du bassin hydrographique, parmi cela seules 42 stations seront retenues pour l'étude à cause de nombreuses failles que présentent le reste.

Le traitement des données, a permis de combler les lacunes et d'homogénéiser les données, le traitement par ACP a permis entre autre de reconstituer l'ensemble des données, mais avec l'élimination de la station 021443, qui présente un régime pluvieux complètement différent des stations environnantes, le reste des stations nous a permis de déterminer les pluies moyennes interannuelles de chaque sous bassin.

1- Introduction :

L'écoulement est la traduction de la lame d'eau précipite dont une partie s'écoule a la surface contribuant à l'érosion et au transport des sédiments.

Les écoulements sont un maillon essentiel du phénomène du transport solide, en plus de la quantité d'eau ruisselée ,l'énergie cinétique de l'écoulement a aussi son importance dans ce phénomène, on remarque cela surtout en période de crues intenses, où le taux de sédiments transportés peut atteindre des valeurs étonnantes.

Dans ce chapitre on s'intéressera à la détermination des ressources en eau superficielles du bassin Algérois, d'étudier les écoulements pour dégager ,par la suite, des relations entre les débits liquides et solides pour déterminer les quantités des sédiments transportées à partir des séries hydrométrique.

Malgré que le bassin hydrographique des Côtiers Algérois est un bassin de grande importance vue :

- Les ressources en eau qui peuvent être mobilisées (2,760 milliard de m³) (ABH)
- La population (environ 7 millions)
- Position géographique (comprend la capitale)

Malgré tous cela l'acquisition de données reste limitée, on a eu du mal a collecter les données de 20 stations hydrométriques sur les 29 disponibles (ABH) et dont la taille des séries ne reflète pas l'importance de ce bassin.

Pour cela on a jugé intéressant d'étudier d'une manière plus profonde les écoulements et de proposer une méthode simple et rapide qui permettra à l'avenir de palier à ce manque de données.

2- Collecte des données :

Nous avons collectés les données hydrométriques de 20 stations hydrométriques réparties sur l'ensemble du bassin :

Table (6,1) : Stations hydrométriques.

N°	Sou bassin	Oued	Station	Code	X (Km)	Y (Km)	Années d'observations
1	Oued Sebaou Maritime	Sébaou	Baghlia	022001	603,7	390,05	1986 à 1997
2	Oued Sebaou Sebt	Sébaou	Belloua	021803	623,3	381,2	1987 à 1999
3	Oued Aissi	Aissi	RN 30	021715	626,15	378,8	1986 à 2000
4	Oued Sebaou Rabta	Diss	Freha	021605	642,95	383	1986 à 2005
5	Oued El Hrarrach Maritime	El Harrach	Baraki	021418	535	376,3	1979 à 2003
6	Oued El Hrarrach Maritime	Djema	Gorges de larbaa	021402	543,8	358	1985 à 1994
7	Oued El Hrarrach Amont	El Harrach	Rocher des Pigeons	021301	532,05	354,05	1977 à 2003
8	Oued Mazafran	Mazafran	Fer à Cheval	021201	510,05	373,2	1981 à 2004
9	Oued Chiffa	Chiffa	Amont des Gorges	021126	506,15	342,3	1969 à 1997
10	Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Attatba	021011	498,6	362,85	1981 à 1997
11	Oued Djer-Bouroumi	Djer	El Affroun	02 1007	490,95	350,95	1969 à 1995
12	Oued Djer-Bouroumi	Djer	Boumedfaa	021006	483,6	343,35	1985 à 1997
13	Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Tarzoute	02 1002	495,3	346,79	1969 à 1985
14	Côtier Cap Sigli	Daas	Cap Sigli	02 0917	688,2	397,2	1989 à 2005
15	Côtier Cap Sigli	S.A Youcef	Tifezouine	02 0916	660,55	397,45	1989 à 2001
16	Tigzirt	M'leta	Azeffoun	02 0808	647,22	400,4	1986 à 2002
17	Côtier Cap Matifou	Barek	Ouled Ali	02 0627	552,85	371,55	1983 à 2005
18	Côtiers Cherchell	Belah	Pont RN11	02 0323	458,65	367,5	1974 à 2000
19	Côtiers Cherchell	El Hachem	Borj Ghobrini	020301	460,65	367	1974 à 1991
20	Côtier Tenes	Oued allallah	Sidi Akacha	02 0207	375,75	354,75	1983 à 2003

La figure suivante montre la répartition des stations sur l'ensemble du bassin.

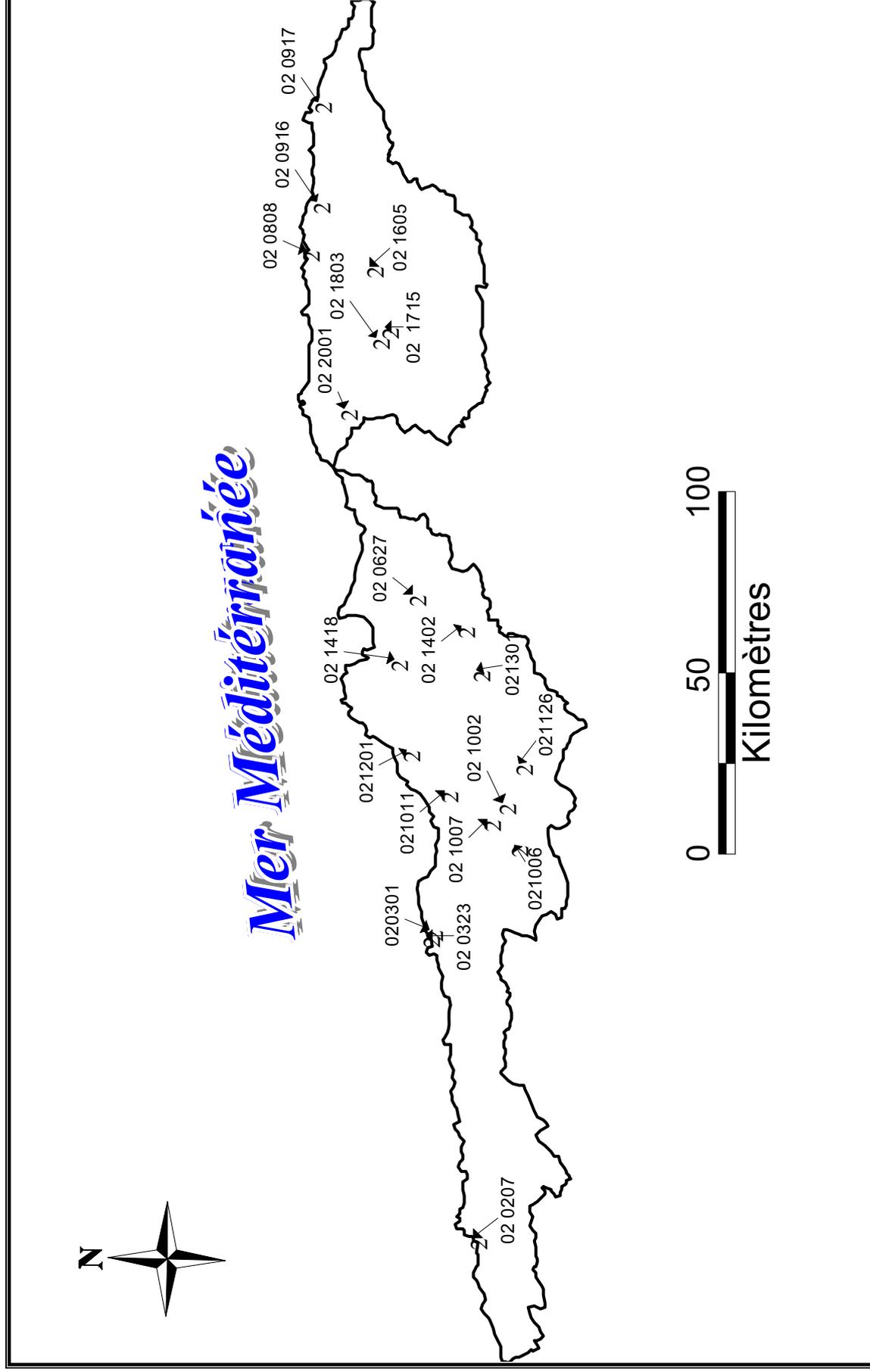


Figure (6,1) : Positions des stations hydrométriques.

3- Traitement des données hydrométriques :

Comme toute donnée hydrologique, l'hydrométrie présente plusieurs lacunes que ce soit du point de vue nombres ou discontinuité, on procédera à un comblement (avec des méthodes statistiques) mais avec prudence, car l'irrégularité des débits moyens journaliers fait que la qualité de informations peut être altérée, donc il est préférable d'utiliser les données réellement observées (Laborde,2003).

4- Débits moyens annuels :

Le débit moyen annuel est une données très importante en hydrologie, elle décrit l'abondance de l'écoulement sur une année entière, il est exprimé en m^3/s et est appelé communément module brut.

Le module spécifique est exprimé en $l/s/km^2$ il décrit le débit qui s'écoule sur $1km^2$ d'un bassin.

Tableau (6,2) : Caractéristiques des écoulements des principaux Oueds.

N°	Sou bassin	Oued	Qmoy (m^3/s)	S (km^2)	q ($l/s/km^2$)	Le (mm)	Ce (%)
1	Oued Sebaou Maritime	Sébaou	13,5	2390	5,649	177,24	24,62
2	Oued Sebaou Sebt	Sébaou	7,7	1490	5,168	162,04	20,94
3	Oued Aissi	Aissi	3,72	460	8,087	253,32	29,56
4	Oued Sebaou Rabta	Diss	0,95	100	9,500	296,01	29,90
5	Oued El Hrarrach Maritime	El Harrach	3,96	970	4,082	127,45	21,86
6	Oued El Hrarrach Maritime	Djemaa	0,59	130	4,538	145,46	24,95
7	Oued El Hrarrach Amont	El Harrach	2,38	387	6,150	179	24,86
8	Oued Mazafran	Mazafran	2,84	1900	1,495	46,97	8,31
9	Oued Chiffa	Chiffa	2,48	316	7,848	243,41	34,53
10	Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	2,19	680	3,221	101,03	19,06
11	Oued Djer-Bouroumi	Djer	1,11	395	2,810	88,19	16,64
12	Oued Djer-Bouroumi	Djer	0,62	336	1,845	101,23	19,10
13	Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	1,95	215	9,070	146,14	26,57
14	Côtier Cap Sigli	Daas	1,53	208	7,356	230,13	26,57
15	Côtier Cap Sigli	S.A Youcef	1,54	220	7,000	232,71	21,16
16	Tigzirt	M'leta	0,31	36	8,611	242,4	24,48
17	Côtier Cap Matifou	Barek	0,18	37	4,865	164,47	28,21
18	Côtiers Cherchell	Belah	0,19	55	3,455	109,23	19,86
19	Côtiers Cherchell	El Hachem	0,96	215	4,465	139,68	25,40
20	Côtier Tenes	Oued Allalah	0,48	295	1,627	50,44	10,09

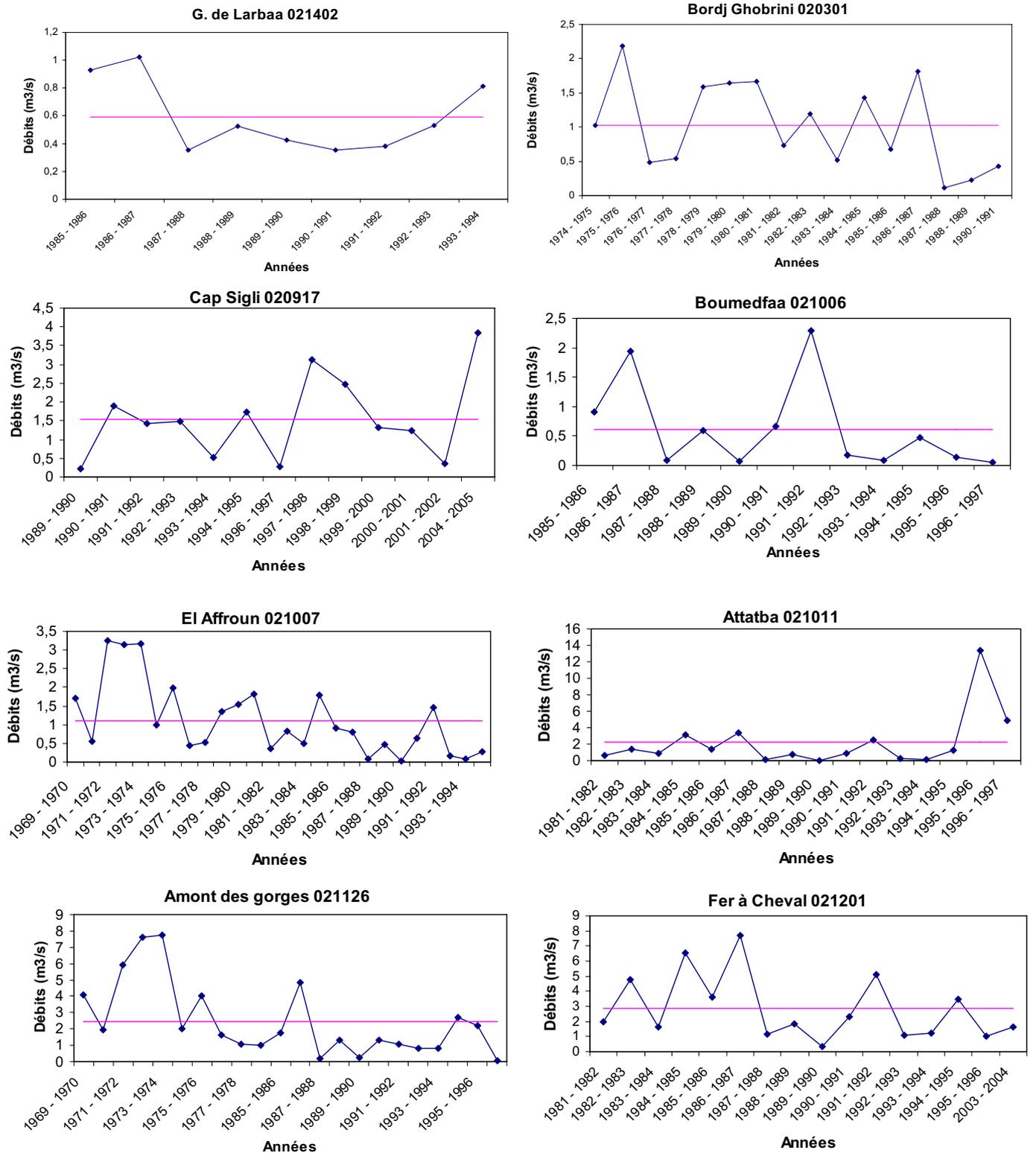
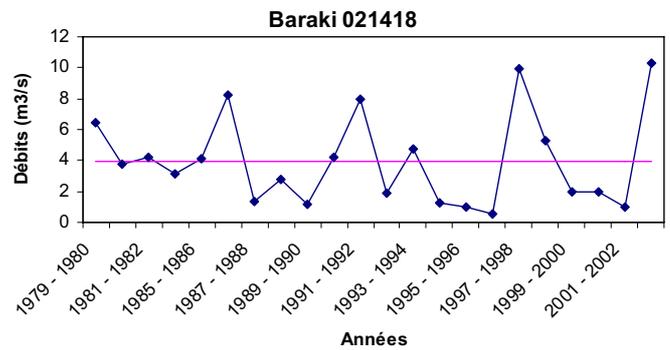
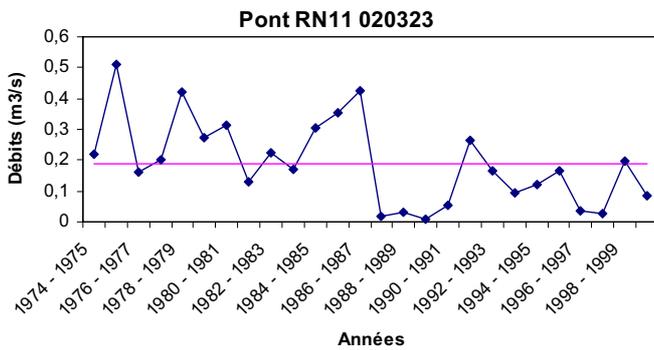
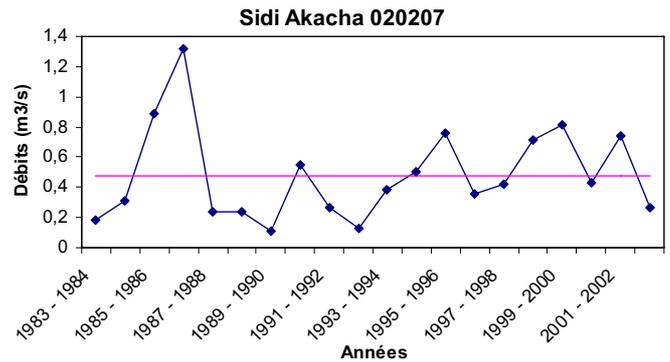
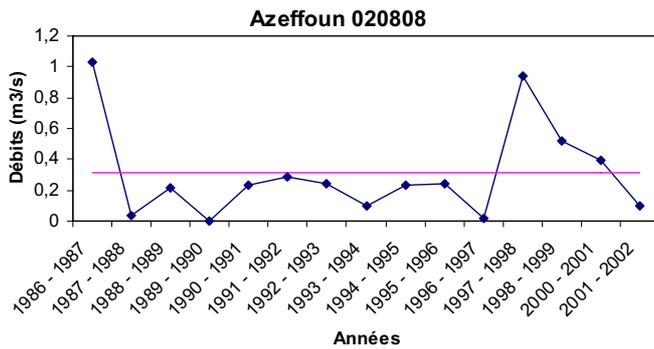
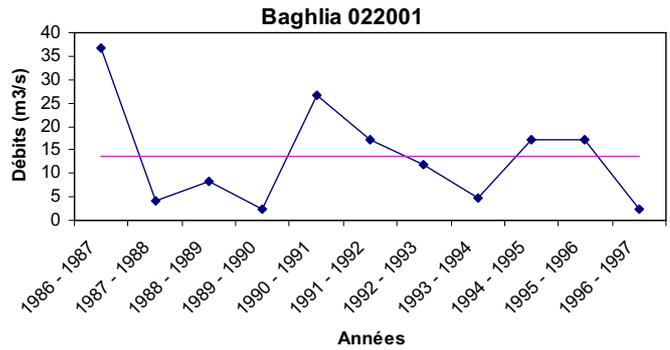
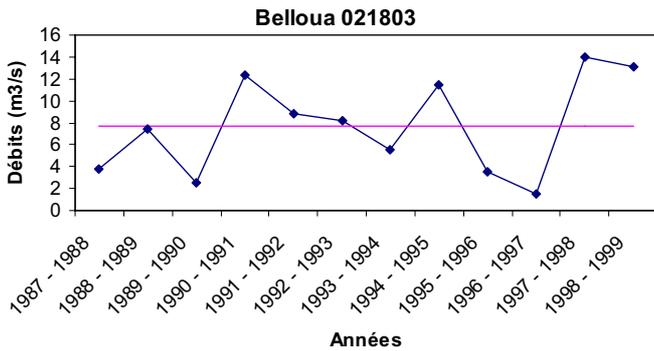
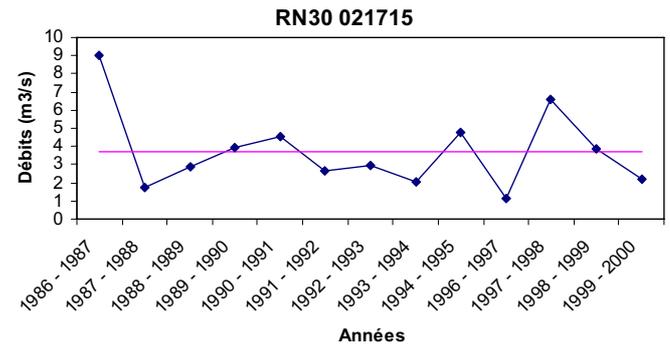
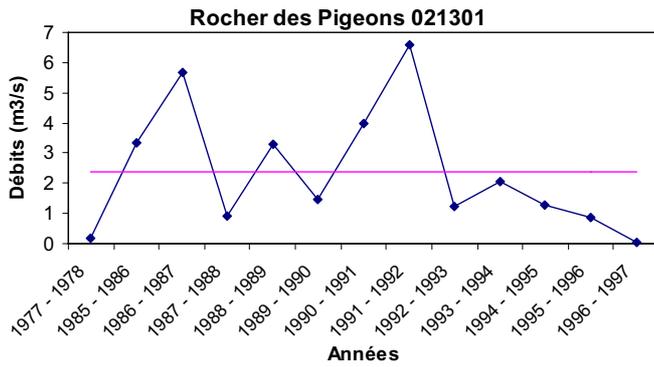
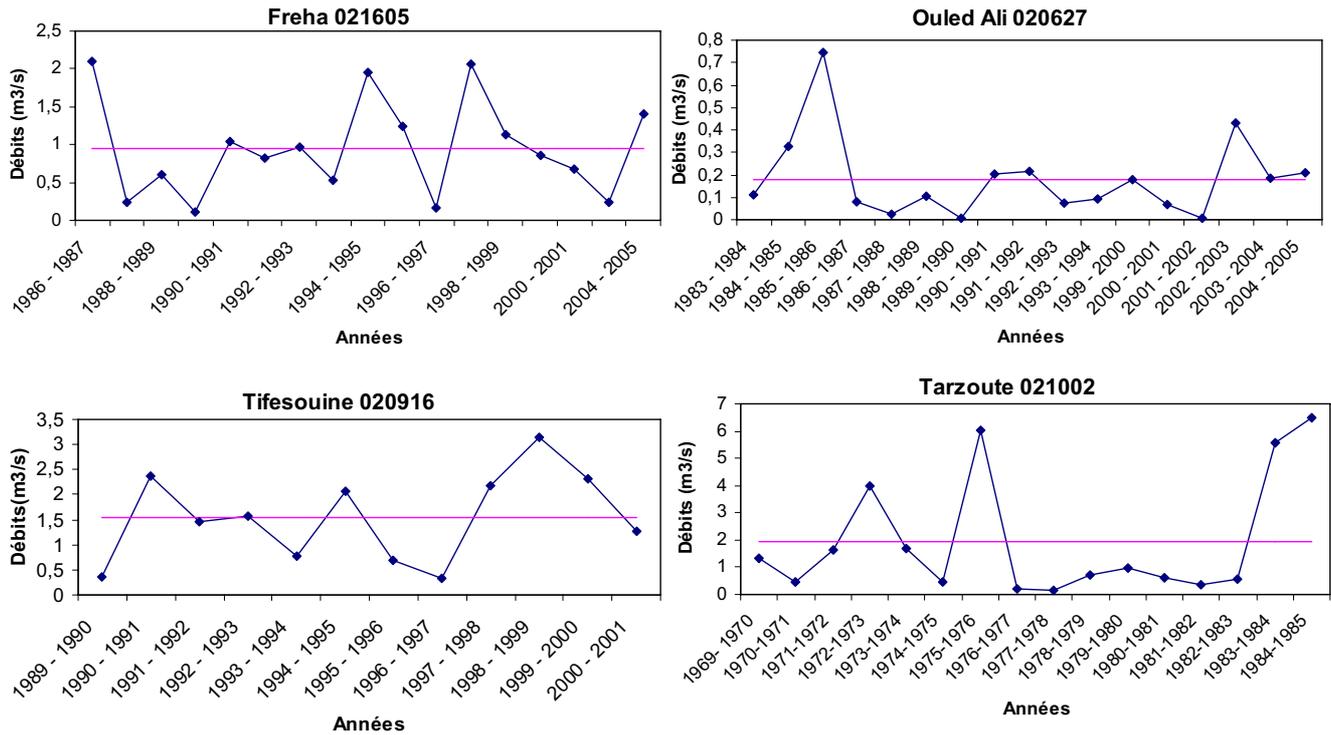


Figure (6,2) : Variation interannuel des modules.



-Suite- Figure (6,2) : Variation interannuel des modules.



-Suite- Figure (6,2) : Variation interannuel des modules.

On remarque une certaine variation entre les modules spécifiques d’une région à l’autre, le maximum étant à Sébaou Rabta où on a 9.5 l/s/km^2 , cette valeur est due à l’importante précipitation et la formation géologique qui permet le soutient de l’écoulement en période d’été par l’écoulement souterrain.

De même pour le Chiffa qui est connue par ces innombrables sources qui alimentent considérablement le cours d’eau, même chose pour Bouroumi amont dans la région de Tarzoute.

Malheureusement pour l’Oued Allalah, les faibles précipitations et la formation géologiques constituée principalement d’argiles et de marnes font qu’il enregistre le plus faible débit spécifique avec l’Oued Mazafran ou la petite valeur du débit spécifique est due principalement à l’immensité du sous bassin avec une faible pente en aval qui favorise plus l’infiltration.

On remarque aussi une grande variation du coefficient d’écoulement pour les petits sous bassin de 34% Chiffa à 10,09 pour Oued Allalah, chose qui peut s’expliquer par les mêmes raisons que les débits spécifiques.

L'ajustement des débits moyens annuels montre qu'ils s'ajustent suivant une loi log-normale pour quelques stations et une loi racine normale pour d'autres.

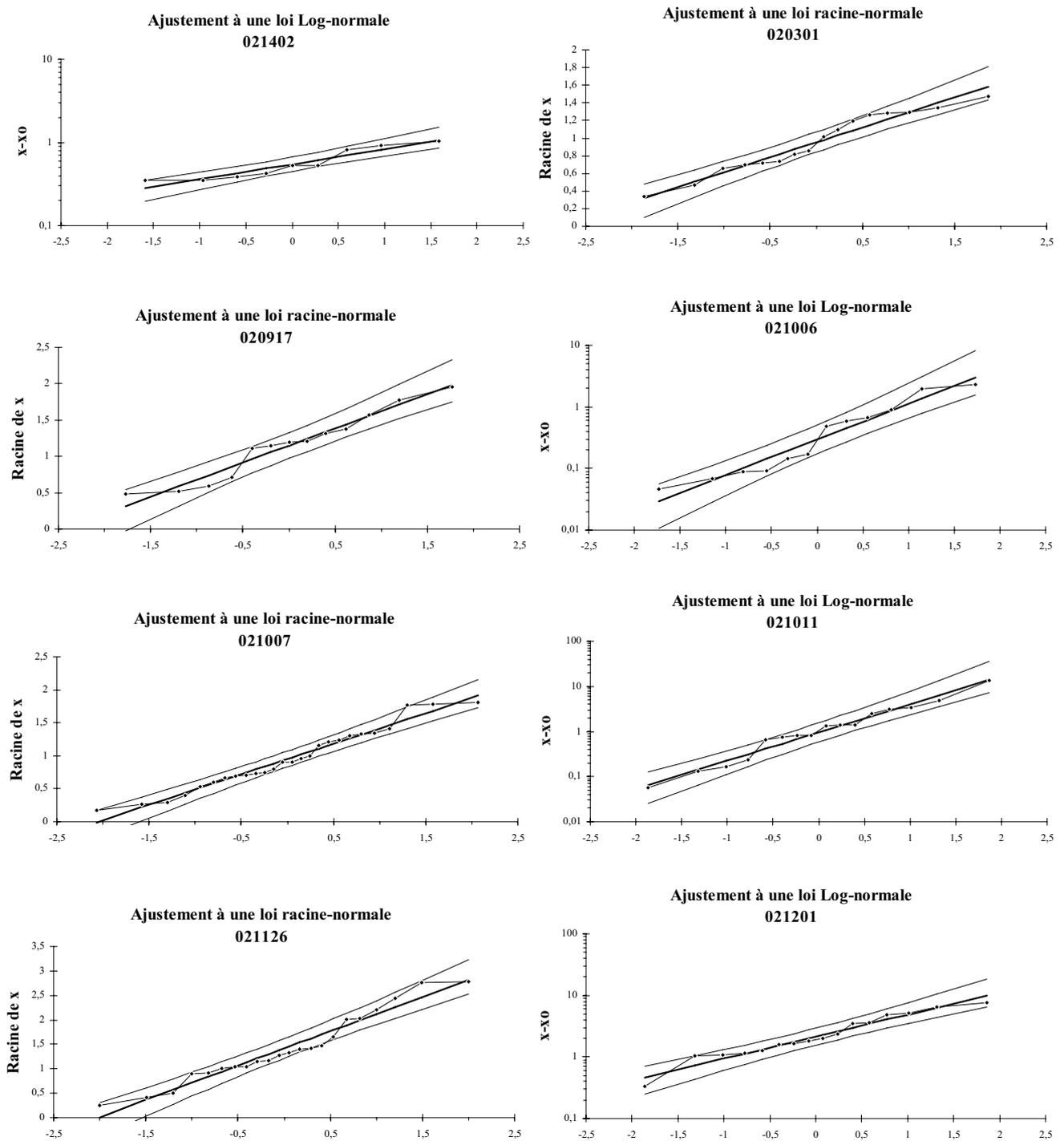
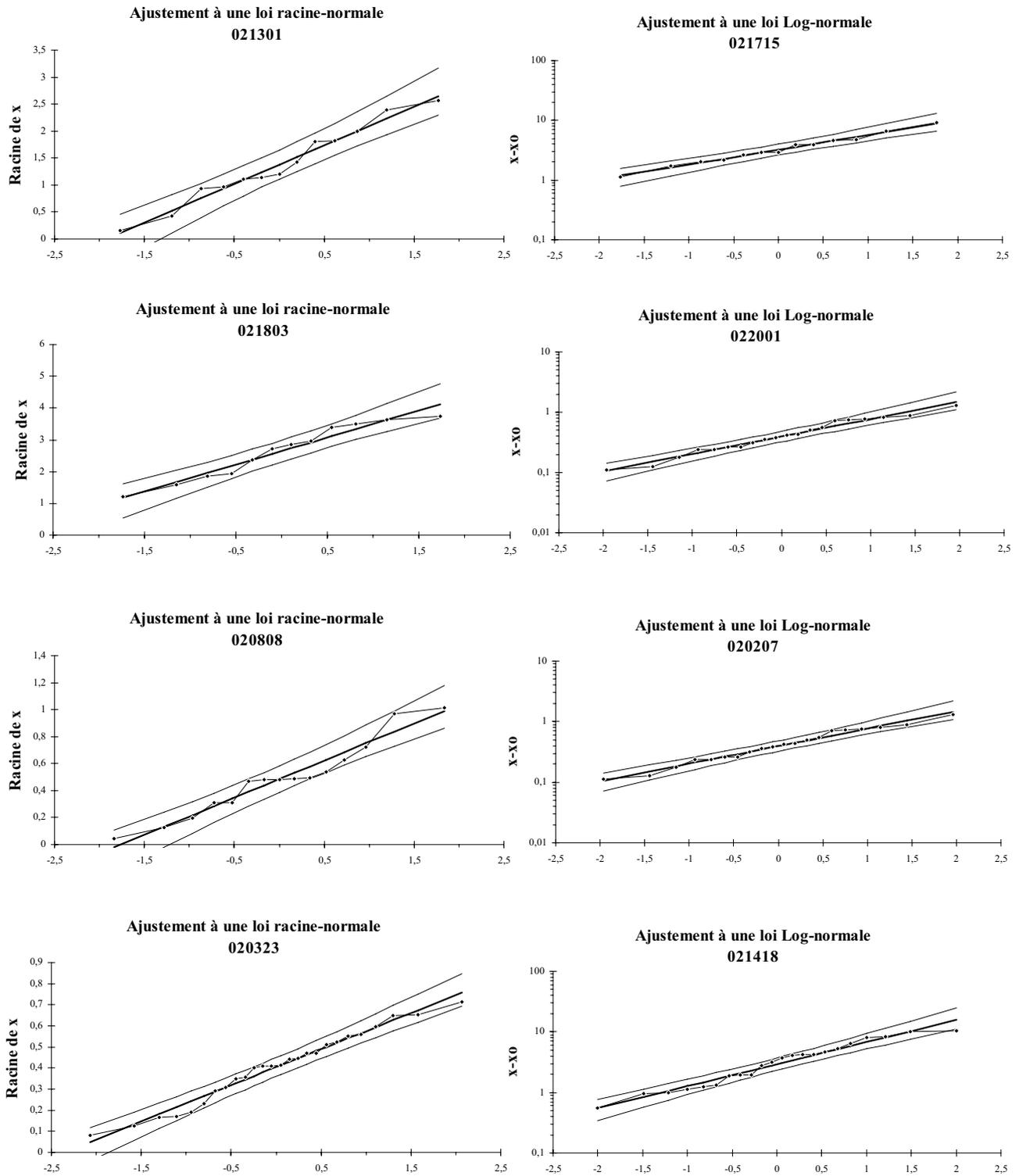
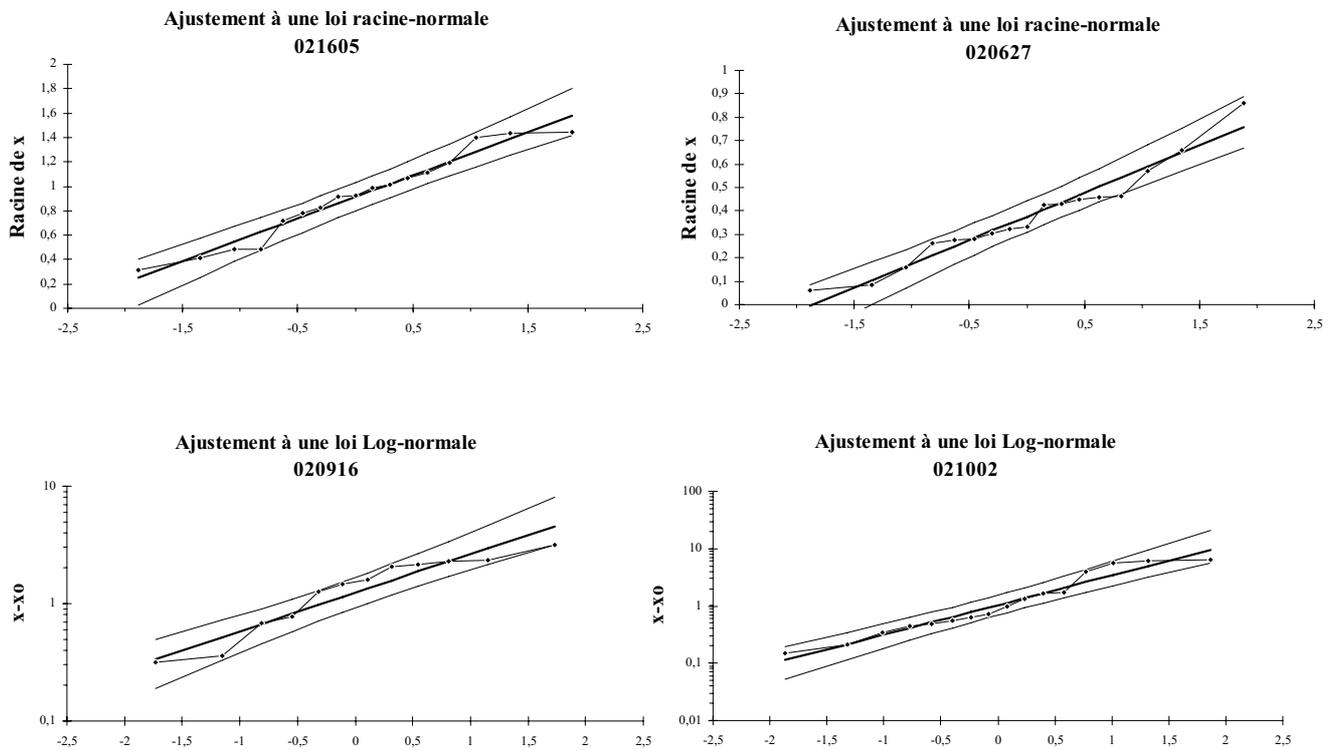


Figure (6,3) : Ajustements des débits moyens annuels.



