

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 والري
المرجع:.....

Thèse présentée en vue de l'obtention
Du diplôme de
Doctorat en sciences en : Hydraulique
Spécialité (Option) : Hydraulique

**CARACTÉRISATION HYDROLOGIQUE ET ANALYSE DU
TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION DANS TROIS
ENSEMBLES HYDROGRAPHIQUES DU NORD-EST
ALGÉRIEN**
**Etude de cas dans la Seybouse, les hautes plaines
constantinoises et Chott Melghir
(Coupe Nord-sud)**

Présentée par :
Azeddine GUIDOUM

Soutenue publiquement le 06 mai 2017

Devant le jury composé de :

Dr. DEBABECHE Mahmoud	Professeur	Président	Université de Biskra
Dr. NEMOUCHI Abdelmalek	Professeur	Rapporteur	Université de Constantine
Dr. MESSAMEH Abdelhamid	Maitre de Conférences 'A'	Examineur	Université de Biskra
Dr. MEBARKI Azzedine	Professeur	Examineur	Université de Constantine
Dr. REMINI Boualem	Professeur	Examineur	Université de Blida

Résumé

Notre étude s'articule autour de trois grands thèmes de recherche portant sur l'hydrologie proprement dite, l'érosion hydrique et le transport solide en suspension pour trois ensembles hydrographiques caractérisant le Nord-est algérien. Une analyse préalable de l'ensemble des paramètres physico-géographiques des bassins versants sélectionnés a été effectuée. Ensuite et tenant compte de l'importance des précipitations, comme facteur générateur et explicatif du régime de l'écoulement à toutes les échelles de temps, ce paramètre climatique a fait l'objet d'une analyse approfondie et d'une cartographie automatique. Ce qui nous a permis de préciser l'évolution de la pluviosité pendant les dernières décennies et les tendances qu'on y peut détecter. L'étude hydrologique, qui est fondée sur le traitement statistique des données hydrométriques, a mis en lumière les aspects fondamentaux de l'écoulement annuel, saisonnier, extrême, et donc des ressources en eau de surface et leur variabilité. En plus, nous avons tenté de modéliser les interactions entre les différents facteurs érosifs, puis cartographier l'aléa érosion hydrique et quantifier les apports solide en suspension dans des milieux bioclimatiques allant de l'humide à l'aride et présentant ainsi une différenciation dans le régime d'écoulement. Enfin, nous avons recensé et présenté les aménagements et les techniques de mobilisation des eaux de surface dans la Seybouse-Aurès, leurs impacts, leurs efficacités et les contraintes auxquels ils sont confrontés.

Mots-clés: bassin versant, précipitations, écoulement, cartographie, érosion hydrique, transport solide, Seybouse, Aurès.

Abstract

Our study focuses on three main research themes, dealing with hydrology, water erosion and transport of suspended sediment for three hydrographic units, characterizing the Northeastern Algeria. A prior analysis of all physical-geographical parameters of selected watersheds was conducted. Then, rainfall has been the subject of detailed analysis and automatic mapping, taking into account the importance of this climatic parameter, as a generator and explanatory factor of the flow regime to all time scales. This allowed us to clarify the rainfall evolution during the last decades and trends that it can detect. The hydrological study, which is based on the statistical treatment of hydrometric data, highlighted the fundamental aspects of the annual, seasonal or extreme flow and thus surface water resources. In addition, we attempted to model the interactions between the different erosive factors, then map water erosion hazard and quantify a suspended solid load in bioclimatic environments ranging from humid to arid and so presenting a differentiation in the flow regime. Finally, we have identified and presented the amenities and techniques of surface waters mobilization in Seybouse-Aurès region, their impact, their efficiencies, and the constraints they are faced.

Keywords : watershed, rainfall, flow, mapping, water erosion, sediment transport, Seybouse, Aurès.

ملخص

دراستنا هذه تركز على ثلاثة محاور بحث رئيسية تتعلق بالهيدرولوجيا، التعرية المائية والحمولة الصلبة العالقة بخصوص ثلاث وحدات هيدروغرافية كبيرة، ممثلة لشمال شرق الجزائر. لقد قمنا في البداية بدراسة و تحليل مجموع العناصر الفيزيوجغرافية المميزة للأحواض المختارة للدراسة. بعد ذلك، كانت التساقطات المطرية موضوع تحليل دقيق و تمثيل خرائطي أوتوماتكي، أخذين بعين الاعتبار أهمية هذا العنصر المناخي، بوصفه مولدا وعاملا مفسرا وموضعا لنظام الجريان على مستوى جميع المقاييس الزمنية. هذا ما سمح لنا بتوضيح تطور هطول الأمطار خلال العقود الأخيرة الماضية، واتجاه ميولها. الدراسة الهيدرولوجية في حد ذاتها، والمنجزة على أساس المعالجة الإحصائية للبيانات الهيدرومترية، سلطت الضوء على الجوانب الأساسية للجريان السنوي و الفصلي وحتى الحدي ومن ثم على موارد المياه السطحية وتغيراتها. بالإضافة إلى ذلك، حاولنا نمذجة التفاعلات الموجودة بين مختلف عوامل التعرية المائية ومن ثم التمثيل الخرائطي "خطر التعرية المائية" وتقدير نسب الحمولة الصلبة العالقة في أوساط بيومناخية تختلف من الرطب حتى الجاف، و تمتاز بوجود تباين في نظام جريانها. أخيرا قمنا بإحصاء وتقديم المنشآت والتقنيات المستعملة في تهيئة موارد المياه السطحية الموجودة في منطقة الدراسة، تأثيراتها، نجاعتها وكذا العراقيل التي تواجهها.

الكلمات المفتاحية : الحوض التجمعي، التساقطات، الجريان، التمثيل الخرائطي، التعرية المائية، الحمولة الصلبة، واد سيبوس، الأوراس

Avant propos

Cette thèse de doctorat est le fruit de dix années de recherches alternées avec mes activités d'enseignement à l'université de Laghouat. Elle résulte de l'exploitation et de la valorisation des travaux et archives portants sur les bassins de la région d'étude, et des échanges avec les techniciens et responsables des différents services (hydraulique, forêts et environnement, agriculture,).

Au terme de cette étude, il m'est très agréable d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail. Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mes remerciements à Monsieur **NEMOUCHI Abdelmalek**, professeur à l'université de Constantine, qui a assuré la direction de cette thèse, et qui m'a fait bénéficier de son expérience, en me prodiguant sans compter des conseils et des encouragements, durant dix années de recherche.

Je tiens à exprimer ma vive gratitude à Monsieur **MARIN François** et Madame **JARNO-DRUAUX Armelle** de m'avoir réservé le meilleur accueil à leur Laboratoire (Ondes et Milieux Complexes, « LOMC, FRE 3102 CNRS ») à l'université du Havre.

J'exprime également ma sincère reconnaissance aux membres du jury, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce travail : le président de jury M. **DEBABECHE Mahmoud**, et les membres du jury : M. **MESSAMEH Abdelhamid**, M. **MEBARKI Azzedine**, et M. **REMINI Boualem**.

Mon travail fut facilité par l'environnement amical du laboratoire « Ressources en Eau, Sols et Environnement » de l'université de Laghouat qui constitue un cadre agréable de recherche.

Je remercie vivement mes collègues de l'université de Batna et tout le personnel du département d'Hydraulique de l'université de Biskra, ainsi que mes amis de l'université de Laghouat.

Je remercie aussi les cadres de l'ANRH d'Alger, qui ont mis à ma disposition les données climatiques et hydrométriques.

Je suis enfin reconnaissant envers tous les membres de ma famille qui m'ont soutenu tout au long de mes études.

Si par mégarde, j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié pour tout.

À Mon cher père et à la mémoire de ma mère



Azeddine

Tables de matières

Résumés.....	
Avant-propos.....	
Table des matières.....	I
Liste des tableaux.....	VII
Liste des figures.....	IX
Liste des abréviations.....	XII
Introduction générale.....	1
Une répartition inégale des ressources en eau sur la planète.....	1
Problématique des ressources en eau en Algérie.....	1
Objectifs et questions de recherche.....	2
Présentation du manuscrit.....	4

Première partie

Particularités Physiques de la région d'étude : Les facteurs conditionnels de l'écoulement

Chapitre I Etude physico-géographique et réseau hydrographique

I-1) Cadre géographique régional	6
I-2) Ensembles physiques	6
I-2-1) La plaine septentrionale du Tell.....	6
I-2-2) L'Atlas Tellien et la chaîne Numidique.....	7
I-2-3) Le secteur des hauts plateaux.....	7
I-2-4) le secteur de l'Atlas saharien.....	7
I-2-5) Le secteur du piémont méridional de l'Atlas saharien.....	7
I-3) Ensembles hydrographiques	8
I-3-1) Le bassin exoréique de la Seybouse.....	8
I-3-2) Le bassin endoréique des hauts plateaux constantinois.....	8
I-3-3) Le bassin endoréique de Chott Melrhir.....	8
I-4) Géologie et interaction hydrologique	10
I-4-1) Aperçu sur la géologie régionale.....	10
I-4-1-1) Domaine interne.....	10
I-4-1-2) Domaine médian ou domaine des flyschs allochtones.....	10
I-4-1-3) Domaine externe ou nappes telliennes.....	10
I-4-1-4) L'avant-pays allochtones.....	11
I-4-1-5) Les formations autochtones et parautochtones.....	11
I-4-2) Description lithologique.....	12
I-4-2-1) Les sous bassins de la Seybouse.....	12
A) Oued Cherf amont.....	12
B) Oued Cherf aval.....	12
C) Oued Bouhamdane.....	12
D) Oued Seybouse moyenne.....	13
E) Oued Melah.....	13
F) Oued Seybouse maritime.....	13
I-4-2-2) Les bassins des Hauts plateaux Constantinois.....	14
A) Fesdis.....	14
B) Oued Chemoura.....	15
C) Oued El Gueiss.....	15
I-4-2-3) Les bassins de Choot Melrhir.....	16
A) Oued El Hai.....	16
B) Oued El Abiod.....	18

C) Oued El Arab	18
D) Oued Chéria	18
1-5) Occupation des sols et types de couvertures végétales	19
1-5-1) La végétation forestière	19
1-5-2) Végétation steppique	20
1-5-3) La végétation des terres cultivées	21
1-5-4) La végétation des oasis sahariennes	22
Conclusion	24

Chapitre II Les facteurs climatiques et leur variabilité

II-1 Aperçu sur le climat de l'Algérie	25
II-2 Les paramètres météorologiques déterminant	25
II-2-1 Les précipitations et leur variabilité	25
II-2-1-1 Le réseau pluviométrique et les séries d'observation	26
II-2-1-2 Contrôle de la fiabilité des séries pluviométriques	28
II-2-1-3 Comblement des lacunes d'observation	30
II-2-1-4 Les précipitations annuelles et leur évolution	30
A. Répartition pluviométrique interannuelle	30
A.1 Le coefficient de variation (CV)	31
A.2 Ecart à la moyenne	40
A.3 Indice de précipitation standardisé (IPS)	43
A.4 Etude de tendance	45
B. Distribution statistique des pluies annuelles	47
II-2-1-5 Les précipitations mensuelles et les régimes saisonniers	54
A. Variabilité inter-mensuelle des précipitations	54
B. Le régime pluviométrique saisonnier	57
II-2-1-6 Les précipitations extrêmes	62
A. Les pluies journalières maximales, facteur générateur des crues	62
B. Les pluies de courte durée	65
C. Courbes Intensités-Durées-Fréquences	67
II-2-2 Les températures et ses nuances : Régime thermique	68
II-3 L'évolution annuelle des précipitations et des températures : Régime climatique	69
II-4 Le bilan climatique	76
II-5 L'évapotranspiration et le bilan hydrique sous l'aspect agronomique	78
Conclusion	86

Chapitre III Spatialisation des précipitations et analyse des tendances : approche géostatistique

III-1 La cartographie des précipitations en Algérie	87
III-2 variables à cartographier, Choix des stations et période d'étude	87
III-3 Construction du modèle pluie – relief	88
III-3-1 La construction du modèle numérique de terrain (MNT)	89
III-3-2 L'altitude lissée (Zliss)	89
III-3-3 La distance à la mer	90
III-3-4 Régression pluviométrie-paramètres explicatifs	91
III-4 Etude de la structure spatiale des résidus de régression	96
III-4-1 Variogrammes expérimentaux et modélisation théorique	96
III-4-2 Interpolation des résidus de régression	96
- Le krigeage comme méthode d'interpolation spatiale	97
III-5 Constitution de la grille finale et de la cartographie automatique	100
III-6 Interprétation des cartes pluviométriques élaborées	100
III-6-1 Étude de la variabilité spatiale et analyse des tendances évolutives	100

III-6-2 Evaluation de la lame d'eau précipité sur les bassins	113
Conclusion	116
Conclusion de la première partie	117

Deuxième partie

Les processus hydrologiques et les ressources en eau de surface

Chapitre IV Les écoulements annuels et leurs variations spatiales

IV-1 Le réseau hydrométrique et les données d'observation des débits	118
IV-2 L'écoulement moyen annuel et ces nuances	121
IV-2-1 Les modules absolus et spécifiques	121
IV-2-2 lames d'eau écoulée et précipité	124
IV-3 Le bilan hydrologique et le déficit d'écoulement	125
IV-4 Les variations interannuelles de l'écoulement	127
IV-4-1 le coefficient d'immodération ou d'irrégularité	127
IV-4-2 le coefficient d'hydraulicité	129
IV-4-3 Variabilité relative à travers le coefficient de variation (Cv)	129
IV-5 Analyse statistique des apports liquides	131
Conclusion	133

Chapitre V Les variations intra-annuelles des débits : Régime de l'écoulement

V-1 Les variations des débits et les nuances géographiques des régimes d'écoulement	134
V-2 Le coefficient de variation et l'écart-type	137
V-3 L'approche classique du régime : Méthode des CMD	139
V-4 L'approche géographique des régimes des oueds : R. Lambert	143
V-4-1-1 Oued Melah	145
V-4-1-2 Oued Chemoura	145
V-5 Conséquences hydrologiques de tels régimes à l'aval	146
Conclusion	149

Chapitre VI Les formes extrêmes de l'écoulement : Crues et étiages

VI -1 Les débits maximums annuels : Les crues	150
VI -1-1 Les variations spatio-temporelles des débits maximums	150
VI -1-2 Typologie et caractéristiques des crues	153
VI -1-2-1 La genèse des crues	153
VI -1-2-2 Les crues des oueds exoréiques	153
A. Les crues de mars 1973	154
B. Les crues de décembre 1984	155
C. Les crues de mars 1991	156
VI -1-2-3 Les crues des oueds endoréiques	157
A. Les crues de septembre 1972	157
B. Les crues de septembre 1979	158
C. Les crues de septembre 1989	159
VI -1-3 Les apports de crues	161
VI -1-4 La puissance des crues	162
VI -1-5 Le rapport d'affinité : débit de pointe/ débit moyen de la crue	162
VI -1-6 La récurrence des débits de crues	164
VI -2 Les débits annuels minimums : Les étiages	169
VI -2-1 La genèse des étiages, et leurs variations spatiales	169

VI 2-2 Débits fréquentiels d'étéage.....	174
Conclusion	177
Conclusion de la deuxième partie	178

Troisième partie

L'aléa érosion hydrique, les transports solides et la mobilisation des eaux de surface

Chapitre VII Processus de l'érosion hydrique des sols et du transport solide: état de l'art

VII-1 Qu'est-ce qu'une érosion hydrique ?	179
VII-2 Mécanismes et genèse	179
VII-2-1 Erosion par l'impact (splash).....	179
VII-2-2 Erosion par ruissellement.....	180
VII-2-2-1 L'érosion en nappe (sheet érosion).....	180
VII-2-2-2 L'érosion linéaire (rill erosion).....	180
VII-3 Les principaux agents de l'érosion hydrique en milieu méditerranéen	180
VII-3-1 La lithologie et nature du sol.....	180
VII-3-2 Le climat.....	181
VII-3-3 Les précipitations.....	181
VII-3-4 Le couvert végétal.....	181
VII-3-5 L'effet amplificateur des actions anthropiques.....	181
VII-4 Le transport solide	181
VII-4-1 Régime de transport.....	181
VII-4-1-1 Le charriage (bed load).....	181
VII-4-1-2 La suspension (suspended load).....	182
VII-4-1-3 la saltation.....	182
VII-5 Prédiction de l'érosion hydrique	182
VII-5-1 Estimation des pertes en terre à l'aide du modèle de Wischmeier.....	182
VII-5-1-1 Principe.....	182
VII-5-1-2 Intérêt et limites de l'USLE.....	183
VII-5-2 Cartographie de l'aléa « érosion des sols ».....	183
VII-5-2-1 L'analyse multicritère (AMC).....	183
VII-5-2-2 Apport des SIG à la cartographie de l'érosion hydrique.....	184
VII-5-2-3 Le système SIG-AMC intégré.....	185
VII-5-2-4 Les intérêts de l'imagerie pour la cartographie de l'érosion.....	185
VII-5-3 Evaluation du transport solide avec les données de mesures.....	186
VII-5-3-1 Méthode basée sur la mesure du taux de remplissage des retenues.....	186
VII-5-3-2 Méthode basée sur la mesure de la concentration.....	186
A. Mesure par prélèvement ponctuel –pesée.....	186
B. Mesure optique (turbidité).....	187
C. Mesure acoustique.....	188
D. Limites des méthodes et incertitudes de mesures.....	188
E. Extrapolation des mesures : corrélation et régression.....	188
F. Quantification des apports solides : techniques d'interpolation et d'extrapolation.....	189
VII-5-3-3 La mesure des transports de fond.....	190
VII -6 Ampleur de l'érosion en zone méditerranéenne	191
VII-7 Quelques données chiffrées sur l'érosion et le transport solide en Algérie	192
VII-8 Énoncé de quelques études faites sur l'érosion et le transport solide en Algérie	193
VII-9 Conclusion et conséquences pour le choix d'une démarche	195

Chapitre VIII Cartographie et analyse multicritère de l'aléa d'érosion hydrique

VIII -1 Données utilisées	197
VIII -2 Approche adoptée	197
VIII -2-1 Réalisation des couches d'informations	198
VIII -2-1-1 Déclivité du relief	198
VIII -2-1-2 Friabilité de substrat	198
VIII -2-1-3 Occupation des sols et pratiques antiérosives	198
VIII -2-1-4 Érosivité des pluies	199
VIII -2-2 Pondération des facteurs	200
VIII -2-3 Croisement des couches par évaluation Multicritère	205
VIII -3 Analyse et Interprétation des cartes d'aléa	205
VIII -4 Différenciation saisonnière de d'aléa érosion : étude d'un cas particulier	211
VIII -4-1 Impact du caractère saisonnier de l'occupation du sol et des précipitations	212
VIII -4-2 Analyse de scénarios saisonniers	216
VIII -4-3 Identification des périodes érosives	217
VIII -5 Validation des résultats	217
Conclusion	220

Chapitre IX Bilan et modélisation statistique du transport solide en suspension

IX -1 Mesures des transports solides en suspension en Algérie: Dispositifs et incertitudes	221
IX -2 Présentation des données	222
IX -2-1 Statistiques générales sur les données de concentration en MES	222
IX -2-2 Evolution des concentrations observées au cours d'une crue	222
IX -3 Évaluation de la charge solide (Méthode opérationnelle)	224
IX -4 Modélisation statistique: Évolution de la charge solide en fonction des débits instantanés	226
IX -4-1 Critères d'évaluation et sélection du modèle adéquat	226
IX -4-2 Homogénéisation et extension des données	227
IX -5 Bilan des exportations de matières en suspension dans les bassins versants étudiés	227
IX -5-1 Evaluation et validation des résultats de la modélisation statistique	227
IX -5-2 Les valeurs annuelles moyennes et leur variation spatiale	233
IX -5-3 Les variations interannuelles de l'apport solide en suspension	235
IX -5-4 Les variations saisonnières et mensuelles	242
IX -5-5 La relation saisonnière entre le débit liquide et le débit solide	246
IX -5-6 Les variations journalières de la concentration en MES et contribution des crues dans le bilan annuel des apports	246
Conclusion	253

Chapitre X Impact et efficacité des ouvrages de mobilisation des eaux de surface

X-1 Potentialités en eau de surface	254
X-2 Le potentiel de mobilisation des eaux de surface et bilan prospectif	254
X-2-1 La petite hydraulique et ses limites	255
X-2-1-1 Les ouvrages traditionnels de dérivation des eaux (Ceds)	255
A. Les barrages de dérivation des eaux pérennes	255
B. Les barrages de dérivation des eaux de crue	256
X-2-1-2 Les retenues collinaires	258
X-2-1-3 La localisation géographique et les impacts de ces aménagements élémentaires	260
X-2-2 Les grandes hydrauliques, contraintes d'aménagement et de gestion	261
X-2-2-1 Bilan actuel des usages des eaux mobilisées par les barrages	261
A. Le barrage de Hammam Debagh	261
B. Le barrage Foug El Khangua	261
C. Le barrage d'Ourkiss (Talizardane)	261
D. Le barrage de Kouidiat El Medaour	262
E. Le barrage de Foug El Gueiss	262

F. Le barrage des fontaines de gazelles	262
G. Le barrage de Foum El Guerza	262
H. Le barrage de Babar	262
X-2-2-2 Les barrages en projet	264
X-2-2-3 Le schéma de transfert régional des eaux superficielles	264
X-3 Les contraintes liées à la mobilisation des eaux de surface	266
X-3-1 Un climat peu favorable	266
X-3-2 Environnement érodable et envasement alarmant	267
X-3-3 Réduction de la capacité des retenues	267
X-3-4 Sécurité des ouvrages menacée	269
X-3-5 Exploitation et gestion inadéquates	270
X-3-6 Conséquences en aval	271
X-4 Synthèse, stratégie, et plan d'action	272
Conclusion	274
Conclusion de la troisième partie	275
Conclusion générale	276
Références bibliographiques	284

Annexes

Annexe I Amplitude des précipitations moyennes mensuelles (1970-2004)	302
Annexe II Bilan hydrique selon Thornthwaite et avec l'ETP de Thornthwaite, Turc et Blanny-Criddle	306
Annexe III Cartes des précipitations moyennes mensuelles de la Seybouse-Aurès (1970-2004)	312
Annexe IV Caractéristiques des principales crues de la Seybouse-Aurès	322
Annexe V Informations géographiques utilisés pour cartographier l'aléa érosif	330
Annexe VI Cartes de l'aléa érosion hydrique de la Seybouse-Aurès	343

Liste des tableaux

Tableau 1	Caractéristiques morphométriques et hydrographiques des unités hydrologiques de la Seybouse-Aurès	9
Tableau 2	Répartition en % des types d'occupation du sol	22
Tableau 3	Caractéristiques des postes pluviométriques retenus dans l'étude	27
Tableau 4	Moyenne, écart-type, et coefficient de variation des séries Pluviométriques (1970-04) ..	36
Tableau 5	Ecart à la moyenne des précipitations annuelle extrêmes (1970-2004)	42
Tableau 6	Fréquence (%) des années sèches, normales et humides dans 73 postes pluviométriques (période 1970-2004)	44
Tableau 7	Intervalles de confiance et Test d'adéquation X^2 (Khi Deux) pour les stations étudiées	50
Tableau 8	Précipitations annuelles fréquentielles en (mm)	51
Tableau 9	Récurrence théorique des pluies moyennes annuelles, extrêmes pour les différentes stations du bassin	53
Tableau 10	Régime pluviométrique saisonnier selon Musset (1935)	57
Tableau 11	Précipitations mensuelles fréquentielles pour six stations caractéristiques	60
Tableau 12	Pluie maximale journalière fréquentielle (1970-2004)	65
Tableau 13	Pluie de courte durée pour huit stations pluviométriques représentatives de la zone d'étude	66
Tableau 14	Régime thermique mensuel aux stations représentatives de la région d'étude (1971-2004)	70
Tableau 15	Indice d'aridité de De Martonne	78
Tableau 16	ETP mensuelle selon Thornthwaite, Turc et ETP de Blanny-Criddle	81
Tableau 17	Résultats de la régression multiple : pluies annuelles - paramètres explicatifs	92
Tableau 18	Résultats de la régression multiple : pluies journalières extrêmes de fréquence décennale -paramètres explicatifs	94
Tableau 19	Résultats de la régression multiple : pluies mensuelles - paramètres explicatifs	95
Tableau 20	Résultats des méthodes d'évaluation de la lame d'eau précipitée	115
Tableau 21	Caractéristiques du réseau hydrométrique	118
Tableau 22	Débits moyens annuels	123
Tableau 23	Lame d'eau écoulée, coefficient d'hydraulicité	130
Tableau 24	Les débits moyens annuels et durée de récurrence	131
Tableau 25	Apport moyen mensuel et lame d'eau écoulée aux différentes stations hydrométriques ..	135
Tableau 26	Apport moyen mensuel : les maxima de la période (1972/73-1993/94)	140
Tableau 27	Apport moyen mensuel : les minima de la période (1972/73-1993/94)	140
Tableau 28	Moyenne, Écart-type, Coefficient de variation et coefficient mensuel des débits (1972-1994)	143
Tableau 29	Les débits de crue journaliers et instantanés	151
Tableau 30	La fréquence des débits maximums instantanés	152
Tableau 31	La fréquence des débits journaliers maximums	152
Tableau 32	Caractéristiques des principales crues	160
Tableau 33	Les apports et les débits max. absolus et spécifiques, des principales Crues	163
Tableau 34	Les débits instantanés maximums annuels, les débits journaliers maximums annuels et durée de récurrence	166
Tableau 35	Débits d'étiage observés aux différentes stations	171
Tableau 36	La fréquence des débits mensuels minimums	173
Tableau 37	La fréquence des Débits journaliers minimums	173
Tableau 38	Débits d'étiage (Débit mensuel minimal, Débit journalier minimal) et durée de récurrence	174
Tableau 39	Mesures Bathymétrique et envasement de quelques barrages algériens	194
Tableau 40	Travaux liés à l'érosion et au transport solide en Algérie	196
Tableau 41	Répartition de l'aléa érosion surfacique moyen par bassin versant	209
Tableau 42	Pondération saisonnière attribuée aux couches du modèle d'aléa érosion	216

Liste des tableaux (suite)

Tableau 43	Répartition saisonnière de l'aléa érosion et des apports liquides et solides : bassin de l'Oued Chemoura	219
Tableau 44	Statistiques sur les concentrations en MES pour les bassins étudiés (g/l).....	222
Tableau 45	Modèle parabolique ou quadratique pour la relation débit liquide – débit solide.....	228
Tableau 46	Modèle polynomial ou cubique pour la relation débit liquide – débit solide.....	229
Tableau 47	Modèle Puissance pour la relation débit liquide – débit solide.....	230
Tableau 48	Bilan des Apports solides dans six bassins de la Seybouse-Aurès et sélection du modèle régressif adéquat.....	232
Tableau 49	Concentration en MES, débit solide, et dégradation spécifique dans la zone d'étude....	234
Tableau 50	Apports annuels en transports solides en suspension (Regroupement par mois).....	238
Tableau 51	Apports annuels en transports solides en suspension (Regroupement par saison).....	239
Tableau 52	Apports annuels en transports solides en suspension (Totalité des données).....	240
Tableau 53	Valeurs mensuelles de la concentration en g/l (Regroupement pas mois).....	242
Tableau 54	Valeurs mensuelles de la concentration en g/l (Regroupement pas saison).....	243
Tableau 55	Valeurs mensuelles de la concentration en g/l (Totalité des données).....	243
Tableau 56	Potentialité de la turbidité journalière et instantanée (Oueds Chemoura et Bouhamdane).	250
Tableau 57	Potentialité de la turbidité journalière et instantanée (Oueds : El Abiod et Reboa.....	251
Tableau 58	Apport moyen annuel des oueds de la Seybouse-Aurès (période : 1972/94).....	255
Tableau 59	Retenues collinaires recensées dans la Seybouse et les H. P. Constantinois...	259
Tableau 60	Barrages en exploitation dans la Seybouse-Aurès.....	263
Tableau 61	Barrages en projet) dans la Seybouse-Aurès.....	264
Tableau 62	Dépôts dans les barrages de la Seybouse-Aurès.....	268

Liste des figures

Figure 1	Schéma synthétique de la de la démarche <i>utilisée</i>	5
Figure 2	Situation géographique de la zone d'étude	6
Figure 3	Lithologie du bassin versant de l'Oued Melah	14
Figure 4	Lithologie du bassin versant de l'Oued Chemoura	16
Figure 5	Lithologie du bassin versant de l'Oued El Hai	17
Figure 6	Couvert forestier de la Seybouse-Aurès	20
Figure 7	Plantation de pommiers à Ichmoul (Aurès)	21
Figure 8	Ruban dense de palmeraies le long de la vallée de l'Oued El Abiod	22
Figure 9	Couverture végétale de la zone d'étude : a) La Seybouse, b) Les Aurès (D'après carte internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis-Sfax et Alger)	23
Figure 10	Position des 73 stations pluviométrique et MNT couvrant la zone d'étude	26
Figure 11	Détection des erreurs accidentelles (Station Kef Mourad)	29
Figure 12	Détection des erreurs systématiques (Station Kef Mourad)	30
Figure 13	Variations interannuelles des précipitations (1970-2004)	32
Figure 14	Esquisse des iso-lignes de coefficient de variation	35
Figure 15	Ecart à la moyenne des précipitations annuelle extrêmes humides (1970-2004)	40
Figure 16	Ecart à la moyenne des précipitations annuelle extrêmes sèches (1970-2004)	41
Figure 17	Tendance des précipitations annuelles dans la zone d'étude	46
Figure 18	Ajustement à la loi Racine-normale des précipitations annuelles (1970-2004)	48
Figure 19	Répartition spatiale des mois les plus humides (1970-2004)	55
Figure 20	Fréquence de CV minimal observé dans les 73 stations retenues (1970-2004)	55
Figure 21	Amplitude des précipitations moyennes mensuelles (1970-2004)	56
Figure 22	Régime saisonnier des pluies dans les stations de la zone d'étude (1970-2004)	59
Figure 23	Ajustement à la loi Racine-normale des précipitations mensuelles (1970-2004)	61
Figure 24	Répartition spatiale des pluies journalières maximales	63
Figure 25	Ajustement à la loi de Gumbel des précipitations max journalières (1970-2004)	64
Figure 26	Courbes Intensité -Durée-Fréquence pour 8 stations représentatives de la zone d'étude	67
Figure 27	Diagrammes Ombrothermiques à l'altitude moyenne des bassins (1970/71-2003/04)	71
Figure 28	Approche des mois secs (1970/71-2003/04)	73
Figure 29	Zonage d'écoulement potentiel	76
Figure 30	Bilan hydrique selon Thornthwaite et avec l'ETP de turc (bassins de la Seybouse)	83
Figure 31	Bilan hydrique selon Thornthwaite et avec l'ETP de Blanny-Criddle (bassins des Aurès)	85
Figure 32	Estimation de l'altitude lissée (Zliss)	90
Figure 33	Distance à la mer	90
Figure 34	Corrélations pluie annuelle, latitude, longitude, altitude et distance à la mer	92
Figure 35	Pluie moyenne annuelle en fonction de l'altitude lissée et de la distance à la mer	93
Figure 36	Régression entre les \sqrt{Pa} estimées et \sqrt{Pa} observées sur 73 postes pluviométriques	94
Figure 37	Variogramme des résidus de régression (moyennes des racines carrées de pluies annuelles, modèle exponentiel)	97
Figure 38	Modèles des variogrammes associés aux pluies moyennes mensuelles	98
Figure 39	Variogramme des résidus de régression (moyennes des racines carrées de pluies journalières max de fréquence décennale, modèle exponentiel)	100
Figure 40	Etapes de réalisation de la cartographie des précipitations annuelles, mensuelles et journalières extrêmes de fréquence décennale	101
Figure 41	Carte des précipitations annuelles moyennes de la Seybouse (du 1 ^{er} septembre 1970 au 31 août 2004)	102
Figure 42	Carte des précipitations mensuelles moyennes de la Seybouse (mois d'avril, périodes du 1er septembre 1970 au 31 août 2004)	103

Liste des figures (suite)

Figure 43	Carte des précipitations journalières max de fréquence décennale de la Seybouse (du 1 ^{er} septembre 1970 au 31 août 2004).....	104
Figure 44	Superposition des isohyètes de pluies moyennes annuelles de la Seybouse (1970 -2004) sur MNT.....	105
Figure 45	Carte des précipitations annuelles moyennes des Aurès (du 1er septembre 1970 au 31 août 2004).....	106
Figure 46	Carte des précipitations mensuelles moyennes des Aurès (mois d'avril, périodes du 1er septembre 1970 au 31 août 2004).....	107
Figure 47	Carte des précipitations journalières max de fréquence décennale des Aurès (périodes du 1er septembre 1970 au 31 août 2004).....	108
Figure 48	Superposition des isohyètes de pluies moyennes annuelles des Aurès (1970 -2004) sur MNT.....	109
Figure 49	Superposition des isohyètes de la période (1970-2004) et celles de Seltzer (1913-1938), Chaumont et Paquin (1913-1963) et l'ANRH (1922/60-1969/89), bassin de la Seybouse.....	111
Figure 50	Superposition des isohyètes de la période (1970-2004) et celles de Seltzer (1913-1938), Chaumont et Paquin (1913-1963) et l'ANRH (1922/60-1969/89), les Aurès.....	112
Figure 51	Ecart relatif % des précipitations annuelles moyennes pour 73 postes pluviométriques situés dans la zone d'étude.....	114
Figure 52	Répartition par ordre décroissant des lames précipitées annuelles moyennes pour les bassins de la zone d'étude.....	115
Figure 53	Équipement hydrométriques et barrages de la région d'étude.....	119
Figure 54	Séries hydrométriques exploitées dans l'étude.....	120
Figure 55	Station Ain Berda sur de l'Oued Ressoul.....	120
Figure 56	Écoulement moyen annuel absolu (1972/73-1993/94).....	122
Figure 57	Écoulement moyen annuel spécifique (1972/73-1993/94).....	124
Figure 58	Relation lame d'eau moyenne écoulée- lame d'eau moyenne précipitée (1972/73-1993/94).....	125
Figure 59	Répartition selon la latitude des coefficients d'écoulement (C.E) des bassins étudiés.....	125
Figure 60	Bilan moyen annuel de l'écoulement à différentes stations de la zone étudiée.....	126
Figure 61	Corrélation lame d'eau moyenne écoulée- lame d'eau moyenne précipitée (1972/73-1993/94).....	127
Figure 62	Écoulement moyen annuel de surface dans l'Aurès-Seybouse (1972/73-1993/94).....	128
Figure 63	Déficit d'écoulement moyen annuel dans l'Aurès-Seybouse (1972/73-1993/94).....	128
Figure 64	Répartition du coefficient de variation des débits annuels (période: 1970-94).....	131
Figure 65	Ajustement des débits moyens annuels à une loi de probabilité (1972-1994).....	132
Figure 66	Variations mensuelles des débits moyens (1972/73-1993/94).....	136
Figure 67	Variations annuelles du coefficient de variation période (1972/73-1993/94).....	138
Figure 68	Variations mensuelles des débits (1972/73-1993/94).....	141
Figure 69	Courbes des coefficients mensuels des débits ((1972/73-1993/94).....	144
Figure 70	Application de l'Approche géographique des régimes des oueds (R. Lambert) : Oued Melah.....	147
Figure 71	Application de l'Approche géographique des régimes des oueds (R. Lambert) : Oued Chemoura.....	148
Figure 72	Évolution horaire de la crue du 25-31 mars 1973 aux stations de la Seybouse.....	154
Figure 73	Évolution horaire de la crue du 25 Décembre-1 avril 1984 aux stations de la Seybouse..	155
Figure 74	Évolution horaire de la crue du 15-23 mars 1991 aux stations de la Seybouse.....	156
Figure 75	Évolution horaire de la crue du 03-07 septembre 1972 aux stations des Aurès.....	158
Figure 76	Évolution horaire de la crue du 18-19 septembre 1979 aux stations des Aurès.....	158
Figure 77	Évolution horaire de la crue du 20-21 septembre 1989 aux stations des Aurès.....	159
Figure 78	Exemples d'ajustement des débits maximums instantanés annuels à une loi probabiliste.	167
Figure 79	Exemples d'ajustement des débits maximums journaliers annuels à une loi probabiliste.	168
Figure 80	Exemples d'ajustement des débits mensuels minimums à une loi probabiliste.....	175

Liste des figures (suite)

Figure 81	Exemples d'ajustement des débits journalier minimaums à une loi probabiliste.....	176
Figure 82	Séquence photographique illustrant le splash.....	179
Figure 83	Modes de transport solide.....	182
Figure 84	Structure d'un SIG.....	184
Figure 85	Schéma conceptuel d'intégration SIG-AMC.....	185
Figure 86	Bouteille de prélèvements fixée sur une perche avec système d'ajustage.....	187
Figure 87	Exemple de turbidités croissantes.....	187
Figure 88	Nasse Type Helley-Smith.....	191
Figure 89 (a)	Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif (bassin de l'Oued El Arab).....	201
Figure 89 (b)	Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif (bassin de l'Oued El Gueiss).....	202
Figure 89 (c)	Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif (bassin du Cherf amont).....	203
Figure 89 (d)	Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif (bassin du Melah).....	204
Figure 90 (a)	Carte de l'aléa érosion hydrique du bassin de l'Oued El Arab.....	206
Figure 90 (b)	Carte de l'aléa érosion hydrique du bassin de l'Oued El Gueiss.....	206
Figure 90 (c)	Carte de l'aléa érosion hydrique du bassin de l'Oued Cherf amont.....	207
Figure 90 (d)	Carte de l'aléa érosion hydrique du bassin de l'Oued Melah.....	207
Figure 91	Répartition des niveaux d'Aléa érosion dans la Seybouse- Aurès.....	208
Figure 92	Répartition par secteur de l'aléa érosion hydrique dans la Seybouse- Aurès.....	208
Figure 93	Représentation de l'aléa érosion surfacique moyen par bassin versant.....	210
Figure 94	Schéma de la méthodologie adoptée pour un zonage saisonnier de l'aléa érosion.....	211
Figure 95	Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif saisonnier (bassin de l'Oued Chemoura).....	213
Figure 96	Cartes saisonnières d'occupation des sols du bassin versant de l'Oued Chemoura.....	214
Figure 97	Cartes saisonnières d'érosivité des pluies du B.V de l'Oued Chemoura (1970 - 2004)...	215
Figure 98	Cartes de l'aléa érosion saisonnier du bassin de l'Oued Chemoura.....	218
Figure 99	Extraits de photographies aériennes sur des zones de prédiction de l'Aléa érosion.....	219
Figure 100	Contribution saisonnière de l'apport moyen en sédiments et de d'aléa érosion : bassin de l'Oued Chemoura.....	220
Figure 101	Exemples de variabilité des concentrations en MES à l'échelle de la crue.....	223
Figure 102	Reconstitution du turbidigramme correspondant à la crue du 04/09/1972 à Chemoura....	224
Figure 103	Méthodologie adoptée pour le calcul d'un débit solide moyen journalier.....	225
Figure 104	Variations interannuelles des débits solides, débits liquides et des concentrations en MES.....	236
Figure 105	Dégradation spécifique moyenne annuelle en Tonnes/km ²	241
Figure 106	Valeurs saisonnières de la Concentration en MES (g/l).....	244
Figure 107	Répartition mensuelle des Apports solides en %.....	245
Figure 108	Relation concentration-débit liquide et leurs variations saisonnières (Oued El Abiod à M'Chounèche).....	247
Figure 109	Relation concentration-débit liquide et leurs variations saisonnières (Oued Chemoura à Chemoura).....	248
Figure 110	Relation concentration-débit liquide et leurs variations saisonnières (Oued Bouhamdane à Medjez Amar II).....	249
Figure 111	Exemple de schéma d'un système traditionnel de dérivation des eaux.....	257
Figure 112	Pompage direct à partir d'un oued.....	257
Figure 113	Retenue collinaire Oued Taga (Aurès) : bienfaits indéniables.....	258
Figure 114	Schéma de transfert hydraulique Beni Haroun.....	265
Figure 115	a) Rejet de la vase de la retenue de Foum El Gherza ; b) Drague suceuse/refouleuse en activité dans la retenue du barrage Foum-El-Gherza.....	269
Figure 116	Barrage de Fergoug après la rupture en 1927.....	270

Liste des abréviations

ABH-CSM : Agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue
ABHS : Agence de Bassin Hydrographique Sahara
AEP : Alimentation en Eau Potable
AGID : Agence Nationale d'Irrigation et de Drainage
ANAT : Agence nationale d'aménagement du territoire
ANB : Agence Nationale des Barrages
ANBT : Agence Nationale des Barrages et des Transferts
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques
BNEDER : Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural
CEMAGREF : Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts
DRS : Défense et Restauration des Sols
DSA : Direction des Services Agricoles
EUROSEM : European Soil Erosion Model
FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations
IAHS: International Association of Hydrological Sciences
INRH : Institut National des Ressources Hydrauliques (ANRH, actuellement)
IRD : Institut de recherche pour le développement
MES : Matières en suspension
MNT: Modèle numérique du Terrain
OPU : Office des Publications Universitaires
ORSTOM : Office de la recherche scientifique et technique outre-mer
PNUD : Programme des Nations-Unies pour le Développement
SEMMED: Soil Erosion Model for Mediterranean regions
SIG : Systèmes d'Information Géographique
UN : United Nations
UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USLE: Universal Soil Loss Equation
WMO: World Meteorological Organization

[وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ]

الأنبياء:30

« Et nous avons désigné (créé) de l'eau tout être vivant. Ne croiront-ils pas ? »

Coran : Les prophètes (Al-Anbiya) 30

«And we made from water every living thing Will they not then believe? »

Quran: The Prophets (Al-Anbiyaa) 30

Introduction générale

L'eau étant le vecteur privilégié de la vie, constitue l'élément indispensable pour l'alimentation, la santé et le bien-être de l'humanité, habitat d'une partie de la faune et de la flore, vecteur de matières érodant et modifiant les paysages. Le Saint Coran, dans lequel rien n'a été négligé, évoque dans de nombreux versets l'importance de l'eau (Sabir Ahmed, 2013). Le savant grec Thalès de Milet disait déjà au VI^e siècle av. J.-C. « L'eau est à l'origine et à la base de toutes choses. », (Bouguerra, 2003). Abondante ou rare, l'eau disait Léonard de Vinci au XVI^{ème} siècle, "est la force conductrice de la nature", (Khaldi, 2005).