-Suite- Figure (6,3) : Ajustements des débits moyens annuels.



-Suite- Figure (6,3) : Ajustements des débits moyens annuels.

L'adéquation à ces loi a été toujours vérifiée par le teste χ^2 . Les débits correspondant à diverses périodes de retour sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau (6,3) : Débits moyens annuels pour diverses périodes de retour.

N°	Station	Code	Q _{moy} (m ³ /s)	Q (m ³ /s)		
				10 ans	100 ans	1000 ans
1	Baghlia	02 2001	13,5	31,9133776	85,702178	176,40989
2	Belloua	02 1803	7,7	13,97375	21,4063633	27,8368505
3	RN 30	02 1715	3,72	6,6301667	11,9519083	18,3848743
4	Freha	02 1605	0,95	1,85628339	2,99050466	3,98963406
5	Baraki	02 1418	3,96	8,56960431	20,5572594	38,9651128
6	Gorges de larbaa	02 1402	0,59	0,93635153	1,45188894	2,0005458
7	Rocher des Pigeons	021301	2,38	5,27245603	9,25756285	12,8746807
8	Fer à Cheval	021201	2,84	6,11619204	14,4238145	27,0009407
9	Amont des Gorges	021126	2,48	5,36848073	9,31352167	12,8795626
10	Attatba	021011	2,19	6,02106243	27,1414694	81,5743203
11	El Affroun	02 1007	1,11	2,38452979	4,11290731	5,67213155
12	Boumedfaa	021006	0,62	1,64359299	6,64386813	18,4395091
13	Tarzoute	02 1002	1,95	4,76951562	16,5344111	41,0169297
14	Cap Sigli	02 0917	1,53	3,07682427	5,04283831	6,78522993
15	Tifezouine	02 0916	1,54	3,26682205	7,19206347	12,8033108
16	Azeffoun	02 0808	0,31	0,70280547	1,26937244	1,78857999
17	Ouled Ali	02 0627	0,18	0,4024195	0,71410013	0,9980222
18	Pont RN11	02 0323	0,19	0,3889696	0,64446103	0,87175427
19	Borj Ghobrini	020301	0,96	1,92381774	3,02954732	3,99572573
20	Sidi Akacha	02 0207	0,48	0,92499032	1,85447806	3,08310149

5- Apports liquides :

Le bassin côtier Algérois est l'un des bassins les plus pluvieux d'Algérie, surtout ça partie Est, il présente des apports considérables sauf que ces apports sont influencés directement par la variation de la pluviométrie, et l'apport des eaux souterraines qui supporte le débit de base des cours d'eau qui devient de plus en plus faible, chose qui peut être constatée par le tarissement de beaucoup de sources ce qui est un signe d'une baisse considérable du niveau des nappes souterraines.

On peut voir sur le tableau et la figure suivante, les apports moyens max et min enregistrés dans chaque station.

Tableau (6,4) : Evaluation des apports liquides.

N°	Sou bassin	Station	Code	A_{moy} (Hm ³ /an)	A_{min} (Hm ³ /an)	A_{max} (Hm ³ /an)
1	Oued Sebaou Maritime	Baghlia	02 2001	425,736	73,794	1151,064
2	Oued Sebaou Sebt	Belloua	02 1803	242,827	58,026	440,873
3	Oued Aissi	RN 30	02 1715	117,314	35,951	284,455
4	Oued Sebaou Rabta	Freha	02 1605	29,959	3,154	65,910
5	Oued El Hrarrach Maritime	Baraki	02 1418	124,883	17,660	324,821
6	Oued El Hrarrach Maritime	Gorges de larbaa	02 1402	18,606	11,038	32,482
7	Oued El Hrarrach Amont	Rocher des Pigeons	021301	75,056	0,946	208,138
8	Oued Mazafran	Fer à Cheval	021201	89,562	10,407	243,458
9	Oued Chiffa	Amont des Gorges	021126	78,209	2,208	243,143
10	Oued Djer-Bouroumi	Attatba	021011	69,064	1,892	421,952
11	Oued Djer-Bouroumi	El Affroun	02 1007	35,005	0,946	102,492
12	Oued Djer-Bouroumi	Boumedfaa	021006	19,552	1,577	72,533
13	Oued Djer-Bouroumi	Tarzoute	02 1002	61,495	4,730	205,299
14	Côtier Cap Sigli	Cap Sigli	02 0917	48,250	7,253	121,098
15	Côtier Cap Sigli	Tifezouine	02 0916	48,565	10,092	99,338
16	Tigzirt	Azeffoun	02 0808	9,776	0,631	32,482
17	Côtier Cap Matifou	Ouled Ali	02 0627	5,676	0,315	23,337
18	Côtiers Cherchell	Pont RN11	02 0323	5,992	0,315	16,083
19	Côtiers Cherchell	Borj Ghobrini	020301	30,275	3,784	68,748
20	Côtier Tenes	Sidi Akacha	02 0207	15,137	3,469	41,628

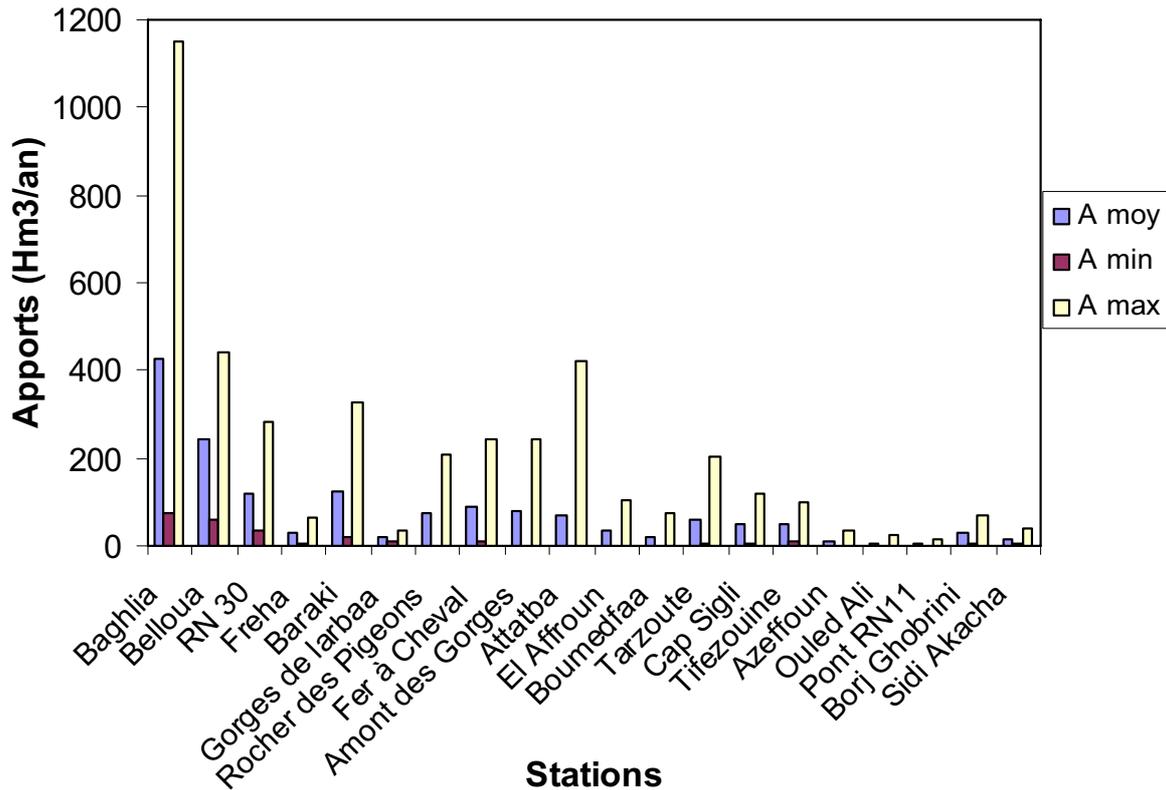


Figure (6,4) : Apports liquides au niveau des différentes stations.

On constate une variation temporelle importante des apports moyens annuels pour chaque station et une différence frappante entre les apports moyens et minimaux ainsi qu’une variation spatiale très importante de l’Est vers l’Ouest, car on voit bien que le Sebaou apporte près la moitié des apports de tout le bassin Algérois largement devant les Côtiers Cherchell et Ténès qui ne contribuent qu’à hauteur de 4% .

Avec un apport moyen interannuel de 426 Mm^3 pour le Sebaou à Baghlia, ce bassin n’est doté que d’un seul ouvrage de stockage de 175 Mm^3 qu’est le barrage de Taksebt et aussi des apports moyens de 124 Mm^3 à Baraki sur l’Oued El Harrach avec aucun ouvrage de stockage.

Le déficit d’apports par rapport au stockage apparaît sur le grand Oued Mazafran où le barrage Bouroumi d’une capacité de 188 Mm^3 et un volume régularisé de 98 Mm^3 ne reçoit qu’environ 69 Mm^3 , plus grave encore, la

situation au côtiers Cherchell où le barrage Boukerdane d'une capacité de 97Mm^3 et un volume régularisé de 49Mm^3 se trouve dans un bassin qui ne reçoit en moyenne que 30Mm^3 par an.

Donc on constate qu'il y a déficit de stockage à l'Est du bassin Algérois, et un déficit d'apport à l'Ouest.

6- Conclusion :

Le régime hydrométrique du bassin côtier Algérois est caractérisé par une variabilité importante des écoulements de même titre que la pluviométrie et cela sur le plan temporel et spatial.

L'étude des débits nous a permis de faire un état des lieux des apports liquides enregistrées ce qui nous a donné un apport moyen interannuel d'environ 1500Mm^3 par an, donc une lame écoulée moyenne de 141mm avec une pluviométrie moyenne interannuel de 690mm ce qui donne un déficit de près de 79% pour l'ensemble du bassin.

Malgré que l'apport annuel moyen n'a, cependant qu'une signification théorique en raison de la forte variabilité inter annuelle de l'écoulement superficiel mise en lumière par les valeurs du coefficient de variation, il peut nous guider pour avoir un avis plus ou moins rapproché sur la balance apports-stockage du bassin d'étude.

Il est noter que la faible couverture du bassin par le réseau de surveillance, ainsi que le nombre insuffisant de données nous a poussé à étudier encor plus les écoulements dans ce grand bassin et de proposer une méthode qui peut permettre une collecte facile et rapide de la donnée hydrométrique, donc d'avoir des échantillons plus conséquent à étudier.

1- Introduction :

Comme il a été déjà cité dans la partie bibliographie, le professeur CHAO-LIN-CHIU, de l'université de Pittsburgh, a déterminé en 1987 (voir Chapitre II) en se basant sur la théorie de l'information de Shannon, une expression probabilistique qui permet de décrire les profils des vitesses que se soit dans les canaux artificiels ou naturels.

Sachant que le jaugeage au moulinet est basé sur l'exploration du champs de vitesse, Chiu a utilisé cette expression pour développer une méthode simple est rapide pour la mesure des débits dans les cours d'eau naturels, mais cela n'aurait pas eu lieu sans la découverte que le rapport entre la vitesse moyenne et la vitesse maximale, pour un cours d'eau donné, est toujours constant et égale a un paramètre appelé $\Phi(M)$ d'où on tire le paramètre dis d'entropie (M).

La méthode se résume dans ce qui suit :

- 1- Détermination du rapport $\Phi(M)$ relatif au cours d'eau
- 2- Modéliser la section d'écoulement en fonction de paramètres rapidement mesurables (largeur au miroir, et profondeur maximale)

Ensuite pour la mesure du débit il suffit de :

- 1- Mesurer la vitesse max à la position où elle apparaît.
- 2- Déterminer la vitesse moyenne à partir de la vitesse maximale et du rapport $\Phi(M)$ (constant).
- 3- Mesurer la largeur au miroir et la profondeur max et d'en déterminer la section d'écoulement.
- 4-Multiplier la vitesse moyenne par la section pour avoir le débit.

Donc il nous a suffit de trois mesures pour avoir le débit.

Dans ce qui suit on appliquera cette méthode sur quelques Oueds du bassin Côtiers Algérois dans le but d'avoir une méthode simple est facile qui permettra d'enrichir la banque de données hydrométriques.

2- Collecte des données :

Comme pour les écoulements on a recueilli les données de jaugeage de 20 stations hydrométriques, chose qui n'a pas été facile car ces données ne sont pas numérisées au niveau de l'ANRH.

Tableau (7,1) : Stations hydrométriques.

N°	Sou bassin	Station	Code	N	Q (m ³ /s)	D (m)	Période
1	Oued Sebaou Maritime	Baghlia	02 2001	121	0,01 - 173,12	0,1 - 6,65	1990 - 2001
2	Oued Sebaou Sebt	Belloua	02 1803	123	0,015 - 160	0,1 - 3,60	1989 - 2001
3	Oued Aissi	RN 30	02 1715	185	0,01 - 13,82	0,1 - 1,78	1989 - 2008
4	Oued Sebaou Rabta	Freha	02 1605	74	0,022 - 2,82	0,1 - 0,7	1989 - 2006
5	Oued El Hrarrach Maritime	Baraki	02 1418	125	0,6 - 9,71	0,15-0,55	1993 - 2006
6	Oued El Hrarrach Maritime	Gorges de larbaa	02 1402	141	0,06 - 7,56	0,1- 0,65	1987 - 1996
7	Oued El Hrarrach Amont	Rocher des Pigeons	021301	300	0,08 - 14,05	0,1 -0,98	1989 - 2007
8	Oued Mazafran	Fer à Cheval	021201	317	0,014 - 349,60	0,1 - 7,8	1985 - 2005
9	Oued Chiffa	Amont des Gorges	021126	166	0,015 - 10,92	0,1 - 1,1	1990 - 2004
10	Oued Djer-Bouroumi	Attatba	021011	117	0,011 - 4,26	0,1 - 0,85	1990 - 2007
11	Oued Djer-Bouroumi	El Affroun	02 1007	98	0,01 - 3,17	0,1 - 0,85	1990 - 2007
12	Oued Djer-Bouroumi	Boumedfaa	021006	63	0,035 - 21,3	0,1 - 0,85	1996 - 2005
13	Côtier Cap Sigli	Cap Sigli	02 0917	137	0,006 - 5,77	0,1- 0,75	1989 - 2006
14	Côtier Cap Sigli	Tifezouine	02 0916	84	0,007 - 7,61	0,1 - 0,86	1989 - 2002
15	Tigzirt	Azeffoun	02 0808	64	0,02 - 7,6	0,15 - 0,80	1991 - 2002
16	Côtier Cap Matifou	Ouled Ali	02 0627	128	0,03 - 6,57	0,1- 0,7	1988 - 2007
17	Côtiers Cherchell	Mesdour	020331	111	0,02 - 3,08	0,13 - 0,45	1996 - 2007
18	Côtiers Cherchell	Pont RN11	02 0323	53	0,08 - 5,30	0,13 - 2,04	1996 - 2006
19	Côtiers Cherchell	Botj Ghobrini	020301	52	0,036 - 15,96	0,1- 0,95	1988 - 1994
20	Côtier Tenes	Sidi Akacha	02 0207	115	0,03 - 7,8	0,1 - 0,85	1988 - 2007

Où D est la profondeur max de l'écoulement, N le nombre de mesures.

On remarque dans ce tableau que la plupart des jaugeages se font en période de basse eaux sauf quelques stations munies de dispositif à câble comme

Baghlia ,Belloua et Chiffa dont les grands débits peuvent être mesurés jusqu'à une certaine limite ,où le dispositif ne peut pas être maintenue dans l'eau lors des fortes crues avec des courants beaucoup trop importants ,pour le reste des stations ,impossible de jauger des grands débits lors des crues, dans ce cas une simple lecture sur l'échelle limnimitrique et une détermination des débits à partir des courbes de tarage est effectué, chose qui est insuffisante, d'où l'intérêt de cette méthode qui peut palier a cela et élargir le champs des mesures vers des débit beaucoup plus importants liquides et solides.

3- Traitement des données :

Le dépouillement des bulletins de jaugeage des 20 stations, nous a permis de dégager une relation linéaire (donc un rapport constant) entre la vitesse moyenne et la vitesse max.

Il est à signaler que les jaugeages ne se font pas toujours au même endroit, ils peuvent s'étaler jusqu'à 120m en amont ou en aval des échelles, et des fois plus.

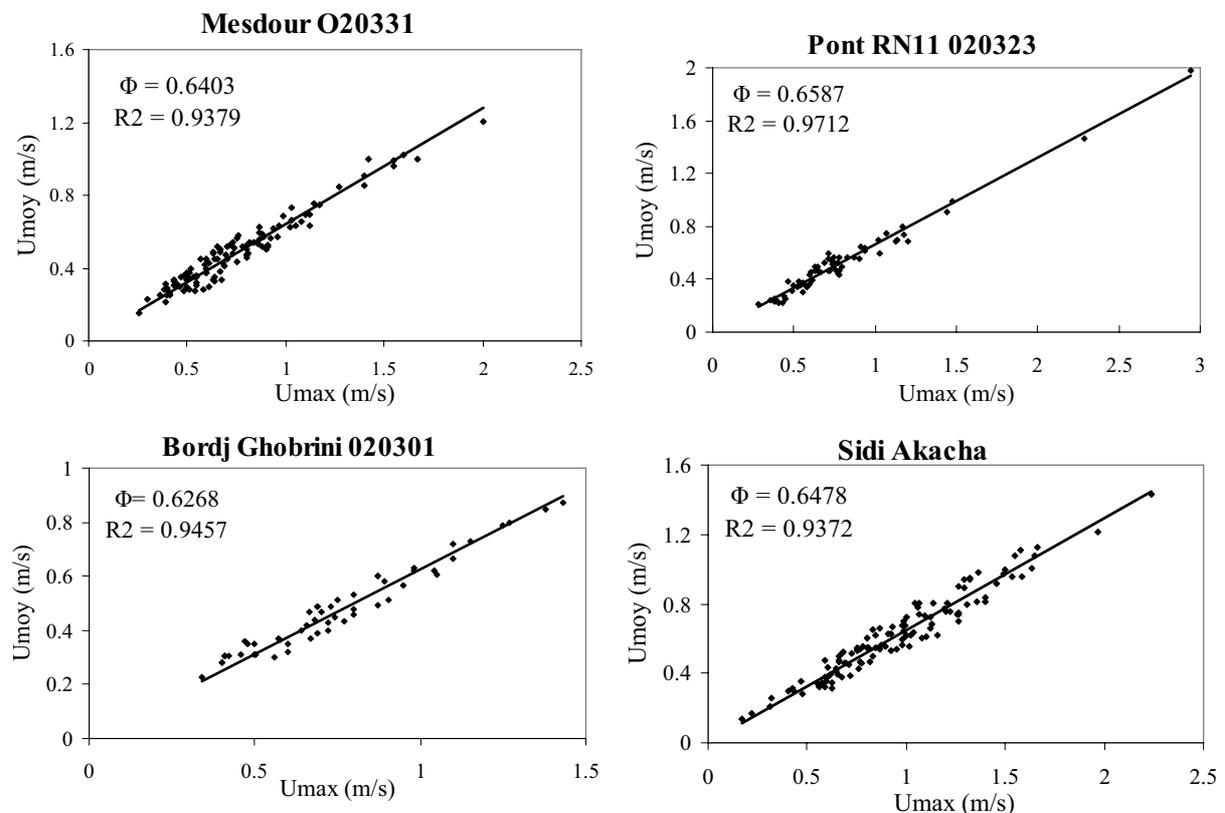
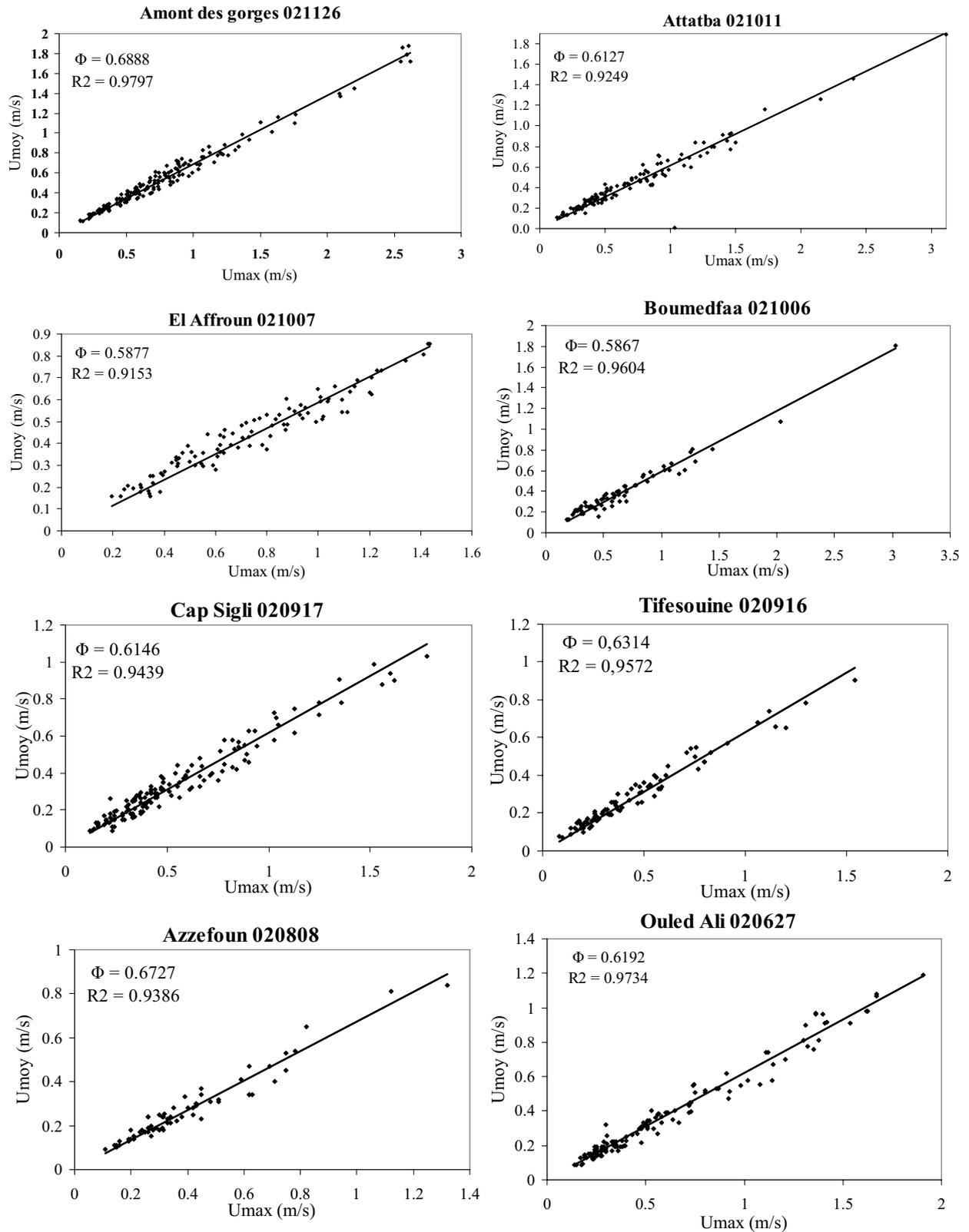
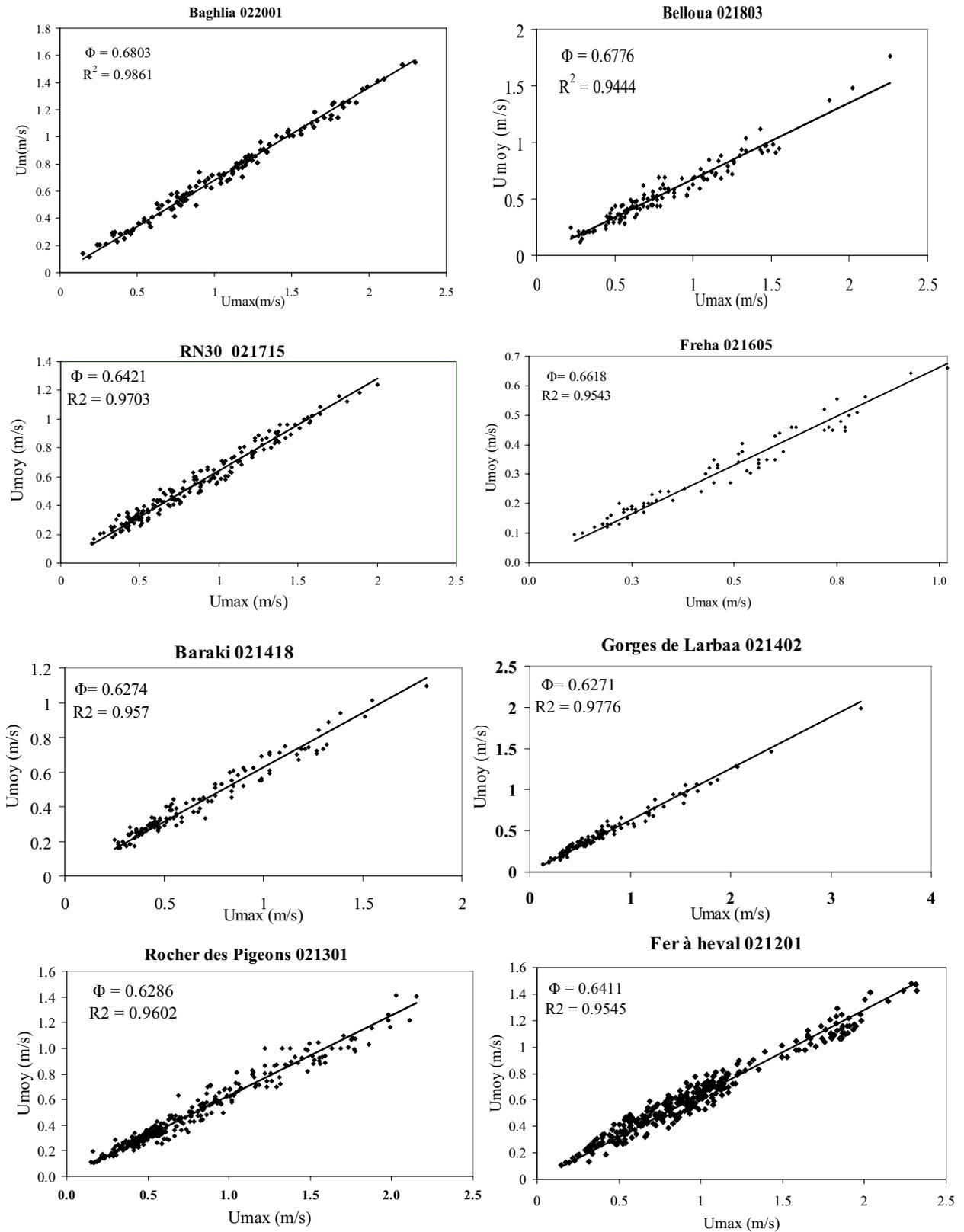


Figure (7,1) : Relation vitesses maximales- vitesses moyennes.



-Suite-Figure (7,1) : Relation vitesses maximales- vitesses moyennes.



-Suite- Figure (7,1) : Relation vitesses maximales- vitesses moyennes.

Les figures précédentes montrent une relation linéaire claire entre la vitesse moyenne et la vitesse max mesurée malgré que la vitesse max réelle est inconnue (Chiu, 1988), la vitesse moyenne étant le rapport entre le débit et la section d'écoulement mesurées.

Le tableau suivant résume le rapport $\Phi(M)$ est le paramètre d'entropie M constants pour chaque cours d'eau.

Tableau (7,2) : Valeurs de $\Phi(M)$ et M.

Station hydrométrique	Oued	$\Phi(M)$	M	R ²
Baghlia	Sebaou	0,6810	2,36	0,98
Belloua	Sebaou	0,6776	2,32	0,94
RN30	Aissi	0,6409	1,78	0,97
Freha	Dis	0,6618	2,08	0,95
Baraki	El Harrach	0,6274	1,59	0,96
Gorges de Larbaa	Djemmaa	0,6271	1,59	0,98
Rocher des pigeons	El harrach	0,6286	1,61	0,96
Fer à cheval	Mazafran	0,645	1,84	0,94
Amont des gorges	Chiffa	0,6411	1,79	0,97
Attatba	Bouroumi	0,6127	1,4	0,93
El affroun	Djer	0,5877	1,07	0,92
Boumedfaa	Djer	0,5867	1,06	0,96
Cap Sigli	Daas	0,6146	1,42	0,94
Tifesouine	S. A. Youcef	0,6314	1,65	0,95
Azeffoun	M'letat	0,6727	2,24	0,94
Ouled Ali	Barek	0,6192	1,48	0,97
Pont RN11	Belah	0,6587	2,03	0,97
Bordj ghobrini	El hachem	0,6268	1,58	0,95
Mesdour	Boukdir	0,6403	1,77	0,94
Sidi Akacha	Allalah	0,6478	1,88	0,94

Cette excellente relation est constante pour un large intervalle de débits de niveaux d'eau et de concentrations solide, que l'écoulement soit considéré comme permanent ou non permanent dans un lit majeur ou mineur de l'Oued et a n'importe quelle section de ce dernier.

Afin de vérifier l'aptitude de l'expression de Chiu [équation (2,25)] à décrire les profils des vitesses on a pris des échantillons de neufs cours d'eau comme le montre les figures suivantes :

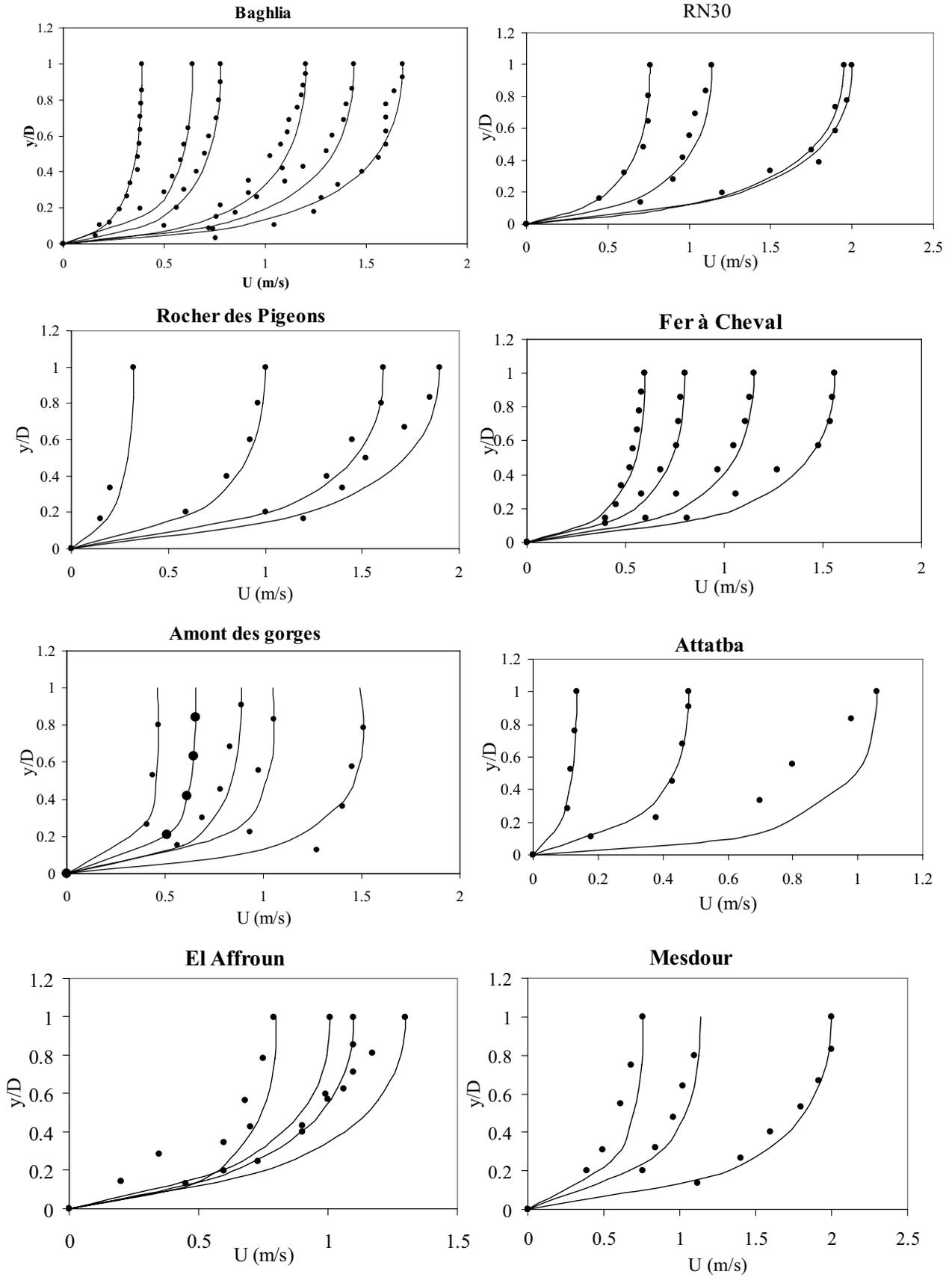
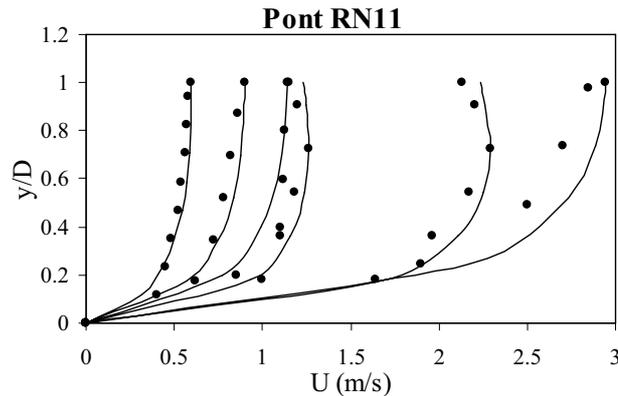


Figure (7,2) : Profils des vitesses.



-Suite-Figure (7,2) : Profiles des vitesses.

On remarque que l'expression de Chiu (ligne continue) a pu plus ou moins décrire les profiles des vitesses sauf quelques uns ou les points s'écartent de l'expression ce qui est probablement due à des erreurs de mesures comme le cas de la station de ATTATBA, où, pour le dernier profiles les points mesurées ne forment même pas la courbure caractéristique des profiles des vitesses en parallèle, l'expression de Chiu présente cette courbure, donc la méthode peut être un outil efficace pour non seulement corriger les mesures mais aussi pour générer les profiles a partir d'un seul point de mesure de la vitesse max.

On remarque aussi que cette vitesse apparaît au voisinage direct de la surface ce qui facilite encore plus la mesure.

Aussi si on observe bien ces profiles on constate que les points mesurés dévient plus au fond ce qui peut s'expliquer par la difficulté de maintenir l'instrument de mesure stable et parallèle à l'écoulement au fond.

L'estimation de la vitesse moyenne étant la première étape, il nous reste à modéliser la section d'écoulement ; parmi tous les modèles proposés par Chiu (1999) celui fonction du produit de la largeur au miroir et la profondeur max parait le plus adapté comme le montrent les figures suivantes :

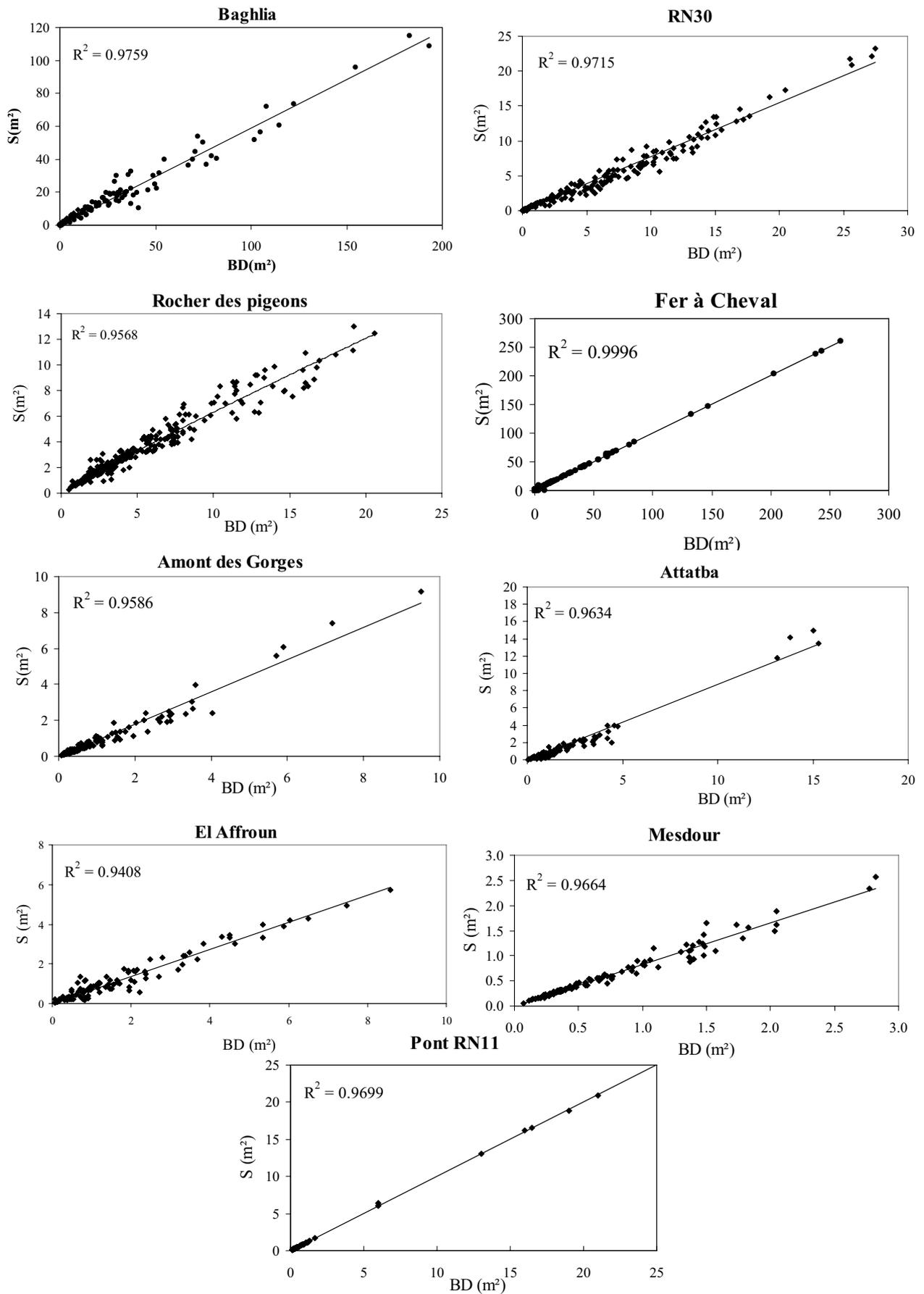


Figure (7,3) : Estimation de la section d'écoulement (B étant la largeur au miroir et D la profondeur max)

Le tableau suivant résume les modèles retenus pour chaque station.

Tableau (7,3) : Modèles d'estimation de la section d'écoulement.

Station hydrométrique	Oued	Modèle	R²
Baghlia	Sebaou	$S = 0,709(DB)^{0,96}$	0,98
RN30	Aissi	$S = 0,77(BD)$	0,97
Rocher des pigeons	El harrach	$S = 0,73(BD)^{0,94}$	0,96
Fer à cheval	Mazafran	$S = (BD)$	0,99
Amont des gorges	Chiffa	$S = 0,824(BD)^{0,96}$	0,96
Attatba	Bouroumi	$S = 0,89(BD)^{0,97}$	0,93
El Affroun	Djer	$S = 0,68(BD)$	0,94
Mesdour	Boukdir	$S = 0,83(BD)$	0,97
Pont RN11	Belah	$S = (BD)$	0,97

Malgré que les sections mouillées ont des formes irrégulières, on a obtenu des expressions de rectangles pour quelques stations ou presque pour d'autres.

Pour vérifier l'aptitude de ces modèles on a tracé des graphiques des sections estimés en fonction des sections observées.

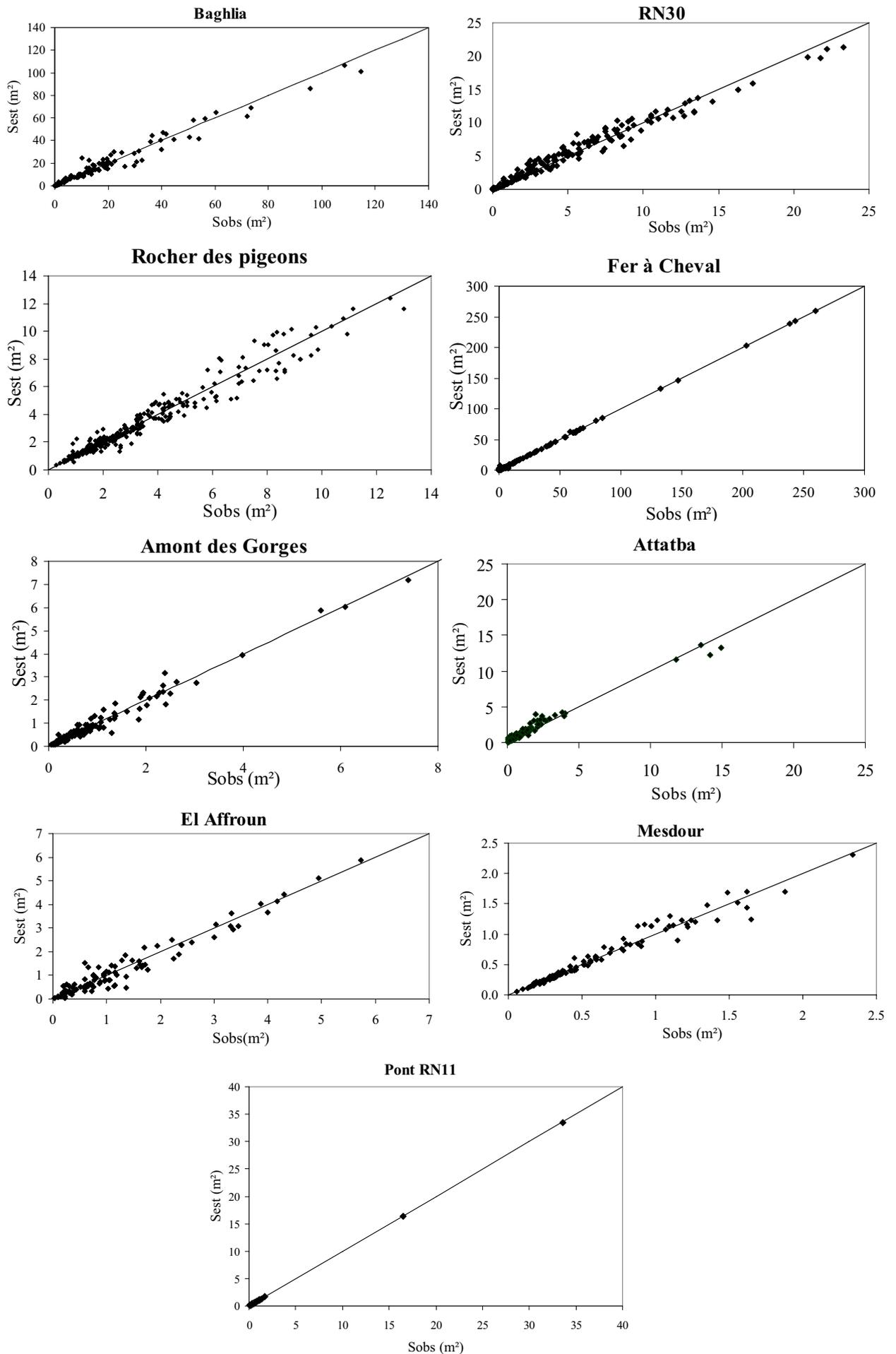


Figure (7,4) : Sections estimées- Sections observées.

On constate que les nuages de point tendent vers une droite de pente égale à l'unité.

Maintenant, ayant la vitesse moyenne calculée à partir de la vitesse max , et ayant la section estimée à partir de la largeur au miroir et la profondeur max ,on peut estimer le débit d'écoulement et le comparer avec les valeurs observées.

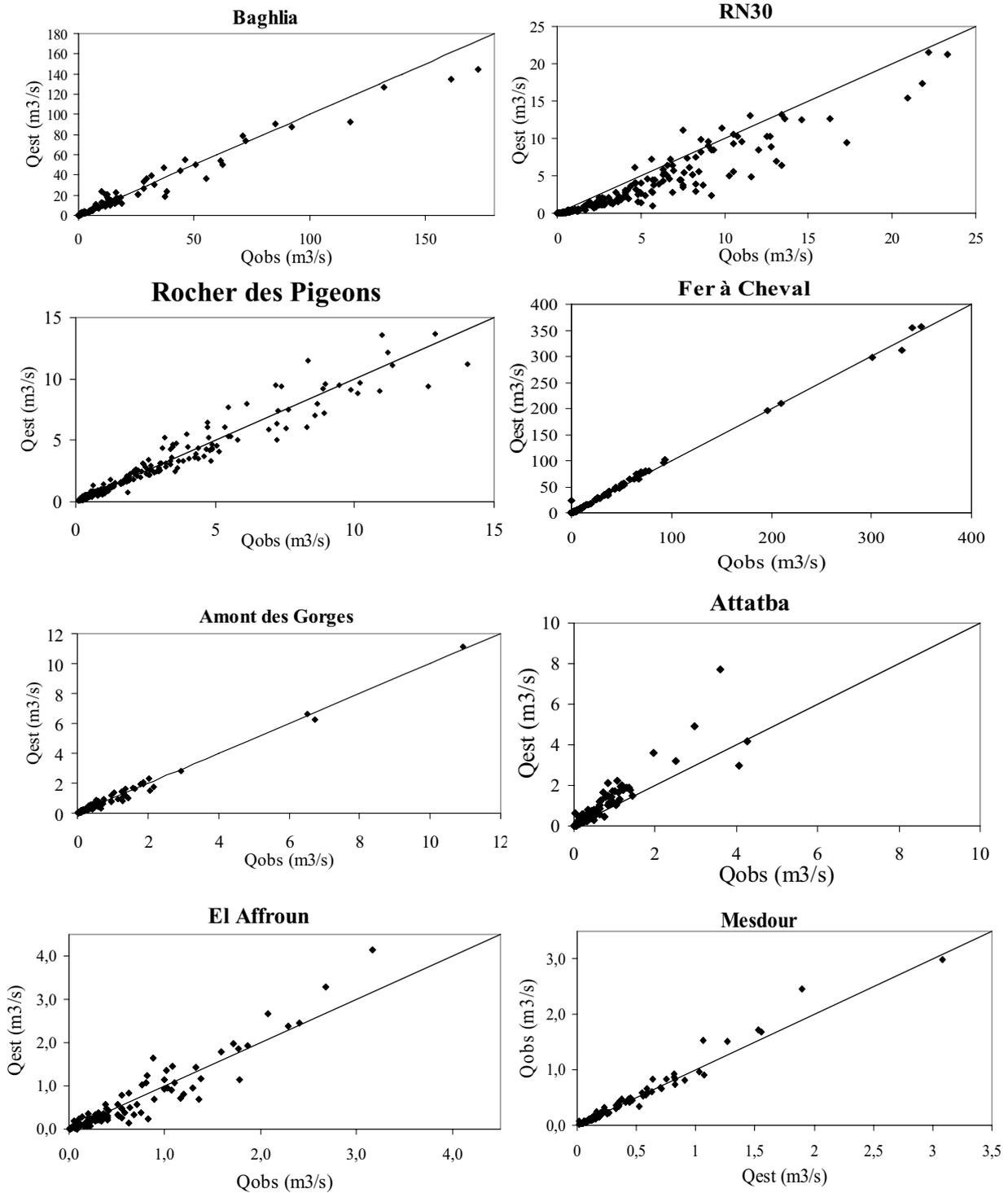
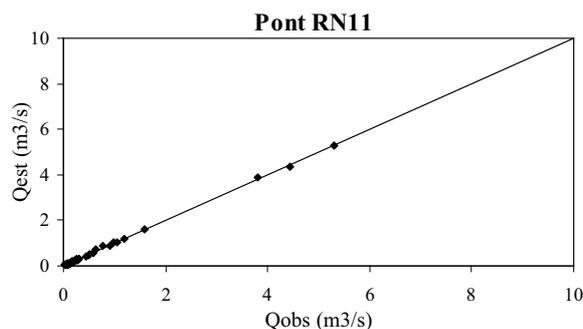


Figure (7,5) : Débits estimés- débits observés.



-Suite- Figure (7,5) : Débits estimés- débits observés.

On constate aussi que les nuages de point tendent vers une droite de pente égale à l'unité surtout pour les faibles débits, ce qui confirme la difficulté d'élaborer des jaugeage pour des débits importants.

Le coefficient de Nash (Nash et Sutcliffe, 1970) a été utilisé pour mesurer le degré d'ajustement entre les valeurs observées et estimées par la méthode.

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n_{obs}} (Q_{i_{est}} - Q_{i_{obs}})^2}{\sum_{i=1}^{n_{obs}} (Q_{i_{est}} - \overline{Q_{i_{obs}}})^2} \quad (7,1)$$

Où E est le coefficient de Nash, $Q_{i_{est}}$ est le débit estimé, $Q_{i_{obs}}$ est le débit observé, $\overline{Q_{i_{obs}}}$ est la moyenne des débits observés, n_{obs} est le nombre d'observations.

Tableau (7,4) : Paramètres d'estimations des débits.

Station	Erreur moyenne%	Coefficient de Nash	Station	Erreur moyenne%	Coefficient de Nash
Baghlia	20	0,95	Attatba	36	0,74
RN30	29	0,84	El Affroun	31	0,89
Rocher des Pigeons	14	0,94	Mesdour	13	0,96
Fer à cheval	14	0,96	Pont RN11	15	0,99
Amont des gorges	17	0,92	Moyenne	21	0,91

On voit sur le tableau un bon paramètre de Nash pour l'ensemble des stations, mais plus faible pour la station d'Attatba, ce qui indique qu'il y a une

certaine défaillance dans la mesure au niveau de cette station. En plus de l'erreur moyenne qui est assez raisonnables.

4- Conclusion :

Les expressions linéaires (vitesse moyenne- vitesse maximale) furent déduites pour les 20 stations hydrométriques, le rapport entre vitesse moyenne et vitesse maximale peut être pris égale à 0,66 pour la totalité, l'avantage de ce paramètre est qu'il ne change pas dans le temps et dans l'espace pour un même cours d'eau. La valeur du paramètre M est constante pour chaque station sur toute la période de l'étude, l'équation de distribution des vitesses de Chiu basée sur ce paramètre a prouvé son efficacité à décrire la forme des profiles des vitesses observées.

Des models d'estimation des sections d'écoulement ont été déduits en fonction de la profondeur maximale et de la largeur au miroir, pour à la fin estimer le débit d'écoulement avec une marge d'erreur acceptable.

Pour les grand débits, où, en plus du manque appréciable de mesures, on remarque aussi un manque de précision pour quelques stations, ce qui confirme la difficulté d'effectuer des jaugeages traditionnels en temps de fortes crues. Il est aussi recommandé pour les opérateurs de jaugeage de choisir toujours les verticales de mesure par rapport à un repère fixe pour faciliter la localisation de la vitesse maximale, pour notre cas d'étude, on remarqué que pour plus de 90% des cas la vitesses maximale se produit à la verticale la plus profonde, donc un repérage préalable de la position de la verticale où se produit la vitesse maximale est nécessaire.

Entre autre, le fait d'avoir des vitesses maximales aux voisinages directes de la surface de l'écoulement, permettra d'avoir une mesure continue de cette vitesse maximale (par des méthodes acoustiques ou optiques) donc une mesure continue du débit dans le temps, ce qui est un atout très important dans la politique de gestion et de mobilisation de l'eau en Algérie.

L'extension de l'utilisation de cette méthode va sans doute permettre de remédier au manque enregistré dans la mesure des débits, et de mieux estimer les débits liquides et solides véhiculés.

1- Introduction :

Le bassin hydrographique de l'Algérois présente une étendue considérable de l'Est vers l'Ouest, commençant par Bejaia jusqu'à Mostaganem, vue cette étendue il présente grande diversité climatique, topographique, géologique... etc, d'où la variation de l'ampleur du phénomène de transport solide et de l'envasement qui s'en suit.

La rareté de la ressource hydrique de la région (moyenne de 690mm par an de précipitation, et de 141mm d'écoulement), d'où la nécessité de préserver et développer encore plus la capacité de stockage des barrages de la régions, qui sont menacé de plus en plus par l'envasement qui est en constante croissance d'année en année, sans qu'on dispose de modèles et d'outils qui nous permettent de suivre l'évolution spatial et temporel du transport solide.

Ce chapitre a pour but d'estimer les quantités de sédiments transportés par les principaux cours d'eau du bassin hydrographique et d'élaborer une carte d'érosion qui permet d'avoir une idée sur les zones les plus vulnérables à l'envasement et d'avoir un outil qui peut aider à la prise de décisions lors des choix des sites potentiels d'emplacement d'ouvrages de stockage.

2- Collecte de données :

La collecte des données du transport solide à été encore plus difficile que ceux hydrométriques et pluviométriques, car les mécanismes de collecte des données T.S restent modestes, d'où le nombre insuffisant de données. La collecte s'est fait sur les vingt stations déjà citées, comme le montre le tableau suivant :

Tableau (8,1) : Stations de mesure des concentrations solides.

N°	Sous bassin	Oued	Station	Code	X (Km)	Y (Km)	Années d'observations
1	Oued Sebaou Maritime	Sébaou	Baghlia	02 2001	603,7	390,05	1968 à 1996
2	Oued Sebaou Sebt	Sébaou	Belloua	02 1803	623,3	381,2	1987 à 1999
3	Oued Aissi	Aissi	RN 30	02 1715	626,15	378,8	1987 à 1997
4	Oued Sebaou Rabta	Diss	Freha	02 1605	642,95	383	1989 à 1997
5	Oued El Hrrarach Maritime	El Hrrarach	Baraki	02 1418	535	376,3	1980 à 2003
6	Oued El Hrrarach Maritime	Djemaa	Gorges de larbaa	02 1402	543,8	358	1989 à 1994
7	Oued El Hrrarach Amont	El Hrrarach	Rocher des Pigeons	021301	532,05	354,05	1977 à 2004
8	Oued Mazafran	Mazafran	Fer à Cheval	021201	510,05	373,2	1976 à 1995
9	Oued Chiffa	Chiffa	Amont des Gorges	021126	506,15	342,3	1988 à 1997
10	Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Attatba	021011	498,6	362,85	1989 à 1995
11	Oued Djer-Bouroumi	Djer	El Affroun	02 1007	490,95	350,95	1989 à 1995
12	Oued Djer-Bouroumi	Djer	Boumedfaa	021006	483,6	343,35	1989 à 2000
13	Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Tarzoute	02 1002	495,3	346,79	1976 à 1985
14	Côtier Cap Sigli	Daas	Cap Sigli	02 0917	688,2	397,2	1989 à 1998
15	Côtier Cap Sigli	S.A Youcef	Tifezouine	02 0916	660,55	397,45	1989 à 1998
16	Tigzirt	M'leta	Azeffoun	02 0808	647,22	400,4	1989 à 1997
17	Côtier Cap Matifou	Barek	Ouled Ali	02 0627	552,85	371,55	1990 à 2005
18	Côtiers Cherchell	Belah	Pont RN11	02 0323	458,65	367,5	1974 à 2000
19	Côtiers Cherchell	El Hachem	Borj Ghobrini	020301	460,65	367	1973 à 1988
20	Côtier Tenes	Oued Allalah	Sidi Akacha	02 0207	375,75	354,75	1988 à 1998

Les données consistent en :

- Les débits liquides instantanés.
- Les concentrations solides.

Les débits solides sont obtenus par le produit des débits liquides et des concentrations solides.

3- Etude des relations débits liquides-débits solides :

On tentera dans cette étape de décrire des relations débits liquides-débits solides, à différentes échelles temporelles, pour toutes les stations afin de

nous permettre par la suite, de déterminer les débits solides moyens journaliers et d'en tirer les apports solides qui passent par chaque station.

3-1- Echelle interannuelle :

On utilisera dans cette échelle l'ensemble des couples de données pour chaque station afin de développer les models possibles.