Une répartition inégale des ressources en eau sur la planète

Combien d'eau sur Terre ? Qui en consomme le plus ?

La totalité de l'eau sur terre représente un volume d'environ 1,4 milliard de km³, constante depuis 2 à 3 milliards d'années (UNESCO et WMO, 1997) et disponible sous forme liquide, solide ou gazeuse. L'eau douce, principal objet d'enjeux, ne constitue que 3% de la ressource mondiale (le reste étant formé par les mers et les océans), dont les trois quarts sont stockés sous forme de glace (Perrin, 2000). Finalement, sur toute l'eau disponible sur terre, moins de 1 % est douce et disponible.

Cette ressource irremplaçable est très inégalement répartie sur terre comme à l'intérieur d'un même pays. Sa répartition quantitative est très hétérogène, et souvent très différente de la répartition des populations. La répartition équitable de cette eau sur les 7 milliards d'habitants de la planète permet à chacun de disposer annuellement de 6237 m³. Une quantité qui reflète une suffisance théorique mais qui est loin de la réalité (Zella et Smadhi, 2010).

Neuf (9) pays concentrent 60 % des réserves d'eau douce mondiales, grâce à leur climat tempéré ou tropical humide (Canada, Brésil, Russie, Indonésie, Zaïre, Colombie, Inde, Chine, Etats-Unis). En revanche, vingt (20) pays se partagent seulement 5% de l'eau douce mondiale, et vivent une situation de stress hydrique, voire de pénurie. A l'intérieur de cet ensemble, les pays du versant sud du bassin méditerranéen (Maroc, Algérie, Tunisie, Libye, Egypte, Palestine, Liban, Syrie) figurent parmi les 14 pays les plus déficitaires en eau de la planète (FAO, 2000 in : Lacombe, 2007).

Enjeu de vie, l'eau devient de plus en plus une question politique, source de conflits et de tensions croissantes entre États, notamment au Proche-Orient et en Afrique (Vissin, 2007). Elle est source de problèmes lorsqu'elle est abondante, causant les inondations qui en résultent ; tandis que sa rareté crée une situation de pénurie, de sécheresse, voire de Désertification et d'exode de populations (Perrin, 2000).

Problématique des ressources en eau en Algérie

A l'instar des pays du bassin méditerranéen, touchés par le déficit hydrique, l'Algérie se situe dans la catégorie des pays pauvres en ressources en eau selon le seuil de rareté fixé par le programme des Nations-Unies pour le développement (PNUD) ou celui de la banque mondiale à 1000 m³/habitant/an (PNUD, 2009). Ce seuil est basé sur l'ensemble des besoins

en eau pour l'agriculture, les villes et l'industrie ainsi que pour le maintien des écosystèmes d'eau douce (Schiffler et al, 2002).

En effet, le problème de manque d'eau en Algérie risque de devenir gravissime à l'avenir par les effets combinés de la sécheresse, de la concurrence pour les différents secteurs et de la gestion irrationnelle de cette ressource.

L'Algérie disposait en 1962 de 1500 m³ d'eau /habitant/an, avant de tomber à 720 m³ en 1990, 680 m³ en 1995 et 630 m³ en 1998 (Mozas et Ghosn, 2013). La disponibilité en eau théorique par habitant et par an est estimée actuellement à 500 m³ et ne sera que de 430 m³ en 2020 d'après des projections faites par l'UN. Selon Mouhouche B., (2012), il faudrait disposer entre 15 et 20 milliards de m³/an, pour parvenir à une sécurité alimentaire satisfaisante à la fin de la prochaine décennie, tout en sachant que les potentialités du pays ne sont que de 17 milliards de m³/an et que la mobilisation actuelle n'est que de 5 à 6 milliards de m³/an. Ce volume d'eau mobilisable est en diminution à cause de plusieurs facteurs naturels ou anthropiques.

Il s'agit de l'envasement des barrages : 52 grands barrages reçoivent 32 millions de m³ de sédiment annuellement ; l'évaporation des lacs de barrages: la moyenne annuelle de l'évaporation est de 250 millions de m³ pour 39 barrages, soit une perte moyenne annuelle de 6,5 % de la capacité totale ; les fuites à travers les rives et les fondations des barrages : le volume moyen perdu annuellement est de 40 millions de m³ d'eau pour 22 barrages. Certains d'entre eux enregistrent une perte annuelle par fuite avoisinant même la valeur de 10% de leur capacité (Remini 2010). Aussi, la pollution des nappes et des oueds, l'eutrophisation des eaux des barrages et l'instruction des eaux marines dans les aquifères côtiers, sont des problèmes qui ont pris parfois des dimensions importantes ces dernières années.

Objectifs et questions de recherche

La présente étude coïncide avec une étape très importante dans le développement régional de la mobilisation et de transfert des ressources en eaux de surface, pour valoriser le potentiel hydrologique dans le Nord algérien.

Elle consiste à étudier l'hydrologie de quelques bassins représentatifs du Nord-est algérien, afin de mieux connaître les modalités de l'écoulement et du régime hydrologique, pour déterminer les ressources en eau de surface et leur variabilité, et aboutir à la détermination des axes majeurs d'un aménagement intégré de ces bassins versants.

Par ailleurs, trois thèmes particuliers ont été approfondis dans la thèse : Tenant compte de l'importance des précipitations, comme facteur générateur et fortement explicatif du régime de l'écoulement superficiel à toutes les échelles de temps, ce paramètre climatique fera l'objet d'une cartographie automatique. Ce qui nous permettra de préciser l'évolution de la pluviosité pendant les dernières décennies et les tendances qu'on y peut détecter.

Aussi, l'étude s'occupera particulièrement de la cartographie de l'aléa érosion hydrique et de l'évaluation du phénomène de transport solide en suspension dans des milieux bioclimatiques allant de l'humide à l'aride, et présentant ainsi une différenciation dans le régime d'écoulement.

L'étude se propose d'analyser ces phénomènes en relation avec le milieu, et se base sur l'analyse de cas dans différentes unités hydrographiques choisies en fonction des données et mesures existantes. Elle devrait aboutir à une approche d'évaluation de l'aléa érosion hydrique et de calcul du transport solide en suspension, spécifique à chaque milieu, et à une appréciation de l'impact des mesures effectuées pour y remédier.

Plus précisément, les travaux de recherche menés dans cette thèse tentent d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Dans la région étudiée, les précipitations ont-elles subies une péjoration, c'est-à-dire une tendance à la baisse ? Quels sont les impacts de leur éventuelle modification sur les régimes hydrologiques ? Détecte-t-on des changements dans le rythme hydrologique ces dernières années ?

- Quelles sont les facteurs à l'origine de l'érosion hydrique dans la zone d'étude ? Quel modèle prenant en compte de ces facteurs pour cartographier l'aléa érosion hydrique et avec quels moyens ? Quelle est la répartition spatiale des différents degrés de cet aléa ? Peut-on dire que l'aléa est le même quelle que soit la saison ? Si non, existe-t-il une relation (corrélation) saisonnière entre la répartition des niveaux de l'aléa, en pourcentages de surface du bassin, et l'apport solide estimé à son exutoire ?

- Comment décider d'un modèle statistique d'estimation de transport solide en suspension ? De quelles données a-t-on besoin pour mettre en œuvre de ce modèle ? Le modèle ajusté est-il le plus adapté pour une utilisation à l'échelle régionale ? Comment prendre en charge le transport par charriage ?

- Quelles sont les techniques de mobilisation des eaux de surface utilisées ? Quelle est leur adaptation au milieu et leur efficacité ? Quelle est leur impact sur la gestion des ressources en eau dans la région ? Quelles sont les contraintes liées à cette mobilisation ?

Le choix de terrain d'étude nous est dicté par le caractère bien individualisé de cette unité naturelle: contrastes physico-géographiques et climatiques accentués, et systèmes hydrographiques juxtaposés, nettement opposés. En plus, la région d'étude fait l'objet depuis le début des années 1980, de très importants aménagements hydrauliques destinés à régulariser les eaux d'écoulements superficiels : un ensemble de six grands barrages a été édifié, dont deux s'intègrent dans le grand système de mobilisation et de transfert des eaux de surface pour les hauts plateaux constantinois et l'Aurès.

Par ailleurs, le système hydrographique de la région est équipé d'un bon nombre de stations pluviométriques et hydrométriques, a fait l'objet de plusieurs études sectorielles, et qui par conséquent dispose d'une bonne base documentaire et de données hydro-pluviométriques, comparativement avec les autres bassins de l'Est algérien. La valorisation de ces archives sera une base de travail qu'il convient de consolider avec l'exploitation de données récentes et de documents cartographiques.

Quant au choix de ce type de sujet, on est parti du constat que l'eau dans les ensembles hydrographiques étudiés est une ressource limitée, qui nécessite une protection et une utilisation rationnelle, pour pallier aux besoins en eau toujours grandissants dictée par une pression démographique intense et une économie de plus en plus exigeante.

L'étude de cette ressource ne peut se faire sans celle de son environnement. De ce fait, ce sujet se propose l'étude de l'eau en tant que ressource, mais aussi l'étude du milieu physique qui conditionne et influe sur cette ressource, et déduire l'impact de cette interaction sur le milieu. Il fait appel aux systèmes d'information géographiques (SIG) en tant qu'outils de stockage et de gestion de base de données, de cartographie et d'aide à la décision.

Des contraintes ont limité l'avancement de ce travail, notamment :

Les données sur l'occupation des sols ne sont pas homogène dans le temps et sont même déjà assez ancienne pour certains (période entre 1987 et 2002). L'insuffisance voire l'absence de la documentation cartographique concernant la pédologie pour la région d'étude.

La collecte de 59 cartes topographique au 1/50.000, leur calage, et la digitalisation des courbes de niveaux (équidistance de 10 à 50 m) pour une surface de 13400 km², ainsi que le traitement des images satellitaires, ont constitué des opérations longues et fastidieuses.

Il a fallu aussi adapter notre cartographie aux contraintes liées aux documents numérisés existants: cartes topographiques et géologiques à des échelles différentes, cartes pluviométriques numérisées (1970-2004), images TM et ETM+ de Landsat acquises à des dates différentes et des photographies aériennes au 1/20.000 (missions 2002 et 2004).

La discontinuité, voire l'absence totale de l'information hydrologique dans certaines stations hydrométriques et barrages, et la difficulté rencontrée pour récolter ces mesures. Aussi ce travail est conditionné par l'absence des moyens matériels (moyens d'accès), ce qui a limité énormément nos sorties sur terrain.

Présentation du manuscrit

Afin de répondre aux objectifs de cette recherche, le travail a été organisé et présenté en trois parties comme suit :

La première partie tente de définir le comportement des bassins et de préciser comment les différents facteurs naturels (l'orographie et la morphologie des bassins, la lithologie, la végétation et le climat) interfèrent dans la genèse de l'écoulement. Par ailleurs, un intérêt particulier est porté à l'étude de l'évolution et de la variabilité des précipitations ; l'interpolation spatiale des données de mesure et la cartographie automatique sont des techniques auxquelles nous faisons recours.

La seconde partie de notre travail concerne l'étude hydrologique proprement dite, qui est fondée sur le traitement statistique des données hydrométriques. Elle met en lumière les aspects fondamentaux de l'écoulement annuel, saisonnier, extrême, et donc des ressources en eau de surface et leur variabilité. La troisième partie tente de présenter l'ampleur de l'érosion hydrique dans la région d'étude, et de mettre au point un outil pratique de prédiction et de cartographie de l'aléa érosion hydrique. Elle s'intéresse également, à la quantification des sédiments transportés par les oueds à travers la mise en évidence de relations statistiques entre les débits liquides et solides mesurés au niveau des stations qui contrôlent les bassins étudiés. Il s'agira aussi, de présenter les aménagements hydrauliques et les techniques de mobilisation des eaux de surface dans la région d'étude, leurs impacts et leurs efficacités.

Enfin nous concluons ce travail en proposant des perspectives. La méthodologie utilisée dans cette recherche est résumée dans le diagramme de présentation suivant :

Le cadre géographique de la recherche

L'Est algérien Bassin exoréique: la Seybouse
 Bassins endoréiques: les hauts plateaux constantinois et Choot Melthir 14 sous bassins jaugés

Les données et les outils d'analyse

Bases de données disponibles	Outils
Mesures hydro-climatologiques 73 postes pluviométriques 6 stations météorologiques 14 stations hydrométriques	Cartographie Mapinfo 6.5® Surfer 9®
Support cartographique 59 cartes topographiques au 1/50.000 21 cartes géologiques au 1/50.000 Carte géologique des Aurès au 1/200.000 Carte géologique du nord Algérie au 500.000 Carte des sols de l'Algérie au 1/500 000	Traitement statistique Hydrolab® Minitab 13®
Images satellitaires LANDSAT TM et ETM+	Traitement des images satellitaires ENVI 4.3®
Photographies aériennes au 1/20.000 Missions octobre 2002 et mars 2004	
Modèle numérique de terrain de la SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) à 30 secondes d'arc, http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp	Validation des zones d'aléa érosion Observations sur le terrain, enquêtes
Autres informations Aménagements hydrauliques, Mesures bathymétriques (envasement)	Support bibliographique.

Méthodologies spécifiques adoptées

Cartographie automatique des précipitations

Analyse des données, géostatistique, modèle régressif : pluie – relief

Evaluation des transports solides en suspension

Recherche d'un modèle régressif $Q_s=f(Q_i)$

Cartographie de l'aléa érosion hydrique

Approche multicritère

Modèle de type système expert développé par Crepani et al. (2001) et basé sur le concept de l'éco-dynamique de Tricart (1977)

Les thématiques abordées

- Contexte physico-géographique des bassins versants (morphométrie, géologie, occupation des sols, hydrographie, pédologie, climatologie)
- Cartographie automatique des précipitations (interpolation spatiale des données de mesure, analyse de tendance)
- Apports des cours d'eau et leur disparité spatiale ; rendement hydrologique et variabilité des débits.
- Les crues
- Quantification des sédiments transportés par les oueds (relations statistiques entre les débits liquides et solides).
- Cartographie de l'aléa érosion hydrique (Approche multicritère).
- Les techniques de mobilisation des eaux de surface dans la région d'étude, leurs impacts, et leurs efficacités.

Conclusions : résultats et perspectives

Figure 1 : Schéma synthétique de la de la démarche utilisée

Première partie

Particularités physiques de la région d'étude : Les facteurs conditionnels de l'écoulement

Chapitre I Etude physico-géographique et réseau hydrographique

I-1 Cadre géographique régional

Appartenant à trois ensembles hydrographiques distincts, la Seybouse, les hauts plateaux constantinois, et Chott Melrhir, la zone d'étude se localise dans le Nord-est algérien, entre 34° 49' et 36° 57' de latitude nord, et 5° 31' et 7° 59' de longitude est. Elle s'étend de la mer Méditerranée au nord jusqu'à la bordure septentrionale de la plate-forme saharienne et les grands Chotts du Sud, sur une longueur d'environ 240 km, et atteint sa largeurs maximale 228 km à travers la chaînes montagneuse de l'Atlas saharien, entre Djebels Doukane à l'est et les monts de Belzema et Djebels Mettlili à l'ouest.

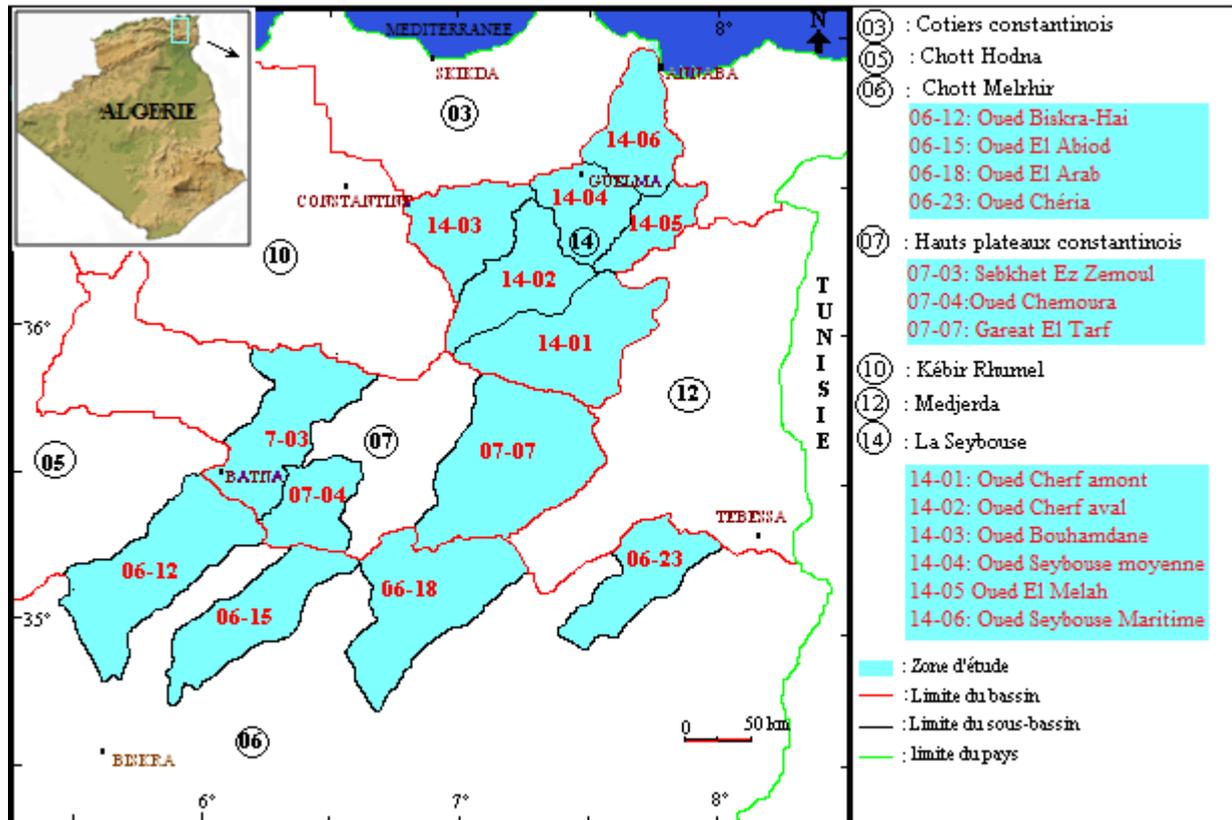


Figure 02 Situation géographique de la zone d'étude

Le secteur d'étude est un important et complexe hydro-système qui se caractérise par une forte disparité géomorphologie. Il convient ici de présenter une brève description des ensembles hydrographiques et morfo-structuraux caractérisant notre zone d'étude.

I-2) Ensembles physiques

L'organisation morfo-structurale de la zone d'étude, depuis la basse plaine côtière du Tell jusqu'à la dépression du Sahara septentrionale, est très compliquée que nous présentons comme suit :

I-2-1) La plaine septentrionale du Tell

Il s'agit de la plaine côtière qui constituée la basse vallée de la Seybouse, et qui s'étale de la mer méditerranéenne jusqu'à la chaîne numidique au sud. Elle est limitée à l'ouest par le massif métamorphique de l'Edough, et par un important cordon dunaire (alluvions quaternaire) entre la Seybouse et l'Oued Bounamossa, à l'est.

La géomorphologie de cette plaine est caractérisée par une topographie plane, marquée par des inclinaisons importantes aux bordures, à la partie nord-ouest et sud, due à l'anticlinal du massif de l'Edough, et celle de la chaîne numidique.

I-2-2) L'Atlas Tellien et la chaîne Numidique

Les chaînes de l'Atlas Tellien, s'étalent sur environ 30 km, entre la plaine côtière de la Seybouse au nord, et les hauts plateaux constantinois au sud. Elle se présente comme une unité très complexe, constituée par une série de puissantes rides parallèles, orientée NE-SW. Ces chaînes montagneuses, incluant la chaîne numidique, se longent depuis Dj. Ouahch à l'ouest jusqu'aux flancs des monts du Medjerda à l'est, sur une longueur de 120 km, et occupent le secteur moyen de la Seybouse. Ces chaînes sont entrelacées et coupées de vallées et de plaines : vallées de l'Oued Seybouse, la plaine de Guelma, et plaine de Bouchegouf.

Le secteur nord-ouest correspond au revers méridional de la chaîne numidique, qui vient de mourir aux environs de Guelma, et qui forme une barrière orographique très difficile à franchir par le système hydrographique dirigé vers la mer méditerranéenne. Le secteur nord-est (le plus forestier) est constitué en majeure partie d'une série de reliefs modérés qui font partie des monts de Medjerda. Au sud, quelques reliefs surgissent sur des vastes surfaces des hauts plateaux.

I-2-3) Le secteur des hauts plateaux

Localisés entre l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud, les hauts plateaux sont de vastes étendues planes à des altitudes plus ou moins importantes (800 à 900 m), accidentées par des collines qui les partagent en nombreux petits bassins particuliers. Elles se longent sur plus de 200 km, avec une pénétration nord-sud comprise entre 80 et 100 km.

Les hauts plateaux sont parsemés de vastes dépressions endoréiques (Chott, Sebkhâ, Garâa), dues à une topographie favorisant l'accumulation des eaux provenant des versants des deux Atlas. Ces lacs salés sont formés au pléistocène, sous l'effet des pluies torrentielles, et du ruissellement important (Arfa, 2008).

I-2-4) le secteur de l'Atlas saharien

L'Atlas saharien -dernier bourrelet montagneux qui borde les hauts plateaux- est une unité physique décomposée en chaînons dissymétriques isolés, orientés du sud-ouest au nord-est, et se rapprochant peu à peu d'ouest en est de l'Atlas tellien.

Ces chaînes atlasiques, incluent les puissants reliefs de l'Aurès-Nememcha, dont les sommets aux formes lourdes, dominent de profondes dépressions. Ces dernières sont marquées par des vallées étroites, parfois coupées par des gorges qui montrent une adaptation partielle de l'hydrographie à la structure.

I-2-5) Le secteur du piémont méridional de l'Atlas saharien

Il se présente comme une zone de transition entre deux domaines distincts, aussi bien du point de vue géomorphologique, que géologique : Le domaine atlasique et montagneux du nord, et le domaine des plaines sahariennes qui se trouvent au sud.

Dans ce secteur, le massif de l'Aurès-Nememcha plonge littéralement en cascades et en escarpements accidentés et abrupts, vers la dépression saharienne qui n'atteint pas les 150 m d'altitudes.

Le chott Melrhîr qui constitue le point le plus bas de l'Algérie (-30 m d'altitude), reçoit les eaux des oueds drainant les versant sud des Aurès-Nememcha, et l'Oued Djedi qui reçoit les eaux de la partie occidentale de Dj. Amour en amont de Laghouat.

I-3) Ensembles hydrographiques

La zone d'étude appartient à trois grands domaines hydrographiques différents du point de vue : organisation et orientation des chevelus hydrographiques, densité de drainage, exutoire, alimentation et réponse hydrologique du milieu récepteur :

I-3-1) Le bassin exoréique de la Seybouse

Située à l'extrême nord-est de l'Algérie, la Seybouse couvre une superficie d'environ 6450 km² et s'étend des hauts plateaux constantinois aux massifs telliens, et à la plaine d'Annaba à l'aval, en bordure de la Méditerranée. La Seybouse compte au totale six (6) sous bassins versants dont 5 sont contrôlés par des stations hydrométriques. L'Oued Seybouse s'étalant sur plus de 150 km, avec des ramifications atteignant les 3000 km, à l'exemple l'Oued Bouhamdane (90 km) et l'Oued Cherf (88 km), principaux constituant de la Seybouse.

L'Oued Cherf prend naissance dans les Hautes Plaines et rencontre l'Oued Bouhamdane, à l'ouest de Guelma. Ces deux cours d'eau donnent naissance à l'Oued Seybouse qui coule d'ouest en est jusqu'à sa confluence avec l'Oued Melah, affluent issu du versant nord-ouest des monts arrosés de la Medjerda. Puis, la Seybouse change de direction pour rejoindre, plus au nord, la mer Méditerranée, après avoir traversé la plaine côtière comprise entre Dréan et Annaba (Mebarki, 2000).

I-3-2) Le bassin endoréique des hauts plateaux constantinois

L'ensemble hydrographique des hauts plateaux constantinois est situé au sud de la Seybouse et subdivisé en sept (7) sous bassins. Il couvre une superficie de 9615 km², et présente un chevelu hydrographique caractéristique des zones semi-aride (l'endoréisme), dont les principaux oueds sont l'Oued El Madher (54 km), l'Oued Chemoura (33 km) et l'Oued Boulfraïs (52 km). Ces oueds prennent leur origine dans les versants septentrionaux des Aurès et se dirigent vers le nord (centre du bassin) où ils se perdent dans les lacs salés, à l'exemple de Sebket Ez Zemoul, Garaat Ank Djemel, Sebket Djendli et Garaat El Tarf. De tous ces oueds, un seul semble être pérenne, l'Oued Chemoura qui, sur la partie haute de son cours s'appelle Oued Reboa.

IL s'agit en effet d'un réseau hydrographie atrophié et incomplet dont l'eau des pluies s'y rassemble dans les dépressions saumâtres sans emprunter de véritables vallées. L'écoulement qui se produise dans ce réseau, surmonté par une atmosphère à très fort pouvoir évaporant, est étroitement lié aux précipitations.

I-3-3) Le bassin endoréique de Chott Melrhir

Le bassin versant de Chott Melrhir couvre une superficie de 68750 km², soit 3,4% de la surface du bassin saharien, il s'étend entre les chaînes de l'Atlas saharien (Aurès, Nememcha et les monts de Batna) au nord, jusqu'au la dépression du Sahara septentrional. L'endoréisme est le caractère principal du bassin. Ce dernier compte trente (30) sous bassins, il est drainé par un chevelu hydrographique d'une longueur de 37822 km d'oueds, coulant ver les zones de dépression, et dont le plus important est celui de Chott Melrhir.

Les principaux oueds sont ceux qui drainent les versants sud des Aurès: Oued El Haï (140 km), Oued El Abiod (152 km), Oued el Arab (170 km) et l'Oued Djedi (500 km) qui reçoit les eaux de la partie occidentale du Djebel Amour en avant de la ville de Laghouat et traverse toute la région située à l'ouest du méridien de Biskra (Dubief, 1953 in Chabour, 2006). Ainsi doit-on considérer le Chott Melrhir, est récepteur non seulement des eaux de la chaîne saharienne du Nord, mais aussi des eaux sahariennes de l'Oued Igharghar.

Tableau 01 Caractéristiques morphométriques et hydrographiques des unités hydrologiques de la Seybouse-Aurès

Indices	S	P	K _c	L	Hmax	Hmin	Hmoy	H _{50%}	H _{5%}	H _{95%}	Ip	Ds	Lp	Dd	Ddp	Ddt	Ct	Tc	
Unité	km ²	km	-	km	m						-	m	km	km /km ²			-	h	
Seybouse	Cherf amont	1732	232	1,56	98,40	1635	708	885	-	-	-	0,08	-	43	0,48	0,22	0,26	-	21,7
	Cherf aval	1174	174	1,42	70,30	1423	250	605	-	-	-	-	85	0,80	0,43	0,56	-	-	
	Bouhamdane	1103	171	1,44	69,67	1326	285	788	800	1040	470	0,13	271,7	90	0,92	0,56	0,37	-	14,93
	Seybouse moyenne	811	134	1,32	51,14	1350	100	870	-	-	-	-	49	0,84	0,83	0,23	-	-	
	Melah	550	139	1,66	60,39	1317	96	641	-	-	-	0,15	-	53	4,0	0,63	0,13	25,2	9,28
	Seybouse maritime	1061	173	1,49	71,70	1000	1	180	187,5	563	55	-	230,8	77	2,8	-	-	-	22,97
	Ressoul	105	47	1,28	17,50	927	60	305	-	-	-	0,16	-	24	3,08	-	-	17,4	6,15
	Seybouse à Mirebek	5953	328	1,19	110,0	1635	10	737	-	-	-	0,07	-	239	0,72	0,63	0,32	9,91	30,93
Ensemble de la Seybouse	6431	514	1,79	229	1635	1	956	790	970	170	2,1	357,2	241	0,72	0,41	0,32		27,60	
H, P, C	Fesdis	305	97	1,56	41,07	2090	985	1230	1170	1600	1030	0,17	242,4	25	2,6	-	-	8,8	8,57
	Chemoura St,	759	148	1,50	61,70	2320	889	1270	1490	1850	1050	0,14	433,0	65	2,46	0,08	2,39	26,7	13,30
	Chemoura Br,	590	110	1,27	40,39	2320	956	1332	1290	1770	1050	0,15	295,0	40	2,39	0,08	2,32	9,64	10,13
	Reboa	296	103	1,68	44,91	2320	1010	1450	1210	1730	960	0,17	369,9	37	2,34	0,12	2,22	7,3	7,41
	El, Gueiss St,	144	48	1,12	19	2160	980	1305	-	-	-	0,28	-	19	2,7	-	-	12,2	5,30
El, Gueiss Br,	151	61	1,39	24	2160	960	1295	1260	1746	1015	-	543,3	24	2,94	0,16	2,87	-	5,81	
C, M	El Hai St,	1170	150	1,23	52,9	2150	520	1209	-	-	-	0,16	-	66	-	-	-	-	11,23
	El Hai Br,	1559	216	1,53	90,84	2150	350	1068	1100	1750	500	1,29	531,3	82	4,22	-	-	21,7	13,11
	El Abiod St,	1050	160	1,38	63,5	2326	295	1410	1170	1780	380	2,42	715,0	85	4,7	-	-	39,9	9,62
	El Abiod Br,	1320	218	1,68	95,12	2326	150	1154	1220	1806	415	1,75	427,1	93	3,47	-	-	25,2	11,24
	El Arab St,	2083	258	1,58	110,08	2326	190	1054	1120	1600	570	1,15	280,3	123	4,8	-	-	36,4	15,61
	El Arab Br,	567	95	1,12	23,81	2326	900	1172	1225	1630	940	5,81	690	51	4,8	-	-	34,89	13,02
	Chéria	810	161	1,58	68,71	1712	986	1189	1165	1370	1085	2,86	118,05	55	2,46	-	-		17,23

S : superficie ; P : périmètre ; K_c: coefficient de compacité ; L : longueur du rectangle équivalent ; Hmin : altitude minima ; Hmax : altitude maxima ; Hmoy : altitude moyenne ; Ip : indice de pente de Roche ; Ds : Dénivelée spécifique ; Lp: longueur du thalweg principal ; Dd : densité de drainage ; Ddp : densité de drainage permanent ; Ddt : densité de drainage temporaire ; Ct : coefficient de torrentialité ; Tc : Temps de concentration.

Les différents paramètres morphométriques et hydrographiques, interviennent et souvent de façon combinée dans les modalités de l'écoulement, de ce fait, il convient de les préciser dans cette étude. Le tableau 01 récapitule les principales caractéristiques morphométriques et hydrographiques des bassins aux stations hydrométriques et aux barrages.

I-4) Géologie et interaction hydrologique

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

Nous allons présenter brièvement quelques caractères généraux sur la géologie régionale et passer ensuite à une description des formations lithologiques rencontrées au niveau des bassins qui font l'objet de cette étude en essayant de mettre en relief leur impact sur l'hydrologie.

I-4-1) Aperçu sur la géologie régionale

L'Algérie orientale a fait l'objet de plusieurs études géologiques, dont celles de : [J-M Vila \(1980\)](#) sur la chaîne alpine d'Algérie orientale, la synthèse de [Wildi \(1983\)](#) sur la chaîne tellorifaine de l'Algérie du Nord, et l'étude de [Laffite \(1939\)](#) sur les Aurès. On peut distinguer du nord vers le sud, de nombreuses unités structurales subdivisées en trois grandes familles.

I-4-1-1) Domaine interne

Il est représenté par un chapelet de massifs côtiers, et comprend :

- Le socle kabyle cristallin et sa couverture sédimentaire chevauchant les unités plus méridionales, qui affleurent en grande et petite kabyle et dans les pointements côtiers des massifs d'Alger, du Chenoua et Ténès ([Mebarki, 2005](#)).
- La dorsale kabyle ou "chaîne calcaire" qui affleure au sud de Annaba (Djebel Labiod) d'où on peut la suivre d'une manière continue jusqu'au nord de Constantine (Kef Sidi Driss), elle se caractérise par une sédimentation carbonatée d'où son nom de chaîne calcaire.