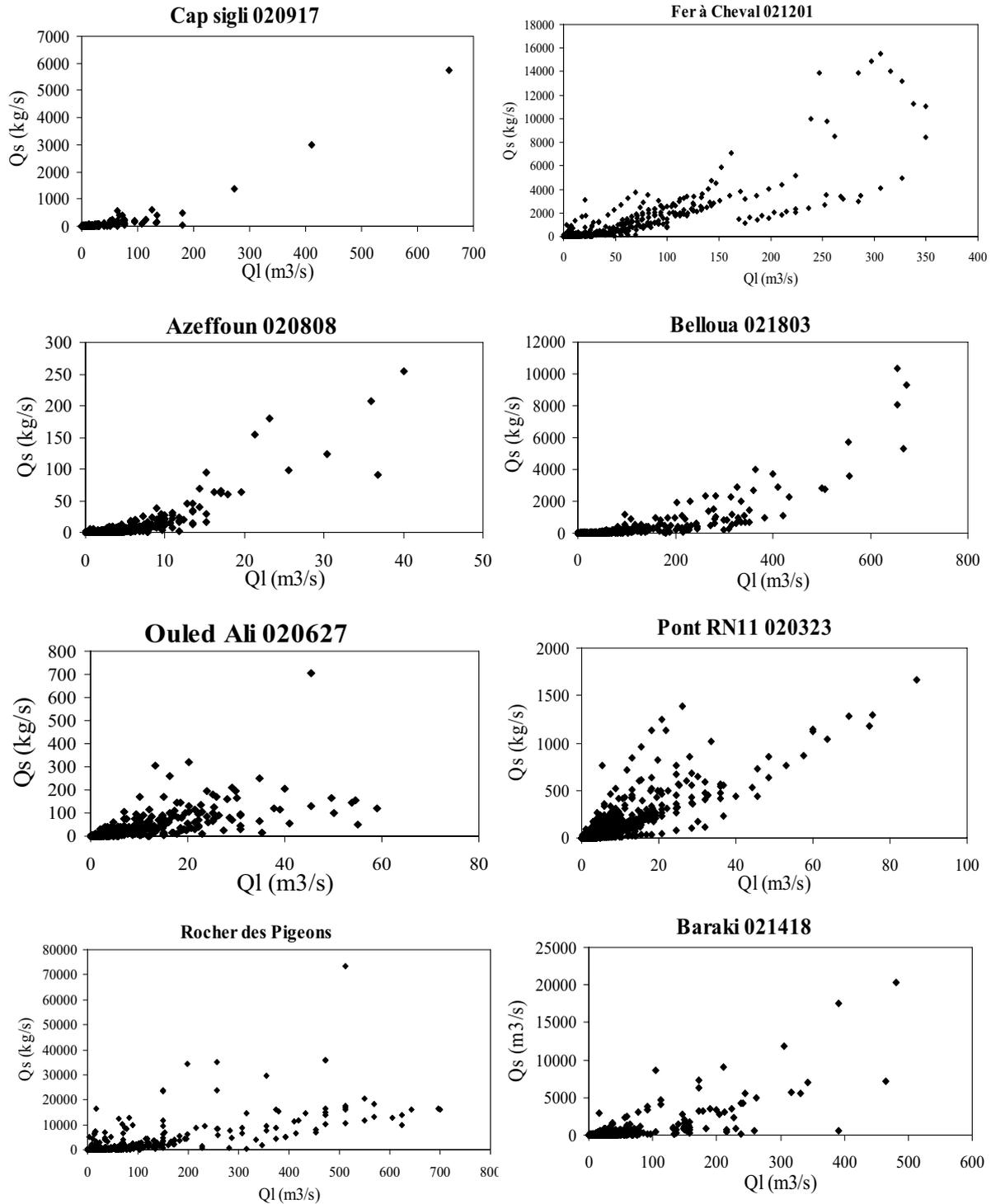
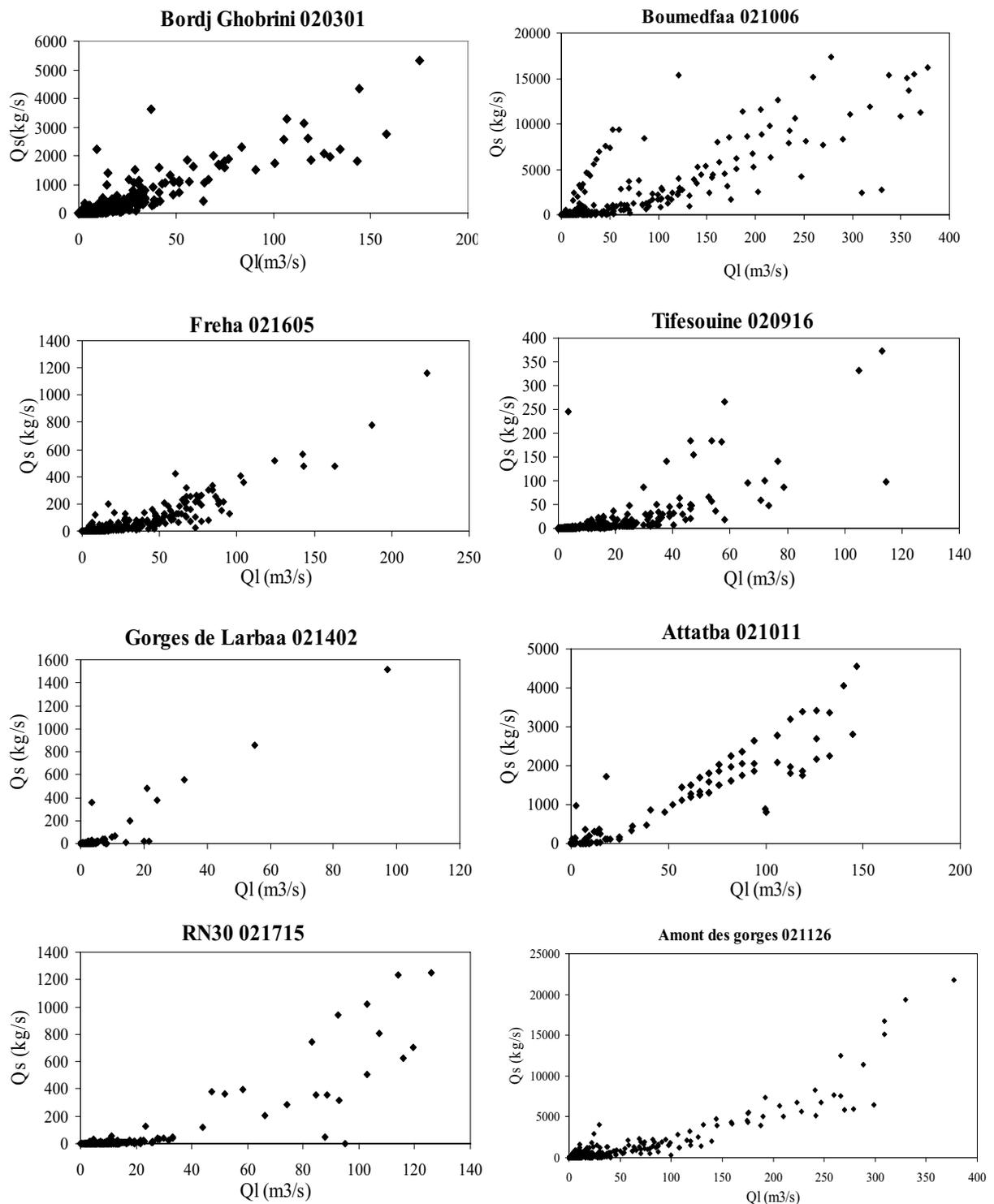
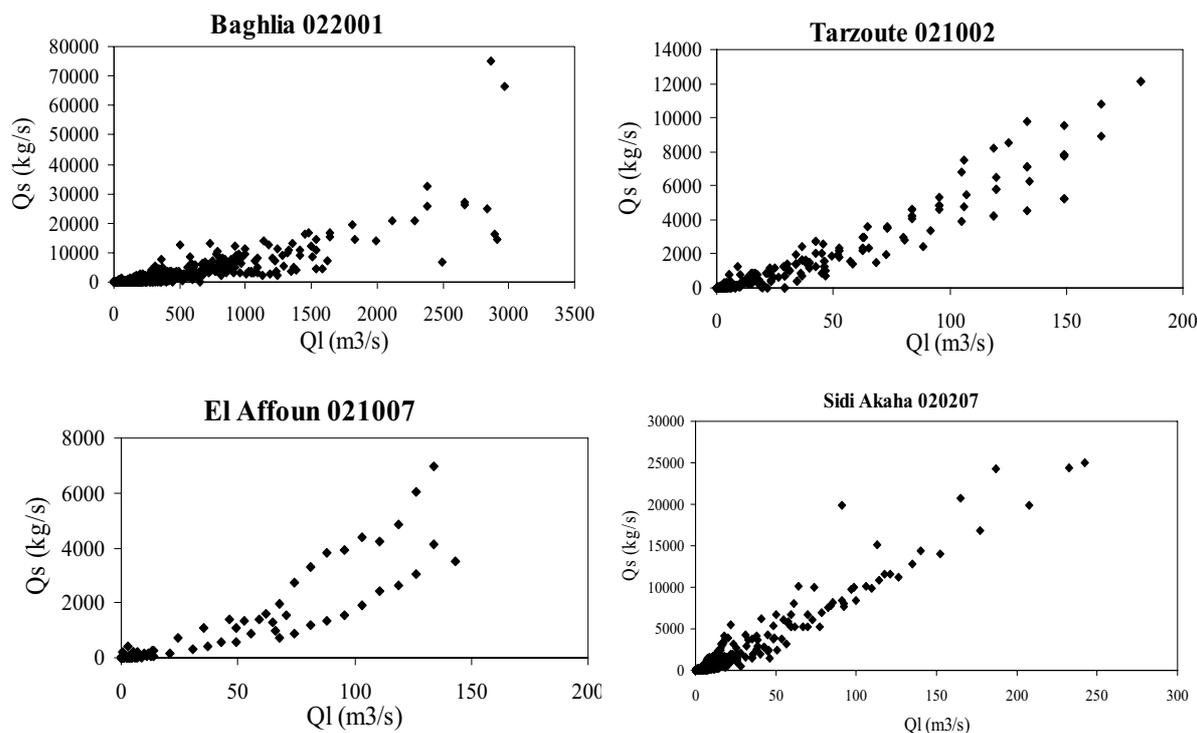


Figure (8,1) : Débits solides- débits liquides à l'échelle interannuelle.



-Suite- Figure (8,1) : Débits solides- débits liquides à l'échelle interannuelle.



-Suite- Figure (8,1) : Débits solides- débits liquides à l'échelle interannuelle.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus.

Tableau (8,2) : Echelle interannuelle.

N°	Station	Code	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
1	Baghlia	02 2001	4112	0,65	0,1	0,9	0,33	0,75
2	Belloua	02 1803	629	0,58	0,11	0,84	0,53	0,85
3	RN 30	02 1715	201	0,67	0,30	0,67	0,63	0,80
4	Freha	02 1605	408	0,75	0,28	0,87	0,58	0,88
5	Baraki	02 1418	973	0,53	0,17	0,74	0,41	0,64
6	Gorges de Larbaa	02 1402	124	0,86	0,17	0,61	0,35	0,89
7	Rocher des Pigeons	021301	1609	0,51	0,2	0,64	0,33	0,52
8	Fer à Cheval	021201	486	0,68	0,27	0,79	0,46	0,72
9	Amont des Gorges	021126	597	0,8	0,23	0,77	0,35	0,9
10	Attatba	021011	153	0,88	0,51	0,82	0,58	0,88
11	El Affroun	02 1007	119	0,82	0,48	0,81	0,58	0,85
12	Boumedfaa	021006	356	0,7	0,3	0,76	0,41	0,71
13	Tarzoute	02 1002	560	0,91	0,42	0,85	0,47	0,94
14	Cap Sigli	02 0917	416	0,76	0,08	0,78	0,32	0,97
15	Tifezouine	02 0916	330	0,44	0,11	0,83	0,55	0,57
16	Azeffoun	02 0808	457	0,59	0,14	0,78	0,52	0,82
17	Ouled Ali	02 0627	458	0,45	0,26	0,81	0,41	0,46
18	Pont RN11	02 0323	1711	0,72	0,31	0,82	0,36	0,72
19	Borj Ghobrini	020301	681	0,78	0,36	0,72	0,41	0,79
20	Sidi Akacha	02 0207	831	0,23	0,26	0,9	0,27	0,93

On remarque que les modèles les plus représentatifs sont ceux polynomiales et puissance.

3-2- Echelle annuelle :

Pour cette échelle on dégagera des modèles propres à chaque année hydrologique, les tableaux suivant résument l'ensemble des résultats.

Tableau (8,3) : Echelle annuelle, station Baghlia.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
68/69	27	0,74	0,55	0,65	0,67	0,88
70/71	51	0,28	0,36	0,61	0,42	0,32
72/73	523	0,74	0,23	0,9	0,41	0,79
73/74	533	0,7	0,15	0,91	0,28	0,73
74/75	407	0,79	0,17	0,91	0,46	0,85
75/76	462	0,89	0,15	0,91	0,33	0,95
76/77	234	0,83	0,15	0,91	0,4	0,96
77/78	127	0,78	0,5	0,83	0,71	0,86
78/79	111	0,64	0,46	0,71	0,7	0,76
79/80	137	0,79	0,49	0,79	0,61	0,94
80/81	158	0,88	0,52	0,88	0,56	0,91
82/83	304	0,8	0,2	0,87	0,53	0,91
83/84	231	0,51	0,12	0,85	0,66	0,87
84/85	163	0,75	0,54	0,87	0,75	0,89
85/86	124	0,88	0,33	0,74	0,47	0,98
86/87	228	0,69	0,33	0,88	0,65	0,96
87/88	11	0,83	0,75	0,78	0,86	0,99
90/91	84	0,62	0,34	0,86	0,8	0,81
91/92	68	0,77	0,44	0,77	0,69	0,94
92/93	70	0,48	0,19	0,67	0,49	0,59
93/94	50	0,78	0,3	0,87	0,63	0,95
94/95	14	0,61	0,28	0,86	0,8	0,72
95/96	47	0,43	0,43	0,73	0,38	0,52

Tableau (8,4) : Echelle annuelle, station Belloua.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
89/90	20	0,72	0,35	0,92	0,57	0,85
90/91	56	0,7	0,42	0,84	0,72	0,91
91/92	49	0,83	0,27	0,78	0,47	0,9
92/93	41	0,77	0,37	0,84	0,64	0,84
93/94	26	0,53	0,31	0,66	0,71	0,64
94/95	106	0,74	0,4	0,87	0,74	0,79
96/97	21	0,7	0,23	0,88	0,67	0,87
97/98	205	0,77	0,09	0,85	0,39	0,97
98/99	52	0,54	0,19	0,83	0,78	0,87
99/00	8	**	**	**	**	**
00/01	45	0,69	0,44	0,88	0,77	0,82

Tableau (8,5) : Echelle annuelle, station RN30.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
87/88	19	0,3	0,29	0,53	0,42	0,33
88/89	1	**	**	**	**	**
89/90	35	0,12	0,12	0,11	0,08	0,13
90/91	57	0,6	0,29	0,52	0,48	0,7
91/92	13	0,9	0,7	0,69	0,72	0,99
92/93	16	0,29	0,29	0,39	0,36	0,41
93/94	16	0,62	0,53	0,85	0,89	0,85
94/95	25	0,66	0,28	0,8	0,63	0,74
95/96	1	**	**	**	**	**
96/97	18	0,13	0,12	0,5	0,41	0,13

Tableau (8,6) : Echelle annuelle, station Freha.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
87/88	19	0,3	0,29	0,53	0,42	0,33
88/89	1					
89/90	35	0,12	0,12	0,11	0,08	0,13
90/91	57	0,6	0,29	0,52	0,48	0,7
91/92	13	0,9	0,7	0,69	0,72	0,99
92/93	16	0,29	0,29	0,39	0,36	0,41
93/94	16	0,62	0,53	0,85	0,89	0,85
96/97	5	**	**	**	**	**

Tableau (8,7) : Echelle annuelle, station Baraki.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
80/81	106	0,59	0,34	0,68	0,48	0,64
81/82	51	0,45	0,38	0,53	0,33	0,49
82/83	64	0,25	0,26	0,62	0,44	0,27
83/84	70	0,24	0,2	0,49	0,59	0,3
84/85	123	0,45	0,25	0,71	0,44	0,49
85/86	179	0,79	0,26	0,8	0,33	0,8
86/87	39	0,41	0,24	0,64	0,29	0,56
99/00	48	0,76	0,49	0,86	0,44	0,77
00/01	76	0,52	0,4	0,78	0,49	0,64
01/02	55	0,77	0,41	0,78	0,61	0,96
02/03	162	0,66	0,28	0,8	0,59	0,85

Tableau (8,8) : Echelle annuelle, station Gorges de Larbaa.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
89/90	6	**	**	**	**	**
90/91	11	-0,61	0,03	0,03	0,07	0,19
91/92	59	0,9	0,23	0,75	0,42	0,92
92/93	46	0,05	0,06	0,56	0,56	0,05
93/94	2	**	**	**	**	**

Tableau (8,9) : Echelle annuelle, station Rocher des Pigeons.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
77/78	68	0,78	0,31	0,81	0,48	0,92
78/79	141	0,26	0,15	0,74	0,63	0,39
79/80	163	0,79	0,49	0,51	0,45	0,81
80/81	56	0,25	0,28	0,64	0,49	0,32
81/82	65	0,0033	0,08	0,47	0,23	0,1
82/83	74	0,5	0,3	0,49	0,61	0,62
84/85	129	0,7	0,24	0,72	0,5	0,85
85/86	109	0,93	0,54	0,67	0,5	0,94
86/87	152	0,69	0,33	0,58	0,61	0,79
87/88	50	0,57	0,47	0,72	0,49	0,58
89/90	98	0,86	0,42	0,87	0,51	0,88
90/91	89	0,82	0,36	0,65	0,42	0,85
91/92	124	0,87	0,47	0,78	0,51	0,88
92/93	64	0,79	0,28	0,82	0,42	0,81
93/94	72	0,87	0,74	0,86	0,79	0,87
02/03	130	0,74	0,36	0,24	0,41	0,96
03/04	25	0,03	0,1	0,06	0,09	0,07

Tableau (8,10) : Echelle annuelle, station Fer à cheval.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
76/77	48	0,82	0,58	0,64	0,61	0,82
77/78	70	0,49	0,38	0,85	0,67	0,49
78/79	139	0,46	0,39	0,77	0,54	0,47
79/80	232	0,72	0,45	0,84	0,7	0,78
80/81	165	0,8	0,61	0,89	0,77	0,97
81/82	50	0,81	0,63	0,86	0,81	0,93
82/83	43	0,84	0,68	0,93	0,71	0,95
83/84	39	0,78	0,66	0,85	0,79	0,85
84/85	218	0,66	0,36	0,82	0,61	0,89
85/86	143	0,79	0,4	0,82	0,67	0,97
86/87	241	0,75	0,36	0,86	0,71	0,88
87/88	20	0,56	0,39	0,84	0,86	0,79
88/89	93	0,89	0,52	0,85	0,62	0,95
89/90	33	0,78	0,37	0,43	0,63	0,95
90/91	29	0,82	0,76	0,84	0,55	0,87
91/92	213	0,63	0,28	0,82	0,53	0,69
92/93	51	0,71	0,42	0,75	0,68	0,9
93/94	36	0,68	0,24	0,8	0,54	0,94
94/95	125	0,8	0,3	0,77	0,42	0,83

Tableau (8,11) : Echelle annuelle, station Amont des Gorges.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
88/89	79	0,88	0,37	0,85	0,52	0,97
89/90	41	0,69	0,23	0,61	0,42	0,91
90/91	39	0,91	0,49	0,84	0,57	0,94
91/92	73	0,96	0,64	0,89	0,5	0,96
92/93	58	0,75	0,55	0,78	0,54	0,75
93/94	47	0,89	0,56	0,82	0,48	0,91
94/95	130	0,39	0,3	0,7	0,48	0,41
95/96	95	0,45	0,15	0,49	0,35	0,51
96/97	36	0,46	0,55	0,88	0,38	0,66

Tableau (8,12) : Echelle annuelle, station Attatba.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
89/90	15	0,04	0,05	0,09	0,23	0,04
90/91	17	0,96	0,82	0,87	0,7	0,99
91/92	88	0,83	0,51	0,87	0,73	0,84
92/93	10	0,85	0,75	0,75	0,67	0,86
93/94	10	0,96	0,37	0,92	0,34	0,99
94/95	12	0,94	0,35	0,75	0,47	0,99

Tableau (8,13) : Echelle annuelle, station El Affroun.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
89/90	3	**	**	**	**	**
90/91	6	**	**	**	**	**
91/92	72	0,78	0,41	0,88	0,58	0,82
94/95	38	0,014	0,06	0,1	0,07	0,09

Tableau (8,14) : Echelle annuelle, station Boumedfaa.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
89/90	20	0,78	0,55	0,68	0,49	0,83
90/91	33	0,89	0,59	0,67	0,45	0,89
91/92	121	0,68	0,44	0,77	0,45	0,68
92/93	2	**	**	**	**	**
94/95	39	0,63	0,33	0,48	0,47	0,65
96/97	19	0,99	0,48	0,5	0,35	0,99
97/98	41	0,5	0,2	0,49	0,45	0,86
98/99	72	0,72	0,43	0,67	0,65	0,79
99/00	9	**	**	**	**	**

Tableau (8,15) : Echelle annuelle, station Tarzoute.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
76/77	54	0,68	0,29	0,7	0,43	0,83
77/78	37	0,81	0,52	0,76	0,61	0,92
78/79	105	0,84	0,41	0,87	0,5	0,92
79/80	129	0,9	0,52	0,87	0,6	0,94
80/81	60	0,68	0,42	0,68	0,59	0,78
81/82	49	0,84	0,38	0,89	0,52	0,92
82/83	43	0,71	0,29	0,75	0,58	0,92
83/84	41	0,78	0,49	0,78	0,58	0,84
84/85	43	0,96	0,66	0,92	0,6	0,98

Tableau (8,16) : Echelle annuelle, station Cap Sigli.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
89/90	33	0,9	0,29	0,9	0,5	0,99
90/91	40	0,53	0,2	0,76	0,63	0,54
91/92	49	0,65	0,28	0,63	0,41	0,75
92/93	48	0,75	0,49	0,8	0,62	0,76
93/94	22	0,93	0,55	0,86	0,6	0,93
94/95	145	0,69	0,29	0,77	0,38	0,7
96/97	7	**	**	**	**	**
97/98	72	0,95	0,25	0,87	0,41	0,99

Tableau (8,17) : Echelle annuelle, station Tifesouine.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
89/90	11	0,78	0,41	0,87	0,86	0,99
90/91	43	0,43	0,3	0,75	0,82	0,79
91/92	35	0,74	0,38	0,78	0,87	0,9
92/93	62	0,74	0,23	0,91	0,59	0,85
93/94	38	0,34	0,26	0,83	0,71	0,34
94/95	45	0,1	0,04	0,79	0,41	0,13
95/96	26	0,76	0,16	0,92	0,5	0,94
96/97	1	**	**	**	**	**
97/98	69	0,67	0,34	0,79	0,65	0,75

Tableau (8,18) : Echelle annuelle, station Azeffoun.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
89/90	16	0,57	0,33	0,96	0,79	0,65
90/91	55	0,65	0,22	0,89	0,61	0,83
91/92	56	0,51	0,23	0,62	0,63	0,67
92/93	89	0,53	0,27	0,6	0,61	0,58
93/94	37	0,46	0,24	0,8	0,64	0,5
94/95	81	0,4	0,24	0,52	0,56	0,48
95/96	101	0,76	0,48	0,89	0,68	0,83
96/97	22	0,76	0,46	0,76	0,76	0,81

Tableau (8,19) : Echelle annuelle, station Ouled Ali.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
90/91	33	0,56	0,25	0,8	0,47	0,58
91/92	59	0,44	0,25	0,83	0,4	0,48
92/93	34	0,36	0,13	0,74	0,59	0,67
93/94	36	0,94	0,66	0,87	0,67	0,98
99/00	56	0,88	0,56	0,87	0,6	0,91
00/01	61	0,68	0,46	0,71	0,57	0,78
02/03	110	0,32	0,35	0,5	0,36	0,39
03/04	42	0,93	0,62	0,84	0,6	0,95
04/05	27	0,42	0,46	0,5	0,37	0,53

Tableau (8,20) : Echelle annuelle, station Pont RN11.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
74/75	85	0,85	0,41	0,88	0,44	0,85
75/76	235	0,93	0,41	0,89	0,39	0,93
77/78	88	0,68	0,4	0,81	0,47	0,69
79/80	182	0,38	0,35	0,75	0,38	0,45
80/81	169	0,9	0,56	0,91	0,57	0,91
81/82	54	0,88	0,54	0,8	0,61	0,9
83/84	112	0,81	0,51	0,78	0,58	0,85
84/85	241	0,67	0,29	0,87	0,53	0,87
85/86	74	0,65	0,34	0,65	0,49	0,66
86/87	232	0,65	0,31	0,86	0,6	0,86
88/89	86	0,74	0,38	0,88	0,4	0,75
99/00	153	0,89	0,36	0,92	0,39	0,91

Tableau (8,21) : Echelle annuelle, station Bordj Ghobrini.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
73/74	50	0,41	0,37	0,53	0,55	0,51
74/75	61	0,89	0,5	0,79	0,52	0,9
75/76	93	0,83	0,36	0,68	0,42	0,83
76/77	39	0,79	0,58	0,8	0,71	0,88
77/78	48	0,82	0,45	0,71	0,4	0,83
78/79	115	0,68	0,51	0,74	0,45	0,7
84/85	75	0,92	0,43	0,9	0,49	0,97
85/86	58	0,75	0,51	0,79	0,71	0,94
86/87	120	0,79	0,33	0,82	0,5	0,9
87/88	23	0,84	0,59	0,86	0,64	0,91

Tableau (8,22) : Echelle annuelle, station Sidi Akacha.

Année	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
88/89	5	**	**	**	**	**
89/90	59	0,83	0,46	0,97	0,52	0,87
91/92	97	0,67	0,31	0,95	0,57	0,75
92/93	83	0,64	0,3	0,88	0,53	0,66
93/94	74	0,78	0,38	0,93	0,45	0,84
94/95	157	0,54	0,46	0,92	0,43	0,64
95/96	105	0,85	0,34	0,78	0,4	0,93
96/97	69	0,97	0,48	0,96	0,6	0,98
97/98	185	0,85	0,3	0,95	0,46	0,88

Même chose pour l'échelle annuelle, les modèles puissances et polynomiales sont les plus représentatifs.

3-3- Echelle saisonnière :

De même, on partage les couples de données suivant les saisons, et on vérifie l'aptitude de quelques modèles à décrire la relation liquide- solide.

Les résultats sont exposés sur les tableaux suivants.

Tableau (8,23) : Echelle saisonnière, station Baghlia.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	2047	0,74	0,3	0,86	0,47	0,8
printemps	982	0,7	0,15	0,88	0,28	0,74
été	456	0,55	0,4	0,9	0,65	0,55
Automne	789	0,8	0,18	0,89	0,33	0,81

Tableau (8,24) : Echelle saisonnière, station Belloua.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	312	0,53	0,27	0,78	0,72	0,68
printemps	120	0,75	0,3	0,88	0,57	0,94
Eté	7	**	**	**	**	**
Automne	190	0,83	0,11	0,87	0,39	0,97

Tableau (8,25) : Echelle saisonnière, station RN30.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	105	0,73	0,39	0,83	0,65	0,77
printemps	70	0,85	0,55	0,86	0,76	0,9
Eté	0	**	**	**	**	**
Automne	21	0,32	0,25	0,46	0,43	0,32

Tableau (8,26) : Echelle saisonnière, station Freha.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	269	0,77	0,33	0,91	0,63	0,89
printemps	83	0,69	0,33	0,89	0,58	0,71
Eté	0	**	**	**	**	**
Automne	53	0,36	0,14	0,82	0,61	0,43

Tableau (8,27) : Echelle saisonnière, station Baraki.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	487	0,62	0,18	0,74	0,41	0,75
printemps	147	0,71	0,28	0,69	0,49	0,93
Eté	2	**	**	**	**	**
Automne	247	0,46	0,22	0,77	0,35	0,46

Tableau (8,28) : Echelle saisonnière, station Gorges de Larbaa.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	52	0,95	0,24	0,7	0,43	0,95
printemps	26	0,17	0,29	0,59	0,39	0,33
Eté	0	**	**	**	**	**
Automne	45	0,64	0,41	0,36	0,38	0,77

Tableau (8,29) : Echelle saisonnière, station Rocher des Pigeons.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Automne	495	0,36	0,12	0,67	0,35	0,45
Hiver	748	0,8	0,37	0,71	0,42	0,81
Printemps	319	0,63	0,19	0,64	0,4	0,76
Eté	27	0,97	0,6	0,82	0,44	0,99

Tableau (8,30) : Echelle saisonnière, station Fer à Cheval.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	230	0,88	0,35	0,88	0,5	0,91
printemps	136	0,39	0,28	0,65	0,35	0,41
Eté	14	0,47	0,4	0,78	0,39	0,59
Automne	217	0,88	0,32	0,81	0,29	0,95

Tableau (8,31) : Echelle saisonnière, station Attatba.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	84	0,85	0,62	0,89	0,66	0,86
printemps	29	0,91	0,7	0,93	0,77	0,97
Eté	0	**	**	**	**	**
Automne	40	0,6	0,2	0,67	0,28	0,66

Tableau (8,32) : Echelle saisonnière, station El Affroun.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	51	0,76	0,5	0,94	0,7	0,8
printemps	24	0,95	0,61	0,81	0,59	0,95
Eté	0	**	**	**	**	**
Automne	45	0,35	0,28	0,52	0,32	0,38

Tableau (8,33) : Echelle saisonnière, station Boumedfaa.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	219	0,8	0,35	0,84	0,53	0,82
printemps	40	0,42	0,13	0,72	0,55	0,74
Eté	7	**	**	**	**	**
Automne	88	0,65	0,24	0,66	0,44	0,66

Tableau (8,34) : Echelle saisonnière, station Tarzoute.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Automne	198	0,97	0,55	0,87	0,47	0,98
Hiver	319	0,89	0,4	0,86	0,48	0,93
Printemps	43	0,51	0,33	0,51	0,47	0,67
Eté	0	**	**	**	**	**

Tableau (8,35) : Echelle saisonnière, station Cap Sigli.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	220	0,6	0,32	0,83	0,54	0,6
printemps	82	0,94	0,29	0,85	0,43	0,99
Eté	0	**	**	**	**	**
Automne	111	0,59	0,18	0,72	0,4	0,73

Tableau (8,36) : Echelle saisonnière, station Tifesouine.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	201	0,3	0,11	0,73	0,61	0,36
printemps	57	0,73	0,37	0,86	0,6	0,74
Eté	0	**	**	**	**	**
Automne	72	0,83	0,16	0,92	0,48	0,94

Tableau (8,37) : Echelle saisonnière, station Azeffoun.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	300	0,63	0,16	0,78	0,53	0,84
printemps	114	0,42	0,13	0,81	0,62	0,92
Eté	1	**	**	**	**	**
Automne	40	0,36	0,18	0,69	0,56	0,38

Tableau (8,38) : Echelle saisonnière, station Ouled Ali.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	227	0,43	0,22	0,78	0,46	0,44
printemps	78	0,7	0,36	0,88	0,48	0,7
Eté	0	**	**	**	**	**
Automne	152	0,5	0,37	0,82	0,35	0,6

Tableau (8,39) : Echelle saisonnière, station Pont RN11.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	980	0,88	0,26	0,85	0,33	0,92
printemps	235	0,8	0,29	0,74	0,39	0,83
Eté	27	0,86	0,48	0,74	0,54	0,86
Automne	465	0,66	0,36	0,88	0,38	0,67

Tableau (8,40) : Echelle saisonnière, station Bordj Ghobrini.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	368	0,88	0,48	0,77	0,49	0,88
printemps	120	0,73	0,5	0,67	0,47	0,77
Eté	6	**	**	**	**	**
Automne	189	0,82	0,36	0,82	0,38	0,83

Tableau (8,41) : Echelle saisonnière, station Sidi akacha.

Saison	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Hiver	358	0,88	0,4	0,9	0,37	0,89
printemps	227	0,97	0,3	0,9	0,35	0,97
Eté	7	**	**	**	**	**
Automne	239	0,86	0,36	0,93	0,38	0,86

On remarque que cette échelle donne de meilleurs résultats du point de vue coefficient de détermination, car chaque saison à un comportement hydrologique assez différent, l'automne est caractérisé par des averses sur un sol assez sec, ce qui facilite l'érosion et donne des concentrations solides assez importante. Pendant l'hiver le sol est assez humide, il résiste donc mieux à l'érosion, sauf que les débits liquides assez importants font qu'on obtient des apports solides considérable en hiver.

Pendant le printemps, la végétation renforce la capacité à résister à l'érosion du sol et réduit souvent les concentrations solides. Enfin, l'été est une saison sèche où la plupart des oueds sont à sec, mais les concentrations solides peuvent être impressionnante durant les crues d'été.