I-4-1-2) Domaine médian ou domaine des flyschs allochtones

Ce domaine est composé de deux unités différentes, qui sont disposées durant le Crétacé et le Paléocène :

- Les nappes mauritanienne et massylienne : séries du Crétacé inférieur, développées aux Djebels orientaux des Babor et la petite kabyle et formées typiquement de flyschs grésopélitiques.
- La nappe numidienne : séries gréseuses de l'Oligocène qui affleurent largement suivant une orientation SW-NE, allant de Constantine-Guelma jusqu'à la Tunisie (Tabarka), ainsi que sur les chaînons de Zouagha et des Mouïas, Djebel Bou Affroun, Djebel Tamesguida, au NW du Djebel Edough et à l'est du Cap d'El Aouana. Ces sédiments postérieurs à la tectonique finio-cène forment un étage supérieur nettement moins tectonisé ([Bouabid, 2013](#)).

I-4-1-3) Domaine externe ou nappes telliennes

Ces unités structurales sont découpées par les phases tectoniques tertiaires en trois grandes unités du nord au sud, dont les limites suivent à peu près les lignes paléogéographiques ([Benabbas, 2006 in: Bouedja, 2010](#)). C'est des nappes pelliculaires constituées principalement de marnes d'âge Crétacé moyen à Néogène et qui ont été charriées sur une centaine de km vers le sud. En Algérie orientale ce domaine externe est représenté par les séries suivantes :

- Les unités ultra-telliennes : aux formations bathyales du Crétacé et de l'Éocène et une série plus détritique au Sénonien et à l'Éocène. Elles présentent des caractères proches de ceux du flysch massylien et ne sont connues que dans l'Est algérien et en Tunisie (Vila, 1980). Dans ces unités, y est représenté le massif cristallin du Djebel Edough.

- Les unités telliennes sensu stricto : formations qui se caractérisent par un Crétacé inférieur riche en sédiments terrigènes où les intercalations néritiques restent modérées du Crétacé supérieur à l'Oligocène. Elles s'étalent sur des surfaces considérables entre les chaînons côtiers des Babor au piémont nord des monts du Hodna (Vila, 1980).

- Les unités péni-telliennes : disposées au Crétacé supérieur et à l'Eocène, ces séries à faciès néritique (carbonaté et marneuse) prépondérant, montrent une grande affinité avec l'unité néritique constantinoise et les unités Sud-sétifiennes. Généralement elles sont surmontées tectoniquement par les nappes de l'unité tellienne sensu stricto (Mebarki, 2005).

I-4-1-4) L'avant-pays allochtones

Il s'agit de vastes panneaux carbonatés épais, de nature et de comportement tectonique variables, allant du Trias supérieur au Crétacé et à l'Eocène (Vila, 1980), et qu'on peut résumer d'ouest à l'est comme suit:

- Les unités Sud-sétifiennes : Il s'agit d'un vaste empilement d'écailles limitées par des accidents cisailant une structure plissée antérieure. Elles sont situées au nord-ouest et au sud de Sétif, sur la bordure septentrionale des monts du Hodna, et au nord du mont de Bellezma. Ces séries mésozoïques présentent un caractère de plateforme subsidente et ne décèlent des variations significatives qu'à leurs parties méridionales.

- l'unité néritique constantinoise : représente l'essentiel des massifs calcaires qui constituent le môle néritique constantinois. Elle est caractérisée par des séries carbonatées épaisses, chevauchant les écailles de Sellaoua et les unités Sud-sétifiennes (Vila, 1980) et affleurent aux massifs de Tadjent, Oued Athmania, Constantine, Ain M'lila, Hammam Maskhoutine et Guelma.

- Les unités de Sellaoua : ces formations allochtones qui sont constituées de marnes et de marno-calcaires (du Valanginien à la fin du Maestrichtien), affleurent dans la région d'Ain Mlila, Ain Fakroun, Ain Babouche, et s'étalent largement de Ksar Sbahi à Souk Ahras. Elles se sont déposées dans un large canyon de direction NE-SW, situé entre la plateforme atlasique et le domaine alpin du Nord. L'écailage de ces séries est attribué à des raccourcissements considérables ayant provoqué des chevauchements de grandes ampleurs.

I-4-1-5) Les formations autochtones et parautochtones

Les formations autochtones sont des séries à dominance carbonatés, localisés au niveau de l'Atlas Tunisien et de l'Atlas Saharien, elles ont conservées une structure plissée héritée de la tectonique fini-éocène. A leur bordure septentrionale, affleurent des séries définies comme formations parautochtones plus au moins enracinées.

Par ailleurs l'Algérie orientale se caractérise par une série de terrains attribués au Mio-pliocène et/ou quaternaire essentiellement continental, qui occupe de vastes espaces dans les hautes plaines sétifiennes et constantinoises et constituée plusieurs bassins miocènes de l'Est algérien à l'exemple des bassins de Mila, Constantine et Guelma. En revanche, les séries miocènes marines affleurent essentiellement autour des massifs du Hodna, de Belezma et au nord des Aurès, Sellaoua et région de Souk Ahras (Mebarki, 2005).

I-4-2) Description lithologique

La description lithologique qui va suivre concerne les formations rencontrées au niveau des treize sous-bassins qui font l'objet de cette étude en essayant de mettre en relief leur impact sur l'hydrologie de surface et plus particulièrement sur l'érosion hydrique des sols et le transport solide.

I-4-2-1) Les sous bassins de la Seybouse

A) Oued Cherf amont

Le bassin du Haut Cherf est dominé par des formations quaternaires caractérisant les hautes plaines qui sont constituées d'argile, de sable et des terrains cailloutis. Les alluvions peu épaisses et discontinues sont souvent recouvertes d'une croûte calcaire imperméable. Entre le Djebel Tellez et Djebel Tiffech, s'étend la plaine de Tiffech, constituée par des formations argilo-sableuses (Ladlani, 2007).

Les formations d'âge Crétacé, (marnes grises, marno-calcaires et marnes noirâtres) affleurent essentiellement au niveau des reliefs des régions de Sedrata et Ain Babouche, à Djebels Tiffech, Zellez, et Taguilaline, et constituées la bordure sud-ouest du bassin. Les calcaires susceptibles d'emmagasiner des réserves d'eau, s'ils sont suffisamment fracturés, affleurent surtout à Djebels Amama et Taraguelt dans le sud-ouest du bassin (Ghachi, 1985).

Au nord, on rencontre surtout les formations du Mio-pliocène à dominance marneuse (Burdigalien), avec des sables gréseux, et d'argile à gypse (Pontien). Les marnes gypso-salines attribués au Trias affleurent dans les monts de Zouabi, Djebel Tiffech, et Taguilaline.

La formation numidienne d'âge Oligocène qui affleure dans le nord, est constituée d'une alternance d'assises gréseuses et de séries argileuse ou argilo-gréseuse.

B) Oued Cherf aval

La zone sud-ouest du bas Cherf correspond à la plaine de Tamlouka, il s'agit d'un synclinal comblé par les sédiments argileux, sableux et graveleux du Mio-Plio-Quaternaire. Cette plaine est bordée par des calcaires fissurés et des marno-calcaires du Crétacé inférieur. Les bancs de calcaire affleurent aussi dans la région de Sellaoua Anouna et Ain Hassaïnia (Ghachi, 1985).

A l'est de Ain Trab et en aval de la confluence des Oueds Mgaïbsa et Cherf, apparaissent les formations du Mio-Pliocène constituées d'argile, de grés numidiens et de marno-calcaires (Ladlani, 2007). Sur la rive droite du Cherf et alentour de l'Oued Zenati, affleurent les calcaires de l'Yprésien (Eocène inférieur marin) qui sont assez important et continues.

En amont de la confluence du Cherf et Bouhamdane (Djebels Mahouna et Ancel), les couches lithologiques dominantes sont constituées d'argiles, de marnes et de grés Numidiens attribués à l'Oligocène.

C) Oued Bouhamdane

La lithologie dominante du Bouhamdane est composée de formations argilo-gréseuses du Numidien. Ces formations affleurent au secteur de l'Oued Zenati, à Djebel Ouahch, et au sud-ouest de Djebel Taya. Les marnes noires d'âge Paléocène moyen à supérieur, surmontées par une barre de calcaire noir de l'Eocène inférieur, constituent la formation la plus épaisse du bassin, elles affleurent largement alentour de l'Oued Zenati.

Les séries lithologiques de la nappe néritique Constantinoise sont représentées par les Djebels d'Oum Settas et Taya⁽¹⁾. Il s'agit de : calcaires dolomitiques du Barrémien, calcaires massifs graveleux de l'Aptien-Albien, calcaires marneux encroûtés du Vraconien, calcaires massifs et rubanés du Cénomaniens et de calcaires à micro-brèche du Sénonien.

⁽¹⁾ : Sur plus de 10 kms d'ouest en est et 80 kms du nord au sud, la tectonique a dispersé des affleurements des séries néritiques constantinoises en massifs isolés de tailles variables (Vila, 1980).

Les formations Mio-pliocène continentales sont discordantes sur toutes les séries antérieures, et sont constituées de conglomérats et d'argile sableuse rouge. Elles sont présentes dans toute la région, mais ne prennent une grande extension que dans la partie nord-ouest du bassin et plus particulièrement dans les forêts de Béni M'Djalel et Soudrata, sur la rive gauche de l'Oued Bouhamdane près de Barrage de Hammam Debagh, ainsi qu'à Kef Hadjar près de Ain Abid.

Les terrains d'âge Sémonien supérieur, avec deux barres calcaires d'âge Campanien et Maastrichtien, sont développés au nord-ouest de l'Oued Zenati sur une bande large de 5 km, qui atteint Ras El Akba. Enfin, les dépôts Quaternaires sont constitués essentiellement d'alluvions des fonds des vallées étagées en différents niveaux de terrasses.

D) Oued Seybouse moyenne

La région de Guelma est constituée de terrains sédimentaires d'âge Crétacé, Oligocène, Mio-Pliocène et Quaternaire. Le fond du bassin est occupé par une plaine alluviale correspond à un synclinal comblé par des argiles, de conglomérats, de marno-calcaires, des grès numidiens et des calcaires lacustres (Ghachi, 1985).

Les formations numidiennes se développent largement au sud de Guelma en occupant la partie montagneuse jusqu'à Sédrata. Ce sont surtout les calcaires yprésiens (Eocène moyen inférieur marin), qui dominent, viennent ensuite les formations attribuées à l'Oligocène constituées d'une alternance d'assises gréseuses et de séries argileuses ou argilo-gréseuses.

Au nord de Héliopolis, El Fedjoudj et Guelbt Bou Sba, affleurent les formations marneuses et schisteuses, alors qu'à l'ouest de cette zone, s'élèvent les calcaires sénoniens du Djebel Debar et Taya. Entre Medjez Amar et la localité de Tabouche apparaissent les marno-calcaires du Crétacé supérieur.

E) Oued Melah

Le Melah est formé essentiellement de trois ensembles lithologiques différenciés. La partie sud drainée par l'Oued Rbiba (Skaka) et l'Oued Chehan, est occupée par des calcaires yprésiens, des marnes et marno-calcaires du Crétacé supérieur.

Au centre, le Trias de Djebels Nador domine, il correspond à une association de dolomies, de marnes, d'argiles et de gypses broyés. Ces formations jouent un rôle fondamental de par sa forte teneur en sol. En effet l'existence des affleurements de gypses, salent les eaux de surface de l'Oued Seybouse, et ne permet pas leur utilisation en saison estivale (Ghachi, 1985).

Le nord du bassin est occupé par des argiles, des grès, et des conglomérats, d'âge Mio-pliocène (Pontien). Ces formations sont encadrées au nord par les grès numidiens et les marno-calcaires du Crétacé inférieur.

F) Oued Seybouse maritime

L'échelle stratigraphique des terrains de la Seybouse maritime se répartit du Primaire au Quaternaire. La zone nord-ouest est occupée par le flanc oriental du massif de l'Edough, Djebels Belelita et Bouhamra, disposés au Primaire et formés de roches cristallines (gneiss, schistes, micaschistes). Au centre, la plaine ouest d'Annaba correspond à un fossé d'effondrement avec un remplissage Mio-pliocène graveleux et sablo-argileux, au-dessus d'un substratum argileux-gréseux de flysch numidien (Zerrouki H. 2007).

Les formations Quaternaires (alluvions, terrasses) qui supportent des terres cultivées, sont développées sur toute la plaine, surtout au niveau de la vallée de l'Oued Seybouse. La partie sud-ouest est dominée par des grès disloqués attribués à l'Oligocène, et des marno-calcaires du Crétacé moyen et supérieur. Enfin, le sud-est comporte des niveaux argilo-gréseux numidiens disposés à l'Oligocène et d'une épaisseur de 150 mètres.

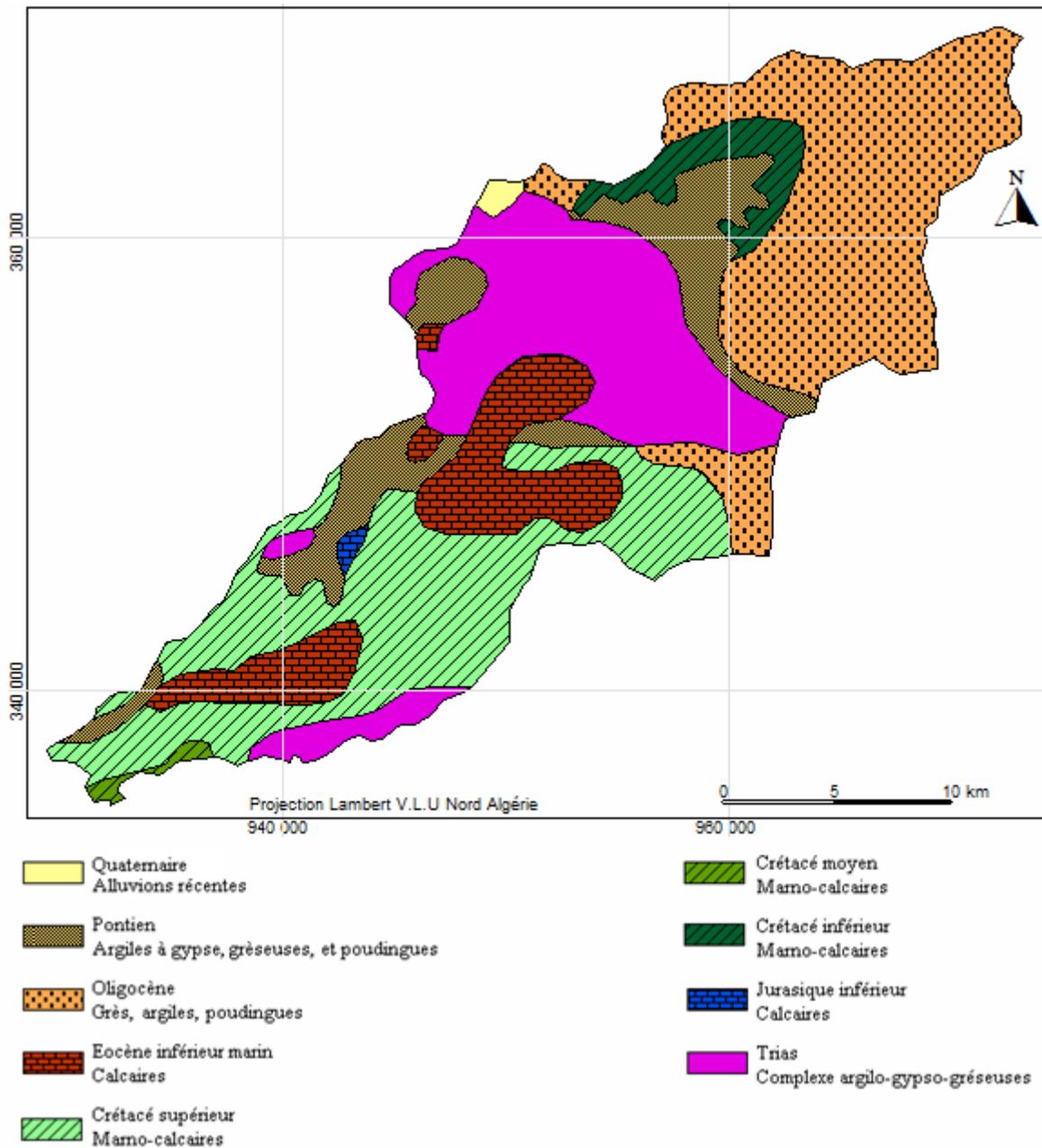


Figure 03 Lithologie du bassin versant de l'Oued Melah

I-4-2-2) Les bassins des Hauts Plateaux Constantinois

A) Fesdis

Les dépôts quaternaires recouvrent le majeur parti de plaines, ce sont des éboulis et des terrasses qui constituent de larges nappes alluviales d'une épaisseur considérable. Les molasses gréseuses, marno-calcaires en certains points du périphérique des massifs, et les poudingues du Burdigalien, indiquent des régions émergées, et affleurent à l'ouest des monts de Belezma et à Markona où affleurent aussi les poudingues d'âge Mio-pliocène (pontien).

Les formations du Crétacé inférieur constituent les principaux affleurements des monts de Belezma-Batna et du Djebel Bou Arif. Il s'agit d'un ensemble varié comprenant des calcaires, des grès, des marnes gréseuses, et des marno-calcaires. Les marnes, les argiles à intercalations calcaires, et les marno-calcaires, forment de vastes dépressions sénoniens à l'affleurement dans les monts de Batna-Belezma et à Djebel Chentouf dans les Aurès.

De véritables faisceaux jurassiques constitués de dolomies, de calcaires à silex et de marno-calcaires, et d'une épaisseur de 1000 mètres, affleurent dans les monts de Batna (Menani, 1991). L'argile vari-coloire, le gypse et le sel gemme attribués au Trias, sont représentés sous forme des petits lambeaux dans les Monts de Batna.

B) Oued Chemoura

Le bassin de l'Oued Chemoura englobe trois ensembles géologiques bien distincts : Le bassin Miocène de Timgad, dans lequel se sont accumulés d'abondantes formations détritiques continentales et fluviales issues du démantèlement des massifs, et les deux structures anticlinales d'âge Crétacé, Djebels l'Aurès dans le sud et les monts de Bou-Arif au nord-ouest du bassin. Les terrains attribués au Crétacé, constituent les principaux affleurements de ces structures.

Les séries à dominante calcaire, bien litées et attribuées à l'Aptien ont une extension réduite, et affleurent au nord-ouest du bassin (Dj. Bou-Arif).

Les marno-calcaires et les marnes dominants du Crétacé supérieur qui s'étend du Cénomaniens au Maastrichtien, apparaissent sur la majorité des reliefs des Aurès et sur les monts de Bou Arif.

Les terrains attribués au miocène et pliocène non différencié, affleurent largement dans le bassin. Il s'agit d'une série d'alternance d'argile siliceuse et de grès, qui occupe les reliefs de Gloua Et Trab et Djebels Tagratine, et des grès blancs et grossiers qui affleurent en de nombreux endroits par de vastes surfaces allant jusqu'à 50 km². Alors que la formation conglomératique constituée de marne, conglomérats, et de calcaire, a une extension très limitée, elle affleure au sud-ouest du bassin.

Les formations Quaternaires s'étendent sur les zones de faible pente, où s'effectue le dépôt de la charge solide arrachée aux versants. Elles sont constituées par des alluvions récentes, éboulis des calcaires, et des glacis de pente

C) Oued El Gueiss

Le bassin de l'Oued El Gueiss repose sur le Crétacé moyen et supérieur (marin ou lagunaire). Il est dominé par les marno-calcaires du Crétacé moyen (Turonien, Cénomaniens). Le Crétacé supérieur se prolonge dans le synclinale de Djebel Aurès et la vallée de Tazma au sud, avec un faciès à prédominance calcaire alterné de marne. Les formations du Crétacé inférieur (marnes, grés, et calcaires marneux) marquent la limite sud-est du bassin sous forme d'une bande plus ou moins régulière longeant l'anticlinale de Khanchela (Djebel Faraoun, Djebel Aïdel et Kef El Abiod), (Laffitte, 1939).

Les terrains Quaternaires (Glacis polygéniques nappant le relief et les éboulis à blocs) affleurent sous forme de terrasses alluviales le long de l'oued El Gueiss et ces principaux affluents, de cône de déjection au pied des monts de Khenchela, et de vastes étendues au niveau des hauts plateaux.

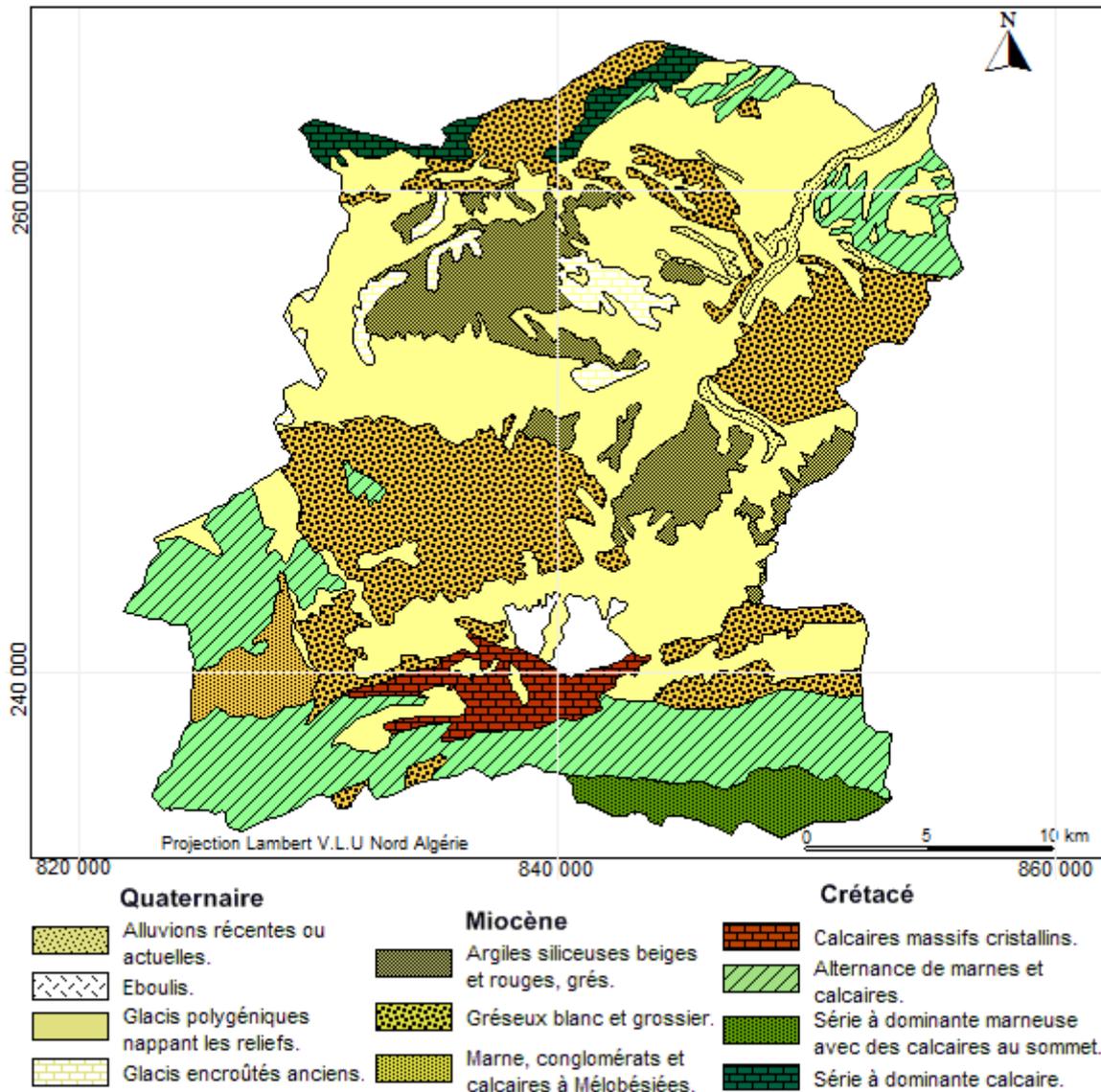


Figure 04 Lithologie du bassin versant de l'Oued Chemoura

I-4-2-3) Les bassins de Chott Melhir

A) Oued El Hai

Les formations géologiques qui affleurent dans ce bassin sont très variables. On y rencontre des roches sédimentaires allant de calcaires plus ou moins durs parfois dolomitiques aux roches marneuses fortement altérées en surface du fait surtout du climat très rude de la région. Les différentes unités géologiques qu'on rencontre s'étalent du Quaternaire au Trias, dont les principales formations appartiennent au Crétacé (Mekaoussi, 2003).

Les terrains à alternance de marne grise et verte et de calcaire massif clair, affleurent aux Djebels Tuggurt, Ich Ali et Metlili. Les calcaires massifs occupent la demi-cluse d'El Kantara avec une épaisseur de 340 m, Djebels Bouss, Etbag et El Malou. Les grès durs et les marnes tendres contenant des cristaux de gypse, affleurent à l'extrême nord du bassin (Djebel Tichao).

Le synclinale d'El Kantra est entouré par des formations de l'Eocène, il s'agit de marnes et des conglomérats rougeâtres surmontant des marnes gypseuses. Les formations marines du Miocène affleurent en de nombreux endroits (Djebels Ech Cheffa, Etbag, Metlili et le synclinale d'El Kantara). Il s'agit d'un faciès varié, formé de marnes à gypse et de calcaire parfois conglomératiques, ainsi que des grés et de marnes rougeâtres.

Les formations Quaternaires se sont développés dans les synclinales d'El Kantara, Ain Touta, et le long des vallées des oueds. Elles sont constituées en grande partie par des mélanges alluvionnaires caillouteux de limon et de sable, d'éboulis et de terrasses.

Les terrains de Trias affleurent au niveau de Djebel Groun, et formés par un mélange de gypse, d'argiles et de dolomies noires.

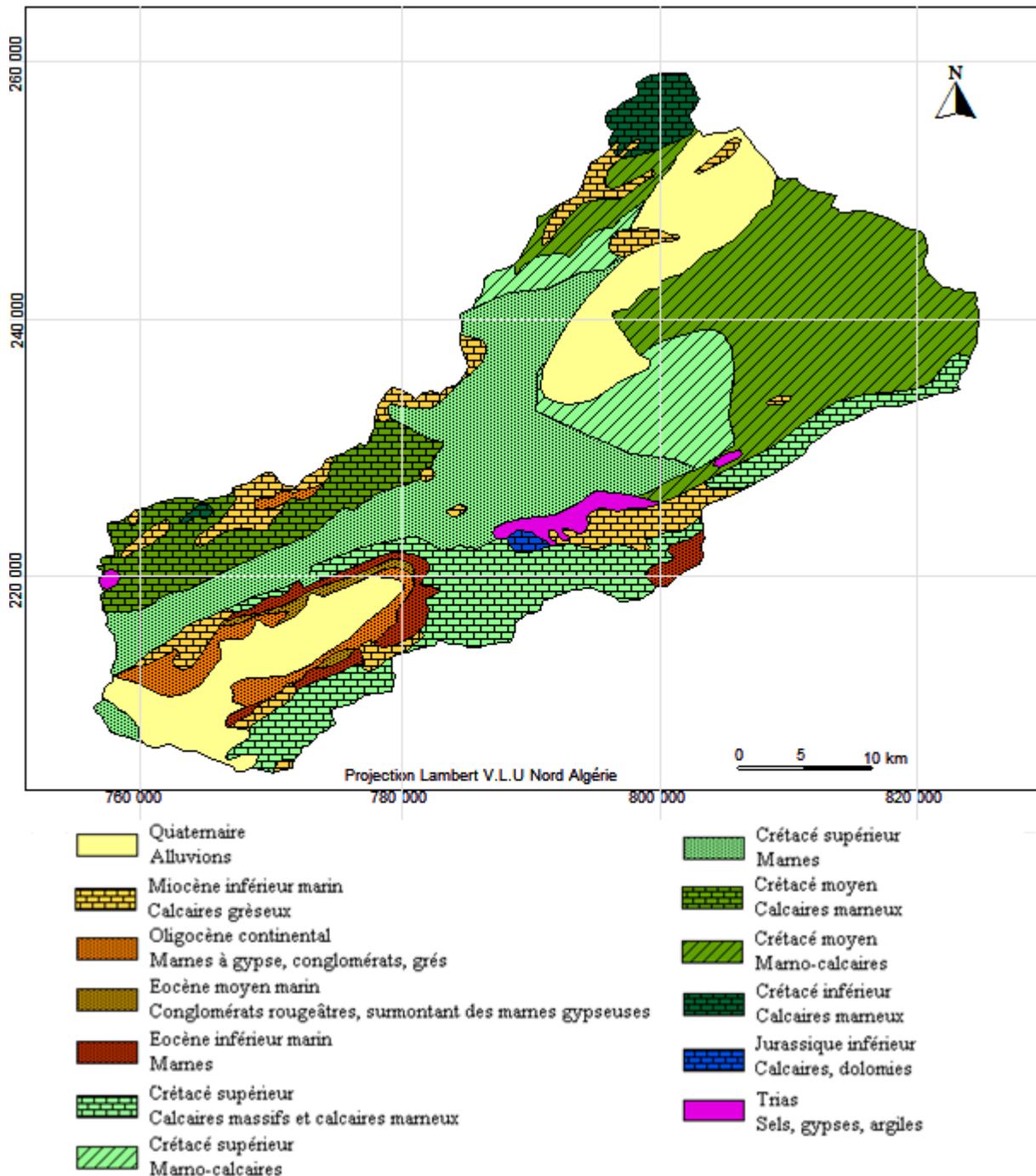


Figure 05 Lithologie du bassin versant de l'Oued El Hai

B) Oued El Abiod

L'essentiel des formations lithologiques qui constituent le bassin appartiennent au Crétacé et à l'Eocène. Ces formations fortement ployées sont surmontées en discordance par des terrains plus récents appartenant au Miocène et au pliocène, vers le sud du bassin (Baazi H., 2002).

Les massifs de Djebels Zilatou, El Krouma, et Ahmar Khaddou, d'orientation générale NE-SW, sont constitués d'une alternance de calcaires et marnes, et des lentilles de gypse, attribuées au Crétacé supérieur.

Les calcaires récifaux est les marno-calcaires du Crétacé moyen sont bien exposées dans le nord du bassin, et s'étendent aussi en étroite bande entre Medina et Tighanimine le long de l'Oued El Abiod ; l'épaisseur de dépôts constitue près de 1000 mètre à Djebel El Azreg.

Au nord-ouest et à l'extrême nord-est, en rencontre surtout les calcaires marneux de Djebels El Azreg, Ichemoul, et Chélia d'âge Crétacé supérieur. La croupe de Djebel El Azreg est de formation jurassique constituée de calcaires cristallisés et de marnes.

Le fond du bassin est occupé par des formations tertiaires, il s'agit essentiellement des calcaires gypseuses et d'argile marneuses de l'Eocène, d'argile à gypse de l'Oligocène, et d'argile sableuse d'âge Miocène. Un lambeau d'argiles bariolées et de couches gypso-salines d'âge trias affleure à Medina entre Djebel Chélia et Djebel Ichemoul.

C) Oued El Arab

Les couches lithologiques dominantes de ce bassin sont essentiellement composées de calcaires récifaux et de marno-calcaires du Crétacé moyen (Turonien, Cénomanién). Ces formations résistantes occupent la partie occidentale du bassin qui est protégée par une couverture végétale relativement dense (Djebels Fourhel, Taourirt, et Toubount).

Les marnes et les calcaires avec lentilles de gypse, formations peu résistantes d'âge Crétacé supérieur, longent le bassin sur sa partie orientale (Djebel Chechar, Tardjelt, Tadelist, Djahfa, et Tadinart). Au nord-ouest, les calcaires marneuses du Crétacé inférieur de Djebels Chélia et Aidel, affleurent. Le nord-est est occupé surtout par les alluvions et les terrasses du Quaternaire (galets, gravier, blocs avec des sables, et limon).

Les formations de l'Eocène inférieur (calcaire et gypse) sont assez peu représentées dans le bassin, elles affleurent au Djebel Bergua et Khanguet Sidi Nadji dans le sud-est, et à Djebel Chetara dans le nord-est. Enfin, les lambeaux de terrains triasiques (sel gemme, couches gypso-salines) affleurent à Djebels Aidel, et près du confluent des Oueds El Abiod et Melaguou.

D) Oued Chéria

Le périphérique du plateau de Chéria, notamment la bordure externe des bourrelets montagneux (Djebels Doukane, Zora, Kamellel, Troubia...), est occupé par les marnes grises et les marno-calcaires du Campanien, surtout au nord-est du plateau. Ce dernier est entouré aussi par une puissante formation des calcaires tendres crayeux (350 à 400m d'épaisseur), surmontées par des marnes du campanien (Baali, 2007).

Les marnes argileuses de couleur grise à noirâtre de l'Eocène inférieur, ainsi que les marno-calcaires et les calcaires à silex de l'Eocène moyen, affleurent essentiellement au bord de Djebel Tazbent au nord et à Ain Babouche au sud.

Au sud-ouest de la plaine de Chéria, au niveau d'Ain Babouche, un étage discordant transgressif sur les calcaires de l'Eocène se fait remarquer (le Mio-pliocène), débutant par des sables jaunes siliceux.

L'affleurement du Quaternaire est signalé dans la partie nord de la plaine, il y forme des plateaux inclinés vers le sud-ouest, avec des surfaces consolidées par une croûte calcaire très découpée en surface par l'érosion actuelle. Dans le sud, au niveau d'Ain Babouche les terrains quaternaires sont représentées par des formations cailloutis et fluviales, formant un vaste plateau encroûté de tufs calcaires.

Il importe de noter que les trois cartes lithologiques présentées ici sont données à titre d'exemple. En effet, nous avons réservé une place aux autres cartes dans la troisième partie de notre étude (Chapitre VIII: Cartographie et analyse multicritère de l'aléa érosion Hydrique) et en annexe V.

1-5) Occupation des sols et types de couvertures végétales

La couverture végétale est un facteur déterminant de la rapidité du ruissellement superficiel, du taux d'évaporation et de la capacité de rétention du sol (Bouanani, 2004). La végétation joue aussi un rôle essentiel dans la protection du sol, elle exerce une protection mécanique directe sur l'écoulement fluvial, en diminuant la force vive des eaux et en favorisant leur infiltration.

Cette résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense. En matière d'érosion des sols, c'est surtout le facteur "taux de recouvrement" qui intervient le plus, même s'il varie d'une espèce à l'autre.

La détermination des surfaces occupées par chaque type de végétation à partir des documents cartographiques couvrant la région d'étude qui sont bien souvent dépassés, est difficile. Dans ce chapitre, sera présentée de façon succincte, la répartition des différents types de végétation en se basant sur la carte du tapis végétal au 1/1000.000, feuille de Tunis Sfax (Gaussen et Vernet, 1958 ; in : Mebarki, 2005) et sur quelques esquisses d'occupation des sols des bassins étudiés.

Toutefois, l'usage des produits de la télédétection a rendu possible l'analyse détaillée du couvert végétal et de son rôle vis-à-vis du processus érosif. Ceci est abordé logiquement dans la troisième partie de ce travail (Chapitre VIII). En effet, nous avons rassemblé et classé les divers types de couverture végétale de la façon suivante :

1-5-1) La végétation forestière

La répartition géographique de la couverture forestière de la Seybouse-Aurès fait ressortir des nuances régionales importantes. La Forêt reste étroitement liée aux conditions orographiques et climatiques, en particulier. Avec sa faible extension en termes de surfaces et sa discontinuité, le couvert forestier s'étend depuis les forêts des montagnes méditerranéennes surplombant la mer méditerranéenne jusqu'aux forêts des hautes montagnes des Aurès.

Les massifs d'Edough, la Mahouna, et les assises gréseuses de la chaîne Numidique, offrent de belles forêts de chêne liège, dont le taux de recouvrement est de 70%, 40% et 35% respectivement. La zone montagneuse Oued Ghanem-Oued Medjerda comporte le pourcentage de couvert et le taux de boisement le plus élevé. Elle est couverte par le chêne liège, par endroit de chêne zen, et parfois des variétés d'eucalyptus (reboisement).

Le climat continental des hautes plaines défini par un étage bioclimatique semi-aride frais, marque durement la végétation (dominance de la céréaliculture) de cette région. Seuls quelques lambeaux de forêts à Chêne verts et pins d'Alep, sont localisés sur les massifs calcaires et marno-calcaires. Un maigre matorral à base de chêne vert couvre les hauts glacis, (Côte, 1979 ; in : Mebarki, 2005).

Dans l'Atlas saharien, une partie très importante de la superficie forestière est localisé au niveau des massifs de Bellezma, Beni Fedhala, Z'gag, Bou Arif et l'Aurès. Le patrimoine forestier est constitué de formations végétales issues essentiellement des peuplements naturels à base de pin d'Alep, chêne vert, Genévrier de Phénicie, et Cèdre.

Les versants nord des Aurès portent des chênes verts et en altitude, des belles Cédraies couvrant les sommets des grands anticlinaux (Djebels Chélia, Lazreg, Ichemoul, Zgag et Belezma). Ces Cédraies présentent 66% de la surface de celle de l'ensemble du pays. Alors que, les versants méridionaux portent des Maquis de pin d'Alep et de Genévriers de Phénicie qui font place vers le sud à la steppe et dans le fond des vallées aux palmeraies.