3-4- Echelle mensuelle :

L'échelle mensuelle est à un certain degré un sous groupe de l'échelle saisonnière, le partage des données en mois et le traitement statistique à donner de bons résultats comme le montrent les tableaux suivant :

Tableau (8,42) : Echelle mensuelle, station Baghlia.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	179	0,72	0,23	0,87	0,67	0,94
Octobre	180	0,51	0,17	0,79	0,6	0,83
Novembre	248	0,65	0,17	0,87	0,5	0,83
Décembre	571	0,86	0,3	0,88	0,42	0,9
Janvier	596	0,86	0,36	0,87	0,39	0,87
Février	603	0,71	0,28	0,85	0,5	0,81
Mars	636	0,68	0,28	0,88	0,44	0,75
Avril	463	0,58	0,2	0,87	0,57	0,75
Mai	230	0,69	0,23	0,9	0,59	0,93
Juin	153	0,53	0,48	0,88	0,53	0,58
Juillet	154	0,43	0,28	0,85	0,58	0,43
Août	133	0,99	0,9	0,95	0,87	0,99

Tableau (8,43) : Echelle mensuelle, station Belloua.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	19	0,16	0,28	0,85	0,59	0,34
Octobre	45	0,17	0,31	0,69	0,34	0,44
Novembre	71	0,83	0,42	0,95	0,72	0,93
Décembre	124	0,74	0,29	0,8	0,64	0,96
Janvier	133	0,47	0,25	0,82	0,73	0,59
Février	64	0,54	0,37	0,78	0,82	0,86
Mars	61	0,66	0,3	0,66	0,75	0,82
Avril	45	0,88	0,49	0,92	0,63	0,89
Mai	61	0,84	0,36	0,86	0,56	0,97
Juin	6	**	**	**	**	**
Juillet	0	**	**	**	**	**
Août	4	**	**	**	**	**

Tableau (8,44) : Echelle mensuelle, station RN30.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	2	**	**	**	**	**
Octobre	8	**	**	**	**	**
Novembre	2	**	**	**	**	**
Décembre	26	0,58	0,38	0,66	0,67	0,97
Janvier	37	0,66	0,5	0,75	0,69	0,76
Février	32	0,62	0,47	0,7	0,59	0,75
Mars	22	0,52	0,35	0,65	0,57	0,73
Avril	36	0,89	0,49	0,77	0,7	0,99
Mai	27	0,9	0,68	0,93	0,77	0,94
Juin	4	**	**	**	**	**
Juillet	0	**	**	**	**	**
Août	0	**	**	**	**	**

Tableau (8,45) : Echelle mensuelle, station Freha.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	4	**	**	**	**	**
Octobre	14	0,21	0,15	0,84	0,65	0,21
Novembre	12	0,46	0,28	0,92	0,93	0,88
Décembre	55	0,63	0,35	0,83	0,54	0,64
Janvier	96	0,77	0,4	0,89	0,68	0,85
Février	86	0,85	0,39	0,94	0,61	0,94
Mars	68	0,75	0,44	0,93	0,7	0,83
Avril	50	0,76	0,41	0,89	0,56	0,77
Mai	21	0,45	0,25	0,87	0,72	0,5
Juin	2	**	**	**	**	**
Juillet	0	**	**	**	**	**
Août	0	**	**	**	**	**

Tableau (8,46) : Echelle mensuelle, station Baraki.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	10	**	**	**	**	**
Octobre	28	0,77	0,56	0,81	0,59	0,79
Novembre	125	0,64	0,39	0,79	0,5	0,64
Décembre	149	0,45	0,24	0,71	0,35	0,45
Janvier	167	0,45	0,24	0,76	0,49	0,49
Février	147	0,77	0,3	0,7	0,5	0,93
Mars	150	0,75	0,3	0,79	0,43	0,78
Avril	56	0,73	0,37	0,77	0,58	0,93
Mai	55	0,06	0,09	0,27	0,22	0,087
Juin	4	**	**	**	**	**
Juillet	0	**	**	**	**	**
Août	0	**	**	**	**	**

Tableau (8,47) : Echelle mensuelle, station Rocher des Pigeons.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	73	0,91	0,43	0,81	0,49	0,91
Octobre	132	0,51	0,13	0,76	0,34	0,87
Novembre	173	0,46	0,33	0,5	0,38	0,49
Décembre	224	0,73	0,37	0,66	0,5	0,8
Janvier	211	0,88	0,57	0,83	0,63	0,88
Février	225	0,19	0,12	0,57	0,31	0,19
Mars	254	0,86	0,41	0,75	0,48	0,92
Avril	140	0,49	0,27	0,65	0,42	0,5
Mai	144	0,85	0,35	0,69	0,41	0,88
Juin	9	**	**	**	**	**
Juillet	13	0,97	0,62	0,88	0,45	0,99
Août	5	**	**	**	**	**

Tableau (8,48) : Echelle mensuelle, station Fer à Cheval.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	62	0,79	0,25	0,76	0,44	0,92
Octobre	130	0,79	0,2	0,8	0,41	0,88
Novembre	120	0,58	0,46	0,82	0,52	0,58
Décembre	303	0,81	0,46	0,86	0,65	0,86
Janvier	445	0,7	0,35	0,86	0,61	0,76
Février	350	0,64	0,32	0,82	0,65	0,78
Mars	416	0,63	0,41	0,8	0,56	0,67
Avril	121	0,53	0,41	0,88	0,71	0,54
Mai	65	0,69	0,44	0,75	0,75	0,88
Juin	0	**	**	**	**	**
Juillet	5	**	**	**	**	**
Août	0	**	**	**	**	**

Tableau (8,49) : Echelle mensuelle, station Amont des Gorges.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	28	0,83	0,45	0,82	0,41	0,86
Octobre	66	0,84	0,47	0,87	0,51	0,84
Novembre	43	0,55	0,23	0,85	0,55	0,73
Décembre	122	0,88	0,4	0,84	0,46	0,96
Janvier	80	0,92	0,49	0,92	0,55	0,92
Février	79	0,67	0,35	0,88	0,67	0,68
Mars	62	0,81	0,43	0,73	0,64	0,83
Avril	73	0,17	0,25	0,74	0,31	0,31
Mai	46	0,69	0,48	0,55	0,42	0,7
Juin	0	**	**	**	**	**
Juillet	0	**	**	**	**	**
Août	0	**	**	**	**	**

Tableau (8,50) : Echelle mensuelle, station Attatba.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	10	0,96	0,37	0,92	0,34	0,99
Octobre	25	0,1	0,14	0,7	0,23	0,25
Novembre	0	**	**	**	**	**
Décembre	5	**	**	**	**	**
Janvier	73	0,83	0,63	0,9	0,64	0,83
Février	6	**	**	**	**	**
Mars	5	**	**	**	**	**
Avril	16	0,91	0,82	0,88	0,72	0,96
Mai	13	0,59	0,41	0,85	0,87	0,96
Juin	0	**	**	**	**	**
Juillet	0	**	**	**	**	**
Août	0	**	**	**	**	**

Tableau (8,51) : Echelle mensuelle, station El Affroun.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	4	**	**	**	**	**
Octobre	26	0,72	0,48	0,67	0,4	0,72
Novembre	15	0,08	0,22	0,38	0,25	0,22
Décembre	0	**	**	**	**	**
Janvier	43	0,72	0,45	0,94	0,68	0,77
Février	0	**	**	**	**	**
Mars	20	0,52	0,38	0,43	0,63	0,59
Avril	12	0,95	0,74	0,95	0,74	0,96
Mai	0	**	**	**	**	**
Juin	0	**	**	**	**	**
Juillet	0	**	**	**	**	**
Août	0	**	**	**	**	**

Tableau (8,52) : Echelle mensuelle, station Boumedfaa.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	8	**	**	**	**	**
Octobre	48	0,89	0,41	0,79	0,61	0,92
Novembre	14	0,31	0,14	0,25	0,47	0,32
Décembre	36	0,48	0,11	0,67	0,53	0,91
Janvier	125	0,81	0,42	0,89	0,54	0,82
Février	30	0,74	0,53	0,79	0,78	0,98
Mars	55	0,77	0,46	0,71	0,45	0,78
Avril	23	0,76	0,51	0,72	0,58	0,76
Mai	11	0,73	0,47	0,57	0,74	0,99
Juin	2	**	**	**	**	**
Juillet	1	**	**	**	**	**
Août	3	**	**	**	**	**

Tableau (8,53) : Echelle mensuelle, station Tarzoute.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	14	0,98	0,73	0,89	0,57	0,99
Octobre	98	0,98	0,64	0,89	0,54	0,99
Novembre	58	0,85	0,39	0,79	0,45	0,97
Décembre	77	0,62	0,55	0,88	0,6	0,66
Janvier	95	0,91	0,56	0,9	0,61	0,94
Février	107	0,9	0,54	0,79	0,56	0,91
Mars	72	0,85	0,45	0,87	0,59	0,93
Avril	29	0,53	0,39	0,63	0,56	0,67
Mai	7	**	**	**	**	**
Juin	3	**	**	**	**	**
Juillet	0	**	**	**	**	**
Août	0	**	**	**	**	**

Tableau (8,54) : Echelle mensuelle, station Cap Sigli.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	14	0,89	0,56	0,79	0,6	0,99
Octobre	43	0,65	0,3	0,74	0,27	0,71
Novembre	16	0,9	0,39	0,77	0,8	0,99
Décembre	80	0,57	0,24	0,86	0,62	0,58
Janvier	81	0,77	0,41	0,82	0,55	0,78
Février	39	0,86	0,3	0,83	0,54	0,97
Mars	67	0,48	0,41	0,8	0,58	0,49
Avril	38	0,52	0,28	0,76	0,54	0,55
Mai	35	0,97	0,48	0,92	0,56	0,99
Juin	0	**	**	**	**	**
Juillet	0	**	**	**	**	**
Août	0	**	**	**	**	**

Tableau (8,55) : Echelle mensuelle, station Tifesouine.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	4	**	**	**	**	**
Octobre	13	0,81	0,65	0,93	0,62	0,9
Novembre	19	0,45	0,39	0,96	0,57	0,53
Décembre	76	0,69	0,19	0,84	0,61	0,88
Janvier	79	0,17	0,06	0,7	0,55	0,2
Février	50	0,62	0,21	0,79	0,68	0,94
Mars	37	0,39	0,25	0,76	0,75	0,76
Avril	37	0,89	0,39	0,85	0,57	0,94
Mai	14	0,63	0,4	0,93	0,77	0,63
Juin	1	**	**	**	**	**
Juillet	0	**	**	**	**	**
Août	0	**	**	**	**	**

Tableau (8,56) : Echelle mensuelle, station Azeffoun.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	0	**	**	**	**	**
Octobre	8	**	**	**	**	**
Novembre	4	**	**	**	**	**
Décembre	82	0,63	0,27	0,82	0,55	0,67
Janvier	97	0,5	0,17	0,79	0,63	0,68
Février	94	0,76	0,45	0,84	0,69	0,85
Mars	63	0,56	0,3	0,8	0,77	0,8
Avril	89	0,44	0,13	0,82	0,63	0,92
Mai	17	0,08	0,14	0,64	0,42	0,15
Juin	0	**	**	**	**	**
Juillet	0	**	**	**	**	**
Août	1	**	**	**	**	**

Tableau (8,57) : Echelle mensuelle, station Ouled Ali.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	0	**	**	**	**	**
Octobre	11	0,67	0,39	0,94	0,66	0,74
Novembre	59	0,36	0,23	0,78	0,45	0,39
Décembre	131	0,36	0,36	0,74	0,36	0,46
Janvier	95	0,44	0,28	0,8	0,59	0,46
Février	58	0,53	0,34	0,9	0,45	0,54
Mars	32	0,71	0,29	0,8	0,45	0,74
Avril	44	0,73	0,34	0,86	0,58	0,89
Mai	28	0,83	0,42	0,92	0,72	0,89
Juin	0	**	**	**	**	**
Juillet	0	**	**	**	**	**
Août	0	**	**	**	**	**

Tableau (8,57) : Echelle mensuelle, station RN11.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	27	0,86	0,46	0,76	0,56	0,89
Octobre	71	0,82	0,42	0,88	0,6	0,95
Novembre	141	0,63	0,33	0,87	0,39	0,67
Décembre	425	0,85	0,36	0,88	0,39	0,85
Janvier	312	0,66	0,43	0,85	0,49	0,68
Février	310	0,91	0,32	0,91	0,42	0,97
Mars	246	0,73	0,35	0,74	0,4	0,75
Avril	99	0,94	0,44	0,84	0,44	0,94
Mai	76	0,82	0,6	0,78	0,4	0,83
Juin	0	**	**	**	**	**
Juillet	3	**	**	**	**	**
Août	1	**	**	**	**	**

Tableau (8,58) : Echelle mensuelle, station Bordj Ghobrini.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	14	0,71	0,56	0,87	0,52	0,75
Octobre	67	0,82	0,43	0,84	0,32	0,82
Novembre	78	0,9	0,48	0,82	0,52	0,93
Décembre	78	0,83	0,41	0,84	0,61	0,93
Janvier	57	0,85	0,46	0,78	0,49	0,92
Février	148	0,82	0,39	0,77	0,47	0,87
Mars	143	0,91	0,67	0,8	0,47	0,91
Avril	62	0,72	0,52	0,66	0,45	0,79
Mai	28	0,73	0,49	0,74	0,66	0,76
Juin	2	**	**	**	**	**
Juillet	0	**	**	**	**	**
Août	2	**	**	**	**	**

Tableau (8,59) : Echelle mensuelle, station Sidi Akacha.

Mois	N	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentiel	Polynomiale
Septembre	26	0,95	0,48	0,96	0,51	0,98
Octobre	69	0,85	0,39	0,95	0,32	0,85
Novembre	110	0,95	0,4	0,96	0,39	0,96
Décembre	83	0,62	0,35	0,82	0,56	0,62
Janvier	131	0,92	0,47	0,93	0,35	0,93
Février	122	0,58	0,26	0,89	0,47	0,59
Mars	78	0,94	0,43	0,9	0,47	0,96
Avril	145	0,97	0,38	0,92	0,41	0,98
Mai	68	0,78	0,29	0,84	0,53	0,84
Juin	0	**	**	**	**	**
Juillet	0	**	**	**	**	**
Août	2	**	**	**	**	**

Toujours les modèles puissances et polynomiales présentent les meilleurs modèles pour décrire les relations liquide- solide.

En conclusion on peut dire que la régression est un moyen de développer des relations débits liquides- débits solides qui nous permettront de déterminer par la suite les débits solides.

On a constaté que les modèles puissances et polynomiales étaient les plus représentatifs comme c'est le cas pour la majorité des bassins Algériens [Isser (Zegane), Cheliff (Zaibak), Tafna (Bouanani)].

Parmi les échelles temporelles traitées, notre choix s'est posé sur les échelles mensuelles pour quelques stations et saisonnières pour d'autres, en respectant le coefficient de corrélation représentatif (Jayaraman,1999).

4- Estimation des apports solides :

Afin de quantifier les apports solides au niveau de chaque station, on utilisera les relations développées dans la partie ci-dessus.

Donc, à partir des débits liquides moyens journalier on estimera les débits solides moyens journaliers, ensuite les apports solides mensuelles et annuelles.

$$Q_{S(mj)} = f(Q_{mj}) \quad (8,1)$$

$Q_{s(mj)}$: débit solide moyen journalier.

$Q_{(mj)}$: débit liquide moyen journalier.

$$A_{Sj} = Q_{S(mj)} \cdot T \quad (8,2)$$

A_{sj} : Apport solide moyen journalier.

T : temps d'une journée en seconde.

$$A_{Sm} = A_{Sj} \cdot N \quad (8,3)$$

A_{sm} : Apport solide mensuel.

N : nombre de jours d'un mois.

$$A_{S..AN} = \sum_{i=1}^{i=12} A_{Sm.i} \quad (8,4)$$

$A_{S..AN}$: Apport solide annuel.

Les histogrammes de la répartition mensuelle des apports solides montrent une grande variation temporelle et spatiale du transport solide.

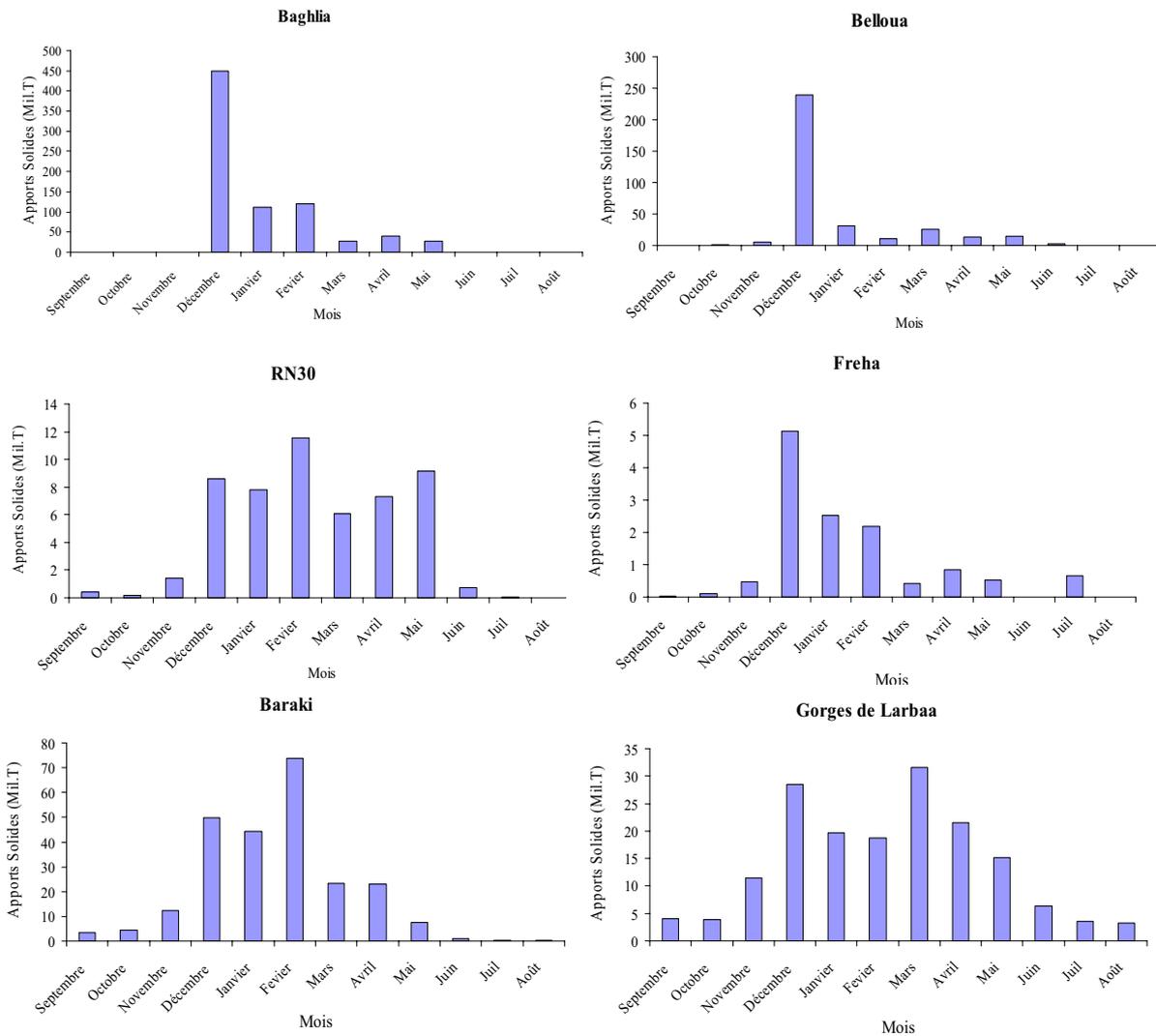
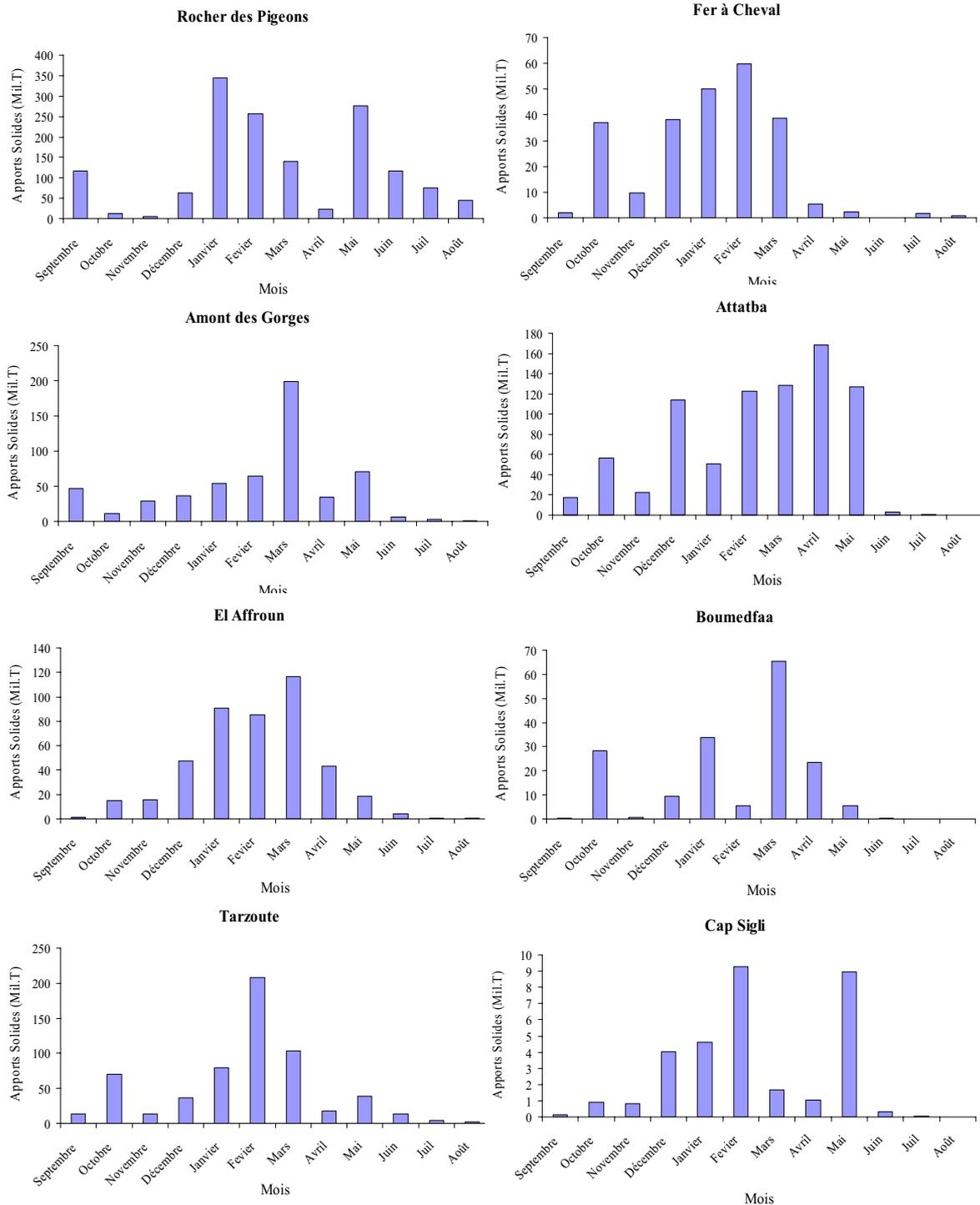
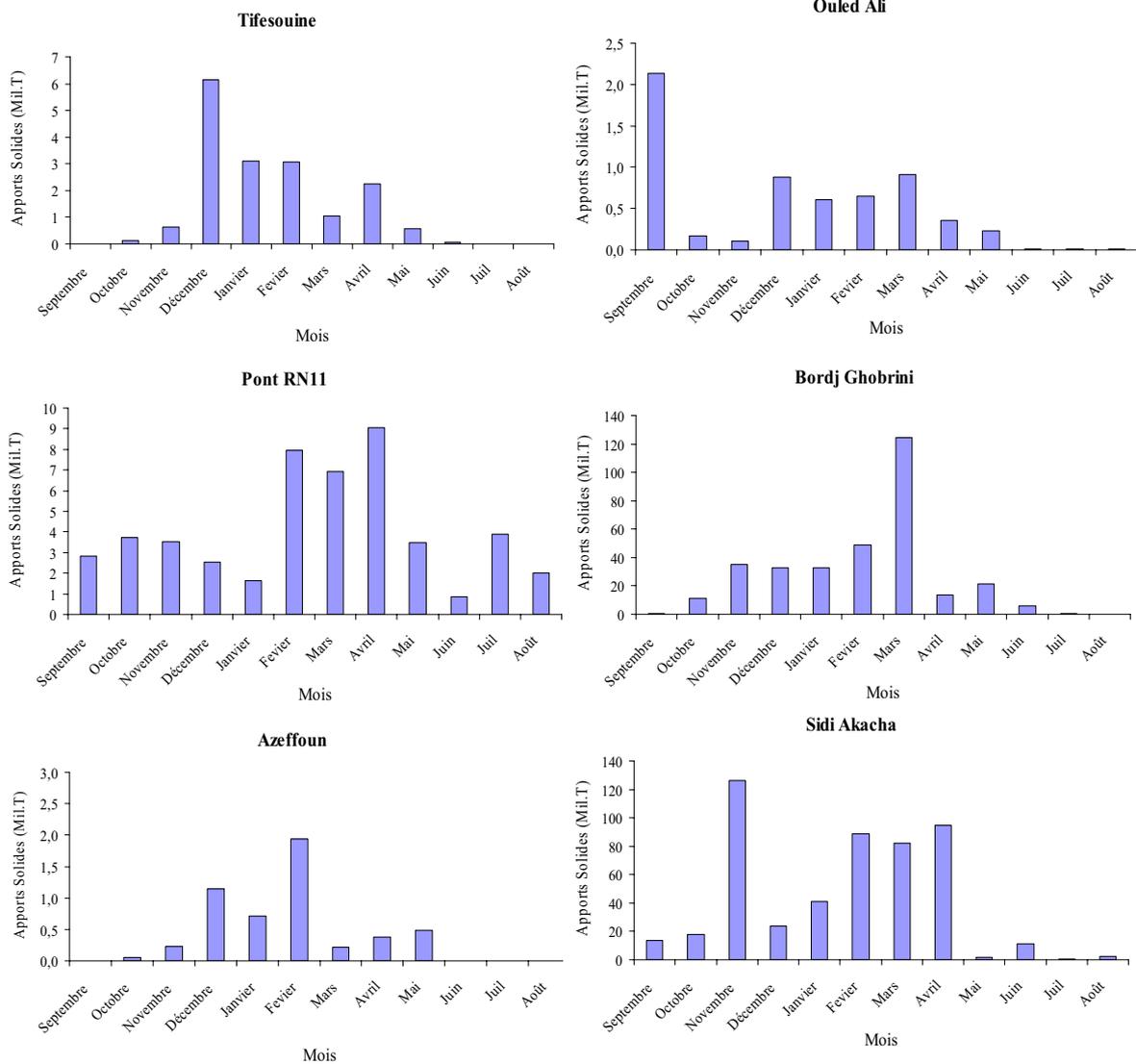


Figure (8 ,2) : Répartition mensuelle des apports solides en suspension (Milliers de tonnes).



-Suite- Figure (8 ,2) : Répartition mensuelle des apports solides en suspension (Milliers de tonnes).



-Suite-Figure (8 ,2) : Répartition mensuelle des apports solides en suspension (Milliers de tonnes).

Pour Baghlia et Belloua l’essentiel du transport solide se fait au mois de décembre à cause des précipitations très importantes durant ce mois, tandis qu’on voit un T.S très faible en Automne chose qui est due sûrement aux écoulements assez modestes durant cette saison par rapport à l’hiver, en plus de la nature géologique résistante et un couvert végétal assez dense qui protège contre l’érosion.

Pour la RN30, les apports solides sont assez faibles, et se concentrent durant l’hiver et le printemps à cause de l’écoulement continue durant ces deux saisons, un écoulement assuré par les précipitations et la fonte des neiges.

La station du Rocher des Pigeons une forte quantité de sédiments transportés, cela peut s'expliquer par la nature géologique friable de la région, aussi par le couvert végétal peut dense par rapport au Sébaou. Si on compare les stations de Baraki et du Rocher des pigeons ; on constate que les apports solides de la deuxième dépassent largement la première, chose qui s'explique par le dépôt qui se fait dans la plaine de la Mitidja Est, ce qui lui donne son caractère de plaine alluviale.

L'Amont des Gorges présente aussi une grande quantité de sédiments transportés durant le mois de Mars, qui correspond à la période de la fonte des neiges.

A l'Ouest, au niveau de Bordj Ghobrini, l'apport solide est assez modéré par rapport à Sidi Akacha où la nature érodable de la géologie favorise une érosion importante.

La répartition interannuelle de l'apport solide peut nous donner une idée sur la variation interannuelle du phénomène qui est loin d'être uniforme.