Au total, le couvert forestier de la région d'étude se trouve à différents niveaux de dégradation et de défrichage, ce qui est le fait de fréquents incendies et d'une forte pression humaine exercée durant plusieurs décennies, en particulier l'effet dévastateur dû à l'époque coloniale (chauffage, surpâturage). Actuellement, la sécheresse prolongée a aggravé la situation et en certains terrains le couvert forestier a cédé la place à l'installation d'espèces steppiques (armoïse, alfa).

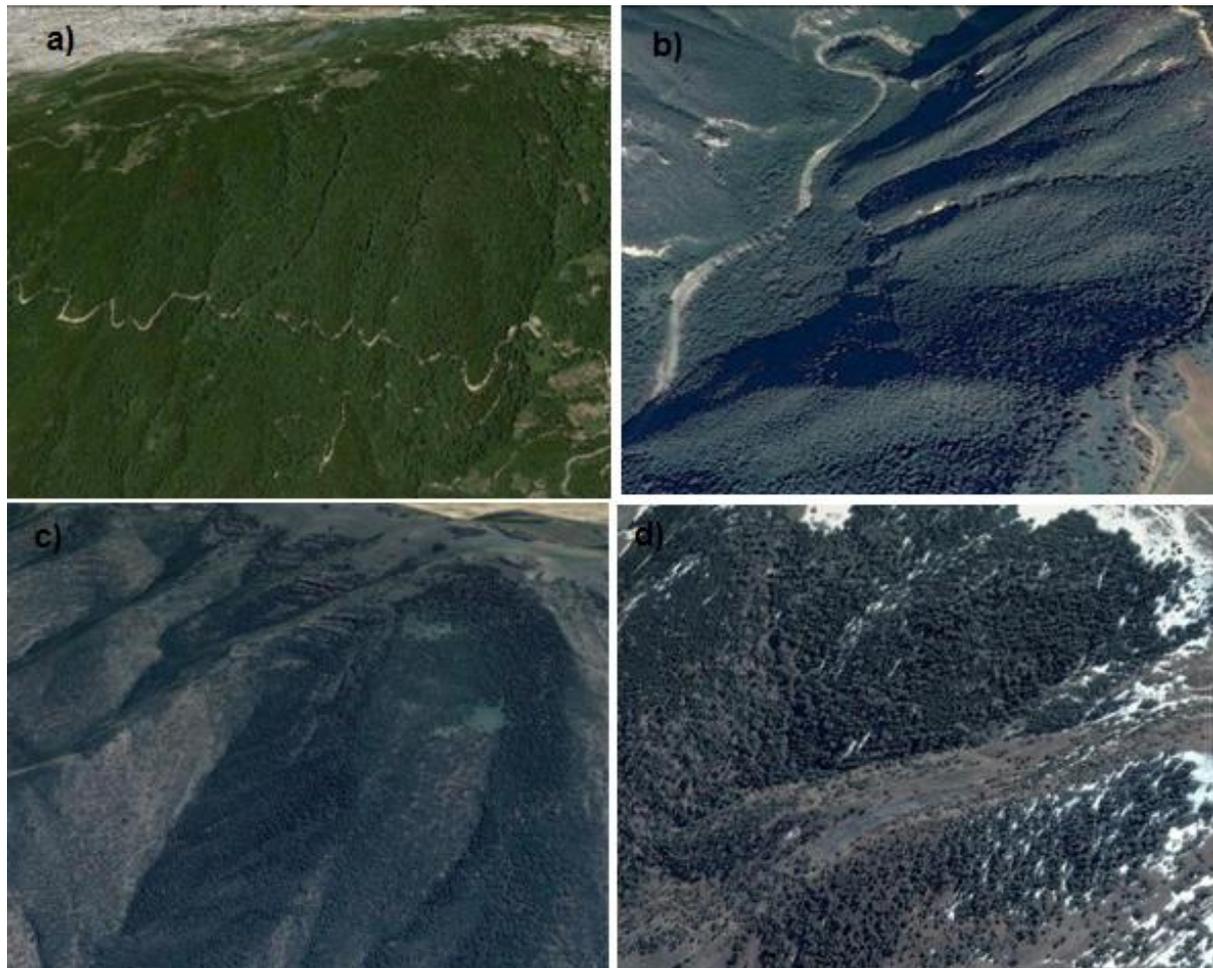


Figure 06 Couvert forestier de la Seybouse-Aurès: a) Forêt de Djebel Edough : Image sat. Google earth du 21/7/2014, 36° 55' 37.01"N, 7° 41' 19.12"E ; b) Forêt de l'Oued Chehame : Image sat. Google earth du 14/2/2014, 36° 23' 05.30"N, 7° 44' 12.05"E ; c) Forêt de Djebel Bou Arif : Image sat. Google earth du 24/3/2014, 35° 38' 04.19"N, 6° 27' 46.94"E ; d) Forêt de Djebel Chélia : Image sat. Google earth du 24/3/2014, 35° 19' 42.14"N, 6° 37' 38.08"E

1-5-2) Végétation steppique

Elle occupe les hautes plaines constantinoises, et est plus développée encore dans la région de Nememcha. C'est une zone tampon entre le Tell agricole au nord, et le désert du Sahara au sud. Dans le nord, en descendant le revers méridional de l'Atlas Tellien, la steppe d'Alfa (Stipe Tenacissima) domine, et se partage avec l'espace cultivé (Ghachi 1986).

Le pays des Garaet, situé au cœur des hautes plaines, est occupé d'armoïse sur les glacis, d'Atriplex sur les épandages limono-argileux, et de steppes halomorphes sur terres salées. Les Nappes d'Alfa à armoïse et Atriplex (zone de parcours), occupe les hautes plaines méridionales du constantinois et la région de Nememcha (BNEDER, 1980).

La dégradation avancée des parcours steppiques constitue, actuellement, une réalité préoccupante dans la région d'étude. Elle est concomitante à une extension de labours illicites, au surpâturage et au phénomène de sédentarisation des tribus pasteurs-nomades (Mebarki, 2005 ; Nedjraoui et Bédrani, 2008). Ces effets négatifs, aggravés par de longues périodes de sécheresse, ont provoqué de graves phénomènes érosifs.

1-5-3) La végétation des terres cultivées

La céréaliculture est la principale spéculation effectuée dans les hautes plaines à climat semi-aride à hiver frais. Elle est souvent pratiquée avec la jachère qui s'impose comme un impératif technique surtout dans les hautes plaines du nord. Dans les plaines intra-montagneuses de Nememcha, à caractère pastoral, la céréaliculture est développée en associations avec les parcours. La jachère n'a pas raison d'être, étant donné le caractère pastoral de son milieu physique.

Les zones bioclimatiques humides et subhumides sont le domaine de cultures méditerranéennes et de l'arboriculture de montagne. L'irrigation est tout même nécessaire pendant les mois de déficit hydrique d'été. La plaine d'Annaba est une région agricole des plus riches couvertures de verges, d'orangerie, d'olivier, et de cultures de transformation (les tomates, tabacs, betteraves,...). Plus au sud, les périmètres de Guelma et Bouchegouf, sont aussi des terres fertiles aux ressources agricoles nombreuses et variées.

Dans la région montagneuse des Aurès, les terrains occupés par les arbres fruitiers et les cultures intensives sont répartis en petites surfaces, le long des vallées étroites des oueds (Oued Abdi, Oued Fedhala, Oued Taga...), où dominent l'abricotier, le pêcher, le pommier, le figuier, l'abricotier et l'olivier.



Figure 07 Plantation de pommiers à Ichmoul (Aurès) Source: <http://www.vitaminech.com>

1-5-4) La végétation des oasis sahariennes

Les palmeraies occupent le piémont sud de l'Aurès (el kantara, M'chounèche, khangat Sidi Nadji). Les vallées de l'Oued El Abiod, Oued el Hai et Oued El Arab, présentent aussi des rubans denses de palmeraies, aménagés en terrasses. De nombreux jardins pratiquent le maraîchage intensif d'hiver et de printemps, sont développés durant ces dernières années à labri des palmiers. Ces jardins sont irrigués par motopompe qui se développe rapidement (Aidaoui, 1994).

Au total, le résultat, qui ressort clairement de l'examen de la documentation cartographique disponible est la grande diversité de la répartition des forêts protectrices des sols contre l'érosion, sa couverture très faible et sa discontinuité.

La méthode de classification de l'occupation du sol par ordre de densité décroissante de Tricart J. (1968), est plus apte à montrer l'impact du couvert végétal sur les conditions d'écoulement. Nous représentons, à titre d'exemple, les résultats des statistiques relatives aux trois sous bassins, dont les données sont disponibles, et que l'on a regroupés selon les grandes catégories de couverture.

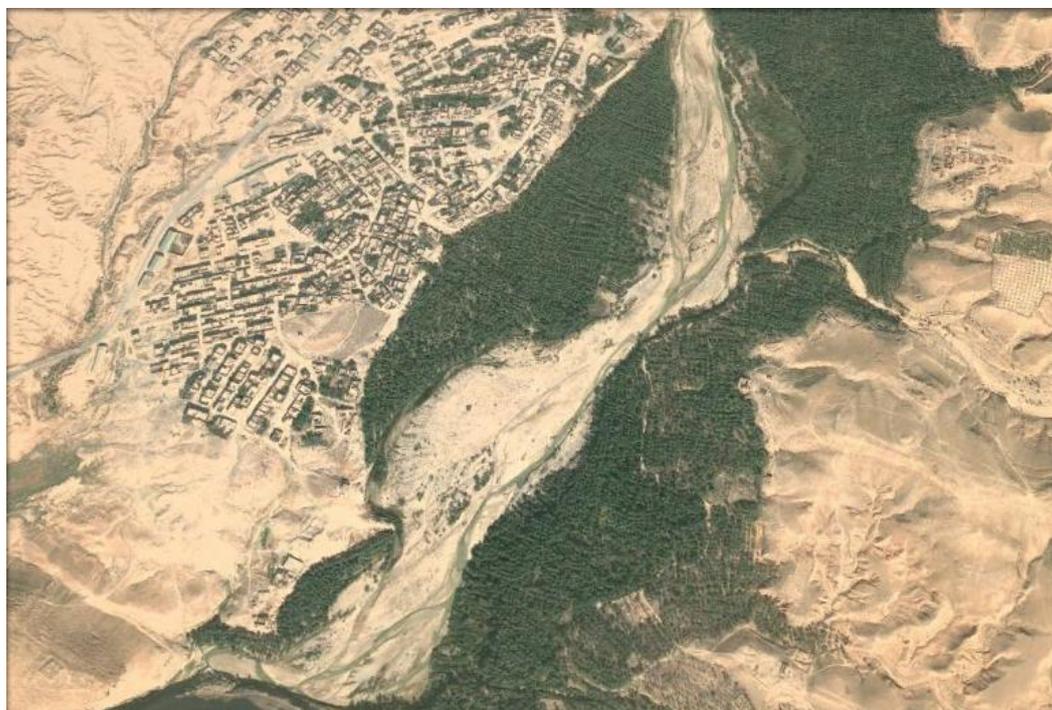
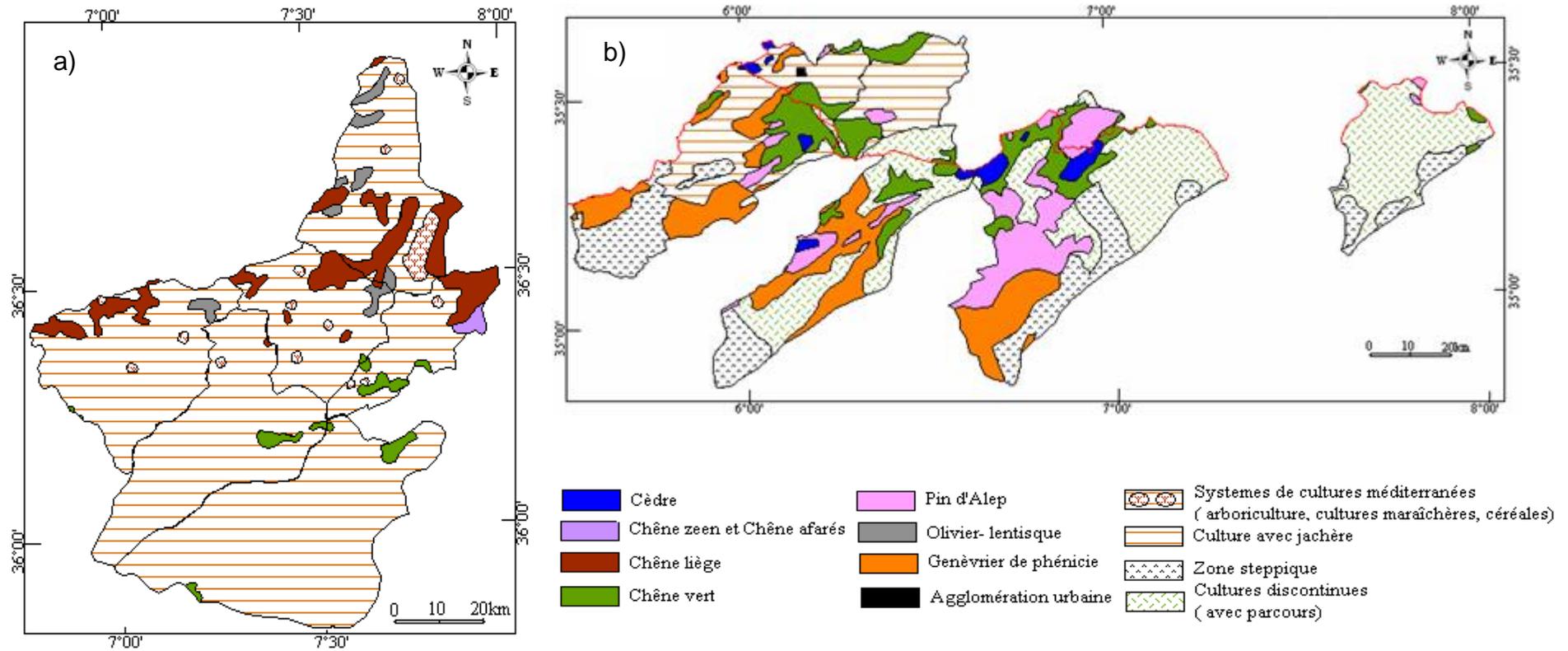


Figure 08 Ruban dense de palmeraies le long de la vallée de l'Oued El Abiod : Image sat. Google earth du 31/10/2010, 34° 55' 52.95"N, 5° 59' 44.61"E.

Tableau 02 Répartition en % des types d'occupation du sol

Ensemble hydrographique	Sous- bassin	1. Surfaces bien protégées (%)		2. Surfaces incomplètement protégées (%)		3. Surfaces mal protégées ou nues (%)
		Forêts, Maquis	Prairies naturelles et artificielles	Vergers (à dominante extensive)	Terres labourées (céréales, cult, Maraîchères, etc.)	
Seybouse	Oued Bouhamdane ⁽¹⁾	34,0	-	-	59,2	6,8
Hautes plaines constantinoises	Oued Chemoura ⁽²⁾	16,2	0,1	0,6	46,9	36,2
Chott Melrhir	Oued Biskra Hai ⁽³⁾	57,0	-	-	17,0	26,0

Source : ⁽¹⁾ : DSA de Guelma 2000, ⁽²⁾ : BNEDR 1997, ⁽³⁾ : BNEDR 1983



Les formations végétales qui assurent une protection seulement partielle à médiocre, sont les plus représentées (Oued Bouhamdane : 66%, Oued Chemoura : 43%) à l'exception du sous bassins de l'Oued Hai, où la couverture forestière représente 57%, chiffre surestimé car il intègre les forêts à l'état de maquis dégradé dans la densité et plutôt faible.

En conclusion, le caractère dégradé et discontinué de cette couverture végétale présage d'un écoulement irrégulier et torrentiel et d'une érosion très développée dans le terrain d'étude, seul la couverture forestière qui occupe une place minoritaire, peut avoir un impact positif sur le ruissellement et la régularisation de l'écoulement.

Conclusion

La Seybouse-Aurès présente des ensembles morpho-structuraux bien tranchés, des caractères morphométriques déterminant des différences sensibles dans l'aptitude des terrains au ruissellement, des ensembles lithologiques donnant lieu à des possibilités d'infiltration très nuancées sur le plan spatial et un couvert végétal dégradé et très discontinu dans le temps et dans l'espace. La combinaison de ces conditions physico-géographique est déterminante dans le comportement hydrologique des diverses unités hydrologiques étudiées.

En outre, le calcul numérique des paramètres morphométriques et hydrographique n'a pas de sens pratique, il sert comme moyen de comparaison entre les bassins. Toutefois, nous pouvons conclure qu'il y a une dissymétrie dans la répartition altimétrique et hydrographique, qui entraîne des conséquences sur la stabilité du régime d'écoulement, et explique les nuances spatiales des potentialités des eaux de surface.

On distingue : les secteurs montagneux qui présentent des caractéristiques morphométriques favorables à la genèse et à la propagation des crues ; les secteurs de piémonts ont un degré moindre ; alors que les secteurs des plaines sont le siège d'une accumulation des dépôts détritiques où les conditions d'écoulement sont défavorables au ruissellement.

Chapitre II Les facteurs climatiques et leur variabilité

Plus que d'autres facteurs, le climat est le facteur le plus déterminant des ressources en eau d'une région. Les facteurs climatiques dans leur ensemble permettent d'expliquer quantitativement l'intensité et la variabilité des composantes du régime hydrologique, dans le temps et dans l'espace, en interaction avec les conditions physico-géographiques de l'écoulement.

II-1 Aperçu sur le climat de l'Algérie

Dans le schéma classique de la circulation de l'atmosphère, l'Algérie se trouve affectée en hiver par les perturbations atlantiques et les vents d'ouest, balayée en été par des vents d'est et de nord-est ; d'où le caractère hybride de ce climat, qui combine certains traits d'un climat chaud à d'autres d'un climat tempéré (Capot-Rey, 1946).

De nombreux travaux sur la climatologie et la bioclimatologie ont été réalisés sur l'Algérie (Emberger, 1942 ; Seltzer, 1946 ; Brunet-Moret, 1971 ; Stewart, 1975 ; Belloum, 1993 ...). L'ensemble de ces auteurs s'accordent à reconnaître l'intégration du climat algérien au climat méditerranéen de transit entre la zone tempérée et la zone tropicale. Soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude, ce climat est marqué par des oscillations saisonnières avec une longue période de sécheresse estivale (3 à 4 mois sur le littoral, 5 à 6 mois aux niveaux des Hautes Plaines, et supérieurs à 6 mois au niveau des versant sud l'Atlas saharien). les précipitations accusent une grande variabilité mensuelle et surtout annuelle, due à l'existence de gradients longitudinal et latitudinal (Djellouli, 1990).

L'augmentation de la pluviosité d'ouest en est (450 mm/an à Oran et plus de 1000 mm/an à Annaba) est due à deux phénomènes : à l'ouest la Sierra Nevada espagnole et l'Atlas marocain agissent comme écran et éliminent ainsi l'influence atlantique, à l'est, les fortes précipitations sont attribuées aux perturbations pluvieuses du nord de la Tunisie. La diminution des précipitations du littoral vers les régions sahariennes (50mm dans la région du M'Zab à 1500mm à Jijel) est due à la grande distance traversée par les dépressions qui doivent affronter sur leur parcours les deux chaînes atlastiques. La moyenne des températures minimales du mois le plus froid est comprise entre 0 et 9°C dans les régions littorales et entre - 2 et + 4°C dans les régions semi-arides et arides. Celle des températures maximales du mois le plus chaud varie avec la continentalité, de 28°C à 31°C sur le littoral, de 33°C à 38°C dans les hautes plaines steppiques, et supérieure à 40°C dans les régions sahariennes.

II-2 Les paramètres météorologiques déterminants

Les températures et les précipitations constituent les deux facteurs prépondérants dans la caractérisation climatique d'une région, dont dépendent de manière étroite, non seulement la faune et la flore, mais aussi l'économie générale. L'effet combiné de ces conditions climatiques et des paramètres physiques (orohydrographiques, morphologiques, lithologiques et biogéographiques) commande le comportement hydrologique des cours d'eau (oueds) et l'alimentation des nappes d'eau souterraines.

II-2-1 Les précipitations et leur variabilité

La pluviométrie est l'une des variables climatiques fondamentales à prendre en compte pour toute étude traitant de la gestion des ressources en eau, et demeure le facteur le plus important dans la détermination de l'abondance fluviale. Elle conditionne le maintien de la répartition du tapis végétal d'une part, et la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosion d'autre part.

Dans le milieu méditerranéen, l'eau d'origine pluviale apparaît bien comme le paramètre fondamental qui conditionne l'existence même de ce milieu, de ses formes vivantes et des activités humaines. Il est important donc de caractériser ce facteur de manière aussi précise et détaillée que possible. Nous intéresserons dans cette étude uniquement aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur primordial dans le comportement hydrologique de la région.

II-2-1-1 Le réseau pluviométrique et les séries d'observation

Le choix des données utilisées s'est évidemment imposé et repose sur certains critères. Disposer de séries longues et communes à toutes les stations, n'ayant pas de lacunes significatives (la plus grande lacune est de 3 ans sur une série de 34 ans). Réaliser un quadrillage le plus étroit possible des stations afin de parvenir à une couverture spatiale précise et homogène de la région d'étude. Cette sélection a conduit à retenir pour les besoins de l'étude 73 postes pluviométriques. Le réseau adopté est relativement homogène et dense, plus particulièrement dans la région des Aurès, à caractère montagnard. La densité des stations est toutefois plus faible dans le secteur des hauts plateaux et des lacs salés. Les données exploitables utilisées concernent la période 1970-2004 et proviennent de la base de données de l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH). Le tableau 03 et la figure 10 indiquent la position des 73 postes pluviométriques ANRH, leur altitude et leur éloignement de la mer.

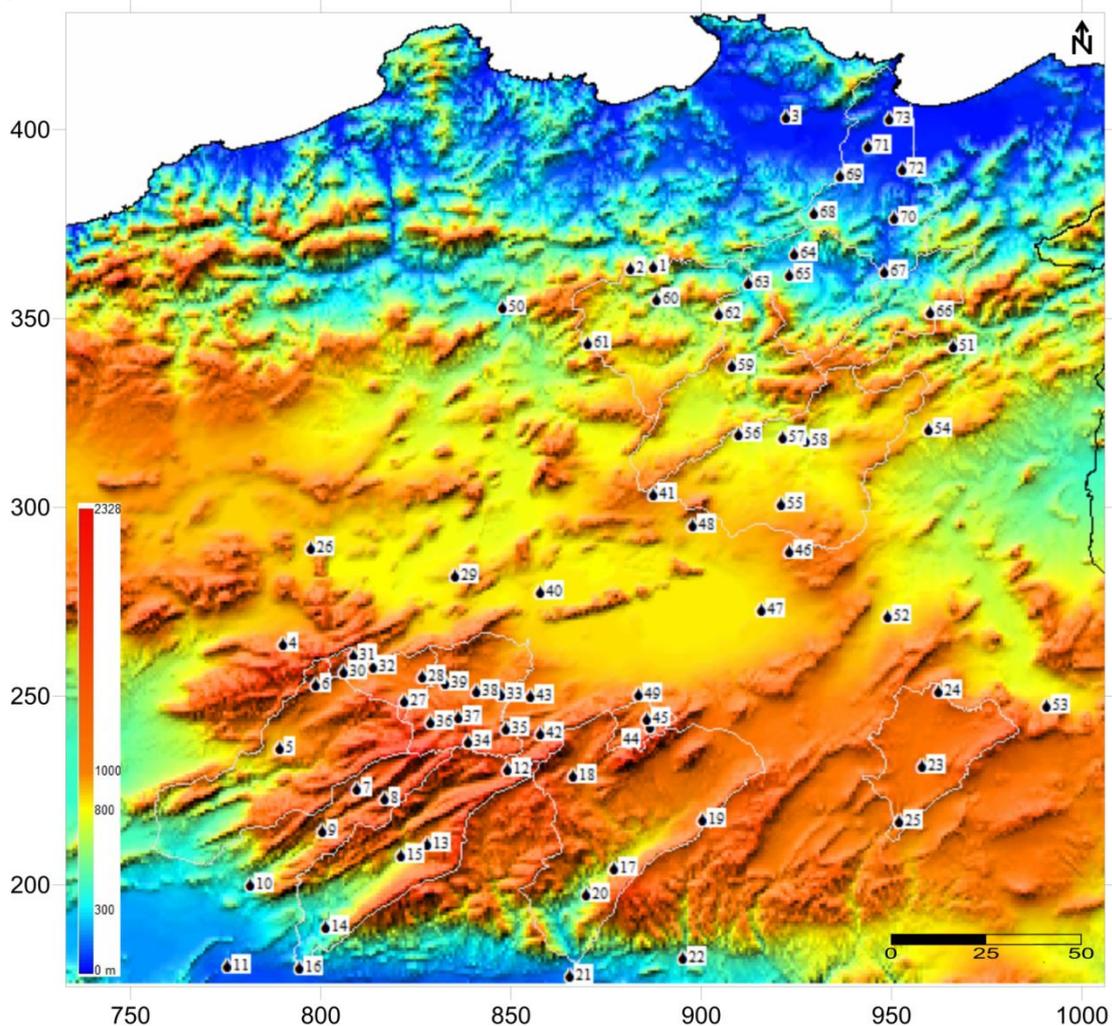


Figure 10 Position des 73 stations pluviométrique et MNT couvrant la zone d'étude

Tableau 03 Caractéristiques des postes pluviométriques retenus dans l'étude

N°	Station	Code-ANRH	équipements	Coordonnés Lambert (km)		Altitude (m)	Distance à la mer (m)
				x	y		
1	Ain El Kleb	30904	PV	888,15	363,4	750	50,3
2	Bou Snib	30905	PV/PG	882,1	362,95	900	50,1
3	Berrahal	31302	PV	923,35	403,1	40	19,3
4	Merouana	51201	PV	790,75	263,65	1000	132,8
5	Ain touta	61203	PV	790,10	235,90	917	161,3
6	Oued chelih	61211	PV	799,4	252,60	1180	147,5
7	Bouzina	61302	PV/PG	810,00	225,00	1350	186,2
8	Theniet El Abed	61303	PV	817,6	222,75	1390	194,0
9	Menaâ	61304	PV	801,20	213,80	1005	187,9
10	Djemorah	61305	PV	782,35	199,80	400	193,8
11	BiskraSecteur	61416	PV/PG	776,10	178,20	130	213,0
12	Medina lanasser	61503	PV	849,70	230,50	1570	187,2
13	Tkout	61505	PV	828,85	210,50	980	200,6
14	M'Chouneche	61506	PV	802,01	188,35	330	212,9
15	Tifelfel	61511	PV	821,90	207,65	740	200,0
16	F. El Gherza	61601	PV/PG/BAC	795,1	177,65	200	219,5
17	Boudella	61802	PV	877,90	203,90	750	200,0
18	Bou hmama	61803	PV	867,00	228,50	1140	181,3
19	Babar	61804	PV/PG	901,10	217,00	1100	200,0
20	Kheirane	61805	PV/PG	870,55	197,10	560	207,5
21	Khangat Sidi Nadji	61806	PV	866,3	175,8	105	230,4
22	SIAR	62002	PV	896,15	180,15	450	240,0
23	Chéria	62301	PV/PG	959,05	231,15	1080	181,2
24	Ain Troubia	62307	PV	963,10	250,90	1252	157,0
25	Ain Babouche	62308	PV	953,05	216,75	1045	199,0
26	Ain djasser	70201	PV	798,35	289,10	865	110,2
27	Tazoult	70303	PV	822,65	248,65	1200	164,7
28	Ali ben tenoun	70304	PV	827,40	254,90	1180	158,0
29	Ain yagout	70306	PV	836,00	281,60	876	144,0
30	Hamla	70308	PV	806,75	256,20	1174	148,1
31	Seguene	70309	PV	809,30	260,60	1400	146,7
32	Batna ferme exp	70316	PV/PG/BAC	814,70	257,35	1040	150,0
33	Reboa	70403	PV	848,10	250,25	1002	167,0
34	Ain Tinn	70405	PV/PG	839,60	237,50	1650	183,5
35	Foum Toub	70406	PV/PG	849,35	241,00	1160	176,3
36	Baiou (mechta)	70407	PV/PG	829,65	242,65	1510	174,5
37	Bouahmar	70408	PV	837,15	244,00	1275	175,0
38	Timgad	70409	PV	841,75	250,90	1000	167,5
39	Sidi Mancar	70410	PV	833,7	253,25	1112	162,1
40	Boulhilet	70502	PV	858,4	277,55	859	149,0
41	Ain Diss	70504	PV	888,4	303,2	1045	105,0
42	Yabous	70604	PV/PG	858,45	239,65	1200	174,5
43	Touffana	70605	PV	856,10	249,75	1040	165,1
44	Tizi Ala	70703	PV	887,2	241,4	1345	174,5
45	Ain Mimoun M.F	70704	PV/PG	886,35	243,6	1180	171,2
46	Ain Beida	70707	PV	924,15	288,00	1004	139,7
47	Fkirina	70708	PV	916,9	272,75	856	150,5
48	Oum El Bouagui	70716	PV	898,55	295,05	950	123,0
49	F. El Gueiss BGE	70720	PV/PG	884,5	250,15	950	161,1
50	Hamma Bouziana	100603	PV/PG	848,5	352,8	509	61,0

Tableau 03 (suite) Caractéristiques des postes pluviométriques retenus dans l'étude

N°	Station	Code-ANRH	équipements	Coordonnées Lambert (km)		Altitude (m)	Distance à la mer (m)
				x	y		
51	Souk Ahras Subd	120101	PV	967,25	342,25	590	65,1
52	La Meskiana	120201	PV	949,7	271	845	148,2
53	Tebessa	120301	PV	991,9	247,2	890	168,5
54	M'Daourouch	120403	PV	960,85	320,65	870	95,0
55	Berriche	14 01 03	PV	921,85	300,5	800	122,4
56	Ksar Sbahi	14 01 04	PV	910,5	319	860	100,5
57	Ain Settara	14 01 05	PV/PG/BAC	922,5	318,5	740	100,6
58	Ain Snob	14 01 06	PV	928,18	317,5	850	100,8
59	Ain Makhlouf	14 02 05	PV	908,8	337,4	830	85,0
60	Bordj Sabath	14 03 02	PV	889,1	355,1	525	51,5
61	El aria (B. Badiss)	14 03 04	PV	870,85	343,1	807	63, 5
62	Ras El Akba	14 03 09	PV/PG	905,7	350,9	740	64,7
63	Medjez Amar PV	14 03 13	PV	913,4	359,1	295	57,2
64	Heliopolis	14 04 03	PV	925,15	366,85	280	51
65	Guelma lycée MBM	14 04 12	PV/PG	924,1	361,4	280	56,1
66	Mechroha	14 05 02	PV	961,15	351,55	750	52
67	Bouchegouf	14 05 05	PV	949,15	362,2	110	50,5
68	Nechmeya	14 06 05	PV	930,5	377,9	270	44,8
69	Ain Berda	14 06 06	PV/PG	937,6	387,75	73	30,5
70	Boukhamouza	14 06 07	PV	951,7	376,45	40	37,6
71	El Kerma	14 06 09	PV	944,6	395,5	14	18
72	Kef Mourad	14 06 11	PV	953,8	389,5	19	21,3
73	Pont Bouchet	14 06 31	PV/PG	950,25	402,8	3	6,8

Source : ANRH

II-2-1-2 Contrôle de la fiabilité des séries pluviométriques

Toute étude climatique ou hydrologique est basée sur l'exploitation des séries de données recueillies pendant des périodes plus ou moins longues, continues ou discontinues. Les méthodes statistiques d'analyse de ces séries, exigent une homogénéité de leurs composantes. Il est donc nécessaire, avant toute utilisation des variables pluviométriques, de contrôler leur qualité par l'emploi d'outils statistiques et graphiques, afin de réduire les erreurs qui pourraient les affecter. Quelque soit le soin apporté à la collecte et au traitement des données, il existe toujours des erreurs dans les fichiers, soient :

- Accidentelles : erreurs de lecture, oublis, erreurs de transcriptions,...
- Systématiques : Changement de site, utilisation d'une éprouvette inadéquate,.....

Il n'existe aucun moyen sûr de détecter les erreurs véritables, par contre nous pouvons très bien détecter des anomalies par rapport à la représentation statistique que l'on se fait du phénomène. La méthode des cumuls des résidus de régressions permet de détecter les anomalies accidentelles et les anomalies systématiques (Laborde, 2000). Le traitement des données pour notre région d'étude a été fait sur toutes les stations grâce au logiciel Hydrolab.

Il est souhaitable de revenir aux originaux, pour procéder à l'interprétation des résultats. Cependant, la correction des anomalies est très délicate à réaliser : D'une manière générale les changements de site se sont faits sur de courtes distances. La modification de l'exposition des pluviomètres aux flux atmosphériques dominants et les obstacles constitués par les constructions avoisinant les appareils de mesure peuvent être incriminés mais restent difficile à quantifier. Dans ce travail, les années incriminées était considérée comme non observées. Dans les cas peu douteux, nous avons choisi de maintenir les données observées sans faire de corrections.

Principe de détection des anomalies selon Laborde, (2000) : Station kef Mourad (140611)

Soit X une série temporelle de mesures (cumuls annuels de pluie) supposée exempte d'erreurs (série de référence). Soit Y la série à vérifier, de valeurs raisonnablement corrélées à X. Si les distributions marginales de X et Y sont gaussiennes, on aura :

$$m_{y_x} = m_y + r \frac{s_y}{s_x} (x - m_x) \quad \text{et} \quad s_{y_x} = s_y \sqrt{1 - r^2}$$

Ceci signifie également que l'écart ε_i entre une valeur particulière y_i et sa moyenne conditionnelle est gaussien de moyenne nulle et d'écart type s_{y_x} .

Il rester à comparer la position des points expérimentaux par rapport à un intervalle de confiance choisi à l'avance. Les points sortants de cet intervalle ont une probabilité d'être dus au hasard suffisamment faible pour mériter d'être vérifiés. Ces points seront donc détectés comme des anomalies ponctuelles.

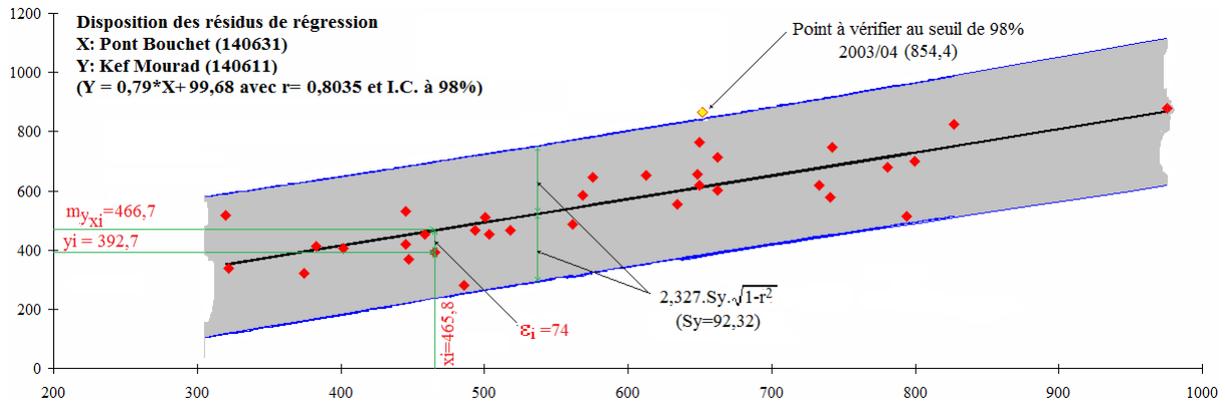


Figure 11 Détection des erreurs accidentelles (Station Kef Mourad)

L'analyse des résidus de régression permet de signaler comme anomalies toutes les erreurs accidentelles représentant un écart d'un multiple de l'écart-type conditionnel $s_y \sqrt{1 - r^2}$ fonction de l'intervalle de confiance retenu.

Les anomalies systématiques sont détectées sur la base de l'analyse du cumul des résidus de régression. On définit la variable Z_i , cumul des i premiers résidus ε_i de moyenne nulle et

d'écart-type $\sigma_\varepsilon = s_y \sqrt{1 - r^2}$, $Z_i = \sum_{j=1}^i \varepsilon_j$, elle est gaussienne de moyenne nulle et d'écart-

type : $\sigma_Z = \sigma_\varepsilon \sqrt{\frac{i(ne - i)}{ne - 1}}$

ne : taille de l'échantillon

Il est donc relativement simple de fixer l'intervalle dans lequel il y a une certaine probabilité que se trouve Z_i . Si on se fixe par exemple un intervalle de confiance à 98%, il y a deux chances sur cent pour que Z_i soit extérieur au segment : $[-2,327 \sigma_Z, +2,327 \sigma_Z]$.

Nous avons jugé nécessaire un essai de séparation des stations retenues pour l'étude en petits groupes se trouvant dans la même région et ayant probablement presque les mêmes conditions topographiques et climatiques. Dans chacun de ces groupes, nous avons choisi une station de référence. Un exemple est représenté par les figures 11 et 12.