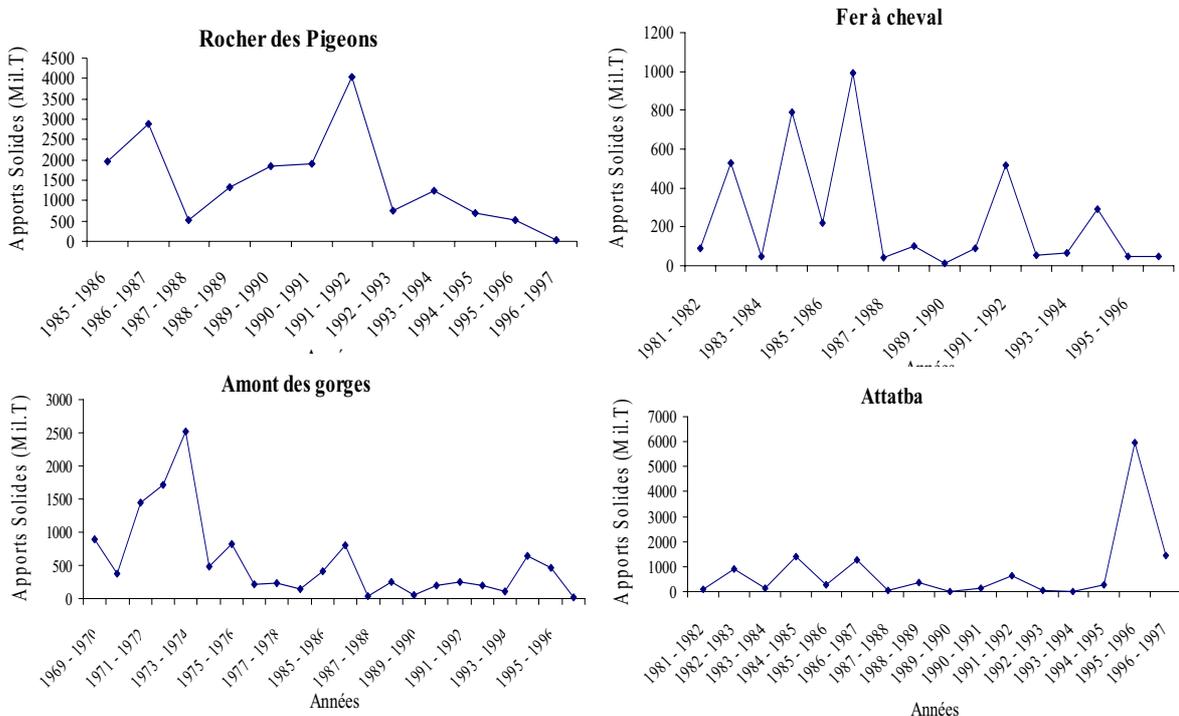
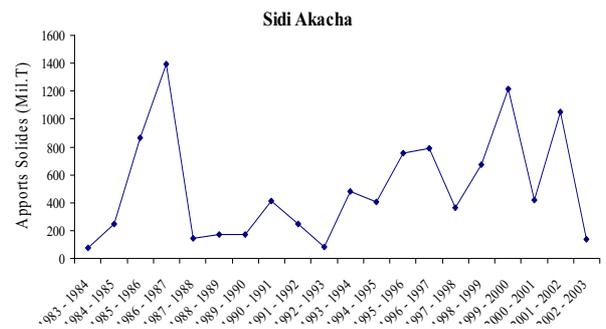
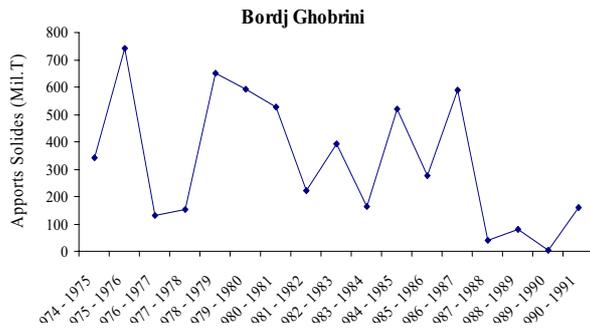
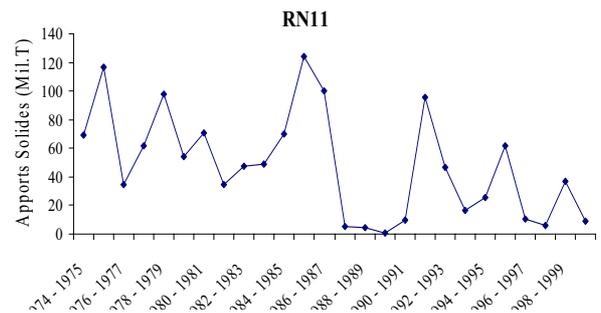
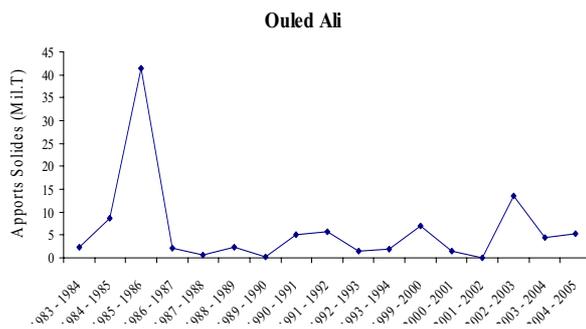
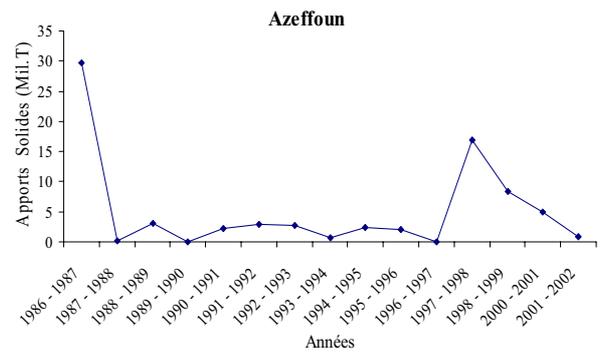
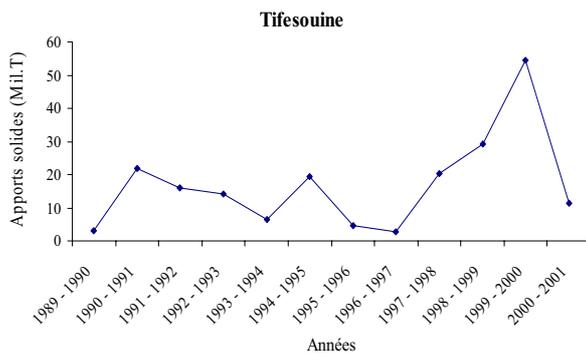
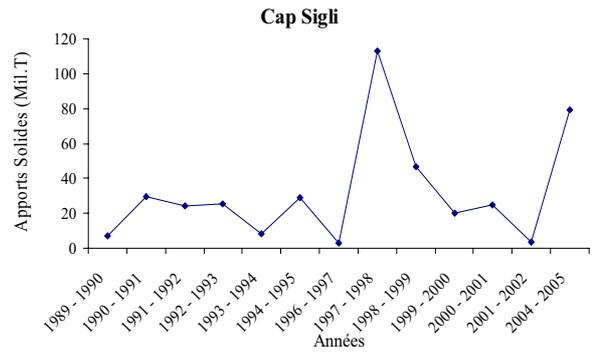
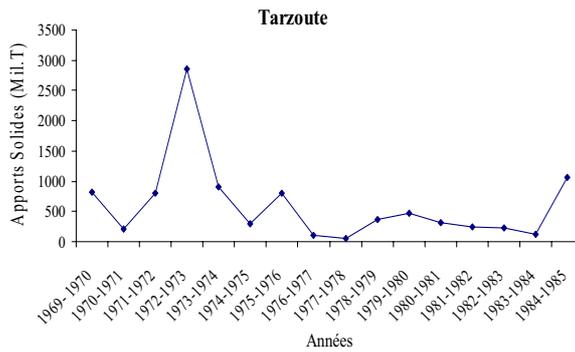
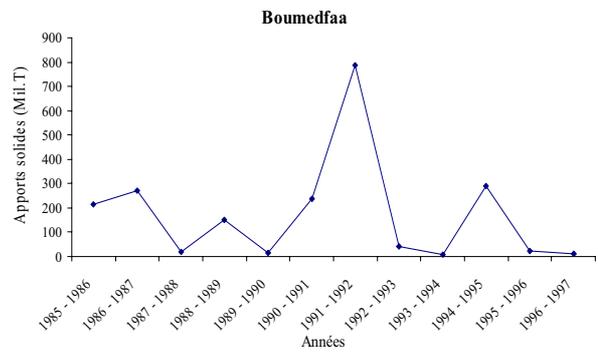
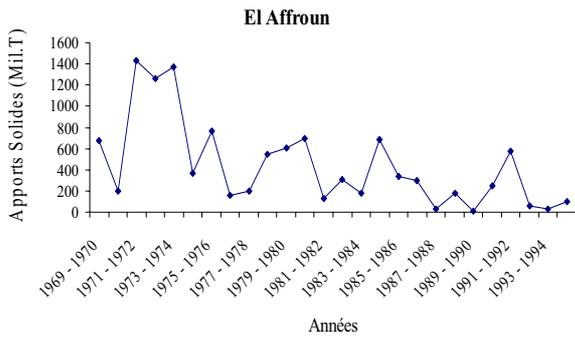
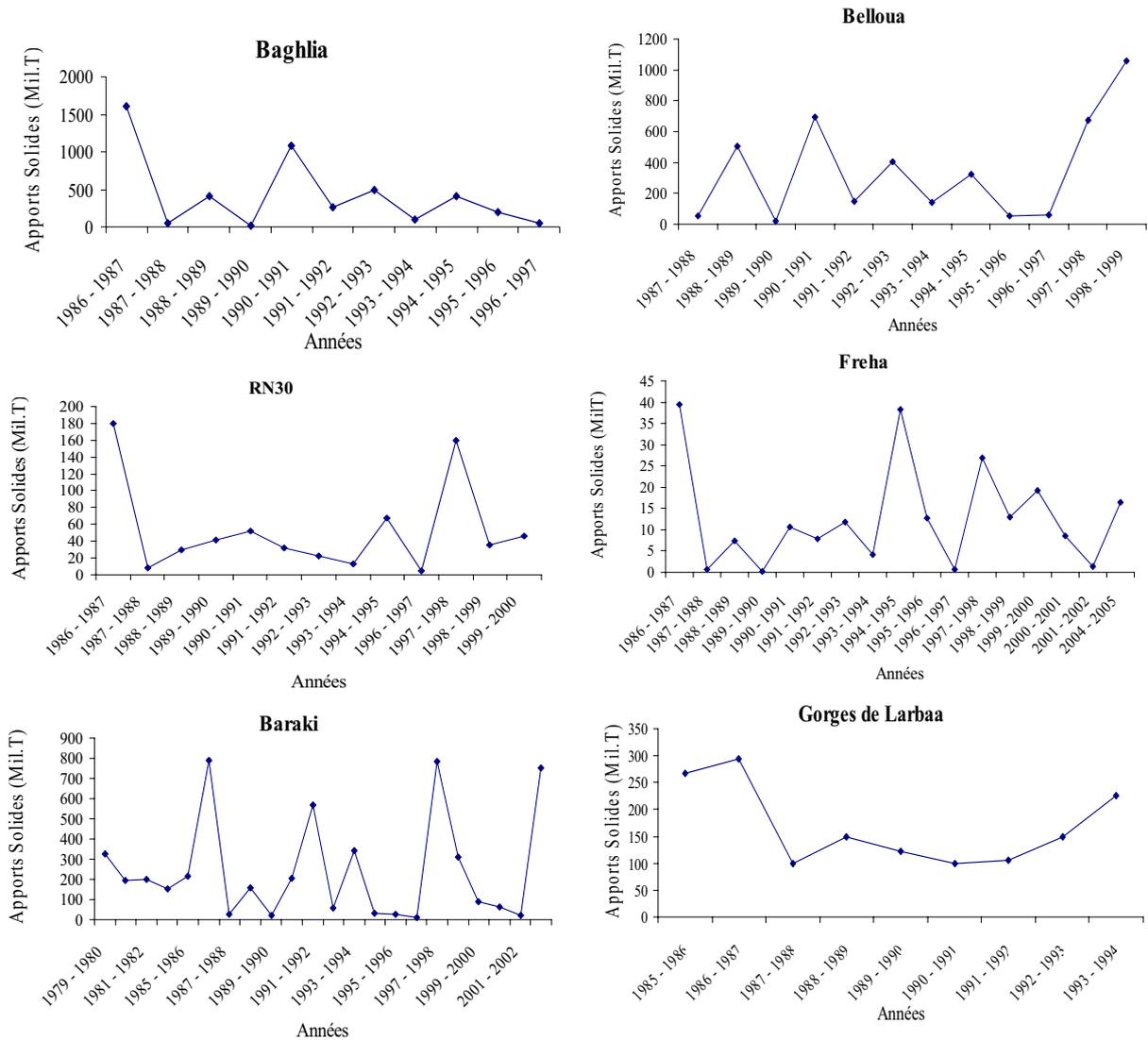


Figure (8,3) : Répartition interannuelle des apports solides en suspension.



-Suite-Figure (8,3) : Répartition interannuelle des apports solides en suspension.



-Suite- Figure (8,3) : Répartition interannuelle des apports solides en suspension.

La grande variation interannuelle des apports solides est clairement visible sur la figure précédente, cette variation est principalement tributaire de la variation importante de la précipitation est des chutes de neiges d’une année à l’autre, la valeur record a été au niveau de la station de Attatba durant l’année 1995-1996 où on a enregistré près de 6 millions de Tonnes pour un apport liquide de 42 millions de m³, c’était une année exceptionnelle.

5- Ajustement statistique des apports solides annuels :

L'ajustement des apports solides annuels à une loi de distribution de fréquence théorique a montré que la plupart des séries s'ajustent à une loi Log normal (16 séries sur 20) le reste penche pour une loi Racine normale, comme le montrent les graphiques d'ajustement en Annexe (IV). L'apport de charriage est pris 20% de l'apport en suspension.

Les quantiles pour différentes périodes de retour sont donnés dans le tableau ci-après.

Tableau (8,60) : Apports solides pour différentes périodes de retour en tonnes.

N°	Oued	Station	Code	Périodes de retour			
				Moyenne	5 ans	20 ans	100 ans
1	Sébaou	Baghlia	02 2001	507732,53	785249,00	2314052,58	5786148,08
2	Sébaou	Belloua	02 1803	413232,57	664931,86	1840933,71	4365861,15
3	Aissi	RN 30	02 1715	63994,24	96980,27	221550,12	446395,90
4	Diss	Freha	02 1605	15503,95	27138,63	85060,01	224100,99
5	El Harrach	Baraki	02 1418	292209,36	457030,75	1332802,24	3303143,79
6	Djemaa	Gorges de Iarbaa	02 1402	201450,37	265359,22	374030,30	500401,35
7	El Harrach	Rocher des Pigeons	021301	1772732,80	2830953,55	4489197,52	6193574,12
8	Mazafran	Fer à Cheval	021201	294298,19	418994,63	1166375,18	2778937,37
9	Chiffa	Amont des Gorges	021126	669995,20	1020136,76	2627803,70	5862194,51
10	Bouroumi	Attatba	021011	974844,79	1307086,67	5877933,19	21032592,61
11	Djer	El Affroun	02 1007	527573,78	863206,30	1432613,57	2027873,76
12	Djer	Boumedfaa	021006	206421,28	308772,15	1130384,09	3397359,44
13	Bouroumi	Tarzoute	02 1002	723476,99	1066686,57	2419554,77	4845776,94
14	Daas	Cap Sigli	02 0917	38235,19	59818,15	144780,21	306359,55
15	S.A Youcef	Tifezouine	02 0916	20351,75	31376,32	66306,71	125059,22
16	M'leta	Azeffoun	02 0808	6181,42	11025,60	64307,64	286881,57
17	Barek	Ouled Ali	02 0627	7277,54	11955,01	47151,63	150956,56
18	Belah	Pont RN11	02 0323	58093,32	93023,01	149556,59	207963,73
19	El Hachem	Borj Ghobrini	020301	394242,45	627822,52	997210,27	1377109,19
20	Allalah	Sidi Akacha	02 0207	606010,69	917374,46	1868087,61	3414276,26

6- Estimation de la dégradation spécifique :

Le calcul de la dégradation spécifique ou l'érosion spécifique (E_s) nous donnera une idée sur l'érodabilité de chaque région, et donc sur la vulnérabilité à l'envasement des ouvrages de stockage implantés.

L'érosion spécifique moyenne interannuelle n'est autre que le rapport entre l'apport solide moyen interannuel et la superficie du bassin drainé.

$$E_s = \frac{A_s}{S} \text{ en [T/km}^2\text{/an] ou [T/Ha/an] } \quad (8,5)$$

Les valeurs de l'érosion spécifique de l'ensemble des bassins traités sont résumées dans le tableau ci-après.

Tableau (8,61) : Erosion spécifique des différents sous bassins.

N°	Sou bassin	Oued	Sation	Code	X	Y	Es (T/Ha/an)
1	Oued Sebaou Maritime	Sébaou	Baghlia	02 2001	603,7	390,05	2,12
2	Oued Sebaou Sebt	Sébaou	Belloua	02 1803	623,3	381,2	2,77
3	Oued Aissi	Aissi	RN 30	02 1715	626,15	378,8	1,39
4	Oued Sebaou Rabta	Diss	Freha	02 1605	642,95	348,25	1,55
5	Oued El Hrarrach Maritime	El Hrarrach	Baraki	02 1418	535	376,3	3,01
6	Oued El Hrarrach Maritime	Djemaa	Gorges de Iarbaa	02 1402	583,8	358	15,50
7	Oued El Hrarrach Amont	El Hrarrach	Rocher des Pigeons	021301	532,05	354,05	45,81
8	Oued Mazafran	Mazafran	Fer à Cheval	021201	510,05	373,2	1,55
9	Oued Chiffa	Chiffa	Amont des Gorges	021126	506,15	342,3	21,20
10	Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Attatba	021011	498,6	362,85	14,34
11	Oued Djer-Bouroumi	Djer	El Affroun	02 1007	490,95	350,95	13,36
12	Oued Djer-Bouroumi	Djer	Boumedfaa	021006	483,6	343,35	6,14
13	Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Tarzoute	02 1002	495,3	346,8	33,65
14	Côtier Cap Sigli	Daas	Cap Sigli	02 0917	688,2	397,2	1,84
15	Côtier Cap Sigli	S.A Youcef	Tifezouine	02 0916	660,55	397,45	0,93
16	Tigzirt	M'leta	Azeffoun	02 0808	647,22	400,4	1,72
17	Côtier Cap Matifou	Barek	Ouled Ali	02 0627	552,85	371,55	1,97
18	Côtiers Cherchell	Belah	Pont RN11	02 0323	458,65	367,5	10,56
19	Côtiers Cherchell	El Hachem	Borj Ghobrini	020301	460,65	367	18,34
20	Côtier Tenes	Allalah	Sidi Akacha	02 0207	375,75	354,75	20,54

On constate de l'analyse du tableau précédent que l'action érosive est différente d'un bassin à l'autre, en effet la dégradation est surtout appréciable en zone de relief accidenté, de pentes importantes quand la géologie le permet, ainsi que les autres paramètres qui influent sur le phénomène, comme c'est le cas du Rocher des Pigeons, où on a enregistré la plus forte dégradation de 45 (T/Ha/an), on voit sur la carte du relief (8,4) le type de relief très accidenté de la région du Rocher des Pigeons, où les altitudes passent de 1000 m jusqu'au 100 m à l'entrée de la plaine au environ de Bougara, on en constate sur la photo (8,5) l'élargissement du cours d'eau à l'entrée de la plaine ce qui favorise le dépôt et c'est ce qui peut expliquer la faible valeur de E_s calculée sur la base de l'apport solide qui passe par Baraki .

C'est le cas de la plupart des stations en plaine où l'apport solide est réduit par le dépôt dans ces plaines alluviales, comme c'est le cas de Fer à Cheval (entre Attatba et Fer à cheval la pente est presque nulle), Baghlia, Belloua ...etc. Donc les faibles pentes atténuent l'action érosive de l'eau, et favorise le dépôt des sédiments venus de l'amont, en plus bien sûr de la qualité géologique de la région et le couvert végétal qui contribuent énormément à la réduction de l'action érosive. La photo satellite (8,6) montrent un couvert végétal assez développé au environs de Baghlia et sur la majorité du bassin du Sébaou.



Figure (8,4) : Carte du relief du Rocher des Pigeons.



Figure (8,5) : Photos satellite de la région du Rocher des Pigeons.



Figure (8,6) : Photos satellite de la région de Baghlia.

Les deux photos satellites qui suivent montrent un relief accidenté et un couvert végétal assez dégradé par rapport au Sébaou, surtout pour la région de Tarzoute où on a enregistré des quantités considérables de sédiments transportés.

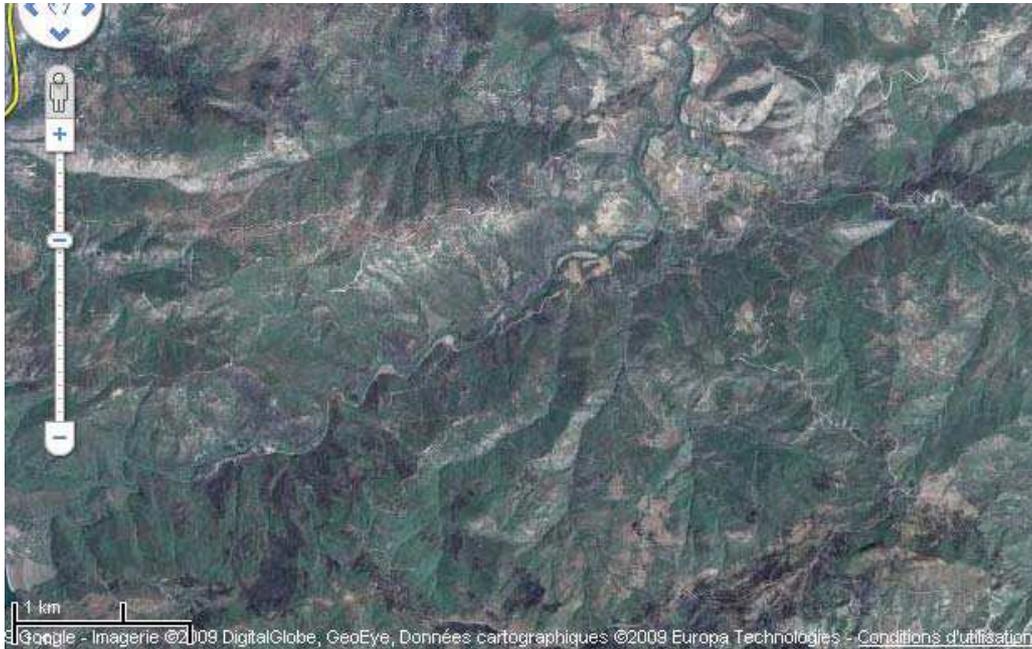


Figure (8,7) : Photo satellite de Tarzoute



Figure (8,8) : Photo Satellite d'El Affroun.

Pour Attatba, qui est sur le Mazafran après le mariage des deux oueds Djer et Bouroumi , elle reçoit des quantités importantes de sédiments des deux oueds précédents, d'où la valeurs importante de l' E_s .

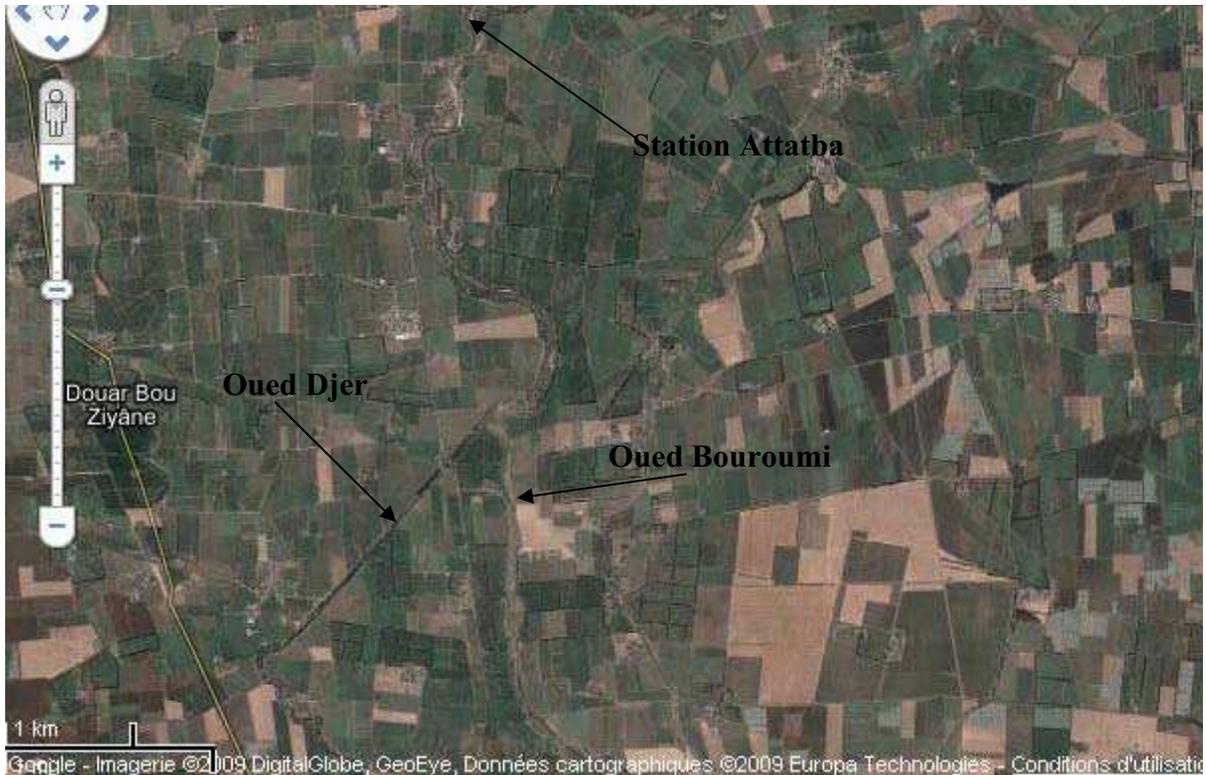


Figure (8,9) : Photo satellite de la région de Attatba.

Pour l'Oued Allah, on peut voir sur la photo satellite suivante un couvert végétal assez pauvre, et un sol peu résistant à l'action érosive ce qui à donné les résultats enregistrés aux niveau de la station de Sidi Akacha.



Figure (8,10) Photo satellite de Oued Allalah.

Toutefois, on constate que ces valeurs concorde plus ou moins avec un certain nombre de travaux déjà cités dans la bibliographie comme ceux qu'a proposé Walling (1984) pour ces travaux sur le transport solide au Maghreb, où il a proposé des valeurs qui varient de 10 à 50 (T/Ha/an), surtout pour les zones montagneuses à haut risque de dégradation.

7- Analyse multi variée de l'érosion spécifique :

L'objectif de cette analyse est de développer un model de l'érosion spécifique en fonction de divers paramètres climatiques, hydromorphométriques...etc. Afin de pouvoir générer un model spatial qui nous permettra d'avoir l'érosion spécifique en n'importe quel point du bassin traité.

Dans le but d'expliquer l'érosion spécifique ; on a pris l'ensemble des caractéristique qui différent d'une région à l'autre, mais on a préféré écarter le couvert végétal car ce n'est pas seulement le couvert végétal qui influence l'érosion mais ça qualité, et en vue du manque d'informations sur la qualité du couvert végétal, sauf quelques travaux comme ceux de Benslimane et al (2008), et aussi sur l'influence de cette qualité sur l'érosion, on a jugé bon d'écarter le paramètre couvert végétal.

Dans ce qui suit on essayera de dégager le model le plus représentatif de l'érosion spécifique moyenne sur le grand bassin des Côtiers Algérois. On a rassemblé tous les facteurs susceptibles d'influencer le phénomène à savoir :

- La superficie des sous bassins (S).
- L'indice de compacité (I_C).
- L'indice de pente globale (I_{PG}).
- La densité de drainage (D_d).
- Le coefficient de torrentialité (C_t).
- La précipitation moyenne interannuelle (P).
- La lame écoulée moyenne interannuelle (L_e).
- Le coefficient d'écoulement (C_e).

Le choix des paramètres finals à utiliser sera guidé par l'étude des régressions multiples. Vu que le model d'érosion spécifique est sûrement un modèle non linéaire (Achitte,1999), on utilisera les logarithmes des paramètres afin de linéariser le modèle.

L'étude de la régression multiple s'est fait par le macro Hydrolab de J.P Laborde et vérifier par le logiciel d'analyse statistique ESS.

La matrice des coefficients de corrélation est illustrée sur le tableau suivant :

Tableau (8,62) : Matrice de corrélation.

Variable	Es (T/Ha/an)	S (Km ²)	Ic	Dd (Km/Km ²)	I _{PG}	Ct	Le (cm)	P (cm)	Ce (%)
Es	1,00	-0,04	-0,10	0,00	-0,10	0,01	-0,32	-0,62	0,41
S	-0,04	1,00	0,32	-0,40	-0,79	-0,31	-0,33	-0,16	-0,19
Ic	-0,10	0,32	1,00	-0,10	-0,28	-0,13	-0,03	0,07	-0,01
Dd	0,00	-0,40	-0,10	1,00	0,39	0,96	0,33	0,55	-0,38
I _{PG}	-0,10	-0,79	-0,28	0,39	1,00	0,34	0,69	0,45	0,11
Ct	0,01	-0,31	-0,13	0,96	0,34	1,00	0,24	0,47	-0,35
Le	-0,32	-0,33	-0,03	0,33	0,69	0,24	1,00	0,78	-0,11
P	-0,62	-0,16	0,07	0,55	0,45	0,47	0,78	1,00	-0,51
Ce	0,41	-0,19	-0,01	-0,38	0,11	-0,35	-0,11	-0,51	1,00

Le modèle le plus représentatif est :

$$E_s = e^{10,35} D_d^{2,62} L_e^{1,42} P^{-6,52} \quad (8,5)$$

Avec un coefficient de régression multiple de 0,83.

P et L_e prises en (cm).

Les coefficients de régressions partielles sont respectivement de (0,65, - 0,83 et de 0,80). Pour vérifier la représentativité de ces derniers, le test de Student a été utilisé. Laborde (2003) suggère la vérification de la signification statistique au seuil de 5% du plus petit coefficient. Dans notre cas, nous avons vérifié le coefficient 0,65 où le test de Student a démontré qu'il est significatif car il a moins de 5% de chance qu'il est du au hasard.

Afin de vérifier si le coefficient de corrélation est significatif, on élabore le test de Fisher- Snedecor :

$$F_{Obs} = \frac{(n - p - 1)R^2}{p(1 - R^2)} \quad (8,6)$$

n : le nombre d'observations.

p : le nombre de variables explicatives.

R : coefficient de corrélation.

Le calcul donne $F_{\text{obs}}=11,68$

Sur la table de Fisher – Snedecor, pour un seuil de confiance de 5% et pour des degré de liberté de $(p-1=2)$ et $(n-p+1=18)$ on trouve :

$F_{0,95}= 3,55 < F_{\text{obs}}$, donc le modèle est significatif.

Ces résultats ont été vérifiés par le logiciel ESS.

Remarque : Vu les variables explicatives trouvées, il est difficile d'étendre la série des érosions spécifiques vers d'autres bassins supplémentaires, on se contentera donc de nos 20 stations et de quelques autres stations de bassins limitrophes (Cheliff et Isser prises d'autres travaux) pour générer une carte de l'érosion spécifique moyenne dans l'Algérois.

8- Cartographie de l'érosion Spécifique :

Cette étape consiste à la mise en œuvre un support cartographique de l'érosion spécifique, qui permettra de visualiser la variabilité spatiale du phénomène sur l'ensemble du bassin des Côtiers Algérois.

Comme il a été cité, afin de mieux orienter notre model cartographique surtout sur les limites du bassin, on a ajouté neuf stations d'autres études qui concerne le transport solide dans le Cheliff (Zaibak, 2007) et l'Isser (Zeggane, 2005), comme le montre le tableau suivant des données de base de la carte d'érosion spécifique.

Tableau (8,63) : Données de base de la cartographie.

N°	Oued	Sation	Code	X	Y	Es (T/Ha/an)
1	Sébaou	Baghlia	02 2001	603,7	390,05	2,12
2	Sébaou	Belloua	02 1803	623,3	381,2	2,77
3	Aissi	RN 30	02 1715	626,15	378,8	1,39
4	Diss	Freha	02 1605	642,95	348,25	1,55
5	El Harrach	Baraki	02 1418	535	376,3	3,01
6	Djemaa	Gorges de larbaa	02 1402	583,8	358	15,50
7	El Harrach	Rocher des Pigeons	021301	532,05	354,05	45,81
8	Mazafran	Fer à Cheval	021201	510,05	373,2	1,55
9	Chiffa	Amont des Gorges	021126	506,15	342,3	21,20
10	Bouroumi	Attatba	021011	498,6	362,85	14,34
11	Djer	El Affroun	02 1007	490,95	350,95	13,36
12	Djer	Boumedfaa	021006	483,6	343,35	6,14
13	Bouroumi	Tarzoute	02 1002	495,3	346,8	33,65
14	Daas	Cap Sigli	02 0917	688,2	397,2	1,84
15	S.A Youcef	Tifezouine	02 0916	660,55	397,45	0,93
16	M'leta	Azeffoun	02 0808	647,22	400,4	1,72
17	Barek	Ouled Ali	02 0627	552,85	371,55	1,97
18	Belah	Pont RN11	02 0323	458,65	367,5	10,56
19	El Hachem	Borj Ghobrini	020301	460,65	367	18,34
20	Allalah	Sidi Akacha	02 0207	375,75	354,75	20,54
21	Isser	La Traille	09 0408	559,25	343,25	2,65
22	Isser	Lakhdaria	09 0501	579,1	368,75	5,5
23	Harbil	Tamzguida	01 1501	497	323,9	1,8
24	Ebda	Arib Ebda	01 1801	439,65	335,55	11,8
25	Tighzal	El Abadia1	01 2001	407,9	327,42	2,64
26	Ras Ouahrane	Ouled Fares	01 2201	368,1	326,65	1,41
27	Ras Ouahrane	Pontebella d'effluent	01 2203	393,9	327,4	0,5
28	Tahria	Djidiouia	01 2806	329,6	298,2	1,81
29	Cheliff Maritime	Sidi Bel Attar	01 3602	280,75	305,55	2,71

La méthode d'interpolation choisie est le Krigeage, utilisée par Surfer pour générer la carte d'évolution spatiale, la mise en œuvre a été réalisé par la

combinaison des deux logiciels Surfer8 et mapinfo7.5, ce qui a donné la carte représentée sur la figure suivante (et sur l'annexe V).

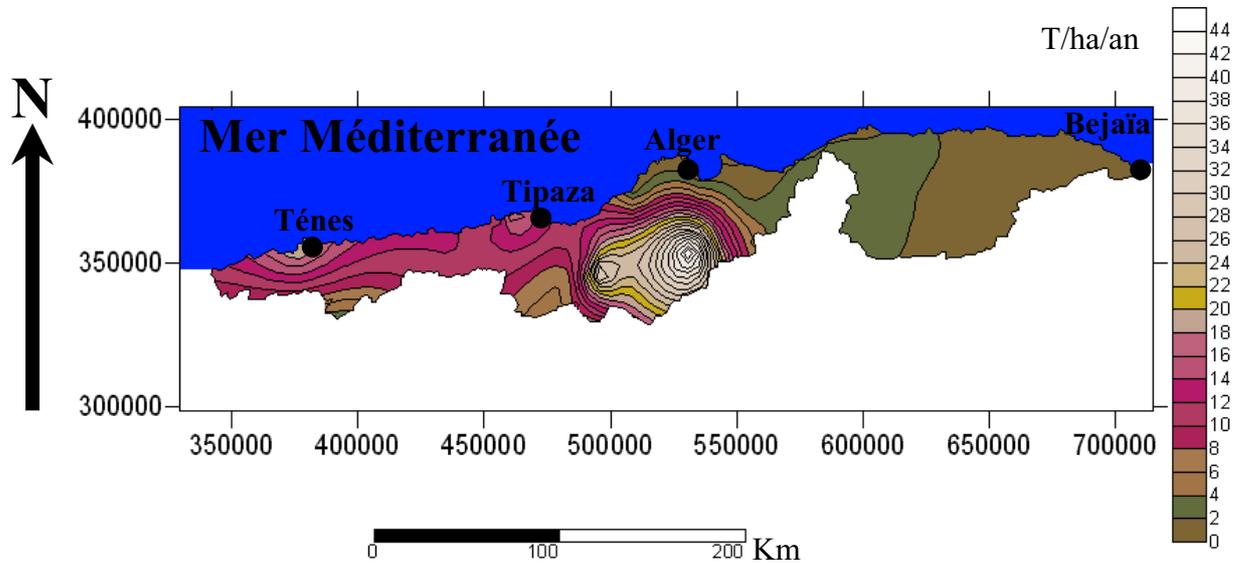


Figure (8,11) : Carte de l'érosion spécifique moyenne du bassin des Côtiers Algérois.