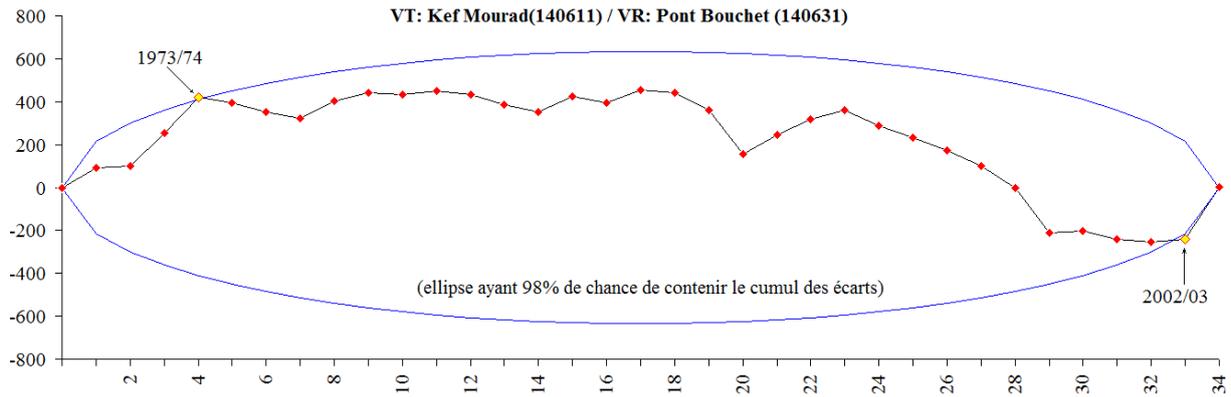


Figure 12 Détection des erreurs systématiques (Station Kef Mourad)

II-2-1-3 Comblement des lacunes d'observation

Dans la pratique courante, de nombreuses causes concourent pour entraîner l'absence de certaines informations (absence de mesures, défaut de transmission, erreur de stockage, manipulation erronée,...) ce qui fait que dans les fichiers disponibles certaines données sont manquantes.

Des lacunes et discontinuités dans les séries chronologiques des pluies, utilisées dans cette étude, ont été remarquées pendant certaines années ou mois d'une année. La restitution de ces données manquantes a été établie à l'aide d'une analyse en composantes principales (A.C.P.) des racines carrées des valeurs de pluies mensuelles observées pour constituer les vecteurs régionaux (Laborde., 2000).

Le Macro «Bouche trou» sur Excel, développé par Laborde J-P et Mouhous (1998), a été adoptée. Les lacunes d'observations ont été comblées mois par mois, toutefois pour les séries qui présentent des lacunes sur 6 mois ou plus pour une année donnée, on a estimé parallèlement, les totaux annuels afin de les confronter aux totaux mensuels estimés séparément, ce qui permet d'éviter une incohérence des résultats. Afin de rendre homogène la somme des valeurs mensuelle estimées ($\sum P_m$) avec l'estimation globale faite à l'échelle de l'année (Pan), on a multiplié ces valeurs par le rapport (Pan / $\sum P_m$).

II-2-1-4 Les précipitations annuelles et leur évolution

Bien que la notion de la moyenne pluviométrique annuelle estompe la réalité des faits climatiques, notamment en domaine méditerranéen, sa connaissance demeure nécessaire pour effectuer une étude d'abondance, de variabilité et d'évolution. L'analyse du cumul annuel des précipitations permet également de déterminer le bilan moyen annuel de l'écoulement et lier les hauteurs précipitées à leur durée de récurrence. L'observation minutieuse de la figure 13 de la variation interannuelle des précipitations nous permet de dégager les tendances générales de la variation et l'évolution de la pluviométrie annuelle.

A. Répartition pluviométrique interannuelle

La répartition de la pluie importe plus encore que les volumes précipités. Plus que l'abondance ou la faiblesse des abats, c'est leur distribution dans le temps et dans l'espace qui est déterminante. En climat méditerranéen, les précipitations annuelles sont très variables avec de fortes amplitudes d'une année sur l'autre. Les auteurs qui ont étudié la pluviométrie en Algérie montrent que la répartition de la pluie subit trois influences, celle de l'altitude, les conditions topographiques, de la longitude et enfin celle de l'éloignement à la mer (Bouanani, 2004). Pour chacun des postes pris en compte dans cette étude a été calculée la pluviométrie interannuelle sur une même période de 34 ans, de 1970 à 2004.

La première partie de notre analyse consiste à comparer le cumul moyen annuel des 73 stations retenues. Cette comparaison met avant tout en évidence la très grande variabilité pluviométrique (Figure 13). Autre élément notable de cette chronique, la succession totalement aléatoire et à très peu d'intervalle de temps, d'années très contrastées : 2001/02 (402 mm) et 2002/03 (975 mm) à Berrahal, 1995/96 (463 mm) et 1996/97 (136 mm) à Berriche, 1999/00 (654 mm) et 2000/01 (159 mm) à Merouana.

On observe également des «blocs » de 2 à 5 années excédentaires (1995/96-1999/2000 à Boukhamouza, 1988/89-1992/93 à Boulhilet, 1988/89-1992/93 à Segouene, 1997/98-2000/01 à Mechroha et 1979/80-1984/84 à Ain Troubia) ou de 2 à 13 années déficitaires (1987/88-1991/92 à Boukhamouza, 1976/77-1983/84 à Boulhilet, 1996/97-2002/03 à Segouene, 1978/79-1988/89 à Tebessa et 1985/86-1997/98 à Kh. Sidi Nadji).

Il résulte aussi, de cette analyse, deux années exceptionnelles 1996/97 et 2002/03 qui symbolisent respectivement les années les plus sèches et les plus humides dans la région étudiées. Les valeurs extrêmes de la pluviométrie interannuelle obtenues vont de 50 mm à Khangat Sidi Nadji, à 105 m d'altitude sur le versant sud des Aurès exposé au vent desséchant (le Sirocco), à 993 mm à Mechroha, situé à 750 m d'altitude au cœur des monts de la Medjerda sous les vents humides du nord-ouest, avec une distance de plus de 180 km entre ces deux postes.

Pour mieux saisir et préciser l'intensité des irrégularités interannuelles des précipitations on s'est fondé sur : le coefficient de variation, le rapport min/max, l'écart à la moyenne et le coefficient de précipitations standardisé.

Des records du rapport min/max ont été enregistrés sur le versant sud des Aurès: 30,1 à Djemorah, 10,02 à Biskra et 10,72 à T'kout. Ce rapport est moins important sur le versant septentrional des Aurès et les Hauts plateaux : 8,0 à Timgad, 7,47 à Reboa et 6,83 à Hamla. Les stations côtières et celles de l'atlas tellien enregistrent des rapports min/max relativement faibles : 2,27 à Boukhamouza, 2,55 à Ain Berda, 3,01 à El Karma et 4,74 à Mechroha.

A.1 Le coefficient de variation (CV) ⁽¹⁾ : Ce paramètre est très efficace pour la mesure du degré de la dispersion relative des valeurs particulières autour de la moyenne. « C'est ce coefficient de variation qui se révèle le plus satisfaisant des mesures de dispersion utilisables dans l'étude comparée de la variabilité des précipitations en plusieurs stations » (Grisollet, 1962 in : Dion, 1972). Les coefficients de variations annuelles des 73 stations oscillent entre 0,19 et 0,75 (tableau 04).

Contrairement à ce que nous attendions, Ain Beida, station en semi-aride donc à pluviométrie relativement faible (406 mm) a un faible coefficient de variation annuel 0,25. Ainsi que la station Mechroha située dans une zone la plus arrosée de la région d'étude, ce qui impliquerait un coefficient de variation faible, mais en réalité il est parmi les plus élevés, 0,39.

Ces deux exemple montrent bien la complexité du climat méditerranéen dans la région d'étude ?

D'une manière générale on peut procéder à un regroupement de stations suivant leur coefficient de variation et en fonction du domaine climatique (Figure 14).

⁽¹⁾ : $CV = \frac{\sigma}{\bar{P}}$; σ : écart-type (mm) ; \bar{P} : pluviométrie moyenne (mm)

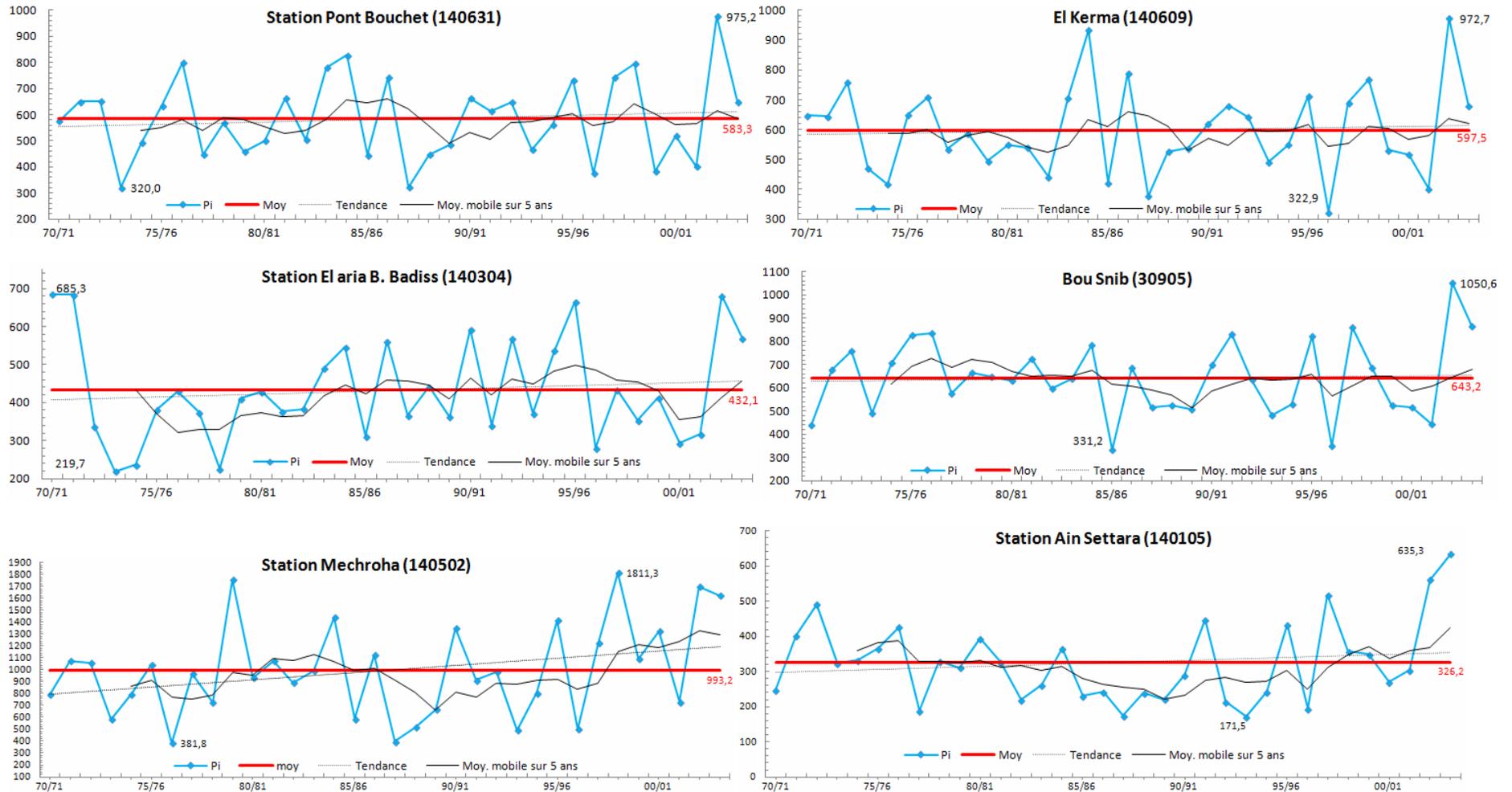


Figure 13 Variations interannuelles des précipitations (1970-2004)

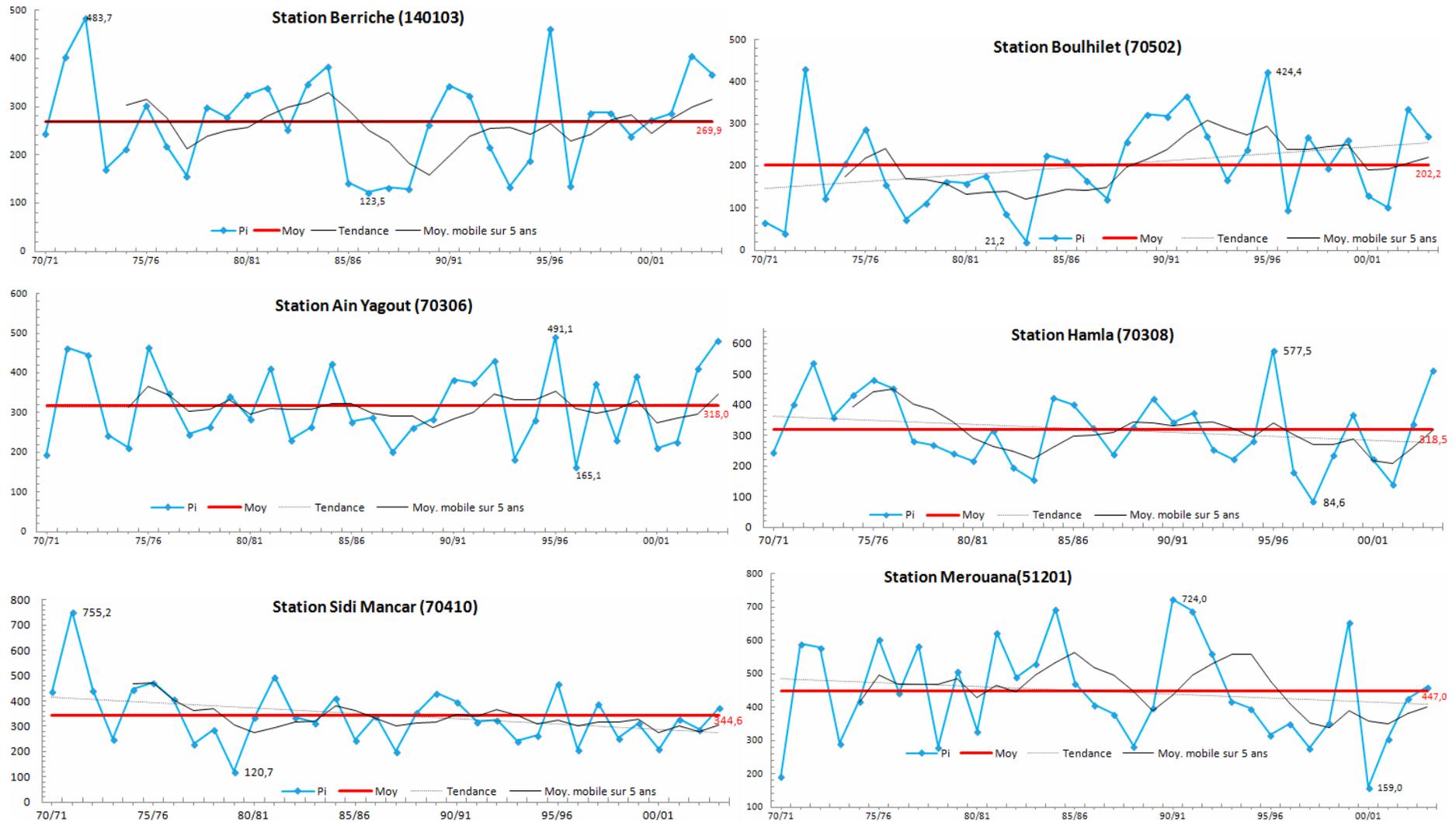


Figure 13 (suite) Variations interannuelles des précipitations (1970-2004)

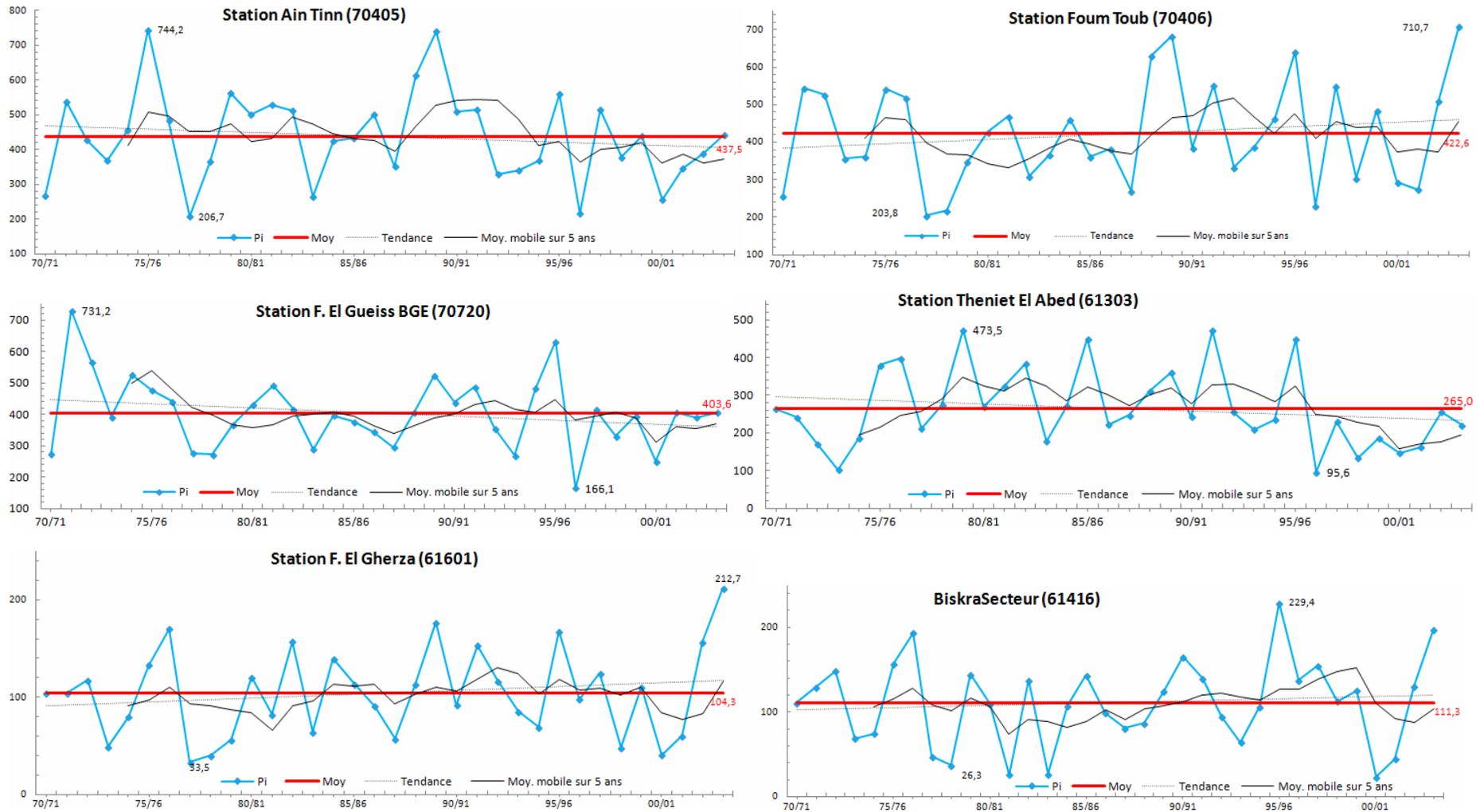


Figure 13 (suite) Variations interannuelles des précipitations (1970-2004)

Le premier groupe de coefficient est relativement élevé. Il s'agit des stations en zones arides et en domaine de transition semi-aride/aride (piémonts sud des Aurès et zone présaharienne) : Khanget Sidi Nadji (0,75), SIAR (0,55), M'Chouneche (0,52), Djemorah (0,50).

Le deuxième groupe rassemble les stations à variabilité irrégulière. Le CV varie entre 0,20 et 0,51 sur le versant nord des Aurès (Bouhmar 0,47, Foum El Gueiss 0,28, Ali Ben Tenoun 0,40 et Tazoult 0,29) et un net contraste est observé sur les hauts plateaux (Ain Diss 0,23, Oum El Bouaghi 0,24, Fkirina 0,38 et Boulhilet 0,51).

Le troisième groupe de station possède un coefficient de variation sensiblement faible par rapport à l'ensemble, ceci est lié à la proximité du littoral : Berrahal (0,19), El Karma (0,25), Bou Snib (0,25), Ain Berda (0,26), Boukhamouza (0,26).

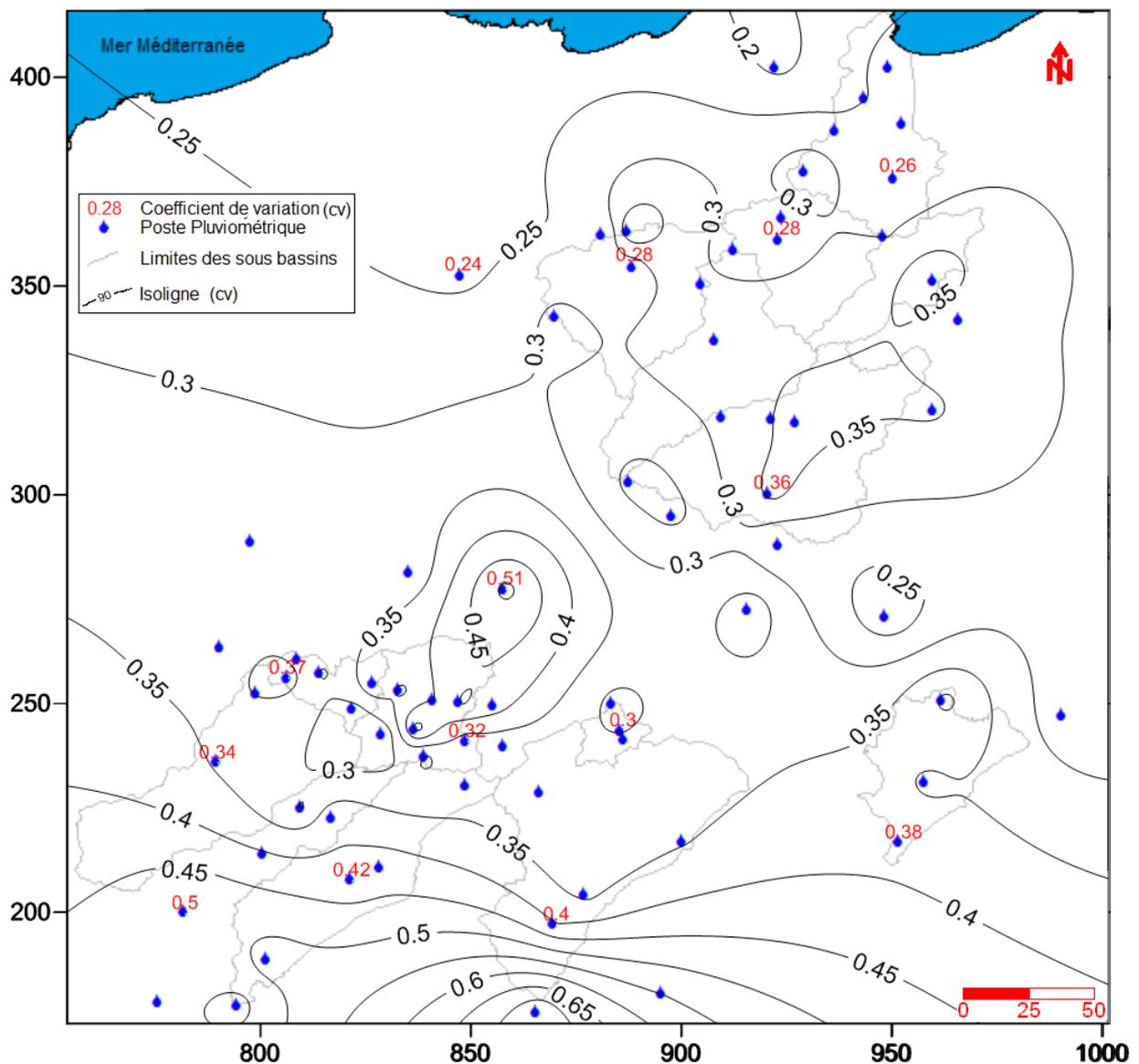


Figure 14 Esquisse des isolignes de coefficient de variation

Tableau 04 Moyenne, écart-type, et coefficient de variation des séries Pluviométriques (1970-2004)

Station		Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juit.	Août	année
Ain El Kleb (30904)	\bar{P}	30,5	36,6	60,4	83,7	87,4	70,5	75,1	66	31,3	10,5	2,7	3,4	557,9
	δ	23,9	36,7	71,9	59,8	62,6	48,8	81,9	61	33,9	14	8,8	6,4	223,5
	c.v	0,78	1,00	1,19	0,71	0,72	0,69	1,09	0,92	1,08	1,33	3,26	1,88	0,40
Bou Snib (30905)	\bar{P}	31,2	58,5	79,1	92	89,9	72,3	70,5	70,1	48,9	15,7	3,7	11,2	643,2
	δ	23,8	40,1	58,7	69,6	56,7	48,5	38,8	46,6	40,2	16,4	6,4	14,7	163,5
	c.v	0,76	0,69	0,74	0,76	0,63	0,67	0,55	0,66	0,82	1,04	1,73	1,31	0,25
Berrahal (31302)	\bar{P}	24,9	69	92,2	116,7	98,7	77,1	61,8	60,3	39,7	11,1	2,7	7,8	661,9
	δ	17,4	44	52,3	52,4	41	45,8	31,9	33,3	23,2	11,3	3,4	11,9	123,8
	c.v	0,70	0,64	0,57	0,45	0,42	0,59	0,52	0,55	0,58	1,02	1,26	1,53	0,19
Merouana (51201)	\bar{P}	44,1	43,2	51	50,5	44,2	44,1	41,9	42,7	37,9	24	9,7	13,6	447
	δ	28,5	26	30,1	30,1	23,9	23,7	25,6	25	27,7	14,8	9	20,5	147,4
	c.v	0,65	0,60	0,59	0,60	0,54	0,54	0,61	0,59	0,73	0,62	0,93	1,51	0,33
Ain touta (61203)	\bar{P}	24,2	28	32,6	27	26,1	14,9	20,5	18,6	27	20,5	8,4	4,7	251,5
	δ	16,9	42	26,1	16,2	23,5	11,9	16,4	11,2	27	20,5	13,4	5,2	86,5
	c.v	0,70	1,50	0,80	0,60	0,90	0,80	0,80	0,60	1,00	1,00	1,60	1,11	0,34
Oued chelih (61211)	\bar{P}	36,4	26,2	33,9	36,8	29,6	28,8	33,3	32,8	26,8	13,3	4,7	15,4	317,9
	δ	28,5	26	30,1	30,1	23,9	23,7	25,6	25	27,7	14,8	9	20,5	111,9
	c.v	0,78	0,99	0,89	0,82	0,81	0,82	0,77	0,76	1,03	1,11	1,91	1,33	0,35
Bouzina (61302)	\bar{P}	36,4	36,3	25,9	25,9	16,7	25,3	26,9	28,2	26,6	14,8	3,1	13,2	279,2
	δ	26,6	53,9	20,3	15,7	14,6	21,5	22	16,2	26,5	14,2	4,9	13,9	83,1
	c.v	0,73	1,48	0,78	0,61	0,87	0,85	0,82	0,57	1,00	0,96	1,58	1,05	0,30
Theniet El Abed (61303)	\bar{P}	39,7	26,4	22,1	25,6	16,6	22,6	29,9	27,7	21,9	16,2	3,9	12,6	265
	δ	38,8	25,6	23	21,7	16,9	28,4	41,6	24,6	22,9	20,5	8,5	15,1	103,4
	c.v	0,98	0,97	1,04	0,85	1,02	1,26	1,39	0,89	1,05	1,27	2,18	1,20	0,39
Menaâ (61304)	\bar{P}	28,4	22,6	25,2	20,1	20,9	21,1	24,3	22,2	20,5	12	2,7	7,6	227,5
	δ	25,6	20,3	26	17,8	23,4	20,8	24,3	17,1	27,1	15,8	8,7	9,1	92
	c.v	0,90	0,90	1,03	0,89	1,12	0,99	1,00	0,77	1,32	1,32	3,22	1,20	0,40
Djemorah (61305)	\bar{P}	11	9,9	15,9	9,9	17,3	15,3	12,3	15,5	13,8	4,6	0,9	5	131,4
	δ	15,3	14,9	17,4	9	29,6	17,7	14,4	21,5	21,7	7,8	3	9,1	65,6
	c.v	1,39	1,51	1,09	0,91	1,71	1,16	1,17	1,39	1,57	1,70	3,33	1,82	0,50
Biskra Secteur (61416)	\bar{P}	12,4	9,7	15,6	8,9	14,6	5,9	13,4	12,7	8,2	5,5	0,6	3,7	111,3
	δ	15,8	12,1	16	8,6	22,1	7,9	15,2	19,9	13,1	7,9	1,3	6,7	51
	c.v	1,27	1,25	1,03	0,97	1,51	1,34	1,13	1,57	1,60	1,44	2,17	1,81	0,46
Medina lanasser (61503)	\bar{P}	45,5	36	44	38	36,9	30,6	41,6	38,3	40	25,1	8,9	33,8	418,7
	δ	39,7	25,2	37,7	30,7	25,7	27,5	28,6	28,8	32,5	27,6	14,4	35,2	140,6
	c.v	0,87	0,70	0,86	0,81	0,70	0,90	0,69	0,75	0,81	1,10	1,62	1,04	0,34
Tkout (61505)	\bar{P}	30,9	26	27,4	19,9	20,6	19,2	29,1	23,6	26,3	19,3	6	19,5	267,8
	δ	24,2	22,6	20,8	18	18,7	19,7	30,8	18,9	33,6	18,7	9,8	22,9	114,4
	c.v	0,78	0,87	0,76	0,90	0,91	1,03	1,06	0,80	1,28	0,97	1,63	1,17	0,43
M'Chouneche (61506)	\bar{P}	17,9	12,2	13	9,4	9	10,9	12,3	11,5	10,2	6,6	2,6	7,5	123,1
	δ	25,1	18,3	14,3	8,5	15,3	13,1	14,8	16,1	16,3	11,2	8,3	13,5	64,2
	c.v	1,40	1,50	1,10	0,90	1,70	1,20	1,20	1,40	1,60	1,70	3,19	1,80	0,52
Tifelfel (61511)	\bar{P}	17,3	15,5	14,7	12,4	11,3	15,7	13,4	16	12	7,2	1,8	14	151,4
	δ	15,9	23	11,8	11,7	11,1	12	14,1	12	14,5	11,4	3,3	23,2	63,2
	c.v	0,92	1,48	0,80	0,94	0,98	0,76	1,05	0,75	1,21	1,58	1,83	1,66	0,42
F. El Gherza (61601)	\bar{P}	10,2	9,7	15,3	7,2	11,8	8,7	13,6	11,5	7,3	4,7	0,6	3,8	104,3
	δ	12	10,8	17,2	7,7	21,1	10,1	18,5	15,6	10,5	8,5	1,7	8,3	45,1
	c.v	1,18	1,11	1,12	1,07	1,79	1,16	1,36	1,36	1,44	1,81	2,83	2,18	0,43
Boudella (61802)	\bar{P}	21,6	25,2	20,5	13,1	13,1	15,7	27,3	24,5	25,4	10,3	4,6	10,2	211,5
	δ	19,2	22,8	20,3	12,4	15,8	15,8	24,8	23,3	26,3	10,2	7,9	10,5	72,4
	c.v	0,89	0,90	0,99	0,95	1,21	1,01	0,91	0,95	1,04	0,99	1,72	1,03	0,34

Tableau 04 (suite) Moyenne, écart-type, et coefficient de variation des séries Pluviométriques (1970-2004)

Station		Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juit.	Août	année
Bouhmama (61803)	\bar{p}	37,6	31,9	40,4	33,8	37,8	34,2	42,8	32,8	34,1	25,5	16,3	22	388
	δ	37,2	23,6	33,1	33	39,4	29,4	27,8	31,5	26,9	26	27,3	27,5	123,6
	c.v	0,99	0,74	0,82	0,98	1,04	0,86	0,65	0,96	0,79	1,02	1,67	1,25	0,32
Babar (61804)	\bar{p}	35,8	28,2	26,6	18,4	19,3	23,4	33,6	24,7	30,4	22,6	13,9	21	297,8
	δ	33,9	25,1	25,1	15,9	19,6	22,9	28,3	19,6	31,8	22,2	18,5	24,5	103,5
	c.v	0,95	0,89	0,94	0,86	1,02	0,98	0,84	0,79	1,05	0,98	1,33	1,17	0,35
Kheirane (61805)	\bar{p}	25,8	25,1	25,1	13,6	13,4	16,5	23	17,8	26,5	13,6	3,9	7,8	212,1
	δ	23,4	23,8	28,9	17,5	20,1	16,6	25,1	15,9	34,5	16,1	7,7	13,3	84,8
	c.v	0,91	0,95	1,15	1,29	1,50	1,01	1,09	0,89	1,30	1,18	1,97	1,71	0,40
Khangat Sidi Nadji (61806)	\bar{p}	6,1	9,5	4,9	4	6,2	3	2,4	4,5	4,7	1,7	0,3	2,2	49,5
	δ	7,9	11,2	6,7	6,8	19,2	5,3	3,6	6,8	7,8	3,2	1,4	6,4	37,2
	c.v	1,30	1,18	1,37	1,70	3,10	1,77	1,50	1,51	1,66	1,88	4,67	2,91	0,75
SIAR (62002)	\bar{p}	6,6	12,2	9,2	5,3	7	7,2	8,1	9,6	5,4	4,5	1,7	1,2	75
	δ	6,5	16,2	9,6	8	10,5	10,9	9,5	10,9	7,3	7,9	7,5	2,3	41,2
	c.v	0,98	1,33	1,04	1,51	1,50	1,51	1,17	1,14	1,35	1,76	4,41	1,92	0,55
Chéria (62301)	\bar{p}	35,3	27,9	21,3	19,3	25,2	20,5	32,2	19,5	34,8	28,1	9,5	20	293,7
	δ	25	20,4	20,2	19	28	17,2	26,3	14,7	30,7	29,2	9,7	14	100,7
	c.v	0,71	0,73	0,95	0,98	1,11	0,84	0,82	0,75	0,88	1,04	1,02	0,70	0,34
Ain Troubia (62307)	\bar{p}	24	21,7	25,1	19,5	22,9	19,6	31,6	22,5	27,2	21,4	4,4	14,4	254,2
	δ	21,9	20,1	22,4	16,1	26,1	21,8	29,4	18,9	33,8	34,3	7,2	16,7	104,7
	c.v	0,91	0,93	0,89	0,83	1,14	1,11	0,93	0,84	1,24	1,60	1,64	1,16	0,41
Ain Babouche (62308)	\bar{p}	20	16	15,5	12	10,9	14,7	19,7	13,4	20,9	14,7	5,5	6,2	169,5
	δ	17,2	11	13,7	11,7	12	19	22,1	11,7	20,2	16,5	12,1	7,4	64,8
	c.v	0,86	0,69	0,88	0,98	1,10	1,29	1,12	0,87	0,97	1,12	2,20	1,19	0,38
Ain djasser (70201)	\bar{p}	29,3	23,3	21,8	26,3	24,1	20,2	23,6	29,9	32,8	13,4	4,4	12	260,9
	δ	25,9	26	21	28,9	23,9	19,9	17,4	21,6	28,2	17	10,4	15,7	90,4
	c.v	0,88	1,12	0,96	1,10	0,99	0,99	0,74	0,72	0,86	1,27	2,36	1,31	0,35
Tazoult (70303)	\bar{p}	29,9	30,2	37,2	30,5	35,7	31,1	38,2	34	36,8	19,9	4,1	18,4	346
	δ	22,5	26,1	33,9	22,6	30,6	23,1	27,1	25,2	31	17	6,5	25,1	99,1
	c.v	0,75	0,86	0,91	0,74	0,86	0,74	0,71	0,74	0,84	0,85	1,59	1,36	0,29
Ali ben tenoun (70304)	\bar{p}	32,4	25,5	27,2	35,5	32,5	22,6	38,4	30,2	33,1	18,4	6,6	13,1	315,7
	δ	28,4	25,2	22,6	30,9	37,1	20,5	31,8	26,7	30,7	21,6	13,9	14,3	126,7
	c.v	0,88	0,99	0,83	0,87	1,14	0,91	0,83	0,88	0,93	1,17	2,11	1,09	0,40
Ain yagout (70306)	\bar{p}	33,5	26,5	26	30,1	28,5	23,9	36,2	32,8	40,7	20,3	4,5	14,9	318
	δ	25,9	25,4	24,7	24,9	25,7	21	26,6	23,8	37,2	18,2	6,7	19,8	98,3
	c.v	0,77	0,96	0,95	0,83	0,90	0,88	0,73	0,73	0,91	0,90	1,49	1,33	0,31
Hamla (70308)	\bar{p}	30,4	25	36	31,9	36,5	34,2	33,3	33,5	29,6	15,9	2,3	9,8	318,5
	δ	25	26	28	23,1	31,1	33,4	30,5	25,3	27	15,6	4,9	14,7	118,5
	c.v	0,82	1,04	0,78	0,72	0,85	0,98	0,92	0,76	0,91	0,98	2,13	1,50	0,37
Seguene (70309)	\bar{p}	43	36	49,2	50,6	46,1	38,4	56	46,2	43,6	23,8	8,7	14,8	456,3
	δ	30,7	32,2	49,6	41,3	36	30,2	46	32,5	39,9	28,2	15,7	19,2	151,5
	c.v	0,71	0,89	1,01	0,82	0,78	0,79	0,82	0,70	0,92	1,18	1,80	1,30	0,33
Batna ferme exp. (70316)	\bar{p}	42,9	28,9	36,1	35,2	34,5	28,4	39,5	37,3	38,8	22,8	8	15,7	367
	δ	33,1	24,8	29,4	26	29,7	22	27,7	28,1	29,4	21,8	12,9	14,6	107,8
	c.v	0,77	0,86	0,81	0,74	0,86	0,77	0,70	0,75	0,76	0,96	1,61	0,93	0,29
Reboa (70403)	\bar{p}	28,4	19,2	22,3	24,7	23,6	19	35,1	23,7	32,8	19,2	5,5	8,3	261,7
	δ	25,9	19	20,6	26,9	19,6	13,3	29,1	18,9	25,8	22,3	7,4	10,4	119,3
	c.v	0,91	0,99	0,92	1,09	0,83	0,70	0,83	0,80	0,79	1,16	1,35	1,25	0,46
Ain Tinn (70405)	\bar{p}	45,8	39,4	47,1	39,2	35,2	30,7	53,6	41,7	40,7	25,8	10,6	27,8	437,5
	δ	32,4	31,6	42,1	30,9	31,1	21,7	38	28,1	33,3	21,3	16	32,6	129,1
	c.v	0,71	0,80	0,89	0,79	0,88	0,71	0,71	0,67	0,82	0,83	1,51	1,17	0,30

Tableau 04 (suite) Moyenne, écart-type, et coefficient de variation des séries Pluviométriques (1970-2004)

Station		Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juit.	Août	année
Foum Toub (70406)	\bar{P}	41,7	33,5	35,5	42,4	42,1	33,5	49,8	41	43,7	25,1	10,6	23,5	422,6
	δ	32	27,7	31,9	41,8	46,1	27,7	32	28,8	38,1	24,8	13,3	25,8	136,7
	c.v	0,77	0,83	0,90	0,99	1,10	0,83	0,64	0,70	0,87	0,99	1,25	1,10	0,32
Baiou (mechta) (70407)	\bar{P}	40,2	32	41,4	34,2	28,4	28,6	43,8	39,5	37,4	24,3	8	26,2	384,1
	δ	29,6	23,5	38,6	22,8	25,6	18,8	28	26,2	29,5	22	9,1	28,6	101,8
	c.v	0,74	0,73	0,93	0,67	0,90	0,66	0,64	0,66	0,79	0,91	1,14	1,09	0,27
Bouahmar (70408)	\bar{P}	21,7	24,7	27,2	33,7	26,1	24,8	39,6	30	25,5	18,4	4,4	11,5	287,5
	δ	25,7	27,7	28,4	34,2	28,4	21,9	41,1	30	30,9	24,4	7,9	19,3	135,7
	c.v	1,18	1,12	1,04	1,01	1,09	0,88	1,04	1,00	1,21	1,33	1,80	1,68	0,47
Timgad (70409)	\bar{P}	30	24,4	21,4	23,1	25,6	18,8	32,6	30,7	35,5	14	7,6	15,3	278,9
	δ	27,5	22,8	22,5	22	26,8	19,8	26,3	29,7	31,5	17,2	12,7	21,1	111,5
	c.v	0,92	0,93	1,05	0,95	1,05	1,05	0,81	0,97	0,89	1,23	1,67	1,38	0,40
Sidi Mancar (70410)	\bar{P}	33,7	34,1	31,3	29	37,4	27,3	38,1	36,5	36,6	21,9	6,2	12,5	344,6
	δ	34,37	38,34	26,81	20,99	38,6	26	31,81	38,72	34,8	31,62	9,24	17,82	116,7
	c.v	1,02	1,12	0,86	0,72	1,03	0,95	0,83	1,06	0,95	1,44	1,49	1,43	0,34
Boulhilet (70502)	\bar{P}	19,5	15,1	16,1	18,8	23,1	18,9	24,5	16,5	24,5	13,5	3,7	9,8	204
	δ	20,3	20,9	16,2	21,8	26,7	22,9	23,2	16,3	25,8	15,8	6,9	14,6	105
	c.v	1,04	1,38	1,01	1,16	1,16	1,21	0,95	0,99	1,05	1,17	1,86	1,49	0,51
Ain Diss (70504)	\bar{P}	37,2	30,4	34,5	24,7	29,7	40,2	43,9	48,1	42,9	27,1	11,3	17,8	387,8
	δ	21,4	23,5	21,8	11,5	10,6	24	16,2	26,2	29,1	18,3	16,9	16,2	90,9
	c.v	0,58	0,77	0,63	0,47	0,36	0,60	0,37	0,54	0,68	0,68	1,50	0,91	0,23
Yabous (70604)	\bar{P}	35,9	26,6	39,4	31,5	32,9	30,8	47	37,3	42	21,7	6,6	17,7	369,5
	δ	30	22,6	40,6	34,8	33,3	29,7	31,2	34,8	34,6	20,7	9,6	20,4	116,2
	c.v	0,84	0,85	1,03	1,10	1,01	0,96	0,66	0,93	0,82	0,95	1,45	1,15	0,31
Touffana (70605)	\bar{P}	28,6	20,9	22,4	22,1	25,7	19,8	31,2	26,5	34,1	17,3	4,6	12,7	265,8
	δ	26,8	24,2	21,5	25,1	31,3	20,1	26	22	29	22	8,3	14,2	112,5
	c.v	0,94	1,16	0,96	1,14	1,22	1,02	0,83	0,83	0,85	1,27	1,80	1,12	0,42
Tizi Ala (70703)	\bar{P}	47,6	34,7	46,8	47,2	35,7	40,8	44,7	46,3	47,6	26,1	14,6	20,6	452,7
	δ	32,9	24,1	21,8	20	17,9	16,5	15,5	14,8	14,3	14,1	15	14,9	143,1
	c.v	0,69	0,69	0,47	0,42	0,50	0,40	0,35	0,32	0,30	0,54	1,03	0,72	0,32
Ain Mimoun M.F (70704)	\bar{P}	35,2	38,6	42,6	38,6	35,8	37,2	55,1	43,2	45,9	22,3	11,6	25,1	431,2
	δ	27	30,2	31,8	39,5	36,9	30,7	40	35,5	35,5	24	13,7	28,5	127,3
	c.v	0,77	0,78	0,75	1,02	1,03	0,83	0,73	0,82	0,77	1,08	1,18	1,14	0,30
Ain Beida (70707)	\bar{P}	35,7	33,4	41,8	38,3	39,3	37,4	45,5	44	35,4	28,4	7,3	19	405,6
	δ	27	29,6	41	31,4	30,2	30,4	20,9	29,9	35,7	29,2	9,8	17,4	103,3
	c.v	0,76	0,89	0,98	0,82	0,77	0,81	0,46	0,68	1,01	1,03	1,34	0,92	0,25
Fkirina (70708)	\bar{P}	32,2	29,4	33,6	34,9	32,5	28,4	48,8	37,8	47,4	27,1	8,1	13,8	374,2
	δ	22,8	25	39,9	39,4	23,1	22	35,8	31,6	44,9	31,1	7,8	12,1	141,5
	c.v	0,71	0,85	1,19	1,13	0,71	0,77	0,73	0,84	0,95	1,15	0,96	0,88	0,38
Oum El Bouagui (70716)	\bar{P}	40,8	28	36,4	42,6	31,7	48,6	39,6	43,4	22,2	22,6	6,5	10,3	366,3
	δ	33,9	14,1	29,7	38,1	30,1	6,8	22,5	19,4	9,9	22,9	8,2	9,2	87,2
	c.v	0,83	0,50	0,82	0,89	0,95	0,14	0,57	0,45	0,45	1,01	1,00	0,89	0,24
F. El Gueiss BGE (70720)	\bar{P}	38	36	38,8	43,2	32,5	34,3	46,9	38,3	40,4	28,6	9,7	16,8	403,6
	δ	27,6	22	19,4	18,1	16,2	14,9	14,8	13,9	13,3	12,8	14,2	14,3	114,6
	c.v	0,73	0,61	0,50	0,42	0,50	0,43	0,32	0,36	0,33	0,45	1,46	0,85	0,28
Hamma Bouziane (100603)	\bar{P}	37,2	44,8	50,3	73,1	74,3	55,3	55,8	54,8	41,6	15,6	4,6	8,7	516,2
	δ	26,4	38,3	37,9	60,6	49,8	39,2	32	32,7	27,7	13,8	8,2	7,2	123,3
	c.v	0,7	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,9	1,8	0,8	0,24

Tableau 04 (suite) Moyenne, écart-type, et coefficient de variation des séries Pluviométriques (1970-2004)

Station		Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juit.	Aoû	année
Souk Ahras Subd (120101)	\bar{P}	30,8	37,6	54,9	68,3	80,4	71,1	71,7	57,9	40,6	15,5	7,4	19,1	555,3
	δ	29,4	31,7	51,6	68,1	73,3	43,3	50,3	47,7	38,8	21,2	14,3	29,1	166,1
	c.v	0,95	0,84	0,94	1,00	0,91	0,61	0,70	0,82	0,96	1,37	1,93	1,52	0,30
La Meskiana (120201)	\bar{P}	38,9	30,6	32,7	25,7	25,8	24,3	39,5	27,8	35,8	25,3	9,8	26,2	342,3
	δ	26,9	20,3	24,4	23,4	18,4	14,9	24,8	15,6	19,8	18,8	8,2	26,3	72,2
	c.v	0,69	0,66	0,75	0,91	0,71	0,61	0,63	0,56	0,55	0,74	0,84	1,00	0,21
Tebessa (120301)	\bar{P}	41,2	32,9	32,8	26,9	27,2	25,7	41,6	37,1	30,1	25,5	13,7	27,6	362,2
	δ	31,9	22,6	29,6	32	20,3	22	32,2	24,3	20,8	22,5	15	30,1	96,1
	c.v	0,77	0,69	0,90	1,19	0,75	0,86	0,77	0,65	0,69	0,88	1,09	1,09	0,27
M'Daourouch (120403)	\bar{P}	28,5	27,5	30,6	36	38,6	35,7	38	41,1	37,7	16,5	7,1	13,1	349,6
	δ	27,5	20,9	32	32	40,8	30,6	32	30	32,3	17,9	10,6	14,5	124,5
	c.v	0,96	0,76	1,05	0,89	1,06	0,86	0,84	0,73	0,86	1,08	1,49	1,11	0,36
Berriche (140103)	\bar{P}	23,1	20	20,9	29,2	31,3	25,6	28,2	29,3	27,6	14,9	7,7	12,2	269,9
	δ	27,2	16,2	21,4	29,9	26,4	25,6	22,8	30,3	27,1	14,5	9,2	12,9	98,5
	c.v	1,18	0,81	1,02	1,02	0,84	1,00	0,81	1,03	0,98	0,97	1,19	1,06	0,36
Ksar Sbahi (140104)	\bar{P}	20,6	23,6	26,7	46,9	46,8	36	44,5	40,3	42,9	17,6	6,1	8,2	360,1
	δ	26,1	18,9	23,2	51,9	39,7	32	26	32	32,7	19,4	9,9	8,6	113,2
	c.v	1,27	0,80	0,87	1,11	0,85	0,89	0,58	0,79	0,76	1,10	1,62	1,05	0,31
Ain Settara (14 01 05)	\bar{P}	31,8	24,1	27,5	39,3	37	25,8	32,1	35,6	39	16,5	7,7	10	326,2
	δ	30,1	19,4	29,8	42,5	36,2	19,2	21,7	27,5	28,8	20	15,5	10,7	114,6
	c.v	0,95	0,80	1,08	1,08	0,98	0,74	0,68	0,77	0,74	1,21	2,01	1,07	0,35
Ain Snob (14 01 06)	\bar{P}	26,1	36,2	22,3	37,8	57,7	39,7	30,5	40	26,9	14,8	2,8	8,5	343,4
	δ	21,2	28,6	18,5	29,4	66,1	27,7	21,7	22,2	17,8	13,4	3,8	8,6	122,9
	c.v	0,81	0,79	0,83	0,78	1,15	0,70	0,71	0,56	0,66	0,91	1,36	1,01	0,36
Ain Makhoulf (14 02 05)	\bar{P}	30,3	32,9	60,7	72,5	68	58,2	54,8	56,3	39,9	16,8	5,3	13,6	509,4
	δ	23,7	24,4	70,1	65	49,9	41	42,9	39	30,4	19,9	10,5	16,6	177,3
	c.v	0,78	0,74	1,15	0,90	0,73	0,70	0,78	0,69	0,76	1,18	1,98	1,22	0,35
Bordj Sabath (14 03 02)	\bar{P}	35,3	40,3	55	85,8	80,4	65,6	57,6	53	40,9	14,3	3,7	8,5	540,4
	δ	29,5	28,9	49,1	79,9	67,2	52,6	39,8	34,4	31,8	18,5	5,9	9,9	152,7
	c.v	0,84	0,72	0,89	0,93	0,84	0,80	0,69	0,65	0,78	1,29	1,59	1,16	0,28
El aria (B. Badiss) (14 03 04)	\bar{P}	12	34,7	35,3	53,5	78,7	53,3	46,4	52,1	42,2	13,4	4,4	6,1	432,1
	δ	20,2	22,9	26,4	47,4	63	40,6	23,2	44,2	37,4	19,5	6	8	134,5
	c.v	1,68	0,66	0,75	0,89	0,80	0,76	0,50	0,85	0,89	1,46	1,36	1,31	0,31
Ras El Akba (14 03 09)	\bar{P}	25	41,8	68,3	88,5	80,8	66,4	51,7	50,5	48,1	23,2	7,3	10,7	562,3
	δ	25,6	34,9	55,1	99,8	64,4	56,5	30,4	34,4	40,4	35	12,1	16,1	172,7
	c.v	1,02	0,83	0,81	1,13	0,80	0,85	0,59	0,68	0,84	1,51	1,66	1,50	0,31
Medjez Amar PV (14 03 13)	\bar{P}	40,5	46,9	64,1	81,8	85,4	67,2	54,9	56,2	43,5	21,6	4,8	9,9	576,7
	δ	31,8	34,9	57,8	70,9	57,7	53,2	28,8	36,7	33,4	24,6	8,3	12,6	158,2
	c.v	0,79	0,74	0,90	0,87	0,68	0,79	0,52	0,65	0,77	1,14	1,73	1,27	0,27
Heliopolis (14 04 03)	\bar{P}	34,1	52,7	62,5	85,2	87,7	69,6	61,1	60,5	41,4	16,6	4,4	8,3	584
	δ	26,6	40	54,1	68,6	58,5	53,7	45,6	45,6	32,8	18,9	9,1	12	169,1
	c.v	0,78	0,76	0,87	0,81	0,67	0,77	0,75	0,75	0,79	1,14	2,07	1,45	0,29
Guelma lycée MBM (14 04 12)	\bar{P}	29,7	47,6	59,8	78,2	67,3	61,6	58,1	53,5	45,7	14,8	3,3	9,2	526,4
	δ	20,9	33,1	46,7	54,8	41,1	46	35,6	37	34	17,9	5,8	12,5	146,3
	c.v	0,70	0,70	0,78	0,70	0,61	0,75	0,61	0,69	0,74	1,21	1,76	1,36	0,28
Mechroha (14 05 02)	\bar{P}	47,4	71,6	106	118,8	135,2	116,6	154,9	107,4	98,5	28,5	2,6	5,5	993,2
	δ	54,8	50,1	88,3	92,7	79,3	90,5	91,1	61,3	89,3	35,3	6,4	10,4	390,1
	c.v	1,16	0,70	0,83	0,78	0,59	0,78	0,59	0,57	0,91	1,24	2,46	1,89	0,39
Boucheouf (14 05 05)	\bar{P}	31,8	47,4	56,3	71,7	75,7	61,9	66,3	58,7	45,9	15,3	3,2	11,5	545,8
	δ	26	37,6	47,4	55,1	49	43,4	44,2	37,2	41,4	19,1	6,7	17,1	162,3
	c.v	0,82	0,79	0,84	0,77	0,65	0,70	0,67	0,63	0,90	1,25	2,09	1,49	0,30

Tableau 04 (suite) Moyenne, écart-type, et coefficient de variation des séries Pluviométriques (1970-2004)

Station		Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juit.	Août	année
Nechmeya (14 06 05)	\bar{P}	32,2	48,9	58,6	79,3	83	71,1	56,5	55,9	35,4	14,2	3,3	7,5	545,9
	δ	22,2	35,3	56	70,9	57,8	52,3	41,4	46,6	42,2	19	6,1	9,9	181,1
	c.v	0,69	0,72	0,96	0,89	0,70	0,74	0,73	0,83	1,19	1,34	1,85	1,32	0,33
Ain Berda (14 06 06)	\bar{P}	36,3	60,5	70,9	89,5	92,6	66,8	67,2	61,6	42,2	14,3	2,4	6,7	610,9
	δ	30,7	42,2	58,8	58,5	48,5	37,9	40,2	39,3	33,8	15,9	5,3	8,1	158,4
	c.v	0,85	0,70	0,83	0,65	0,52	0,57	0,60	0,64	0,80	1,11	2,21	1,21	0,26
Boukhamouza (14 06 07)	\bar{P}	36,8	60,2	74,2	91,7	96,7	72,6	71,9	67	40,1	18,2	2,8	8,7	641
	δ	31,1	53,1	71	68,2	47,9	53,7	54,4	44,3	31,3	20,6	5,8	12,4	165,4
	c.v	0,85	0,88	0,96	0,74	0,50	0,74	0,76	0,66	0,78	1,13	2,07	1,43	0,26
El Kerma 14 06 09 ()	\bar{P}	35,9	64,5	68,4	96,5	94,1	65,4	60	56,1	35,9	11	2,1	7,5	597,5
	δ	27	57,4	55,6	60	50,6	43,6	42	34,5	27,7	14,5	4,6	10,8	149,2
	c.v	0,75	0,89	0,81	0,62	0,54	0,67	0,70	0,61	0,77	1,32	2,19	1,44	0,25
Kef Mourad (14 06 11)	\bar{P}	25,5	48,1	66,8	87,1	81,7	65,4	63,4	59,9	39,4	13,7	1,4	6,9	559,2
	δ	20,2	41,7	55,4	63,9	49,2	41	44,7	44,6	28,3	15,6	3,6	8,4	155,1
	c.v	0,79	0,87	0,83	0,73	0,60	0,63	0,71	0,74	0,72	1,14	2,57	1,22	0,28
Pont Bouchet (14 06 31)	\bar{P}	30,7	59,4	79,8	89,3	87,4	66,7	57,4	55,4	33,5	13,2	2,1	8,5	583,3
	δ	27,8	47,9	59,2	56,7	44,9	45,9	35,6	35,1	24,5	14,1	4,6	12,8	158,2
	c.v	0,91	0,81	0,74	0,63	0,51	0,69	0,62	0,63	0,73	1,07	2,19	1,51	0,27

A.2 Ecart à la moyenne: Afin de caractériser la pluviosité propre à chaque année, il convient de tenir compte de " l'écart à la moyenne " correspondant à l'excédent ou au déficit de précipitations de l'année considérée, rapporté à la moyenne de 34 ans.

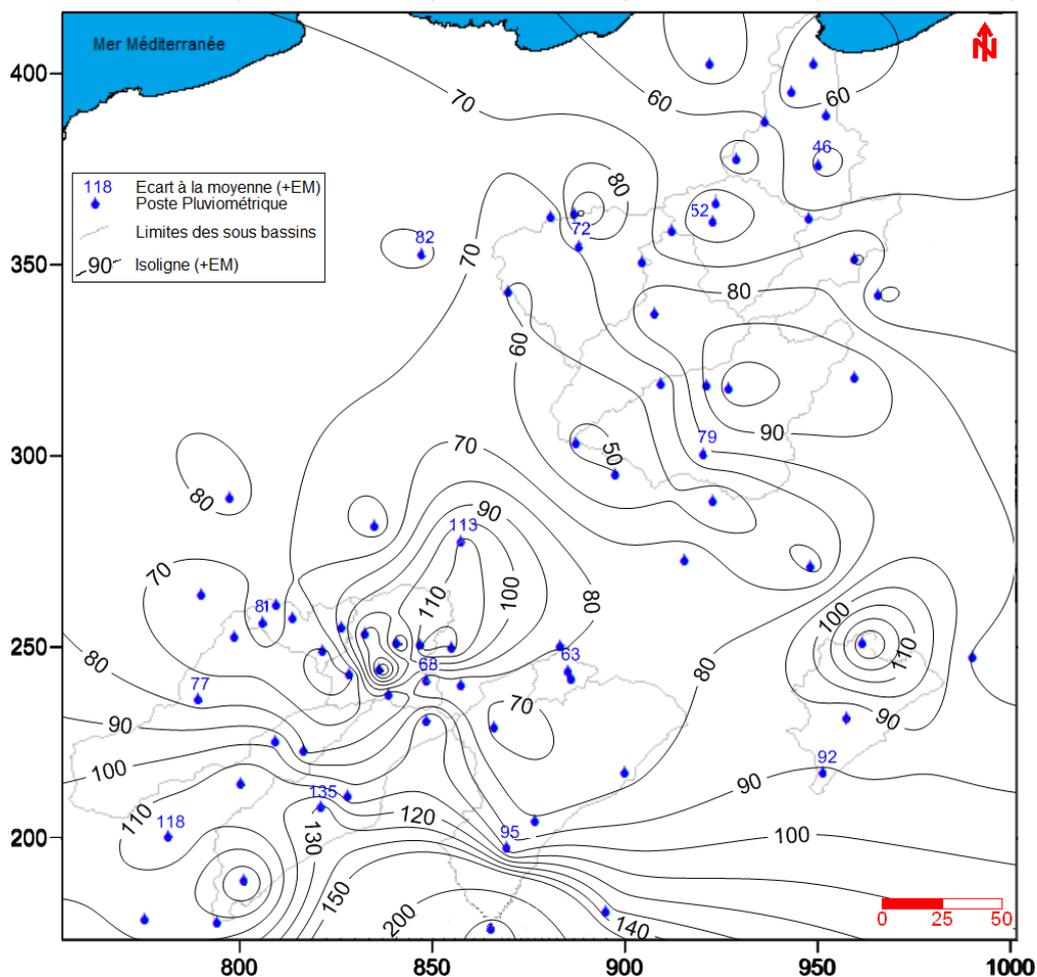


Figure 15 Ecart à la moyenne des précipitations annuelle extrêmes humides (1970-2004)

Nous avons relevé toutes les années pluviométriques extrêmes humides et sèches. D'après le tableau 05, l'année la plus sèche de la série était 2000/01 dans huit stations avec un déficit pluviométrique entre -34% à Berrahal et -79% à Biskra. Par contre l'année 2002/03 a été l'année la plus humide dans seize (16) stations avec un excédent entre 42% à Berrahal et 301% à Khanguet Sidi Nadji. Pour l'ensemble des stations l'écart à la moyenne des années hyper-humides ou hyper sèches est très élevé (34% à 301%).

De même que le coefficient de variation, l'écart à la moyenne⁽¹⁾ de ces années extrêmes sèches et humides est très élevé dans le sud (piémont méridional des Aurès et la zone présaharienne). Il est moins atténué sur le versant nord des Aurès et les hauts plateaux, et faible sur la plaine littorale. Cependant, de nombreux contrastes spatiaux ont été décelés dans plusieurs stations au milieu de chaque domaine climatique (Figures 15 et 16).

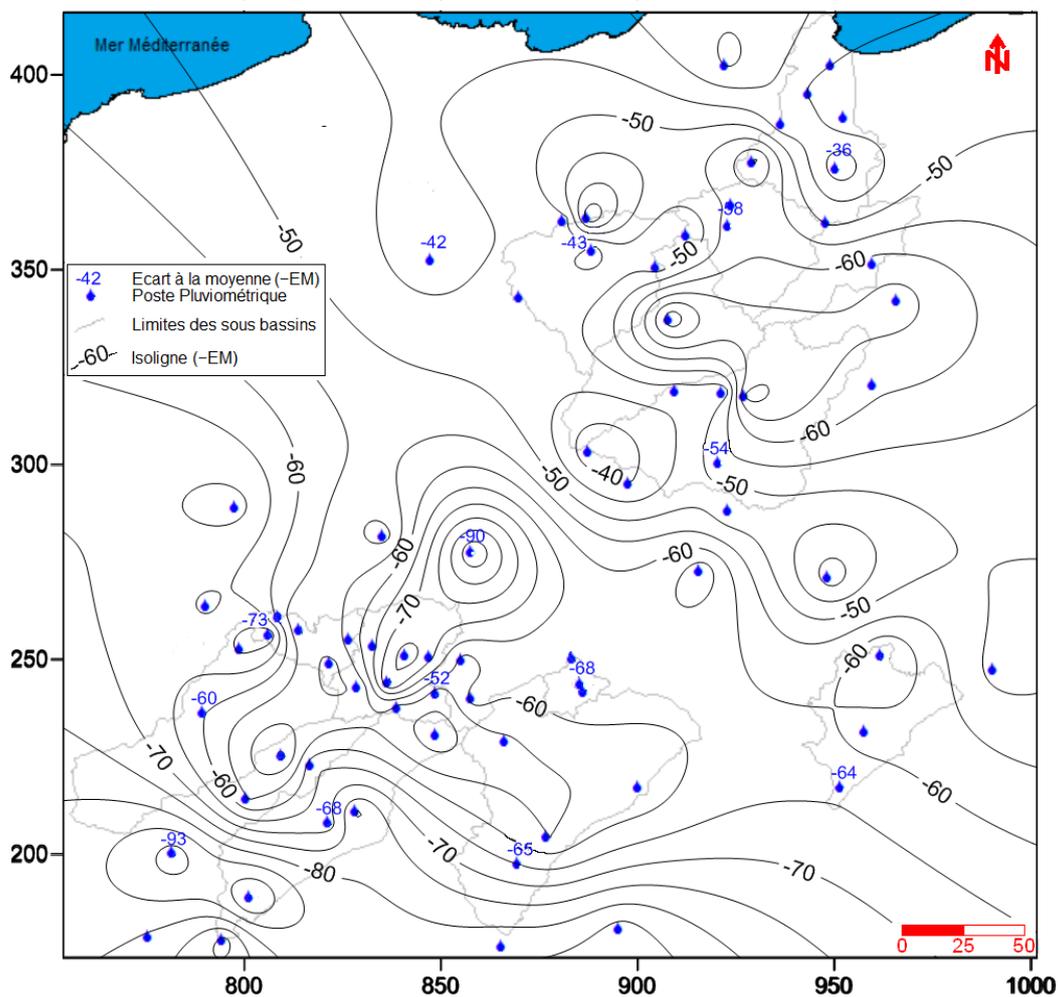


Figure 16 Ecart à la moyenne des précipitations annuelle extrêmes sèches (1970-2004)

⁽¹⁾ : $e_i = \frac{P_i - P_m}{P_m} \cdot 100$ (en %) ; P_i : pluie moyenne de l'année extreme i (mm) ; P_m : pluie moyenne interannuelle (mm)

Tableau 05 Ecart à la moyenne des précipitations annuelle extrêmes (1970-2004)

Station	Moy. annuelle (1970- 2004) (Pm)	Année sèche extrême	Pi	Ecart à la moyenne (e _i)	Année humide extrême	Pi	Ecart à la moyenne (e _i)	(max-min)
Ain El Kleb	557,9	1981/82	169,0	-70	1983/84	1134,6	103	965,6
Bou Snib	643,2	1985/86	331,2	-49	2002/03	1050,6	63	719,4
Berrahal	661,9	2000/01	433,6	-34	2002/03	937,7	42	504,1
Merouana	447,0	2000/01	159,0	-64	2000/01	724,0	62	565
Ain touta	251,5	1992/93	100,0	-60	1971/72	444,7	77	344,7
Oued chelih	317,9	1998/99	93,3	-71	1971/72	516,5	62	423,2
Bouzina	279,2	2000/01	156,1	-44	1995/96	553,6	98	397,5
Themiet El Abed	265,0	1996/97	95,6	-64	1979/80	473,5	79	377,9
Menaâ	227,5	1998/99	102,4	-55	1995/96	502,7	121	400,3
Djemorah	131,4	1971/72	9,5	-93	1995/96	285,9	118	276,4
BiskraSecteur	111,3	2000/01	22,9	-79	1995/96	229,4	106	206,5
Medina lanasser	418,7	1995/96	225,1	-46	2002/03	896,4	114	671,3
Tkout	267,8	1973/74	51,5	-81	1995/96	552,2	106	500,7
M'Chouneche	123,1	1974/75	3,2	-97	1995/96	219,5	78	216,3
Tifelfel	151,4	1986/87	48,0	-68	1995/96	356,3	135	308,3
F. El Gherza	104,3	1977/78	33,5	-68	2003/04	212,7	104	179,2
Boudella	211,5	1998/99	96,0	-55	1995/96	387,9	83	291,9
Bou hmama	388,0	1978/79	178,7	-54	1970/71	642,2	66	463,5
Babar	297,8	2000/01	129,7	-56	2003/04	531,0	78	401,3
Kheirane	212,1	1970/71	74,8	-65	2003/04	414,6	95	339,8
Kh Sidi Nadji	49,5	1996/97	7,8	-84	2002/03	198,1	301	190,3
SIAR	75,0	1980/81	9,2	-88	192/73	175,4	134	166,2
Chéria	293,7	2000/01	122,9	-58	1972/73	523,4	78	400,5
Ain Troubia	254,2	2000/01	86,6	-66	1975/76	617,7	143	531,1
Ain Babouche	169,5	2001/02	60,7	-64	1990/91	324,8	92	264,1
Ain djasser	260,9	1971/72	73,8	-72	2003/04	481,2	84	407,4
Tazoult	346,0	1977/78	176,3	-49	1995/96	547,8	58	371,5
Ali ben tenoun	315,7	1979/80	131,5	-58	1995/96	590,0	87	458,5
Ain yagout	318,0	1996/97	165,1	-48	1995/96	491,1	54	326
Hamla	318,5	1997/98	84,6	-73	1995/96	577,5	81	492,9
Seguene	456,3	2001/02	195,6	-57	1975/76	785,0	72	589,4
Batna ferme exp.	367,0	1993/94	185,8	-49	2003/04	603,8	65	418
Reboa	261,7	1996/97	78,7	-70	1975/76	587,7	125	509
Ain Tinn	437,5	1977/78	206,7	-53	1975/76	744,2	70	537,5
Foum Toub	422,6	1977/78	203,8	-52	2003/04	710,7	68	506,9
Baiou (mechta)	384,1	2000/01	187,1	-51	1995/96	615,1	60	428
Bouahmar	287,5	1970/71	69,2	-76	2003/04	704,1	145	634,9
Timgad	278,9	1977/78	61,5	-78	1972/73	491,8	76	430,3
Sidi Mancar	344,6	1979/80	120,7	-65	1971/72	755,2	119	634,5
Boulhilet	202,2	1983/84	21,2	-90	1972/73	430,5	113	409,3
Ain Diss	387,8	1982/83	248,0	-36	1991/92	569,8	47	321,8
Yabous	369,5	1996/97	138,8	-62	1971/72	626,2	69	487,4
Touffana	265,8	1996/97	111,3	-58	1972/73	583,9	120	472,6
Tizi Ala	452,7	1996/97	161,5	-64	1971/72	812,9	80	651,4
Ain Mimoun	431,2	1996/97	139,9	-68	1989/90	704,4	63	564,5
Ain Beida	405,6	1993/94	218,2	-46	2002/03	609,8	50	391,6
Fkirina	338,1	1996/97	107,6	-68	1971/72	604,9	79	497,3
Oum El Bouagui	366,3	1974/75	218,8	-40	2002/03	551,2	50	332,4
F. El Guéiss	403,6	1996/97	166,1	-59	1971/72	731,2	81	565,1
H. Bouziana	516,2	2001/02	297,4	-42	1984/85	941,6	82	644,2

Tableau 05 (suite) Ecart à la moyenne des précipitations annuelle extrêmes (1970-2004)

Station	Moy. annuelle (1970- 2001) (Pm)	Année sèche extrême	Pi	Ecart à la moyenne (e _i)	Année humide extrême	Pi	Ecart à la moyenne (e _i)	(max-min)
Souk Ahras Subd	547,0	1987/88	181,3	-67	1983/84	856,4	57	675,1
La Meskiana	342,3	1983/84	214,4	-37	2002/03	536,3	57	321,9
Tebessa	353,8	1993/94	185,0	-48	1995/96	624,0	76	439
M'Daourouch	349,6	1985/86	135,2	-61	2002/03	700,0	100	564,8
Berriche	269,9	1986/87	123,5	-54	1972/73	483,7	79	360,2
Ksar Sbahi	360,1	1973/74	186,6	-48	2003/04	593,1	65	406,5
Ain Settara	326,2	1993/94	171,5	-47	2003/04	635,3	95	463,8
Ain Snob	343,4	1974/75	94,8	-72	1972/73	707,8	106	613
Ain Makhlouf	509,4	1996/97	105,9	-79	1998/99	971,8	91	865,9
Bordj Sabath	540,4	1996/97	309,1	-43	2002/03	928,5	72	619,4
El aria	432,1	1973/74	219,7	-49	1970/71	685,3	59	465,6
Ras El Akba	562,3	1996/97	299,4	-47	2003/04	965,4	72	666
Medjez Amar	576,7	1996/97	316,1	-45	2002/03	935,9	62	619,8
Heliopolis	584,0	1996/97	257,3	-56	1983/84	903,9	55	646,6
Guelma lycée	526,4	1973/74	222,6	-58	2002/03	802,0	52	579,4
Mechroha	993,2	1976/77	381,8	-62	1998/99	1811,3	82	1429,5
Boucheouf	545,8	1973/74	279,3	-49	2002/03	883,2	62	603,9
Nechmeya	545,9	2001/02	186,3	-66	1986/87	972,9	78	786,6
Ain Berda	610,9	1979/80	367,1	-40	2002/03	973,0	59	605,9
Boukhamouza	641,0	1988/89	411,3	-36	1998/99	935,2	46	523,9
El Kerma	597,5	1996/97	322,9	-46	2002/03	972,7	63	649,8
Kef Mourad	559,2	1989/90	279,4	-50	2002/03	879,0	57	599,6
Pont Bouchet	583,3	1973/74	320,0	-45	2002/03	975,2	67	655,2

A.3 Indice de précipitation standardisé⁽¹⁾ (IPS). C'est un indice simple, puissant et souple à la fois basé sur des données pluviométriques et il permet tout aussi bien de vérifier les périodes/cycles humides que les périodes/cycles secs (McKee et al, 1993 ; 1995, Jouilil I. et al, 2013).

En utilisant les seuils de sécheresse présentés ci-dessous (tableaux 06), on a pu déterminer pour chacune des stations étudiées les fréquences des années sèches, normales et humides durant la période étudiée au niveau des 73 stations. Ceci nous a permis de constater un minimum de 3% d'années fortement humides et un maximum de 24% aux postes Reboa et Heliopolis respectivement. La fréquence des années de forte sécheresse varie entre 0% à Medina et 26% à Ain EL Kleb.

Les sécheresses extrêmes sont presque rares (le maximum est enregistré à la station de Souk Ahras avec 6% d'années extrêmement sèche) contre un nombre d'années relativement important de la classe de l'humidité extrême (le maximum est marquer à la station de Ras El Akba avec 9 % d'années extrêmement humides). Les années normales, à humidité modérée ou à sécheresse modérée représentent un minimum de 56% à Foum El Guerza sous un climat saharien et un maximum de 91% à Medina sous un forçage orographique très net (1570 m d'altitude).

⁽¹⁾: $SPI = (Pi - Pm)/\sigma$; Pi : Précipitations de l'année i ; Pm : Précipitation moyenne ; σ : écart- type

Tableau 06 Fréquence (%) des années sèches, normales et humides dans 73 postes pluviométriques (période : 1970-2004)

N°	Station	Degré de la sécheresse						
		H.E	H.F	H.M	N	S.M	S.F	S.E
1	Ain El Kleb	3	12	32	3	23	26	0
2	Bou Snib	0	6	38	6	44	6	0
3	Berrahal	3	9	35	6	29	18	0
4	Merouana	0	18	26	3	32	18	3
5	Ain touta	6	12	21	6	41	15	0
6	Oued chelih	0	21	26	0	35	15	3
7	Bouzina	3	12	26	6	41	12	0
8	Theniet El Abed	3	15	15	6	47	15	0
9	Menaâ	6	6	32	3	32	21	0
10	Djemorah	6	6	26	3	50	9	0
11	BiskraSecteur	3	9	35	9	26	18	0
12	Medina lanasser	0	9	35	6	50	0	0
13	Tkout	6	6	29	6	44	9	0
14	M'Chouneche	0	18	32	0	26	24	0
15	Tifelfel	6	9	24	3	50	6	3
16	F. El Gherza	3	18	26	6	23	24	0
17	Boudella	9	6	29	6	35	15	0
18	Bou hmama	3	15	21	6	38	18	0
19	Babar	6	12	26	3	32	21	0
20	Kheirane	3	9	38	3	23	24	0
21	Khangat Sidi Nadji	3	6	24	3	50	15	0
22	SLAR	6	6	26	0	47	15	0
23	Chéria	3	9	38	0	32	18	0
24	Ain Troubia	3	9	35	3	26	24	0
25	Ain Babouche	3	15	32	6	20	24	0
26	Ain djasser	3	15	29	3	29	18	3
27	Tazoult	3	18	18	6	38	18	0
28	Ali ben tenoun	3	15	24	0	38	21	0
29	Ain yagout	0	21	24	0	38	18	0
30	Hamla	3	12	35	3	32	12	3
31	Seguene	3	12	38	0	29	18	0
32	Batna ferme exp,	3	15	26	0	38	18	0
33	Reboa	9	3	24	6	38	21	0
34	Ain Tinn	6	3	35	6	35	15	0
35	Foum Toub	3	9	32	3	35	18	0
36	Baiou (mechta)	3	15	29	0	35	15	3
37	Bouahmar	3	9	35	3	35	15	0
38	Timgad	0	15	35	0	29	18	3
39	Sidi Mancar	3	9	29	3	41	15	0
40	Boulhilet	6	12	26	3	32	21	0
41	Ain Diss	0	21	24	3	38	15	0
42	Yabous	3	15	29	0	38	12	3
43	Touffana	3	12	24	9	38	15	0
44	Tizi Ala	6	9	24	9	41	9	3
45	Ain Mimoun M.F	3	15	24	6	32	18	3
46	Ain Beida	0	15	24	3	41	18	0
47	Fkirina	3	9	35	3	32	15	3
48	Oum El Bouagui	3	15	21	3	41	18	0
49	f. El Gueiss BGE	3	12	26	9	26	21	3
50	Hamma Bouziana	3	9	38	3	26	21	0

H.E : Humidité extrême ($IPS > 2$), **H.F**: Humidité forte ($1 < IPS < 2$), **H.M**: Humidité modérée ($0 < IPS < 1$), **N** : année normale, **S.M**: Sécheresse modérée ($-1 < IPS < 0$), **S.F**: Sécheresse forte ($-2 < IPS < -1$), **S.E**: Sécheresse extrême ($IPS < -2$).