On remarque clairement sur cette carte que l'érosion croît sensiblement de l'Est vers l'Ouest, dans le sens inverse de la pluviométrie, est atteint des valeurs maximales sur l'axe Rocher des Pigeons- Tarzoute, et les minima sont enregistrés principalement dans le Sebaou, à cause du couvert végétal bien développé et la nature de la formation géologique assez résistante.

On remarque que les barrages qui présente plus de risques d'envasement sont Bouroumi et Boukerdane dont les relevés de l'ANBT enregistre 0,8 Hm³/an pour Bouroumi et 0,21 Hm³/an d'envasement pour Boukerdane, cette dernière valeur reste faible car le Barrage à du mal à se remplir depuis près d'une décennie.

9- **Conclusion :**

Ce chapitre nous a permis de quantifier le transport solide totale dans le bassin des Côtiers Algérois, pour cela on a fait des modèles statistiques des séries débits liquides- débits solides pour divers échelles temporelles, ensuite on a quantifié le transport solide en suspension à travers les débits liquides moyens journaliers par le biais du modèle le plus représentatif, par la suite la quantité globale de TS est calculée en prenant un débit solide charrié égale à 20% du débit en suspension. Cette quantification nous à permis de calculer les dégradations spécifiques et de générer une carte se situation de l'érosion spécifique dans le bassin. Cette carte pourrait être plus bénéfique si la qualité de la mesure solide été meilleur, en adoptant des techniques plus avancées pour l'acquisition des données comme la méthode qui à été décrite dans la partie théorique, et dont l'application à ce cas d'étude était impossible à cause de l'absence des profiles des concentrations solides, toutes fois cette carte permet de distinguer les zones plus vulnérable à l'envasement, et de prévoir plus d'ouvrages dans les zones moins touchées comme le Sébaou.

CONCLUSION GENERALE :

Le bassin versant des Côtiers Algérois est un bassin allongé où le rapport de la longueur sur la largeur moyenne atteint les vingt, cet allongement longitudinal lui a donné une diversité importante.

La pluviométrie décroît de l'Est vers l'Ouest, elle passe de 1400mm sur le Djurdjura à moins de 600mm du côté de Ténés, d'après la carte de l'ANRH. Dans notre travail on a trouvé le même sens de variation mais des valeurs un peu différentes, avec un maximum de 1167mm (Tagma dans le Sebaou) à 479mm à Ténés. Donc l'Est est largement plus pluvieux que l'Ouest, la pluie moyenne sur l'ensemble du bassin avoisine les 700mm, ce qui représente un apport pluvieux de 8,4 Milliards de m³, la part de l'eau ruisselé est de l'ordre de 1,5 Milliards de m³, le Sebaou représente près de la moitié, malgré cela il ne dispose que d'un seul ouvrage de stockage de 180 Hm³, et l'Oued El Harrach avec un apport moyen de plus de 124 Hm³ (à Baraki) qui ne dispose d'aucun ouvrage de stockage, il y a seulement quelques essais entrepris par l'ANRH pour réaliser des bassins d'infiltration afin de recharger la nappe de la Mitidja .

On a remarqué un certain paradoxe dans l'implantation des ouvrages ; l'Est d'Alger enregistre un déficit de stockage est l'Ouest enregistre un déficit d'apports considérable.

Le taux d'envasement des barrages du bassin n'a pas encore atteint des seuils critiques, sauf les petits barrages tels Meurad et El Hamiz, mais reste que le pourcentage d'envasement annuel du barrage Bouroumi est inquiétant avec 0.8 Hm³/an (ANBT).

L'élaboration d'une carte d'érosion spécifique, nous a permis de dégager des zones à hauts risques érosives situés dans l'axe Tazoutte – Rocher des Pigeons où l'érosion peut atteindre 45 T/Ha/an, ensuite les zones des côtiers Cherchell et Ténés avec des érosions de l'ordre de 20 T/Ha/an, la région la moins touchée est le Sebaou où la formation géologique et le couvert végétal

atténuent considérablement l'action érosive de l'eau malgré le ruissellement important.

Des résultats obtenus, on recommande vivement le renforcement des capacités de stockages dans le Sébaou, puisque le relief le permet, les apports sont considérables, et l'érosion est assez faible. Les apports de Oued El Harrach sont aussi considérables, mais le problème d'érosion reste un obstacle qu'il faut traité, même chose pour les hauteurs de Tarzoute qui menacent le barrage Bouroumi.

L'application de la méthode de la méthode d'entropie de Chiu a donné d'excellents résultats, on a trouvé que chaque Oued est caractérisé par un même paramètre d'entropie, ce qui permettra de déterminer la vitesse moyenne de l'écoulement à partir de la vitesse maximale, cette dernière se manifeste toujours aux voisinages de la surface libre, chose qui favorisera une mesure continue à l'aide de dispositifs de mesure acoustiques ou optiques, cela veut dire qu'on aura une mesure continue du débit, car on a pu modéliser les sections d'écoulements en fonction de la largeur au miroir et la profondeur maximale, qui sont facilement mesurables. L'inconvénient, est que les meures de jaugeage ne sont pas faite par rapport un repère fixe, ce qui nous a contraint à localiser la verticale qui correspond à la vitesse maximale comme étant la verticale la plus profonde.

Cette méthode par ça simplicité, nous présente l'avantage d'une mesure rapide et directe du débit liquide, une mesure qui peut être continue. Elle mérite d'avoir une chance de s'imposer sachant que la fameuse USGS l'utilise dans les protocoles d'estimations des débits dans les 7000 stations hydrométriques de son réseau de surveillance.

Références Bibliographiques :

- **Abdelli M., Zeggane M., 2007**, Problématique et enjeu de l'envasement. L'expression. Du 05 Septembre 2007.
- **ABH, 2002**. Les carnets de l'Agence .N°1. Le Bassin de l'Algérois
- **Achite M., Meddi M., 2004**, Estimation du transport solide dans le bassin versant de l'Oued Haddad (Nord-Ouest Algérien). Sécheresse. 15(4) :367-373.
- **Ackers P., White W.R., 1978**. Weirs and flumes for flow measurement. John Wiley and Sons. UK.
- **Ammari, A., Remini, B., 2008**. Estimation des débits liquides des Oueds en se basant sur l'équation de Chiu. Watmed, LRS-Eau ENP, Algérie. 22- 24 mars.
- **Belleudy, P., Valette A., Graff B., 2009**. Passive hydrophone monitoring of bedload in River beds: first trials and exploration: USGS. Scientific Investigations Report.
- **Benkhadra, H., 1997**. Battance, ruissellement et érosion diffuse sur les sols limoneux cultivés- Déterminisme et transfert d'échelle de la parcelle au petit bassin versant. Thèse de Doctorat de l'université d'Orléans (France).
- **Bennie & Partners, 1983**. Schéma d'aménagement des ressources en eau dans la région d'Alger.
- **Benslimane M., Hamimedi A., El Zerey W., Khaldi A., Medebal K., 2008**. Analyse et suivi du phénomène de désertification en Algérie du Nord. Vertigo, la revue en sciences de l'environnement. 8(3) :1-9.
- **Benkhaled A., Remini B., 2003**, Analyse de la relation puissance : débit solide – débit liquide du bassin versant de l'Oued Wahrane (Algérie). Revue des sciences de l'eau. 16/3 : 333-356.
- **Beuselinck L., Govers G., Hairsine P.B., Sander G.C, Breynaert M., 2002**, The influence of rainfall on sediment transport by overland flow over areas of net deposition. Journal of Hydrology. 257: 145- 163.
- **Bouanani A. 2005**, Hydrologie, Transport Solide et Modélisation, Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW- Algérie). Thèse de Doctorat. Université de Tlemcen.
- **Boudedja M., 1992**. Etude hydrologique du barrage de Crescia sur l'oued El Achour. ANRH.
- **Boudjadja A., Messahel M., Pauc H., 2003**, Ressources hydriques en Algérie du Nord. Revue des Sciences de l'Eau. 16/3 :286-304.

- **Bou Kheir R., Girard M-Cl., Khawlie M., Abdallah C., 2001**, Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens: une revue bibliographique. *Etude et Gestion des Sols*. 8(4) :231-245.
- **Braune E., Looser U., 1989**, Cost impacts of sediment in South African rivers. *IAHS publications*. 184:131-143.
- **Campbell F.B., Bauder H.A., 1940**. A rating curve method for determining silt discharge of streams. *Transactions, American Geophysical Union, Part 2*: 603-607.
- **Cattell, R. B. (1966)**. The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1, 245-276.
- **Chanson H., Patrick J., 1998**, Teaching case studies in Reservoir Siltation and Catchment Erosion. *Int. J. Engineering*. Ed. 14(4): 265-275.
- **Cheniti N.**, Contribution à la quantification du transport solide au droit de deux stations hydrométriques. *Mémoire de Magistère*. ENP/ EL Harrach.
- **Chen, Y.C., Chiu, C.L., 2002**. An efficient method of discharge measurements in tidal streams, *Journal of Hydrology*. 265:212-224.
- **Chebbani R., Djilli K., Roose E., 1999**. Étude des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser. Algérie. *Bulletin Réseau Erosion*. 19.85-95.
- **Chiu, C.L, 1987**. Entropy and probability concepts in hydraulics, *Journal of hydraulic engineering (ASCE)* .133(5):583-600.
- **Chiu, C.L, 1988**. Entropy and 2-D velocity distribution in open channels, *Journal of hydraulic engineering (ASCE)*. 114(7):738-756.
- **Chiu, C.L. (1989)**. Velocity distribution in open channel flow, *Journal of hydraulic engineering (ASCE)*.115(5):576-594.
- **Chiu C.L.; Saïd, C.A.A., 1995**. Maximum and mean velocities and entropy in open channel flow. *Journal of hydraulic engineering (ASCE)*.121(1):26-35.
- **Chiu, C.L.; Chen Y.C., 1999**. Efficient methods of measuring discharges and reservoir sediment inflow, in: *The international workshop of risk analysis in Dams safety assessment*, Taipei, Taiwan.p: 97-116.
- **Chiu, C.L.; Hsu, S.M., 2006**. Probabilistic Approach to modelling of velocity distributions in fluid flows. *Journal of Hydrology*. 316:28-42.
- **Chiu, C.L., 2007**. Reply to comment on" Probabilistic approach to modelling of velocity distribution in fluid flows" by C.L. Chiu and S.M. Hsu, *Journal of Hydrology* 316:28-42. *Journal of Hydrology*. 335:429-430.

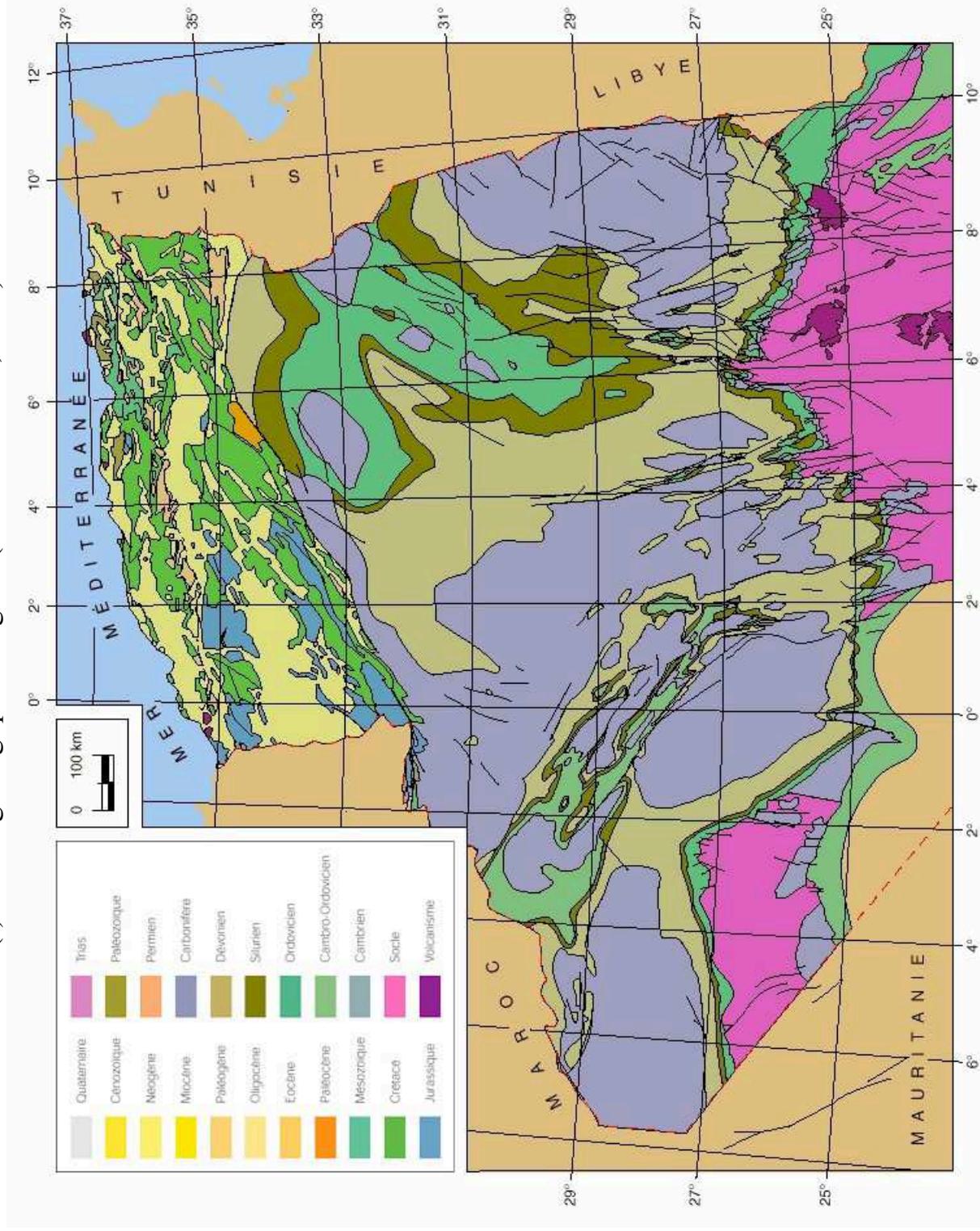
- **Choo, T., 1998.** An efficient method of discharge measurement in sandy rivers. Phd thesis .University of Pittsbourgh.USA.
- **Chow V.T., 1964.** Handbook of Applied Hydrology. Mc-Graw Hill Book Company.
- **Crawford, C.G., 1991.** Estimation of suspended –sediment rating curves and mean suspended sediment load. Journal of hydrology. 129: 331-348.
- **Degoutte, G., 2006.** Aide mémoire d’hydraulique a surface libre, Edition ENGREF.
- **Demmak A., 1982,** Contribution à l’étude de l’érosion et des transports solides en Algérie Septentrionale. Thèse de Docteur- Ingénieur. Université Paris 6. France.
- **Demmak A., 1982.** recherche d’une relation empirique entre les apports solides et les paramètres physico-climatiques des bassins. AISH. 144 :403-414.
- **Dingman, S. L.,1989.** Probability distribution of velocity in natural channel cross sections. Water resources research. 25(3):509-518.
- **Dingman, S. L.,2007.** Comment on “Probabilistic approach to modelling of velocity distribution in fluid flows” by C.L. Chiu and S. M. Hsu, Journal of Hydrology 316:28-42, Journal of Hydrology.335:419-428.
- **Einstein H.A., 1950.** The bed load function for sediment transportation in open channel flows. Technical Bulletin 1026. USDA.
- **Fenton J.D., 2002.** The application of numerical methods and mathematics to hydrography. Proc. Of the 11th Australian Hydrographic conference. Sydney. July 2002.
- **Ferguson R.I., 1986.** River load underestimated by rating curves. Water resources research. 22(1): 74-76.
- **Fox H.R., Moore H.M, Newell Price J.P, EL Kasri M., 1997.** Soil erosion and reservoir sedimentation in the High Atlas Mountains, Southern Morocco. IAHS Publication. 245:233-240.
- **Gautier J.N., 2007,** Transport Solide en Loire Moyenne Lors de Crues. SHF. Symposium Transport solide et gestion des sédiments en milieu naturel et urbain, Lyon 28 Novembre 2007.
- **Graf W., 2000.** Hydraulique Fluviale. Presse Polytechnique Romande.
- **Hersch, R.W., 1985.** Stream flow measurement, Elsevier, London.
- **Hersch, R.W., 2002.** The uncertainty in a current meter measurement. Flow Measurement and Instrumentation. 13:281–284.
- **Horowitz A.J., 2002.** The use of rating (transport) curves to predict suspended sediment concentration: A matter of temporal resolution. Turbidity and other sediment surrogates workshop. 30 April to 2 May. Reno.USA.

- **Hsu Shih-Meng, 2004**, Probability based simulation of 2-D velocity distribution and discharge estimation in open channel flow. Phd Thesis. University of Pittsburgh, USA.
- **Jayaraman K., 1999**, Manuel de statistique pour la recherche forestière, FAO.
- **Kabouya M., 1991**. Etude hydrologique de faisabilité du barrage Azib Timza (Oued Daas). ANRH.
- **Kassoul M., Abdelgader A., Belorgey M., 1997**, Caractérisation de la sédimentation des barrages en Algérie. Revue des Sciences de l'Eau. 3 : 339-358.
- **Laborde J.P., 2003**. Hydrologie de surface. ANRH/Alger.
- **Laouina A., Nafaa R., Chaker M., 2000**. Gestion des eaux et des terres et dégradation dans les collines de ksar el kebir, Maroc. Bulletin Réseau Erosion. 19.p18.
- **Larfi B., Remini B., 2006**. Le transport solide dans le bassin versant de l'Oued Isser. Impact sur l'environnement du barrage Beni Amrane (Algérie). Larhyss Journal. 5 :63-73.
- **Leopold L.B., Maddock T., 1953**. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implication. Professional paper 252. USGS.
- **Liden R., 1999**. A new approach for estimating suspended sediment yield. Hydrology and Earth Science. 3(2):285-294.
- **Meddi M., Khaldi A., Meddi H., 1998**, Contribution à l'étude du transport solide en Algérie du Nord. IAHS publication. 249 :393-397.
- **Moramarco, T. et al., 2004**. Estimation of mean velocity in natural channels based on Chiu's velocity distribution equation, Journal of hydraulic engineering (ASCE). 9(1):42-50.
- **Moramarco, T., Barbetta, S., Melone F., Burnelli, A., 2006**. FLOOMED Monitoring, forecasting and best practices for FLOOD Mitigation and prevention in the CADSES region. FLOODMED PROJECT Action n°: 2.1, Stream flow measurement methods and practical approaches for discharge assessment. Institute for Geo-Hydrological Protection, National Research Council, Perugia. Italy.
- **Moramarco, T., Ammari, A., Burnelli, A., Mirauda, D., Pascale, V., 2008**. Addressing the flows monitoring in natural channels through the entropy theory, International Congress on Environmental Modelling and Software Society (iEMSs). Integrating Sciences and Information Technology for Environmental Assessment and Decision Making 4th Biennial Meeting of iEMSs.
- **Musy, A., Higy, C., 1998**. Hydrologie Appliquée. EPF Lausanne.

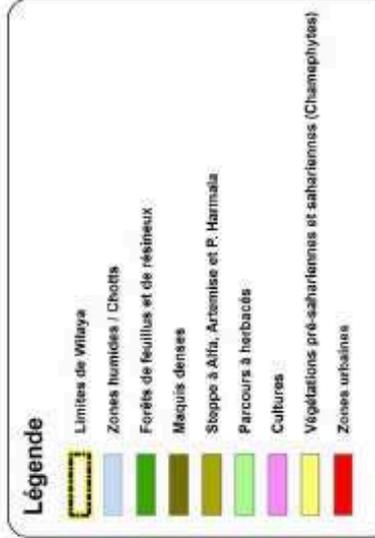
- **Mussy, A., 2002.** Cours d'hydrologie générale. EPF Lausanne,
- **Probst, J.L., Bazerbachi, A., 1986.** Transports en solution et en suspension par la Garonne supérieure. Sci. Géol. Bull. 39(1) : 79-98.
- **Probst J.L, Amiotte Suchet P., 1992,** Fluvial Sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa). Journal des Sciences Hydrologiques. 37.6.12: 621-637.
- **Ramdane O., 1992.** Etude hydrologique de faisabilité du barrage de Tazout (Talassa). ANRH.
- **Remini B., 1999.** Les conséquences de l'envasement des barrages : quelques exemples Algériens. Revue Techniques Sciences Méthodes. 4 :55-62.
- **Remini B., Avenard J., Kettab A., 2003.** Envasement des barrages. Les Editions CEDOC.
- **Remini W., Remini B., 2003.** La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du Nord. Larhyss Journal, 2 : 45-54.
- **Remini B., Hallouche W., 2005.** Prévion de l'envasement des barrages du Maghreb. Larhyss journal, 4 : 69-80.
- **Remini B., Hallouche W., Achour B., 2009.** L'Algérie : Plus d'un siècle de désenvasement des barrages. L'état des ressources en eau du Maghreb en 2009. UNESCO. p : 123-142.
- **Service de la carte géologique d'Algérie, 1939.** Notice explicative des cartes géologiques au 500 000em, Alger- Nord.
- **Schmitt A., 1992.** Hydraulique Agricole, l'eau, le sol, la plante : conservation des eaux et des sols. EIER.
- **Shannon C.E., 1948.** A mathematical theory of communication. The Bell System Tech. J. 27: 623-656.
- **SOGREAH, 1983.** Erosion et transport solide au Maghreb. Analyse bibliographique. Rap. Proj. RAB/80/011/PNUD.
- **Taibi R., Boudedja M., 1988.** Etude de faisabilité du barrage d'issoumaten sur l'oued Mleta. ANRH.
- **Taibi R., 1989.** Caractéristiques hydrologiques des oueds Messelmoun, Arbal et Mokada Naziza. ANRH.
- **Terfous A., Megnounif A., Bouanani A., 2001,** Etude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord Ouest Algérien). Revue des Sciences de l'Eau. 14/2 : 173-185.

- **Tixeront, J. 1960.** Débit solide des cours d'eau en Algérie et en Tunisie. In IAHS Publications. 53 : 26-42.
- **Touaïbia, B., 2000.** Erosion-Transport solide-Envasement des barrages. Cas du bassin versant de l'oued Mina. Thèse de doctorat. INA. Algérie.
- **Touazi M. Laborde J.P, 2004,** Modélisation Pluie- Débit à l'échelle annuelle en Algérie du Nord. Revue des Sciences de l'Eau.17/4 :503-516.
- **Touazi M. Laborde J.P, Bhiry N., 2004,** Modelling rainfall-discharge at a mean inter-yearly scale in northern Algeria. Journal of Hydrology. 296:179-191.
- **Vanoni V.A., 1977.** Sedimentation engineering. ASCE, Hydraulic Division.
- **Walling D.E, Webb B.W., 1981,** The reliability of suspended sediment load data. IAHS Publications. 133: 177-194.
- **Walling D.E., 1984,** The Sediment Yields of African rivers. IAHS Publications. 144: 265-283.
- **Wang Yu-Hai, Yu Guo-Hua, 2007,** Velocity and concentration profiles of particle movement in sheet flows. Advances in Water Resources. 30:1355-1359.
- **Wang X., Wang Z., Yu M., Li D., 2001.** Velocity profile of sediment suspensions and comparison of log-law and wake law. Journal of Hydraulic Research. 39(2):211-217.
- **Wood P.A., 1977.** Sediment Transport in the hope river, Jamaica. IAHS Publications. 122: 149-256.
- **Wu W., Rodi W., Thomas W., 2000.** 3D numerical Modelling of flow and sediment transport in open channels. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 126(1) :4 -14.
- **Zaibak M., 2007,** Contribution à une approche cartographique de l'érosion spécifique dans le bassin versant de l'Oued Cheliff. Mémoire de Magistère. ENSH/Blida.
- **Zeggane H., 2005,** Approche Cartographique de l'érosion hydrique à partir des ouvrages hydrauliques existants (cas du bassin versant de l'Oued Isser). Mémoire de Magistère. ENSH/Blida.
- **Zeroual A. 2008.** Contribution à la modélisation des courbes de tarages (cas du bassin versant des côtières Algérois). Mémoire de Magistère. ENSH/Blida.

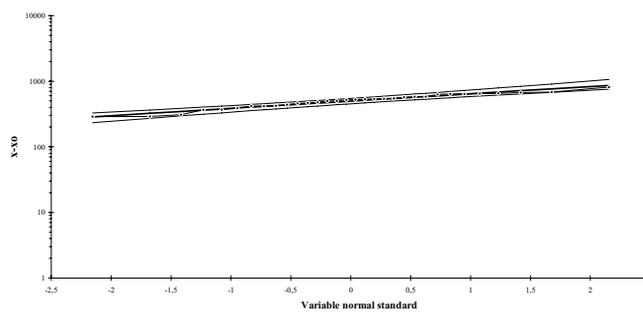
Annexe (I) : Carte géologique d'Algérie (SONATRACH, 2003).



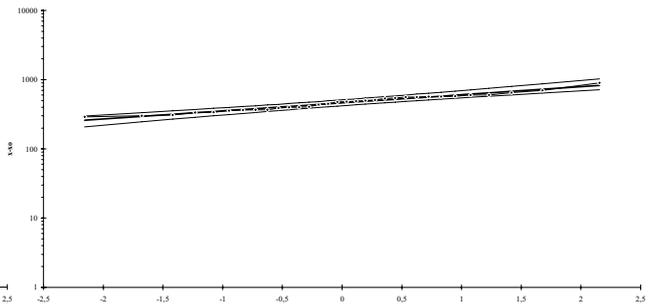
Annexe (II) : Carte de la nature du couvert végétale (ANRH).



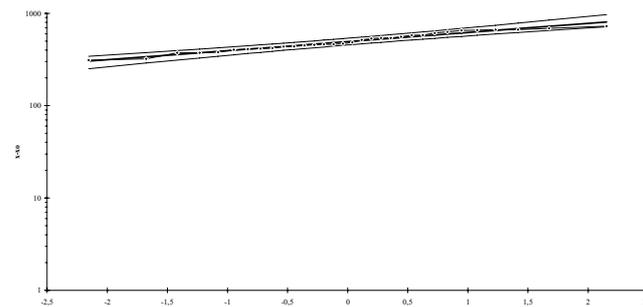
Ajustement à une loi Log-normale
Station 0202023



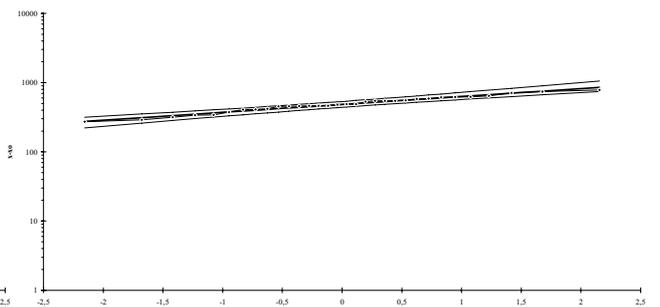
Ajustement à une loi Log-normale
Station 020205



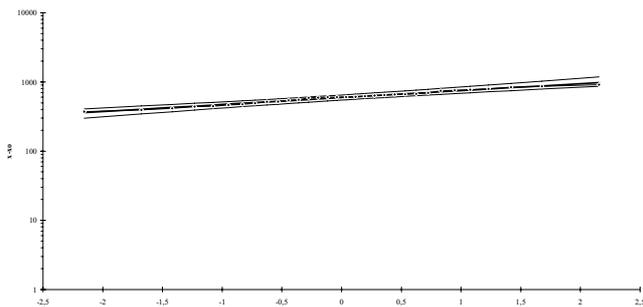
Ajustement à une loi Log-normale
Station 020211



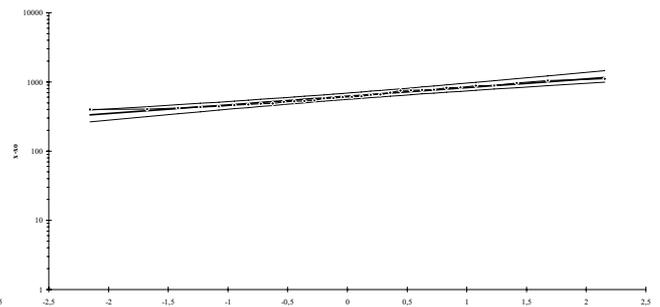
Ajustement à une loi Log-normale
Station 020301



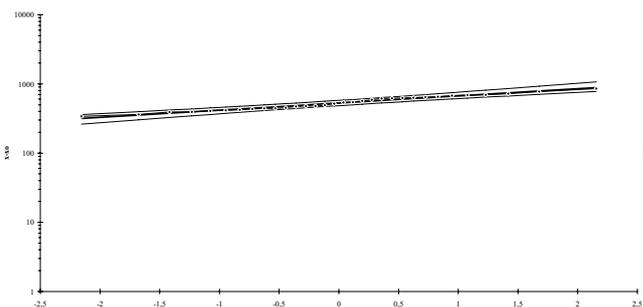
Ajustement à une loi Log-normale
Station 020306



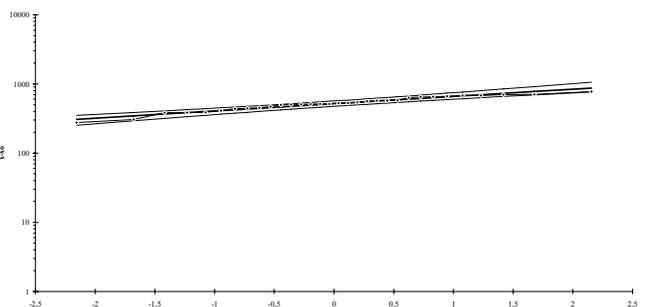
Ajustement à une loi Log-normale
Station 020307



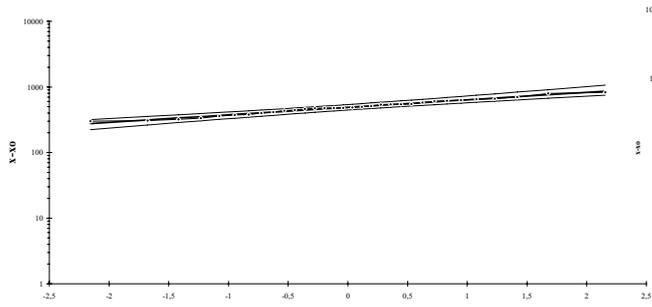
Ajustement à une loi Log-normale
Station 020313



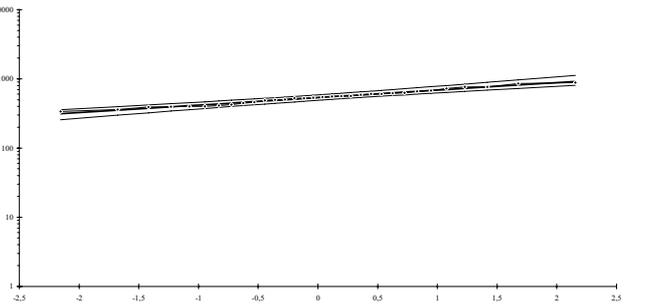
Ajustement à une loi Log-normale
Station 020315

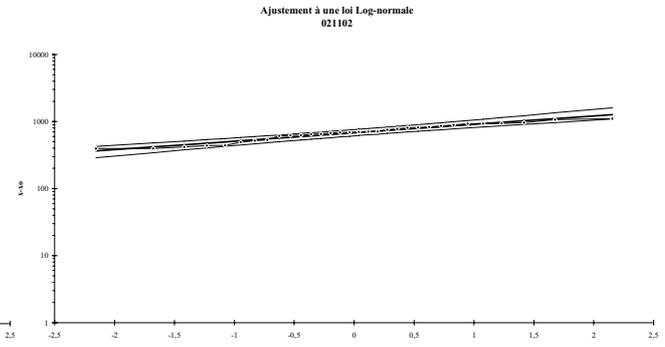
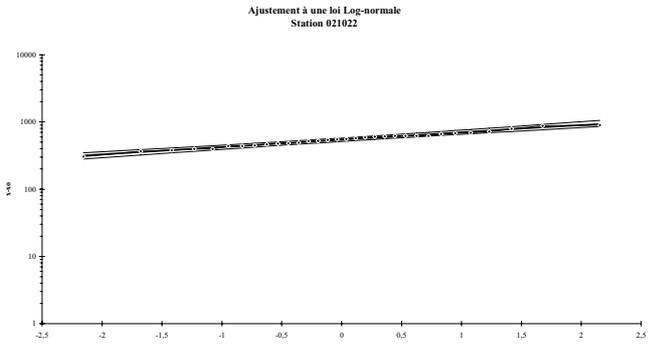
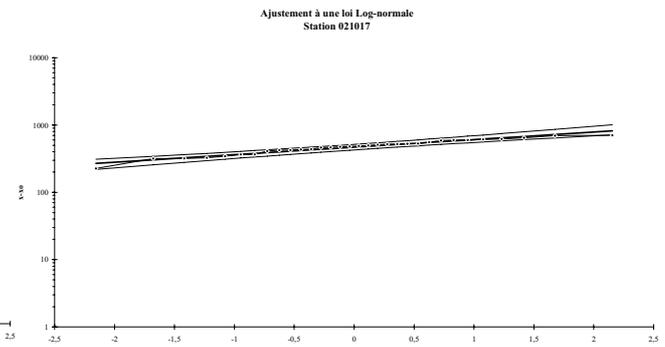
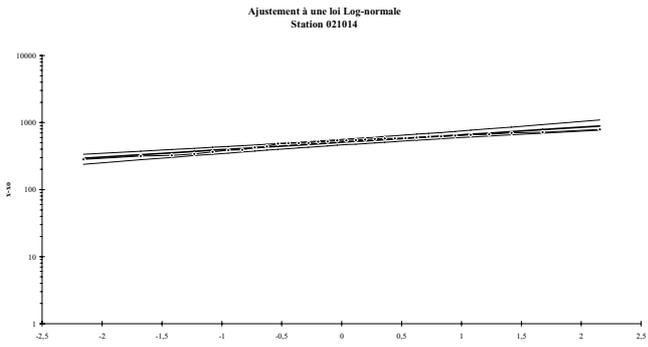
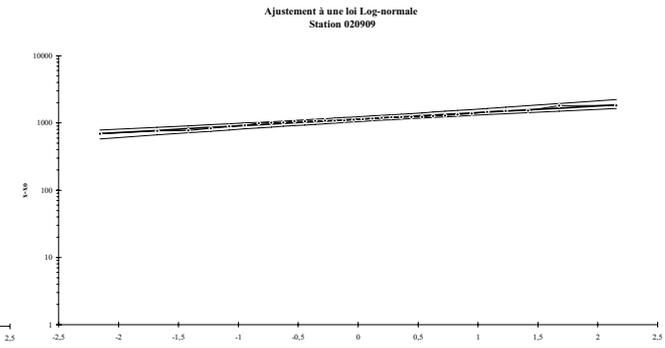
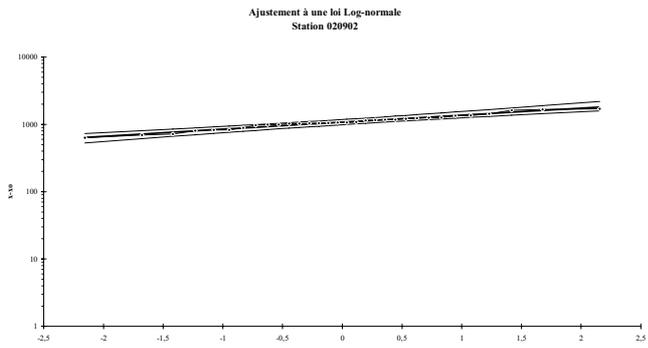
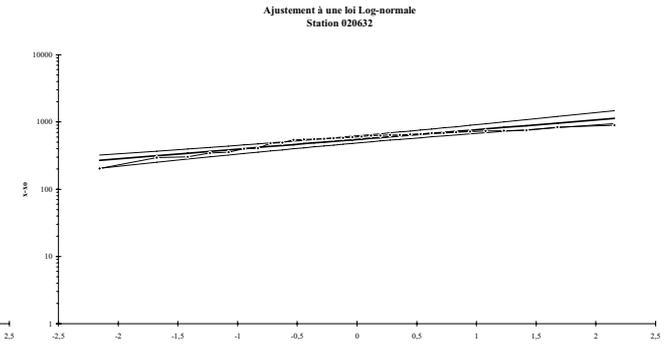
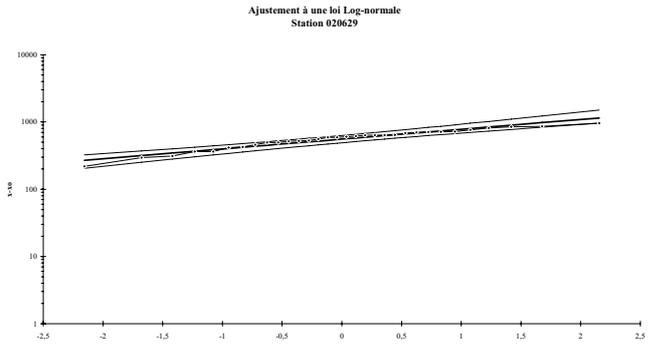
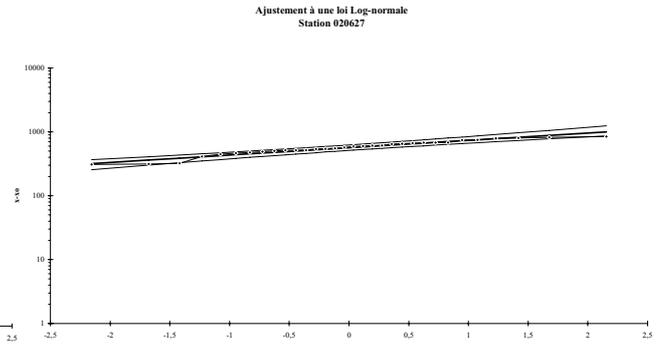
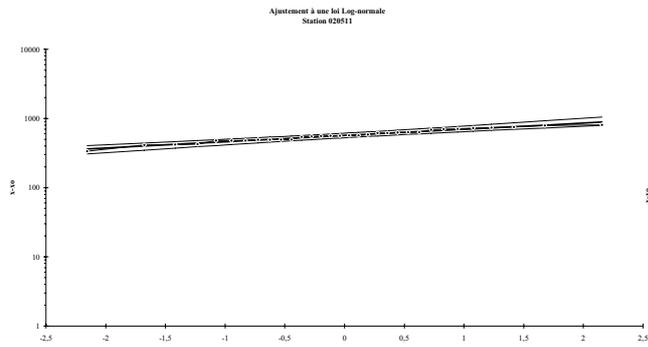


Ajustement à une loi Log-normale
Station 020403

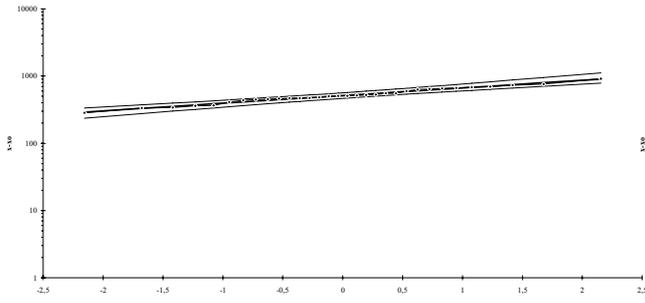


Ajustement à une loi Log-normale
Station 020405

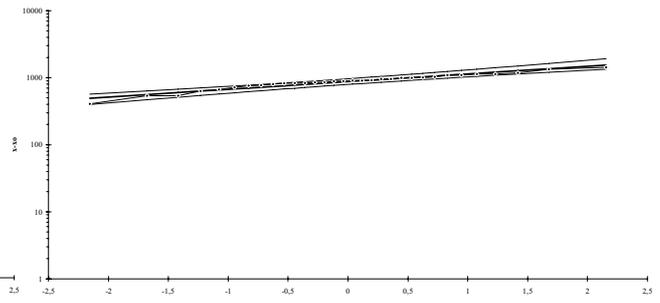




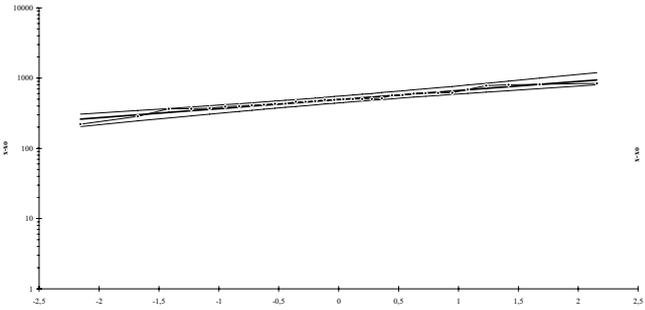
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021105



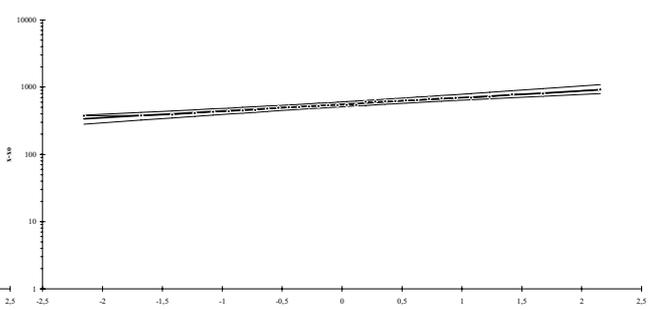
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021215



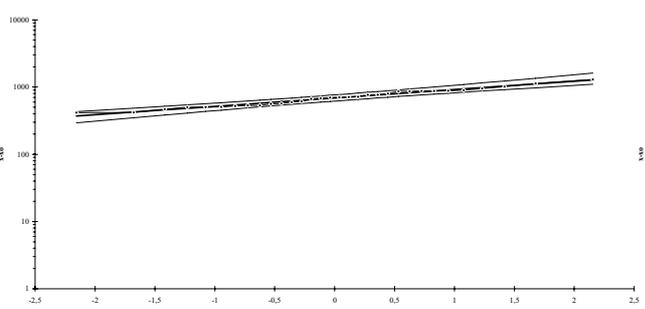
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021201



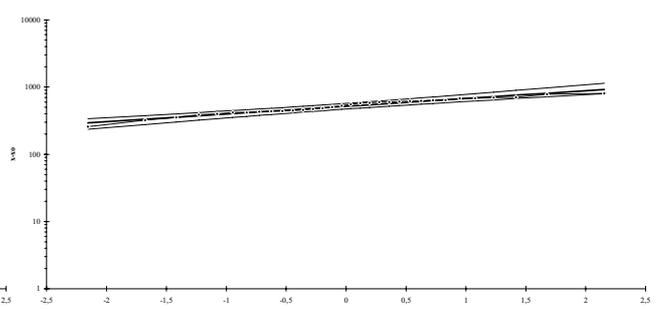
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021210



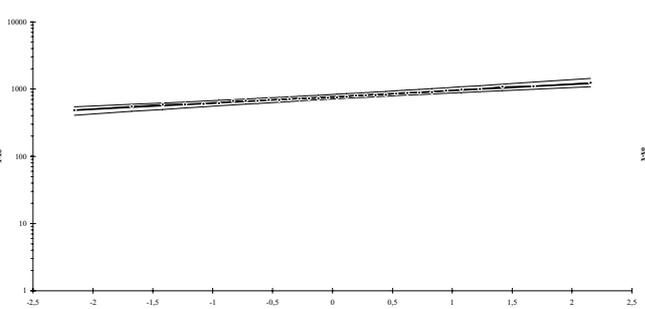
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021307



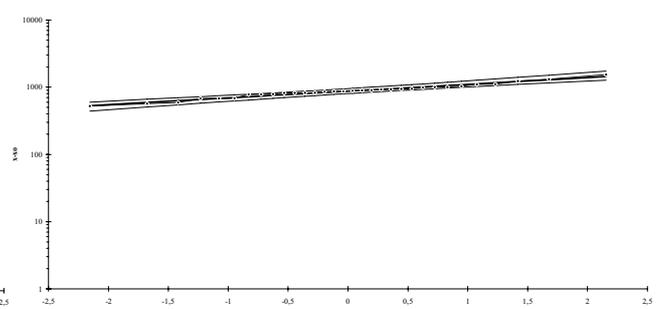
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021443



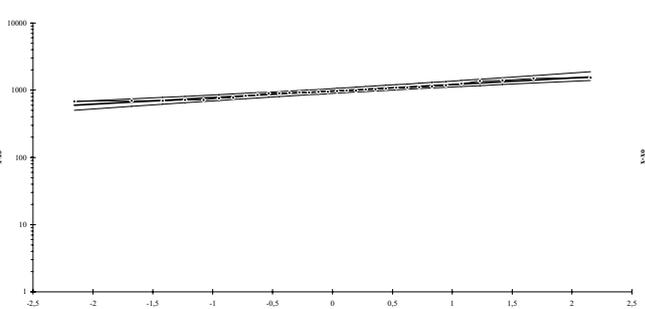
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021503



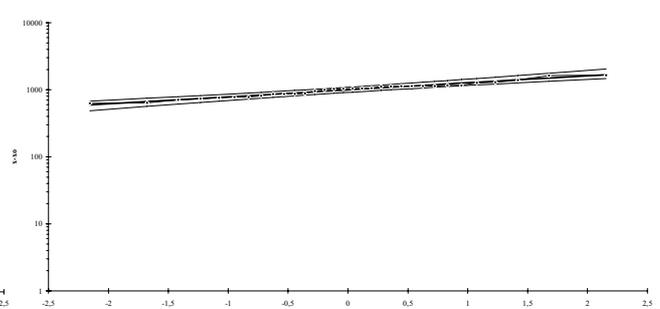
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021504



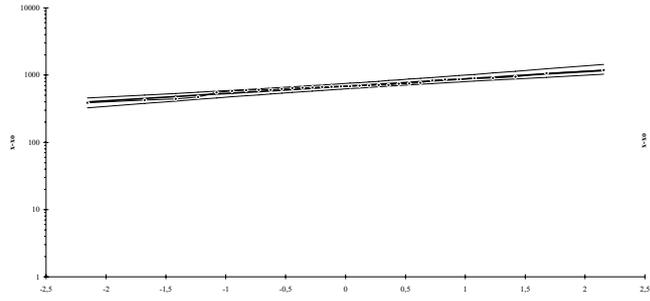
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021509



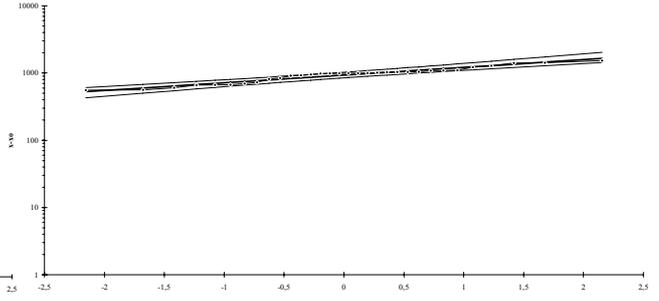
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021601



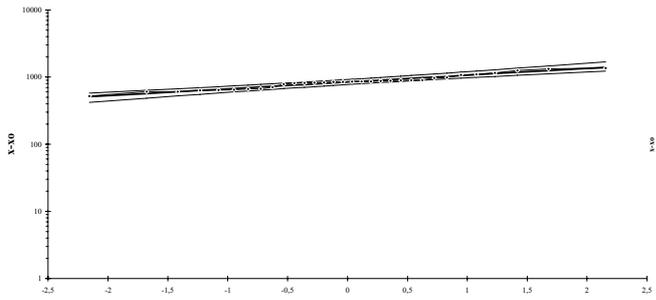
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021603



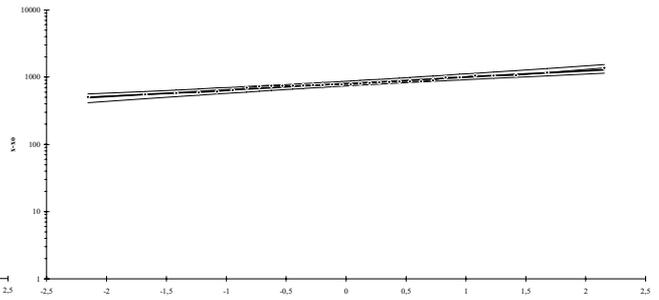
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021607



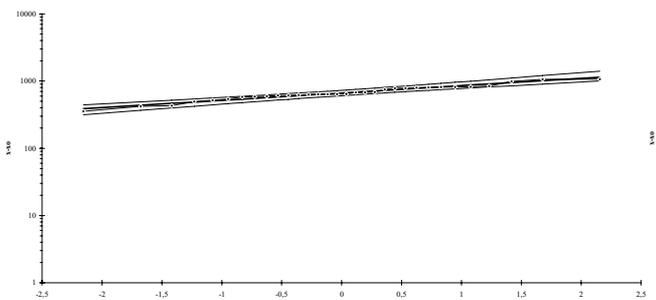
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021705



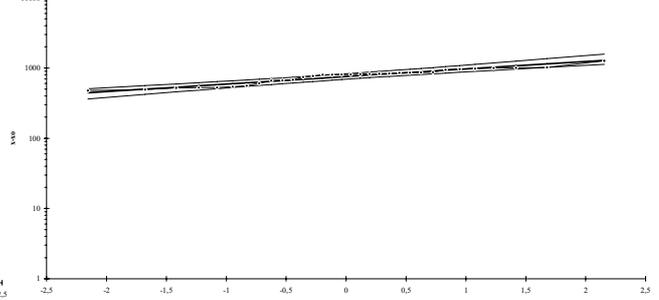
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021801



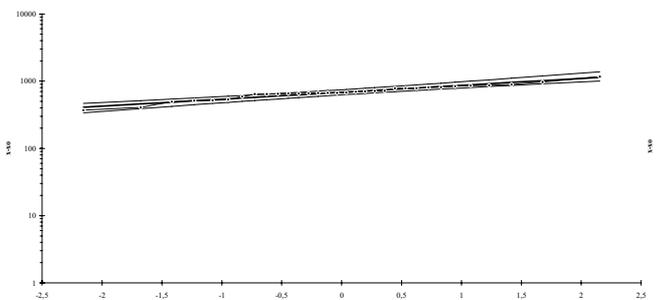
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021804



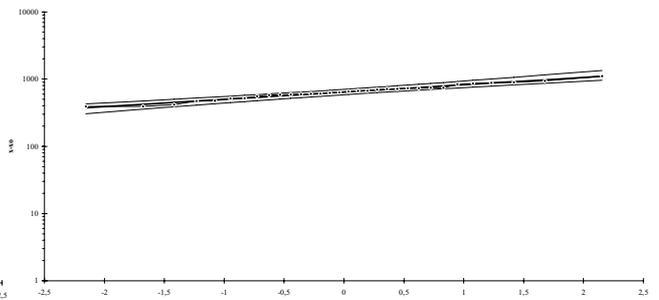
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021805



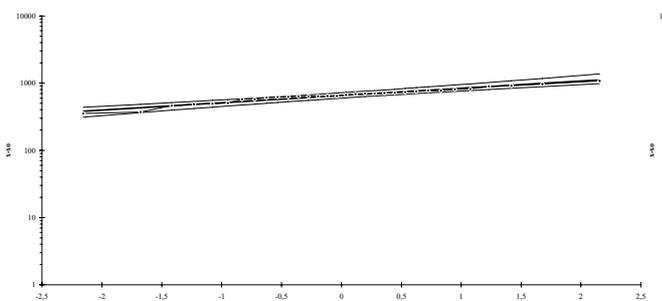
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021901



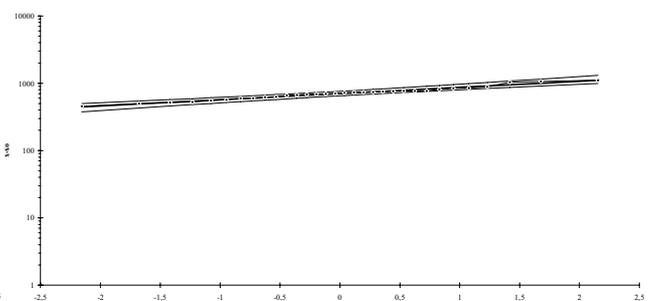
Ajustement à une loi Log-normale
021902



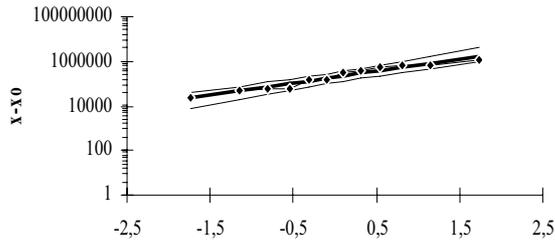
Ajustement à une loi Log-normale
Station 021903



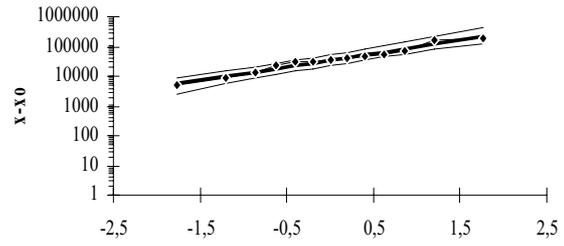
Ajustement à une loi Log-normale
Station 022002



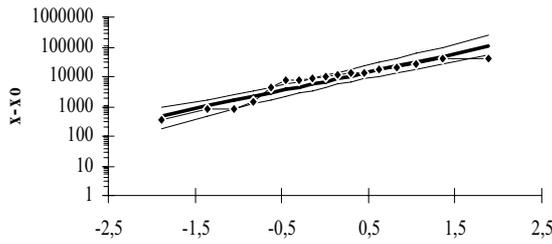
Ajustement à une loi Log-normale
Baghlia



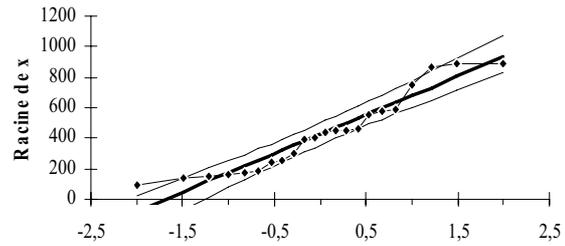
Ajustement à une loi Log-normale
Belloua



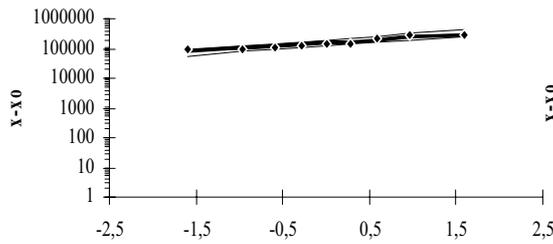
Ajustement à une loi Log-normale
RN30



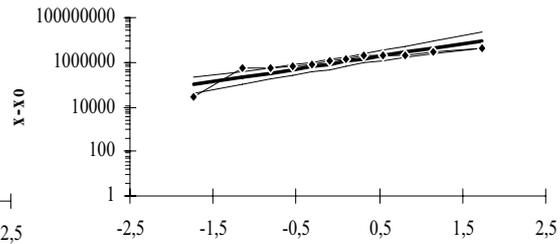
Ajustement à une loi racine-normale
Freha



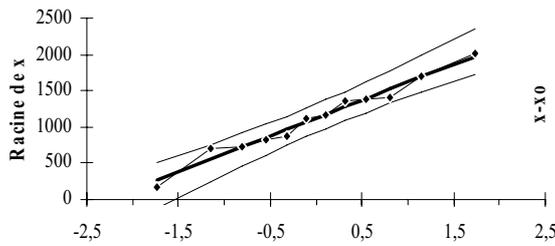
Ajustement à une loi Log-normale
Baraki



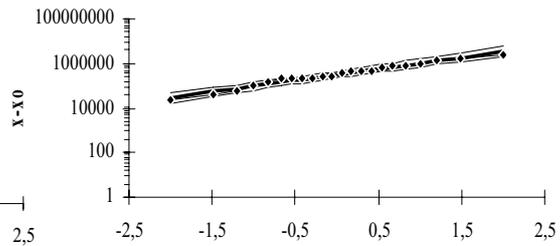
Ajustement à une loi Log-normale
Gorges de Larbaa



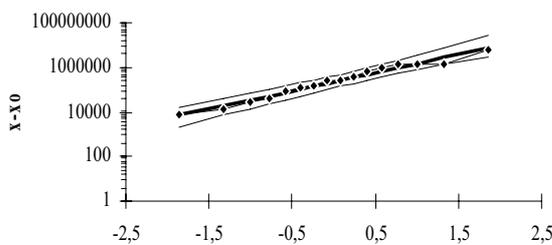
Ajustement à une loi racine-normale
Rocher des Pigeons



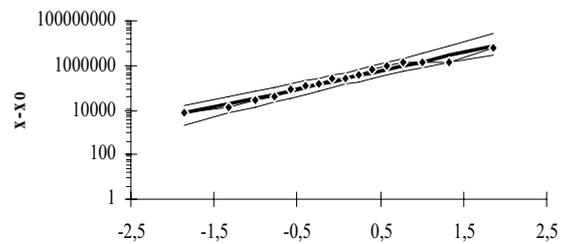
Ajustement à une loi Log-normale
Fer à Cheval



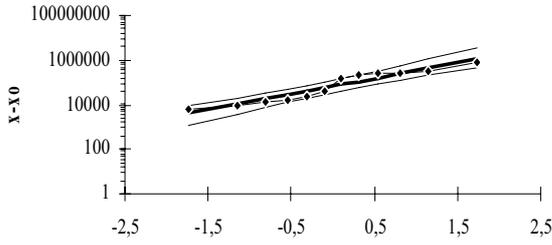
Ajustement à une loi Log-normale
Amont des Gorges



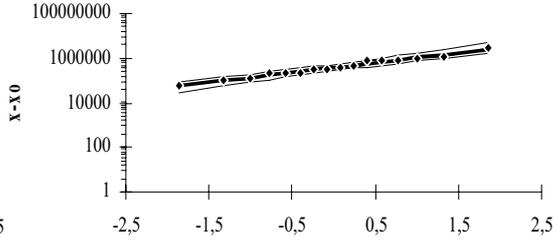
Ajustement à une loi Log-normale
Attatba



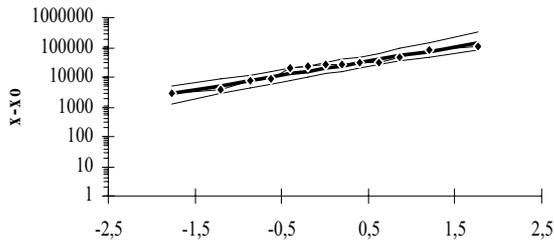
Ajustement à une loi Log-normale
El Affroun



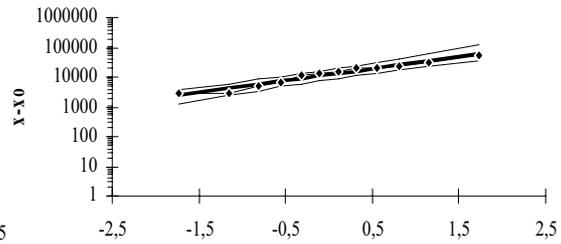
Ajustement à une loi Log-normale
Boumedfaa



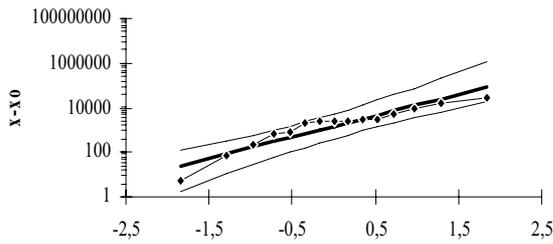
Ajustement à une loi Log-normale
Tazoute



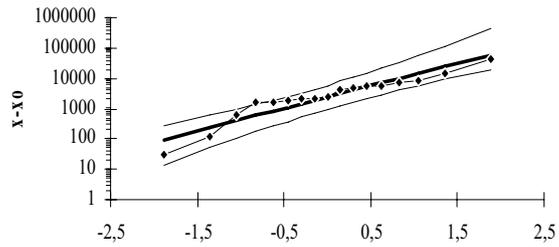
Ajustement à une loi Log-normale
Cap Sigli



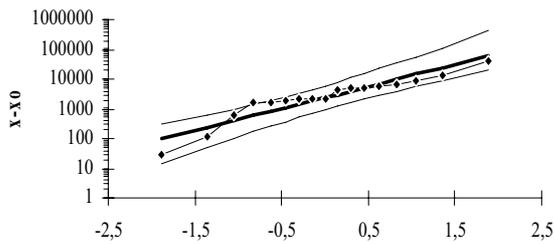
Ajustement à une loi Log-normale
Tifesouine



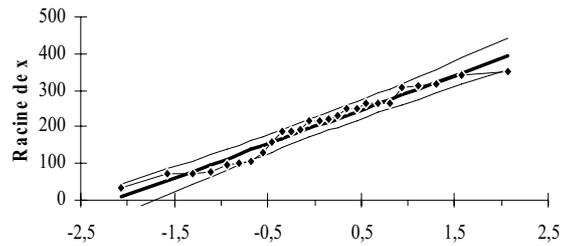
Ajustement à une loi Log-normale
Azeffoun



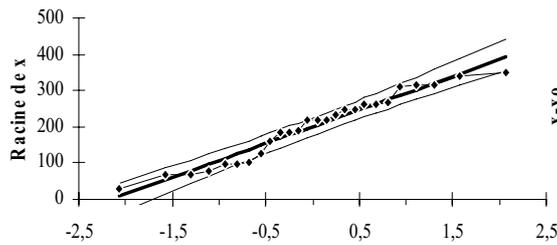
Ajustement à une loi Log-normale
Ouled Ali



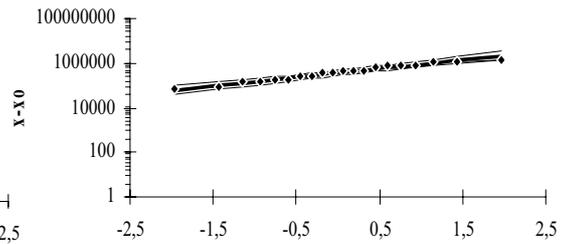
Ajustement à une loi racine-normale
RNII



Ajustement à une loi racine-normale
Bordj Ghobrini



Ajustement à une loi Log-normale
Sidi Akacha



Annexe (V) : Carte d'érosion spécifique du bassin hydrographique des Côtiers Algérois (T/hectare/an)