Tableau 06 (suite) Fréquence (%) des années sèches, normales et humides dans 73 postes pluviométriques (période : 1970-2004)

N°	Station	Degré de la sécheresse						
		H.E	H.F	H.M	N	S.M	S.F	S.E
51	Souk Ahras Subd	0	15	38	3	23	15	6
52	La Meskiana	3	9	29	3	41	15	0
53	Tebessa	3	6	32	6	50	3	0
54	M'Daourouch	3	12	32	0	35	18	0
55	Berriche	3	12	35	3	23	24	0
56	Ksar Sbahi	3	9	35	3	29	21	0
57	Ain Settara	6	9	26	9	35	15	0
58	Ain Snob	6	6	32	6	35	12	3
59	Ain Makhlouf	3	9	38	3	23	21	3
60	Bordj Sabath	6	6	29	3	41	15	0
61	El aria (B. Badiss)	0	18	21	6	41	15	0
62	Ras El Akba	9	6	24	0	47	15	0
63	Medjez Amar PV	3	15	26	0	35	21	0
64	Heliopolis	0	24	24	3	35	12	3
65	Guelma lycée MBM	0	15	38	3	26	12	6
66	Mechroha	3	15	26	6	31	21	0
67	Boucheouf	3	18	21	3	35	21	0
68	Nechmeya	3	12	26	9	35	12	3
69	Ain Berda	3	15	26	0	38	18	0
70	Boukhamouza	0	24	24	3	32	18	0
71	El Kerma	6	9	32	0	35	18	0
72	Kef Mourad	3	21	24	0	38	15	0
73	Pont Bouchet	3	21	24	0	38	15	0

H.E : Humidité extrême ($IPS > 2$), **H.F**: Humidité forte ($1 < IPS < 2$), **H.M**: Humidité modérée ($0 < IPS < 1$), **N** : année normale, **S.M**: Sécheresse modérée ($-1 < IPS < 0$), **S.F**: Sécheresse forte ($-2 < IPS < -1$), **S.E**: Sécheresse extrême ($IPS < -2$).

A.4 Etude de tendance

La tendance pluviométrique est, dans ce qui suit, une augmentation ou une diminution lente et monotone de la moyenne des séries. Il est possible que les tendances soient représentées par des droites horizontales, dans ce cas, nous avons utilisé l'expression « absence de tendance nette ».

Dégager une tendance sur les précipitations à partir des observations est difficile en raison de leur imprévisibilité. Néanmoins, l'analyse des longues séries pluviométriques reste certainement la méthode la plus sûre. Les courbes d'évolution des séries chronologiques, doublées de la courbe de tendance linéaire et celle de la moyenne mobile (calculée sur 5 ans), permettent d'identifier le caractère fortement aléatoire de la pluie de notre région d'étude (figure 13), quelle que soit la période considérée. Plusieurs situations apparaissent:

- Une tendance à la baisse circonscrite au massif montagneux des Aurès (Figure 17): La courbe de tendance linéaire traduit une évolution générale à la baisse, pratiquement, sur l'ensemble des stations de mesure mais d'une intensité variable. Très accentuée notamment, pour les stations de Seguene -5,15 mm/an, Reboa et Ouled Chelih 4,83 mm/an et Sidi Mançer -4,16 mm/an. La tendance à la baisse est moins marquée à Timgad -1,77 mm/an, Foum El Gueiss -2,67 mm/an et Ain Tinn -1,91. A foum Toub +2,25 mm/an, Bouhmar +6,14 mm/an et Ali Ben Tenoun +2,9 mm/an, le comportement pluviométrique apparaît très singulier et pose aussi la question de la fiabilité des observations.

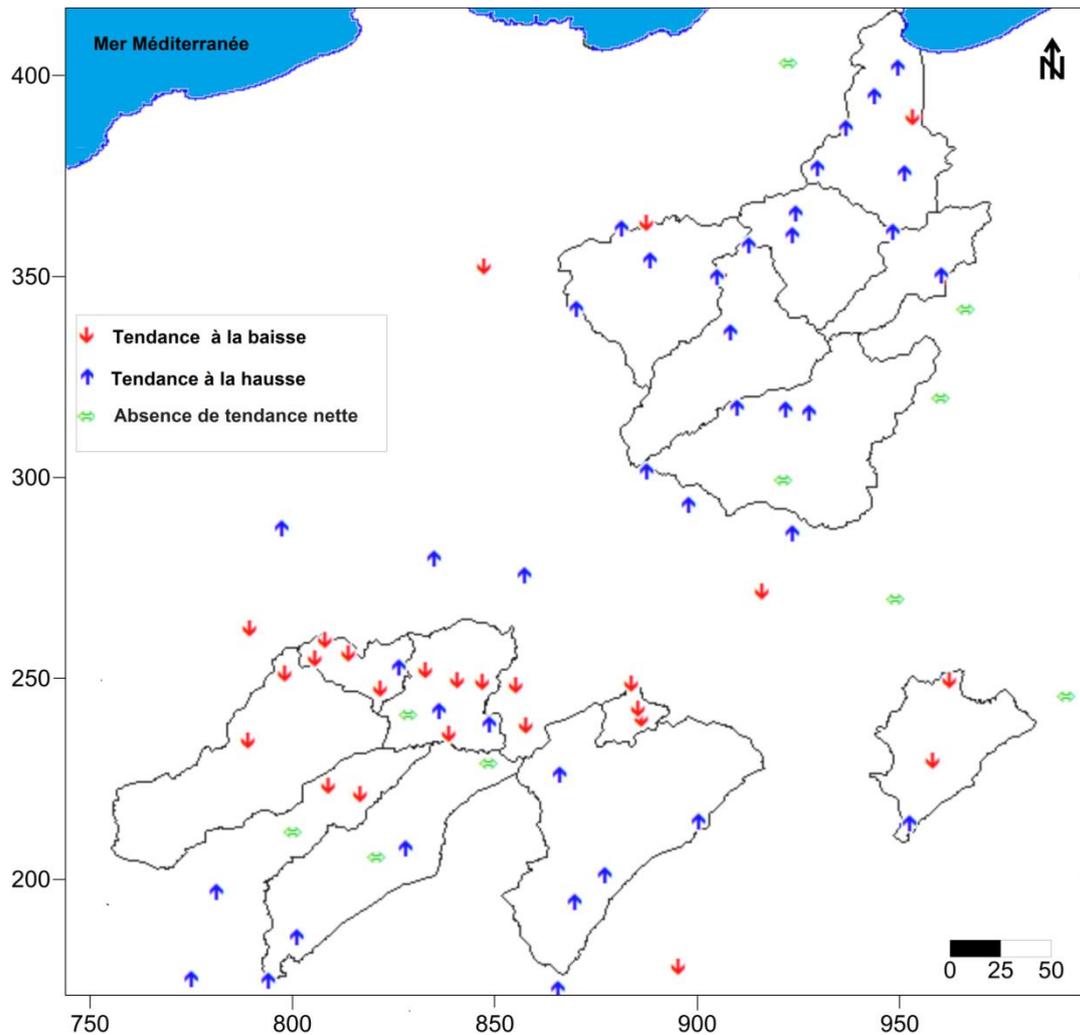


Figure 17 Tendence des précipitations annuelles dans la zone d'étude

Ce constat qui va en faveur d'une diminution de la pluviométrie aurèssienne est attesté par la translation des courbes isohyètes (Comme on peut le voir plus loin dans le chapitre III/1^{ère} partie), qui confirme la régression graduelle des conditions humides vers les hautes altitudes. La distribution de la moyenne mobile sur les séries chronologiques traduit des fluctuations dans cette évolution.

Les périodes de baisse sont plus longues et fréquentes que les périodes de hausse. Le poids très fort de la décroissance marquée et continue des précipitations de la dernière décennie de la série (Ain Touta, Ain Tinn, Yabous,...) influence considérablement la tendance statistique produite sur la période considérée (1970/2004). La décennie (1985/95), parfois dès les années 1980, mettent en évidence une relative stabilité des valeurs précipitées selon les stations.

- Une absence de tendance nette, sans configuration spatiale claire (Figure 17) : Pour la période 1970-2004, on ne discerne pas de tendances nettes dans dix stations particulières. L'analyse visuelle des graphes relatifs à ces stations ne montre aucune tendance nettement perceptible (Berrahal -0,409 mm/an, Souk Ahras -0,545 mm/an, M'daourouche -0,358, Tebessa -0,153, Baiou -0,202 et Medina +0,229 mm/an).

Il en ressort seulement une alternance de périodes sèches et humides de durées variables, ne dépassant pas quatre (4) années successives pour les années humides, et pouvant atteindre exceptionnellement onze (11) années sèches successives (Station de Tebessa). En effet, les séquences sont le plus souvent inférieures à cinq ans. En plus, nous n'observons quasiment plus de variation pour les stations de Berriche +0,024, Tifelfel +0,048 et Menea +0,016 mm/an.

- Une tendance à la hausse dans l'ensemble de la Seybouse (Figure 17): Les stations de la Seybouse, dont cinq (5) exemples sont portés sur la figure 13, présentent une tendance à la hausse des précipitations. Cette tendance croissante varie entre + 0,757 mm/an à Ain Makhoulouf à 12,143 mm/an pour Mechrouha. La décroissance enregistrée aux stations de Kef Morad -1,036 mm/an et Ain El Kleb -7,39 mm/an semble créée par les données vraisemblablement sous évaluées qui font «pivoter» artificiellement la droite de tendance.

Le fait que des tendances ont été trouvées à l'échelle de la Seybouse et le massif des Aurès, nous inciterait à penser à des changements locaux dans les régimes de précipitations. Ceci semble s'inscrire dans la chronologie des évolutions normales sans revêtir le caractère de particularité qui marque l'ouest de l'Algérie.

L'analyse de la variabilité interannuelle des précipitations mérite d'être complétée par une étude fréquentielle, c'est-à-dire l'estimation des valeurs limites atteintes ou dépassées pendant une période donnée. Ceci suppose de rechercher au préalable la loi d'ajustement.

B. Distribution statistique des pluies annuelles

Les résultats précédents ont montré une forte variabilité spatiale et temporelle de la pluie annuelle au niveau de notre zone d'étude. De ce fait, les simples valeurs pluviométriques annuelles ont peu de signification. L'expression de la pluviométrie doit se faire non pas en termes de moyenne mais en terme de fréquences ou de probabilité d'occurrence (Eldin, 1984 ; Mietton, 1988).

La recherche d'une loi d'ajustement aboutit, selon les essais déjà faits sur des bassins versants algériens (Chaumont et Paquin, 1971, ANRH 1993, Touaibia et al 2006, Laborde et al 1993, Mebarki 2005) à admettre l'anamorphose en racine carrée des valeurs annuelles, pour assurer la normalité. A titre d'illustration, nous produisons l'ajustement de loi racine-normale⁽¹⁾ pour quelques stations représentatives de la zone d'étude sur la figure 18.

⁽¹⁾ : l'expression de la loi racine-normale est : $F(P) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$

avec : $u = \frac{\sqrt{P} - \sqrt{\bar{P}}}{\sigma_{\sqrt{P}}}$

$F(P)$: Probabilité qu'une valeur quelconque P soit inférieure ou égale à p ;

u : Variable réduite de Gauss ;

$\sqrt{\bar{P}}$: Moyenne des racines carrées de la série d'observations ;

$\sigma_{\sqrt{P}}$: Écart -type des racines carrées de la série d'observations.

P : Pluie en dixièmes de millimètres

Cette loi est caractérisée par deux paramètres : la moyenne des racines carrées des pluies mensuelles ($\sqrt{\bar{P}}$) et l'écart -type des racines carrées des pluies mensuelles ($\sigma_{\sqrt{P}}$).

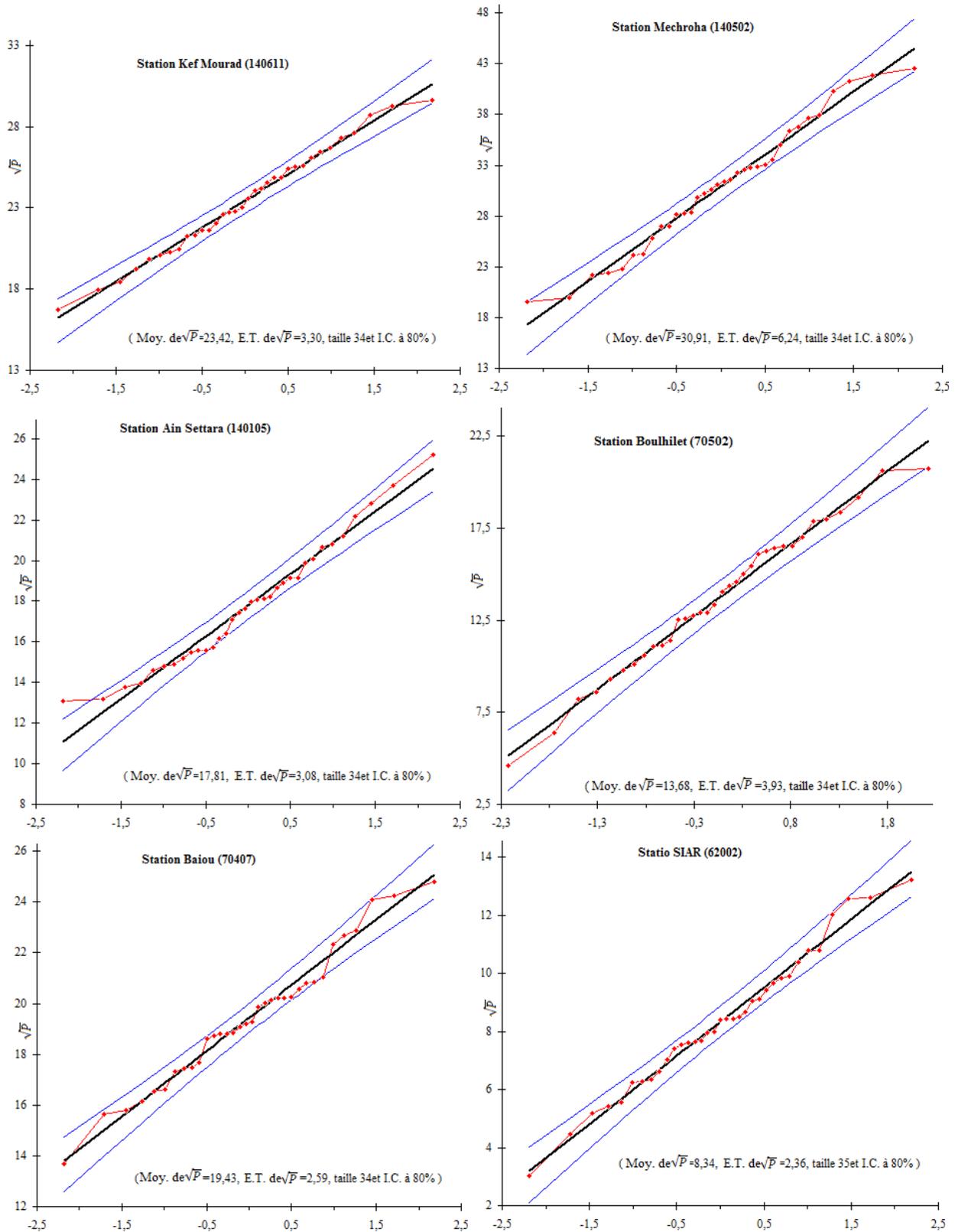


Figure 18 Ajustement à la loi Racine-normale des précipitations annuelles (1970-2004)

Lorsqu'on procède à un ajustement d'une loi théorique de probabilité pour un échantillon, la question qui se pose est de savoir si cette loi s'adapte d'une façon satisfaisante. Un examen graphique aussi intéressant qu'il soit, ne pourrait suffire, il faut pouvoir tester par le calcul, la qualité de l'ajustement réalisé.

On juge généralement l'adéquation d'une loi à un échantillon par le test de X^2 (Khi-Deux): variable aléatoire dont la distribution a été étudiée par Karl Pearson. Ce test permet de vérifier l'importance des écarts de fréquence empirique entre les données de l'échantillon et de l'ajustement. Les règles d'emploi sont les suivantes :

- a) Le découpage en classes qui doit introduire des classes d'égale probabilité théorique, et d'un effectif théorique d'au moins cinq (5) valeurs par classe.
- b) Calcul de X^2 ⁽¹⁾
- c) Calcul de nombre de degré de liberté ⁽²⁾

L'adéquation est admise si $P(x_2) \geq \alpha$, dont α : seuil du risque d'adéquation, choisi généralement égal à 0,05 ; Il convient ainsi, de choisir des découpages différents, et de calculer le X^2 minimal (tableau 07).

Ainsi, selon la période d'observation choisie, les moyennes annuelles oscillent autour de la moyenne calculée sur la période la plus longue (erreur d'échantillonnage). Il est donc nécessaire de compléter notre information en déterminant autour de la valeur empirique estimée, un intervalle de confiance pour un degré de confiance choisi qui dépend de considérations économiques concernant le risque accepté ⁽³⁾.

L'estimation des pluies fréquentielles (P_f) se fait par application de l'équation de la variable réduite de GAUSS, en transformant les moyennes en racines carrées ⁽⁴⁾. Les quantiles estimés pour les différentes stations retenues dans l'étude, et pour les probabilités de retour retenues, sont présentés dans le tableau 08.

A titre d'exemple, la pluie décennale sèche (fréquence 0,1) est de 439 mm pour la station de Boukhamouza (Tell septentrionale), 234 mm pour la station de batna (Hauts plateaux) et seulement de 28 mm pour la station SIAR au présahara. Quant à la pluie décennale humide (fréquence 0,9), elle est respectivement de 857 mm, 559mm et 149 mm.

$$(1): X^2 = \sum_1^k \frac{(ni - npi)^2}{npi}$$

ni : effectif observé de la classe i ; npi : effectif théorique de la classe ;

(2) : $u = k-1-p$; p : Nombre de paramètres à partir des valeurs expérimentales, pour ajuster à la loi théorique ; k : Nombre de classes.

(3) : Pour une série d'observation ($N > 30$), en à l'intervalle de confiance suivant: $\bar{x} \pm t_{\frac{1-\alpha}{2}} \cdot \frac{\delta}{\sqrt{N}}$

$t_{\frac{1-\alpha}{2}}$: La variable réduite de la loi de GAUSS à la probabilité $\frac{1-\alpha}{2}$; \bar{x} : La moyenne annuelle, sur une longue période (34 ans pour notre étude) ; δ : Ecart-type de la période considérée.

(4) : $P_f = \left(\sqrt{P} + u_f \delta_{\sqrt{P}} \right)^2$; \sqrt{P} : La moyenne de la racine de Pluie annuelle en mm ; $\delta_{\sqrt{P}}$: L'écart-type de la racine de pluie mensuelle en mm ; u_f : La variable réduite de GAUSS.

Tableau 07 Intervalles de confiance et Test d'adéquation X^2 (Khi Deux) pour les stations étudiées

Station	Moyenne annuelle	Intervalle de confiance						Nombre de classe	X^2	Degrés de liberté	P (X^2)	H0
		-95%	+95%	-90%	+90%	-80%	+80%					
Ain El Kleb	557,9	479,9	635,9	493,0	622,8	507,8	608,0	8	4.59	5	0.4682	accepté
Bou Snib	643,2	586,7	699,7	596,2	690,2	606,9	679,5	8	4.59	5	0.4682	accepté
Berrahal	661,9	618,7	705,1	626,0	697,9	634,2	689,7	8	2.71	5	0.7452	accepté
Merouana	447,0	395,6	498,5	404,2	489,8	414,0	480,1	8	3.18	5	0.6728	accepté
Ain touta	251,5	221,4	281,7	226,4	276,6	232,1	270,9	8	1.76	5	0.8806	accepté
Oued chelih	317,9	278,8	356,9	285,4	350,3	292,8	343,0	8	6.00	5	0.3062	accepté
Bouzina	279,2	250,2	308,2	255,1	303,3	260,6	297,9	8	4.59	5	0.4682	accepté
Theniet El Abed	265,0	228,9	301,1	235,0	295,0	241,8	288,2	8	2.71	5	0.7452	accepté
Mena	227,5	195,4	259,6	200,8	254,2	206,8	248,1	8	2.71	5	0.7452	accepté
Djemorah	131,4	108,5	154,3	112,4	150,4	116,7	146,1	8	8.35	5	0.1378	accepté
BiskraSecteur	111,3	93,5	129,1	96,5	126,1	99,9	122,7	8	7.41	5	0.1918	accepté
Medina lanasser	418,8	369,7	467,8	377,9	459,6	387,2	450,3	8	6.47	5	0.2631	accepté
Tkout	267,8	227,9	307,7	234,6	301,0	242,1	293,5	8	2.71	5	0.7452	accepté
M'Chouneche	123,1	100,7	145,5	104,5	141,8	108,7	137,5	8	6.18	5	0.6728	accepté
Tifelfel	151,4	129,3	173,4	133,0	169,7	137,2	165,6	8	5.53	5	0.3547	accepté
F. El Gherza	104,3	88,6	120,1	91,2	117,4	94,2	114,4	8	1.29	5	0.9355	accepté
Boudella	211,5	186,3	236,8	190,5	232,5	195,3	227,8	8	5.53	5	0.3547	accepté
Bou hmama	388,0	344,9	431,2	352,1	423,9	360,3	415,8	8	5.53	5	0.3547	accepté
Babar	297,8	261,7	333,9	267,8	327,9	274,6	321,0	8	2.24	5	0.8157	accepté
Kheirane	212,1	182,5	241,7	187,5	236,7	193,1	231,1	8	3.65	5	0.6013	accepté
Kh. Sidi Nadji	49,4	36,5	62,4	38,6	60,3	41,1	57,8	8	10.71	5	0.0575	accepté
SIAR	75,0	60,6	89,4	63,0	86,9	65,7	84,2	8	1.29	5	0.9355	accepté
Chéria	293,7	258,6	328,9	264,5	323,0	271,2	316,3	8	3.18	5	0.6728	accepté
Ain Troubia	254,2	217,6	290,7	223,8	284,6	230,7	277,7	8	2.24	5	0.8157	accepté
Ain Babouche	169,5	146,9	192,1	150,7	188,3	155,0	184,0	8	10.71	5	0.0575	accepté
Ain djasser	260,9	229,4	292,4	234,7	287,1	240,6	281,2	8	4.12	5	0.5326	accepté
Tazoult	346,0	311,4	380,6	317,2	374,7	323,7	368,2	8	3.18	5	0.6728	accepté
Ali ben tenoun	315,7	271,5	359,9	278,9	352,4	287,2	344,1	8	4.12	5	0.5326	accepté
Ain yagout	318,0	283,7	352,3	289,4	346,5	295,9	340,0	8	5.53	5	0.3547	accepté
Hamla	318,5	277,1	359,8	284,1	352,9	291,9	345,1	8	3.18	5	0.6728	accepté
Seguene	456,3	403,5	509,2	412,3	500,3	422,3	490,3	8	4.59	5	0.4682	accepté
Batna ferme exp.	367,0	329,4	404,6	335,7	398,3	342,8	391,2	8	4.12	5	0.5326	accepté
Reboa	261,7	220,1	303,4	227,1	296,4	235,0	288,5	8	5.53	5	0.3547	accepté
Ain Tinn	437,5	392,5	482,6	400,1	475,0	408,6	466,5	8	4.59	5	0.4682	accepté
Foum Toub	422,6	374,8	470,3	382,9	462,2	391,9	453,2	8	5.53	5	0.3547	accepté
Baiou (mechta)	384,1	348,6	419,6	354,5	413,6	361,2	406,9	8	7.88	5	0.1628	accepté
Bouahmar	287,5	240,2	334,9	248,1	326,9	257,1	317,9	8	5.06	5	0.4087	accepté
Timgad	278,9	240,0	317,8	246,5	311,3	253,9	303,9	8	3.18	5	0.6728	accepté
Sidi Mancar	344,6	303,9	385,4	310,8	378,5	318,5	370,8	8	2.71	5	0.7452	accepté
Boulhilet	202,2	165,3	239,0	171,5	232,8	178,5	225,9	8	2.24	5	0.8157	accepté
Ain Diss	387,8	356,1	419,5	361,4	414,2	367,4	408,2	8	3.18	5	0.6728	accepté
Yabous	369,5	329,0	410,0	335,8	403,2	343,4	395,6	8	3.65	5	0.6013	accepté
Touffana	265,8	226,5	305,0	233,1	298,4	240,5	291,0	8	4.12	5	0.5326	accepté
Tizi Ala	452,7	402,8	502,7	411,2	494,3	420,6	484,8	8	12.12	5	0.0332	rejetée
Ain Mimoun M.F	431,2	386,7	475,6	394,2	468,1	402,6	459,7	8	3.18	5	0.6728	accepté
Ain Beida	405,6	369,6	441,7	375,6	435,6	382,4	428,8	8	4.12	5	0.5326	accepté
Fkirina	338,1	300,9	375,2	307,2	369,0	314,2	362,0	8	7.88	5	0.1628	accepté
Oum El Bouagui	366,3	335,8	396,7	341,0	391,5	346,7	385,8	8	5.53	5	0.3547	accepté
f. El Gueiss BGE	403,6	363,6	443,6	370,3	436,9	377,9	429,3	8	5.06	5	0.4087	accepté
Hamma Bouziana	516,2	473,1	559,2	480,4	552,0	488,5	543,8	8	7.41	5	0.1918	accepté

H0 : Ajustement accepté au niveau de signification de 5 %

Tableau 07 (suite) Intervalles de confiance et Test d'adéquation χ^2 (Khi Deux) pour les stations étudiées

Station	Moyenne annuelle	Intervalle de confiance						Nombre de classe	χ^2	Degrés de liberté	P (χ^2)	H0
		-95%	+95%	-90%	+90%	-80%	+80%					
Souk Ahras Subd	547,0	491,6	602,4	500,9	593,1	511,4	582,6	8	4,59	5	0,4682	accepté
La Meskiana	342,3	317,1	367,5	321,4	363,3	326,1	358,5	8	8,35	5	0,1378	accepté
Tebessa	353,8	310,4	397,2	317,7	389,9	325,9	381,7	8	4,12	5	0,5326	accepté
M'Daourouch	349,6	306,1	393,1	313,5	385,7	321,7	377,5	8	3,65	5	0,6013	accepté
Berriche	269,9	235,5	304,2	241,3	298,4	247,8	292,0	8	4,59	5	0,4682	accepté
Ksar Sbahi	360,1	320,6	399,6	327,2	392,9	334,7	385,5	8	2,24	5	0,8157	accepté
Ain Settara	326,2	286,3	366,2	293,0	359,5	300,5	351,9	8	5,53	5	0,3547	accepté
Ain Snob	343,4	300,6	386,3	307,8	379,1	315,9	371,0	8	4,12	5	0,5326	accepté
Ain Makhlouf	509,4	447,6	571,3	458,0	560,9	469,7	549,2	8	2,24	5	0,8157	accepté
Bordj Sabath	540,4	487,1	593,7	496,0	584,7	506,1	574,6	8	8,35	5	0,1378	accepté
El aria	432,1	385,2	479,1	393,1	471,2	402,0	462,3	8	6,47	5	0,2631	accepté
Ras El Akba	562,3	502,0	622,5	512,2	612,4	523,6	601,0	8	2,71	5	0,7452	accepté
Medjez Amar	576,7	521,5	631,8	530,8	622,6	541,2	612,1	8	5,53	5	0,3547	accepté
Heliopolis	584,0	525,0	643,0	534,9	633,1	546,1	621,9	8	4,12	5	0,5326	accepté
Guelma lycée	526,4	475,4	577,4	484,0	568,9	493,6	559,2	8	3,18	5	0,6728	accepté
Mechroha	993,2	857,1	1129,3	880,0	1106,4	905,7	1080,7	8	3,18	5	0,6728	accepté
Boucheouf	545,8	489,2	602,4	498,7	592,9	509,4	582,2	8	5,53	5	0,3547	accepté
Nechmeya	545,9	482,8	609,1	493,4	598,5	505,3	586,5	8	6,00	5	0,3062	accepté
Ain Berda	610,9	555,6	666,2	564,9	656,9	575,4	646,5	8	6,94	5	0,2251	accepté
Boukhamouza	641,0	583,2	698,7	592,9	689,0	603,9	678,1	8	6,00	5	0,3062	accepté
El Kerma	597,5	545,5	649,6	554,2	640,8	564,1	631,0	8	7,41	5	0,1918	accepté
Kef Mourad	559,2	505,1	613,3	514,2	604,2	524,4	594,0	8	1,76	5	0,8806	accepté
Pont Bouchet	583,3	528,1	638,5	537,4	629,2	547,8	618,8	8	5,06	5	0,4087	accepté

H0 : Ajustement accepté au niveau de signification de 5 %

La période observée de 1970 à 2004, présente des années exceptionnelles sèches ou humides, et contient des valeurs d'une fréquence très différente de la fréquence expérimentale, à titre d'indication : L'année 1988/89, est la plus sèche à la station de Boukhamouza (p=411mm), qui peut atteindre ou dépasser une fois tous les 15 ans. Alors que l'année la plus humide à la même station, qui est celle de 1998/99 avec une pluie de 935mm, a une période de retour de 22 ans (tableau 09).

Tableau 08 Précipitations annuelles fréquentielles en (mm)

Station	P (année sèche)			\bar{P}	P (année humide)		
	T= 100 ans f = 0,010 u= -2,327	T= 50 ans f = 0,02 u= -2,054	T= 10 ans f = 0,10 u= -1,282		T= 2 ans f = 0,5 u= 0,000	T= 10 ans f = 0,90 u= 1,282	T= 50 ans f = 0,98 u= 2,054
Souk Ahras Subd	215,7	245,6	341,2	534,2	845,2	933,6	994,9
La Meskiana	195,0	209,8	254,7	338,8	464,2	498,4	521,9
Tebessa	121,4	141,6	207,2	343,7	569,2	634,0	679,1
M'Daourouch	115,7	135,8	201,5	339,1	567,9	633,9	679,9
Berriche	81,6	97,4	149,6	260,8	448,6	503,1	541,2
Ksar Sbahi	139,0	158,8	222,4	351,4	560,1	619,4	660,7
Ain Settara	113,3	131,9	192,1	317,1	523,0	582,1	623,3
Ain Snob	113,0	132,8	197,5	333,0	558,7	623,7	669,1
Ain Makhlouf	158,4	188,0	285,7	492,8	840,9	941,8	1012,2
Bordj Sabath	244,2	272,1	359,3	530,5	799,2	874,5	926,5
El aria (B. Badiss)	170,8	194,5	269,9	422,1	667,2	736,9	785,2
Ras El Akba	232,3	262,5	358,4	550,2	856,4	943,0	1003,1
Medjez Amar PV	259,6	289,4	382,6	566,1	854,0	934,8	990,6
Heliopolis	241,6	273,0	372,4	571,5	889,1	979,0	1041,2
Guelma lycée MBM	224,1	252,1	340,3	515,7	794,1	872,6	926,9
Mechroha	268,6	327,3	524,9	955,4	1695,5	1912,1	2063,8
Boucheouf	226,0	255,3	348,2	534,1	830,7	914,5	972,7
Nechmeya	185,6	216,8	318,4	530,1	880,4	981,2	1051,4
Ain Berda	289,6	320,3	415,5	600,9	820,3	969,0	1024,4
Boukhamouza	308,3	340,2	439,0	630,7	857,1	1010,2	1067,2
El Kerma	295,9	325,0	415,0	588,6	792,4	929,8	981,0
Kef Mourad	247,8	277,0	368,3	548,6	832,5	912,3	967,4
Pont Bouchet	265,5	295,5	389,1	572,8	860,5	941,1	996,8

Tableau 08 (suite) Précipitations annuelles fréquentielles en (mm)

Station	P (année sèche)			\bar{P}	P (année humide)		
	T= 100 ans f = 0,010 u= -2,327	T= 50 ans f = 0,02 u= -2,054	T= 10 ans f = 0,10 u= -1,282		T= 2 ans f = 0,5 u= 0,000	T= 10 ans f = 0,90 u= 1,282	T= 50 ans f = 0,98 u= 2,054
Ain El Kleb	138,8	171,9	284,8	534,8	970,2	1098,5	1188,3
Bou Snib	311,4	343,2	441,9	633,1	928,7	1010,9	1067,7
Berrahal	399,7	426,5	507,1	656,3	875,8	935,3	976,1
Merouana	156,4	181,8	264,1	434,6	715,2	795,8	851,9
Ain touta	87,1	101,5	148,0	244,4	403,5	449,2	481,0
Oued chelih	94,5	113,1	174,9	307,0	530,6	595,6	641,0
Bouzina	122,1	136,8	182,8	273,8	417,5	458,0	485,9
Theniet El Abed	74,2	89,8	142,1	255,3	448,8	505,3	544,8
Menaâ	64,3	77,7	122,5	219,2	384,3	432,5	466,2
Djemorah	17,3	24,7	52,8	122,8	255,2	295,6	324,1
BiskraSecteur	16,9	23,3	47,0	104,6	211,8	244,3	267,2
Medina lanasser	155,7	179,1	254,3	408,1	658,5	730,0	779,7
Tkout	59,9	75,8	131,0	255,6	476,0	541,4	587,3
M'Chouneche	7,7	13,6	39,5	112,2	259,9	306,1	339,0
Tifelfel	39,5	48,4	78,8	145,4	260,6	294,4	318,1
F. El Gherza	22,2	28,4	50,0	99,4	187,2	213,4	231,7
Boudella	75,0	87,0	125,8	205,7	337,1	374,8	401,0
Bou hmama	149,0	170,4	239,1	378,6	604,4	668,7	713,4
Babar	100,0	117,1	172,8	289,0	481,9	537,4	576,1
Kheirane	56,4	69,0	111,3	203,9	363,5	410,3	443,0
Khangat Sidi Nadji	1,2	3,1	12,9	44,0	111,0	132,4	147,7
SIAR	8,2	12,3	28,3	69,6	149,3	173,8	191,1
Chéria	99,3	116,1	170,9	285,2	474,4	528,9	566,8
Ain Troubia	65,2	80,3	131,4	244,0	439,1	496,4	536,6
Ain Babouche	47,8	57,8	91,2	163,3	286,5	322,5	347,7
Ain djasser	83,4	98,5	148,1	252,7	427,6	478,2	513,5
Tazoult	148,9	167,2	224,8	339,0	520,1	571,1	606,4
Ali ben tenoun	84,2	102,9	165,9	303,5	540,0	610,0	658,6
Ain yagout	125,5	143,0	198,5	310,6	491,1	542,4	578,0
Hamla	91,6	110,3	172,7	307,1	535,9	602,7	649,3
Seguene	156,8	182,9	267,5	443,3	663,2	817,1	875,2
Batna ferme exp,	151,7	171,5	234,0	359,1	558,9	615,4	654,5
Reboa	54,5	70,0	124,4	249,1	471,8	538,1	584,8
Ain Tinn	180,6	204,2	278,8	428,1	666,6	734,0	780,8
Foum Toub	156,7	180,3	256,3	411,7	665,0	737,3	787,6
Baiou (mechta)	179,9	199,3	259,7	377,6	561,1	612,4	647,8
Bouahmar	50,3	67,1	127,9	271,7	534,7	613,7	669,5
Timgad	67,2	83,8	140,6	267,0	488,3	553,5	599,3
Sidi Mancar	124,9	144,3	206,9	335,5	546,0	606,2	648,1
Boulhilet	20,6	31,4	74,7	187,2	350,4	473,3	455,759
Ain Diss	203,0	221,1	276,7	382,7	544,0	588,4	619,0
Yabous	137,6	158,3	224,6	360,1	580,7	643,7	687,5
Touffana	67,0	82,8	136,4	254,9	460,9	521,5	563,9
Tizi Ala	175,6	200,5	280,2	441,9	703,1	777,4	829,0
Ain Mimoun M.F	174,0	197,4	271,8	421,5	661,5	729,5	776,7
Ain Beida	197,1	217,2	279,2	399,3	584,8	636,4	672,0
Fkirina	124,6	143,5	204,4	329,3	533,0	591,2	631,6
Oum El Bouagui	189,4	206,7	259,8	361,3	516,1	558,9	588,3
f. El Gueiss BGE	175,9	197,1	263,8	395,7	604,2	662,9	703,5
Hamma Bouziana	268,1	292,4	367,0	509,3	726,1	785,9	827,2

**Tableau 09 Réurrence théorique des pluies moyennes annuelles, extrêmes
Pour les différentes stations du bassin**

Station	Année sèche extrême	Pi	Fréq. (f)	$T = \frac{1}{f}$ (ans)	Année humide extrême	Pi	Fréq. (f)	$T = \frac{1}{1-f}$ (ans)
Ain El Kleb	1981/82	169,0	0.019	53	1983/84	1134,6	0.985	67
Bou Snib	1985/86	331,2	0.015	67	2002/03	1050,6	0.988	83
Berrahal	2000/01	433,6	0.023	43	2002/03	937,7	0.981	53
Merouana	2000/01	159,0	0.011	91	2000/01	724,0	0.955	22
Ain touta	1992/93	100,0	0.019	53	1971/72	444,7	0.978	45
Oued chelih	1998/99	93,3	0.009	111	1971/72	516,5	0.940	17
Bouzina	2000/01	156,1	0.043	23	1995/96	553,6	0.998	500
Th. El Abed	1996/97	95,6	0.025	40	1979/80	473,5	0.966	29
Menaâ	1998/99	102,4	0.054	19	1995/96	502,7	0.995	200
Djemorah	1971/72	9,5	0.004	250	1995/96	285,9	0.975	40
BiskraSecteur	2000/01	22,9	0.019	53	1995/96	229,4	0.969	32
Medina lanas.	1995/96	225,1	0.058	17	2002/03	896,4	0.998	500
Tkout	1973/74	51,5	0.007	143	1995/96	552,2	0.983	59
M'Chouneche	1974/75	3,2	0.005	200	1995/96	219,5	0.895	10
Tifelfel	1986/87	48,0	0.019	53	1995/96	356,3	0.997	333
F. El Gherza	1977/78	33,5	0.032	31	2003/04	212,7	0.980	50
Boudella	1998/99	96,0	0.031	32	1995/96	387,9	0.986	71
Bou hmama	1978/79	178,7	0.025	40	1970/71	642,2	0.971	34
Babar	2000/01	129,7	0.031	32	2003/04	531,0	0.978	45
Kheirane	1970/71	74,8	0.026	38	2003/04	414,6	0.982	56
Kh Sidi Nadji	1996/97	7,8	0.053	19	2002/03	198,1	0.999	1000
SIAR	1980/81	9,2	0.012	83	192/73	175,4	0.981	53
Chéria	2000/01	122,9	0.025	40	1972/73	523,4	0.978	45
Ain Troubia	2000/01	86,6	0.025	40	1975/76	617,7	0.998	500
Ain Babouche	2001/02	60,7	0.024	42	1990/91	324,8	0.981	53
Ain djasser	1971/72	73,8	0.006	167	2003/04	481,2	0.981	53
Tazoult	1977/78	176,3	0.027	37	1995/96	547,8	0.969	32
A. ben tenoun	1979/80	131,5	0.046	22	1995/96	590,0	0.974	38
Ain yagout	1996/97	165,1	0.041	24	1995/96	491,1	0.950	20
Hamla	1997/98	84,6	0.007	143	1995/96	577,5	0.972	36
Seguene	2001/02	195,6	0.027	37	1975/76	785,0	0.971	34
Batna F. Exp	1993/94	185,8	0.031	32	2003/04	603,8	0.976	42
Reboa	1996/97	78,7	0.028	36	1975/76	587,7	0.990	100
Ain Tinn	1977/78	206,7	0.021	48	1975/76	744,2	0.983	59
Foum Toub	1977/78	203,8	0.036	28	2003/04	710,7	0.972	36
Baiou (mech.)	2000/01	187,1	0.013	77	1995/96	615,1	0.981	53
Bouahmar	1970/71	69,2	0.021	48	2003/04	704,1	0.993	143
Timgad	1977/78	61,5	0.008	125	1972/73	491,8	0.952	21
Sidi Mancar	1979/80	120,7	0.008	125	1971/72	755,2	0.998	500
Boulhilet	1983/84	21,2	0.010	100	1972/73	430,5	0.964	28
Ain Diss	1982/83	248,0	0.047	21	1991/92	569,8	0.097	1
Yabous	1996/97	138,8	0.01	100	1971/72	626,2	0.974	38
Touffana	1996/97	111,3	0.052	19	1972/73	583,9	0.993	143
Tizi Ala	1996/97	161,5	0.006	167	1971/72	812,9	0.988	83
Ain Mimoun	1996/97	139,9	0.003	333	1989/90	704,4	0.972	36
Ain Beida	1993/94	218,2	0.020	50	2002/03	609,8	0.968	31
Fkirina	1996/97	107,6	0.005	200	1971/72	604,9	0.984	62
O. El Bouagui	1974/75	218,8	0.030	33	2002/03	551,2	0.976	42
F. El Gueiss	1996/97	166,1	0.007	143	1971/72	731,2	0.994	167
H. Bouziana	2001/02	297,4	0.023	43	1984/85	941,6	0.999	1000

**Tableau 09 (suite) Récurrence théorique des pluies moyennes annuelles, extrêmes
Pour les différentes stations du bassin**

Station	Année sèche extrême	Pi	Fréq. (f)	$T = \frac{1}{1-f}$ (ans)	Année humide extrême	Pi	Fréq. (f)	$T = \frac{T}{f}$ (ans)
S. Ahras Subd	1987/88	181,3	0.004	250	1983/84	856,4	0.955	22
La Meskiana	1983/84	214,4	0.024	42	2002/03	536,3	0.993	143
Tebessa	1993/94	185,0	0.063	16	1995/96	624,0	0.977	43
M'Daourouch	1985/86	135,2	0.019	53	2002/03	700,0	0.993	143
Berriche	1986/87	123,5	0.05	20	1972/73	483,7	0.972	36
Ksar Sbahi	1973/74	186,6	0.044	23	2003/04	593,1	0.970	33
Ain Settara	1993/94	171,5	0.063	16	2003/04	635,3	0.992	125
Ain Snob	1974/75	94,8	0.005	200	1972/73	707,8	0.994	167
Ain Makhlouf	1996/97	105,9	0.002	500	1998/99	971,8	0.985	67
Bordj Sabath	1996/97	309,1	0.043	23	2002/03	928,5	0.990	100
El aria	1973/74	219,7	0.037	27	1970/71	685,3	0.960	25
Ras El Akba	1996/97	299,4	0.040	25	2003/04	965,4	0.985	67
Medjez Amar	1996/97	316,1	0.034	29	2002/03	935,9	0.980	50
Heliopolis	1996/97	257,3	0.014	71	1983/84	903,9	0.957	23
Guelma lycée	1973/74	222,6	0.010	100	2002/03	802,0	0.954	22
Mechroha	1976/77	381,8	0.034	29	1998/99	1811,3	0.969	32
Boucheouf	1973/74	279,3	0.032	31	2002/03	883,2	0.972	36
Nechmeya	2001/02	186,3	0.010	100	1986/87	972,9	0.979	48
Ain Berda	1979/80	367,1	0.048	21	2002/03	973,0	0.981	53
Boukhamouza	1988/89	411,3	0.068	15	1998/99	935,2	0.954	22
El Kerma	1996/97	322,9	0.019	53	2002/03	972,7	0.989	91
Kef Mourad	1989/90	279,4	0.021	48	2002/03	879,0	0.971	34
Pont Bouchet	1973/74	320,0	0.032	31	2002/03	975,2	0.987	77

II-2-1-5 Les précipitations mensuelles et les régimes saisonniers

L'étude des variations inter-mensuelles et inter-saisonnières des précipitations s'avère essentielle voire déterminante sur l'écoulement fluvial saisonnier et le comportement hydrologique annuel d'un bassin versant (Ghachi, 1986).

En général, la plupart des précipitations tombent en Algérie entre les mois d'octobre et d'avril, comme dans tous les pays du Maghreb, mais d'importantes variations ont été observées, non seulement dans la hauteur moyenne mensuelle des chutes de pluie, mais également dans la période durant laquelle elles se produisent. C'est ce que nous allons tenter d'analyser de façon détaillée dans la zone étudiée.

A. Variabilité inter-mensuelle des précipitations

Les valeurs mensuelles pluviométriques relatives à la période 1970-2004 représentées par des histogrammes (Figure 21, Annexe I) traduisent clairement les variations mensuelles de la distribution des précipitations à l'échelle annuelle.

D'après la figure 19, décembre et janvier sont les mois les plus humides dans la majorité des stations de la seybouse. Pour les stations des hauts plateaux et du versant septentrional des aurès, les mois de mars et mai sont les plus arrosés de l'année. Les mois le plus pluvieux sur le revers méridional des Aurès sont ceux de la saison automnale (septembre-novembre) et diffèrent d'une station à une autre. Toutefois, le mois de juillet est le mois le plus sec dans la quasi-totalité des stations retenues dans l'étude.

On relève une amplitude importante des valeurs pluviométriques, entre les mêmes mois de la série étudiée, ceci est mis en évidence par le coefficient de variation (tableau 04). En effet, les coefficients les plus élevés sont ceux des mois d'été, avec un maximum de 1,00 en juillet à la Meskiana ; Ce maximum s'élève à 4,67 à Khangat Sidi Nadji au mois d'août. Ces coefficients extrêmement élevés, s'expliquent par l'indigence pluviométrique d'une part, et le caractère orageux des précipitations (averses) de la fin d'été d'autre part.

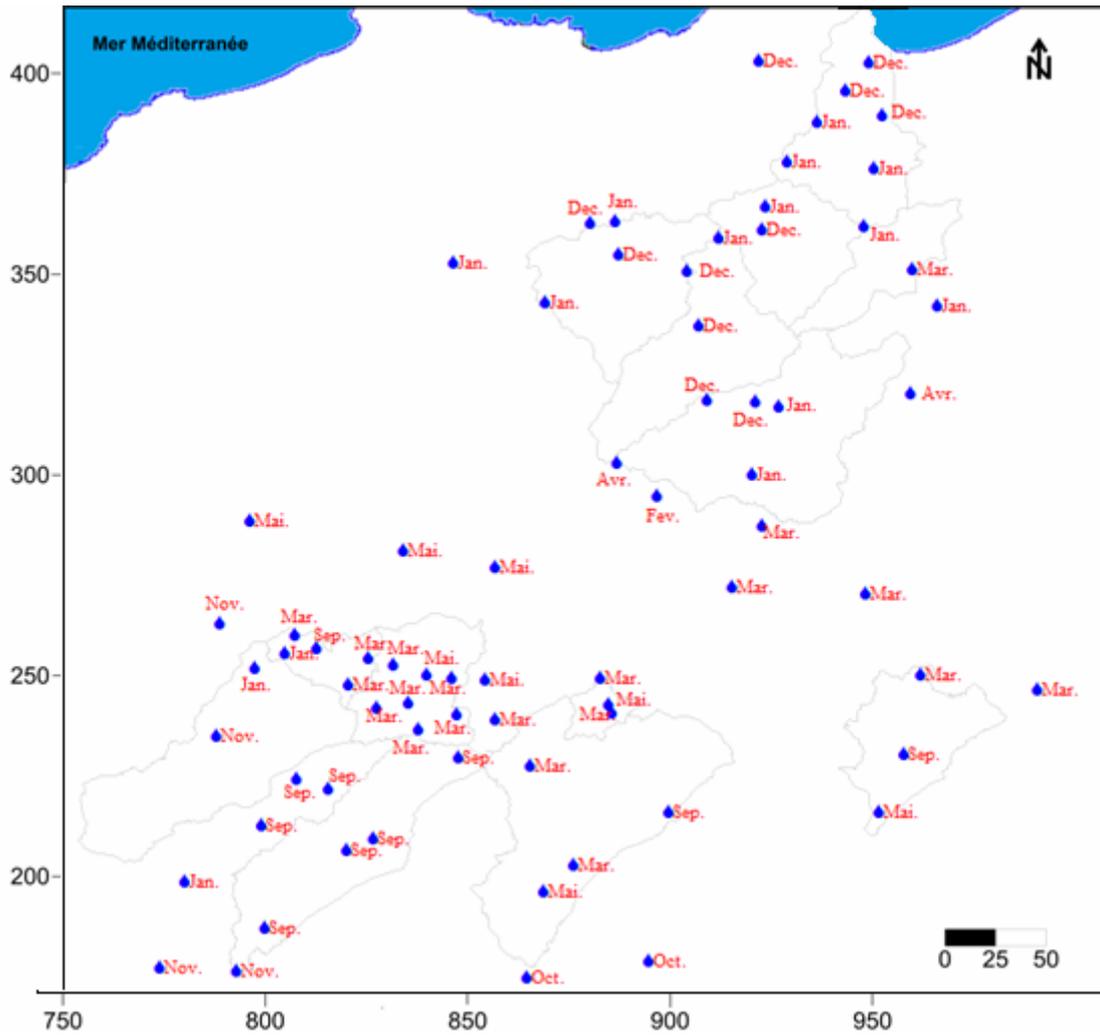


Figure 19 Répartition spatiale des mois les plus humides (1970-2004)

La valeur minimale de CV est observée dans tous les mois à l'exception de juin et juillet, avec une fréquence élevée en mars (23 stations) et avril (17 stations), (Figure 20). Il atteint 0,14 en février à Oum El Bouagui, c'est le coefficient de variation le plus faible de toutes les stations (tableau 04).

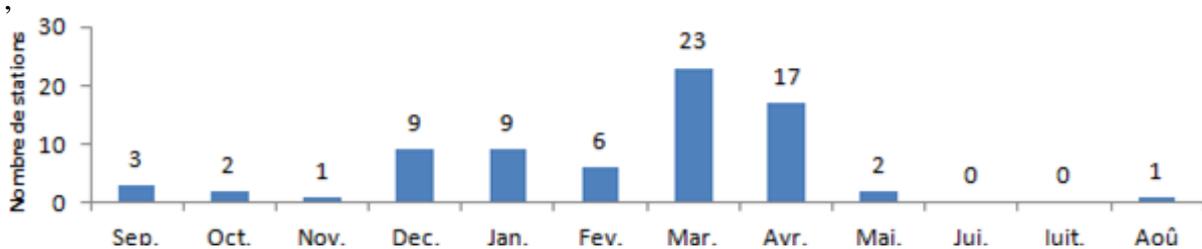


Figure 20 Fréquence de CV minimal observé dans les 73 stations retenues

Sur le plan spatial, les hauteurs moyennes mensuelles enregistrées dans les stations étudiées, montrent clairement la variabilité spatiale des précipitations, qui est relativement plus accentuée dans le sud. En général, cette variation est à peu près la même pour les stations du littoral et les stations situées sur le revers septentrional l'Atlas tellien et affiche globalement le même profil : une augmentation rapide de la pluviosité à partir d'octobre jusqu'en décembre, parfois jusqu'en janvier ; Puis, s'amorce une décroissance assez singulière de la pluie jusqu'en juillet.

Les hauts plateaux, l'Aurès et la zone prèsaharienne sont marqués par une succession de mois humides et de mois secs avec une relative concentration des précipitations au cours des périodes printanières et automnales. Ceci reste très nuancé selon le mois et la réalité géographique des différents secteurs étudiés.

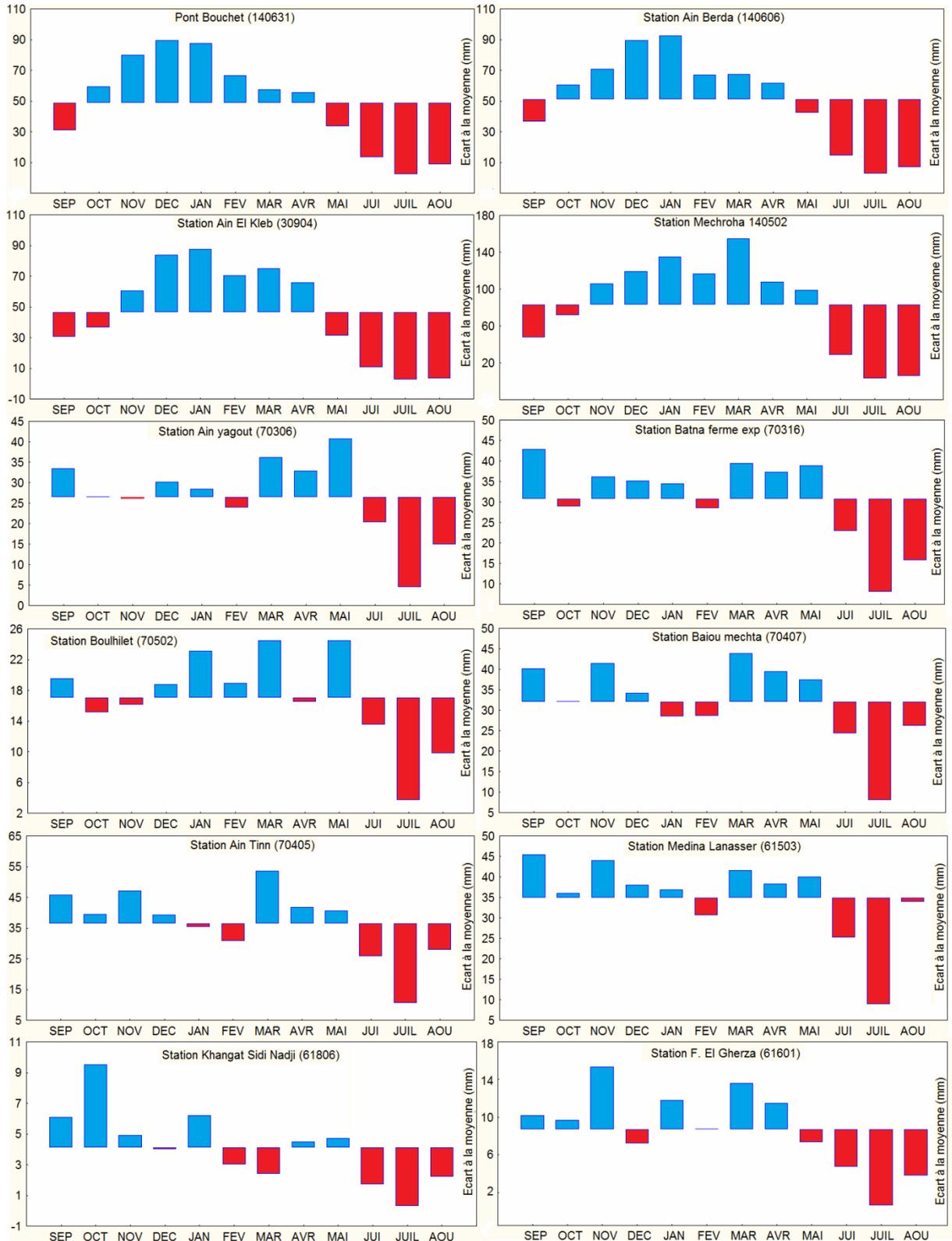


Figure 21 Amplitude des précipitations moyennes mensuelles (1970-2004)

B. Le régime pluviométrique saisonnier

Il est nécessaire de compléter notre analyse pluviométrique par la détermination du régime saisonnier des pluies « rainfall pattern » et de ses variations (Nahal, 1981), par l'analyse des profils moyens annuels établis sur une période de 34 ans (1970-2004).

Dans la basse-seyboise et sur le revers septentrional de l'Atlas Tellien, les cycles annuels présentent un seul mode (Figure 21). La saison des pluies (en prenant en compte les cumuls mensuels supérieurs à la moyenne) débute en octobre-novembre et s'achève en avril-mai, avec un pic au mois de décembre ou janvier. En revanche, les mois de juin, juillet et août présentent des précipitations inférieures à la moyenne mensuelle de l'année. Cette période peut être étendue jusqu'au mois de septembre.

Dans le sud (les hauts plateaux et l'Aurès), la période pluvieuse est marquée par une succession de mois humides et de mois secs. Elle débute en septembre et s'achève en mai, avec un premier maximum en septembre et un deuxième en mars dans la majorité des stations. Les mois dits secs ne sont pas consécutifs dans plusieurs stations. Cependant les mois de juin, juillet, août, sont secs dans toutes les stations, ils représentent la saison sèche et chaude de l'été, et le minimum est atteint en juillet ; Le mois de février est aussi sec dans la quasi-totalité des stations.

Musset (1935) a une notion de régime saisonnier qui consiste à calculer la somme des précipitations par saison et à effectuer le classement saisonnier par ordre de pluviosité décroissante en désignant chaque saison par son initiale (A : Automne, H : Hiver, P : Printemps, E : Eté). L'importance des totaux pluviométriques saisonniers par rapport au total annuel de chaque station, ainsi que leur indicatif saisonnier, sont résumés sur le tableau 10.

Tableau 10 Régime pluviométrique saisonnier selon Musset (1935)

Station	Automne (sep, oct, nov)	Hiver (déc, jan, fev)	Printemps (mar, avr, mai)	Eté (jui, juit, aoû)	
Souk Ahras Subd	22,2	39,6	30,6	7,6	HPAE
La Meskiana	29,8	22,1	30,1	17,9	PAHE
Tebessa	29,5	22	30,0	18,4	PAHE
M'Daourouch	24,5	31,6	33,4	10,5	PHAE
Berriche	23,7	31,9	31,5	12,9	HPAE
Ksar Sbahi	19,7	36,0	35,4	8,8	HPAE
Ain Settara	25,6	31,3	32,7	10,5	PHAE
Ain Snob	24,6	39,4	28,4	7,6	HPAE
Ain Makhlouf	24,3	39,0	29,7	7,0	HPAE
Bordj Sabath	24,2	42,9	28,0	4,9	HPAE
El aria (B. Badiss)	19,0	42,9	32,6	5,5	HPAE
Ras El Akba	24,0	41,9	26,7	7,3	HPAE
Medjez Amar PV	26,3	40,6	26,8	6,3	HPAE
Héliopolis	25,6	41,5	27,9	5,0	HPAE
Guelma lycée MBM	26,0	38,9	29,9	5,2	HPAE
Mechroha	22,7	37,3	36,3	3,7	HPAE
Bouhegouf	24,8	38,4	31,3	5,5	HPAE
Nechmeya	25,6	42,8	27,1	4,6	HPAE
Ain Berda	27,4	40,7	28,0	3,8	HPAE
Boukhamouza	26,6	40,7	27,9	4,6	HPAE
El Kerma	28,3	42,9	25,4	3,5	HAPE
Kef Mourad	25,1	41,9	29,1	3,9	HPAE
Pont Bouchet	29,1	41,7	25,1	4,1	HAPE

Tableau 10 (suite) Régime pluviométrique saisonnier selon Musset (1935)

Station	Automne (sep, oct, nov)	Hiver (déc, jan, fev)	Printemps (mar, avr, mai)	Eté (juil, août, sept)	
Ain El Kleb	22,8	43,3	30,9	3,0	HPAE
Bou Snib	26,2	39,5	29,5	4,8	HPAE
Berrahal	28,1	44,2	24,4	3,3	HAPAE
Merouana	30,9	31,1	27,4	10,6	HAPAE
Ain touta	33,6	26,9	26,2	13,3	AHPE
Oued chelih	30,3	29,9	29,2	10,5	AHPE
Bouzina	35,5	24,3	29,3	11,1	APHE
Theniet El Abed	33,3	24,4	30,0	12,3	APHE
Mena	33,5	27,3	29,5	9,8	APHE
Djemorah	28,0	32,3	31,7	8,1	HPAE
Biskra Secteur	33,7	26,2	30,6	9,5	APHE
Medina lanasser	30,0	25,2	28,6	16,2	APHE
Tkout	31,5	22,3	29,5	16,7	APHE
M'Chouneche	35,1	23,8	27,6	13,5	APHE
Tifelfel	31,4	26	27,4	15,2	APHE
F. El Gherza	33,8	26,5	31,0	8,7	APHE
Boudella	31,8	19,8	36,5	11,9	PAHE
Bou hmama	28,3	27,0	28,3	16,4	APHE
Babar	30,4	20,5	29,8	19,3	APHE
Kheirane	35,8	20,5	31,7	11,9	APHE
Khangat Sidi Nadji	41,3	26,7	23,5	8,5	AHPE
SIAR	35,9	25,0	29,7	9,5	APHE
Chéria	28,8	22,2	29,4	19,6	PAHE
Ain Troubia	27,9	24,4	32,0	15,8	PAHE
Ain Babouche	30,4	22,2	31,9	15,5	PAHE
Ain djasser	28,5	27,1	33,0	11,4	PAHE
Tazoult	28,1	28,1	31,5	12,2	PHAE
Ali ben tenoun	27,0	28,7	32,2	12,1	PHAE
Ain yagout	27,1	25,9	34,5	12,5	PAHE
Hamla	28,7	32,2	30,3	8,8	HPAE
Seguene	28,1	29,6	31,9	10,4	PHAE
Batna ferme exp.	29,4	26,7	31,2	12,7	PAHE
Reboa	26,7	25,7	35,0	12,6	PAHE
Ain Tinn	30,2	24,0	31,1	14,7	PAHE
Foum Toub	26,1	27,9	31,8	14,0	PHAE
Baiou (mechta)	29,6	23,8	31,4	15,2	PAHE
Bouahmar	25,6	29,4	33,1	11,9	PHAE
Timgad	27,2	24,2	35,4	13,2	PAHE
Sidi Mancar	28,8	27,2	32,3	11,8	PAHE
Boulhilet	24,8	29,8	32,1	13,2	PHAE
Ain Diss	26,3	24,4	34,8	14,5	PAHE
Yabous	27,6	25,8	34,2	12,4	PAHE
Touffana	27,0	25,4	34,5	13,0	PAHE
Tizi Ala	28,5	27,3	30,6	13,5	PAHE
Ain Mimoun M.F	27,0	25,9	33,4	13,7	PAHE
Ain Beida	27,3	28,4	30,8	13,5	PHAE
Fkirina	25,3	26,2	35,5	13,0	PHAE
Oum El Bouagui	28,7	33,6	28,7	9,0	HPAE
f. El Gueiss BGE	27,9	27,3	31,1	13,7	PAHE
Hamma Bouziana	25,6	39,3	29,5	5,6	HPAE

Notre analyse révèle que la région littorale et le Tell sont soumis à un régime saisonnier «classique», à maximum pluviométrique centré sur la saison hivernale. Les précipitations fournissent environ de 40 % des précipitations annuelles totales selon les stations. Les pluies hivernales sont partout les plus abondantes et elles suivent dans l'espace les mêmes variations que les pluies annuelles. Presque partout, le printemps est la seconde saison la plus pluvieuse de l'année (régime saisonnier de type HPAE). Néanmoins, une certaine concentration géographique du régime saisonnier HAPAE apparaît à l'extrême nord (stations Pont Bouchet, Berrahal et EL karma).

Le régime saisonnier pluviométrique dominant dans les hauts plateaux et sur le versant septentrional des Aurès est de type P(AH ou HA)E, (Tableau 10, Figure 22). Ce régime continental est caractérisé par une lame d'eau tombée en automne équivalente à peu près à la quantité de pluie printanière (environ 30% de moyenne annuelle), et une proportion de pluie hivernale relativement moindre, soit 25% des précipitations annuelles. Alors que la saison d'été est caractérisée par une faiblesse quantitative des précipitations, soit un pourcentage de 15% de la pluie annuelle. Il est surprenant d'observer qu'à Hamla, le régime saisonnier est de type HAPE. La fiabilité des données, demeure raisonnablement la seule explication à envisager ici.

Le régime APHE (le maximum survient en période automnale) se manifeste pratiquement partout sur le versant sud des Aurès et dans les localités présahariennes, à quelques exceptions comme Boudella (PAHE), Djemorah (HPAE) et Merouana (HAPE). Le printemps est la seconde saison la plus arrosée de l'année. Il est non moins intéressant d'observer que dans les stations de la zone méridionale des Aurès, profitant des pluies orageuses nées aux frontières du Sahara (Ghachi, 1986), plus fréquentes ici que sur la façade septentrionale (Meharzi 1994), la pluviométrie automnale représente au moyenne 33 % (28 à 41 % selon la station) du total annuel.

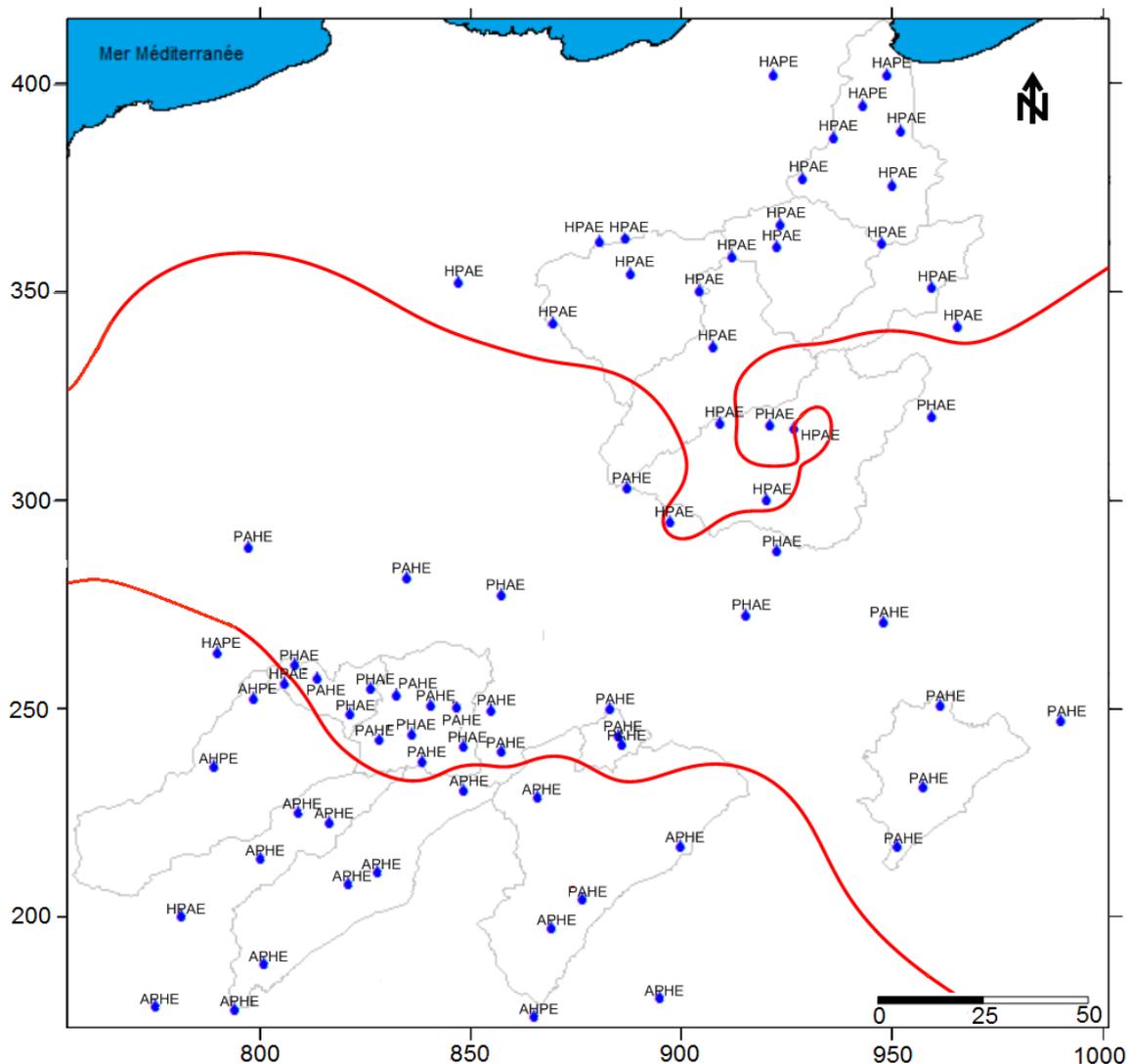


Tableau 22 Régime saisonnier des pluies dans les stations de la zone d'étude (1970-2004)

Les séries mensuelles sont testées avec la même loi que les pluies annuelles (racine-normale). En plus de l'ajustement graphique (Figure 23), le test d'adéquation X^2 a donné des résultats acceptables au niveau de signification de 5%. Nous insérons dans ce texte (tableau11), quelques exemples des résultats de l'ajustement à cette loi (quantiles).

Tableau 11 Précipitations mensuelles fréquentielles pour six stations caractéristiques.

station	fréquence	Précipitations mensuelles en mm											
		Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.
El Kerma	0,01	0,1	0,1	0,1	1,4	6,4	0,6	1,5	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,02	0,9	0,3	0,3	4,6	11,0	2,4	3,8	4,3	0,7	0,0	0,0	0,0
	0,10	7,1	9,6	10,3	23,0	30,8	14,5	15,7	15,6	6,8	0,3	0,0	0,3
	0,50	30,9	53,9	57,2	85,0	86,0	57,1	53,4	50,2	30,8	5,8	0,5	3,9
	0,90	71,4	134,2	142,2	186,0	168,7	127,9	113,5	104,5	72,1	28,9	5,6	19,9
	0,98	104,0	200,1	211,7	265,7	231,9	184,1	160,5	146,7	105,4	51,5	11,3	35,5
	0,99	116,9	226,5	239,6	297,2	256,6	206,4	179,1	163,3	118,6	61,0	13,8	42,1
Mechroha	0,01	0,0	0,1	0,0	0,0	7,5	0,0	11,0	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,02	0,0	1,3	0,0	1,2	13,8	0,042	18,7	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,10	0,4	13,3	11,8	19,7	42,0	14,466	51,4	36,8	10,4	0,0	0,0	0,0
	0,50	32,4	61,3	85,9	100,4	122,8	95,526	141,6	98,6	79,4	18,0	2,6	1,8
	0,90	115,3	144,3	228,1	243,4	245,8	247,875	276,6	190,1	213,1	71,7	10,8	14,9
	0,98	189,9	211,3	346,6	359,6	340,3	374,120	379,5	259,7	324,9	121,2	15,7	28,9
	0,99	220,6	237,9	394,3	406,0	377,4	424,852	419,7	286,8	370,0	141,8	17,5	34,9
Ain Settara	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,7	0,0	0,0	0,0	3,0
	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	2,9	1,9	0,4	0,0	0,0	1,5
	0,10	0,5	3,2	1,2	1,4	5,3	4,3	9,5	8,8	6,5	0,4	1,1	0,0
	0,50	22,2	19,9	20,5	28,9	30,8	21,8	29,0	31,4	33,0	11,9	3,0	6,6
	0,90	76,4	50,8	63,5	91,6	77,4	52,7	58,9	68,1	79,8	38,9	20,7	24,4
	0,98	124,7	76,4	100,8	146,4	115,7	77,7	82,0	96,9	118,0	62,8	38,8	40,6
	0,99	144,6	86,6	116,1	168,7	131,1	87,7	91,1	108,2	133,2	72,6	46,6	47,2
Batna ferme exp	0,01	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,02	0,7	0,1	0,2	1,0	0,1	0,3	2,0	0,7	0,5	0,0	0,0	0,0
	0,10	7,7	4,2	5,4	7,4	4,9	4,8	9,7	7,1	1,3	0,0	0,0	1,5
	0,50	36,6	24,1	30,2	30,6	28,7	24,0	34,9	32,0	17,4	4,7	4,9	12,5
	0,90	86,8	60,4	75,0	69,5	72,1	57,9	75,8	75,0	51,7	20,6	20,3	34,3
	0,98	127,5	90,2	111,8	100,6	107,7	85,4	108,1	109,6	81,3	35,6	34,6	52,6
	0,99	143,6	102,2	126,5	113,0	122,0	96,3	120,8	123,3	93,4	41,8	40,6	59,9
Ain Tinn	0,01	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,8	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,02	1,0	0,1	0,0	1,2	0,1	0,4	2,5	2,0	0,3	0,1	0,0	0,2
	0,10	8,8	5,5	5,4	8,2	5,0	5,4	12,7	10,0	6,6	3,7	0,1	2,1
	0,50	39,3	32,7	38,2	34,0	29,2	26,1	47,2	36,7	34,3	21,5	6,1	21,7
	0,90	91,6	82,6	101,1	77,4	73,7	62,4	103,4	80,2	83,7	53,8	27,3	62,0
	0,98	133,6	123,7	153,4	112,1	110,2	91,8	147,8	114,6	123,9	80,4	47,4	96,3
	0,99	150,3	140,1	174,5	125,9	124,8	103,5	165,4	128,2	140,0	91,0	55,8	110,2
F. El Gherza	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,10	0,1	0,0	0,0	0,1	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,0
	0,50	5,8	6,0	10,7	5,0	5,9	5,9	8,8	6,8	4,5	2,1	0,1	1,2
	0,90	26,5	24,5	36,8	17,3	31,1	21,2	33,7	29,4	18,3	12,7	1,5	10,1
	0,98	46,2	41,7	60,0	28,4	55,8	35,0	56,5	50,7	31,2	23,4	3,0	19,7
	0,99	54,4	48,8	69,6	33,0	66,2	40,7	65,9	59,6	36,6	28,0	3,7	23,8

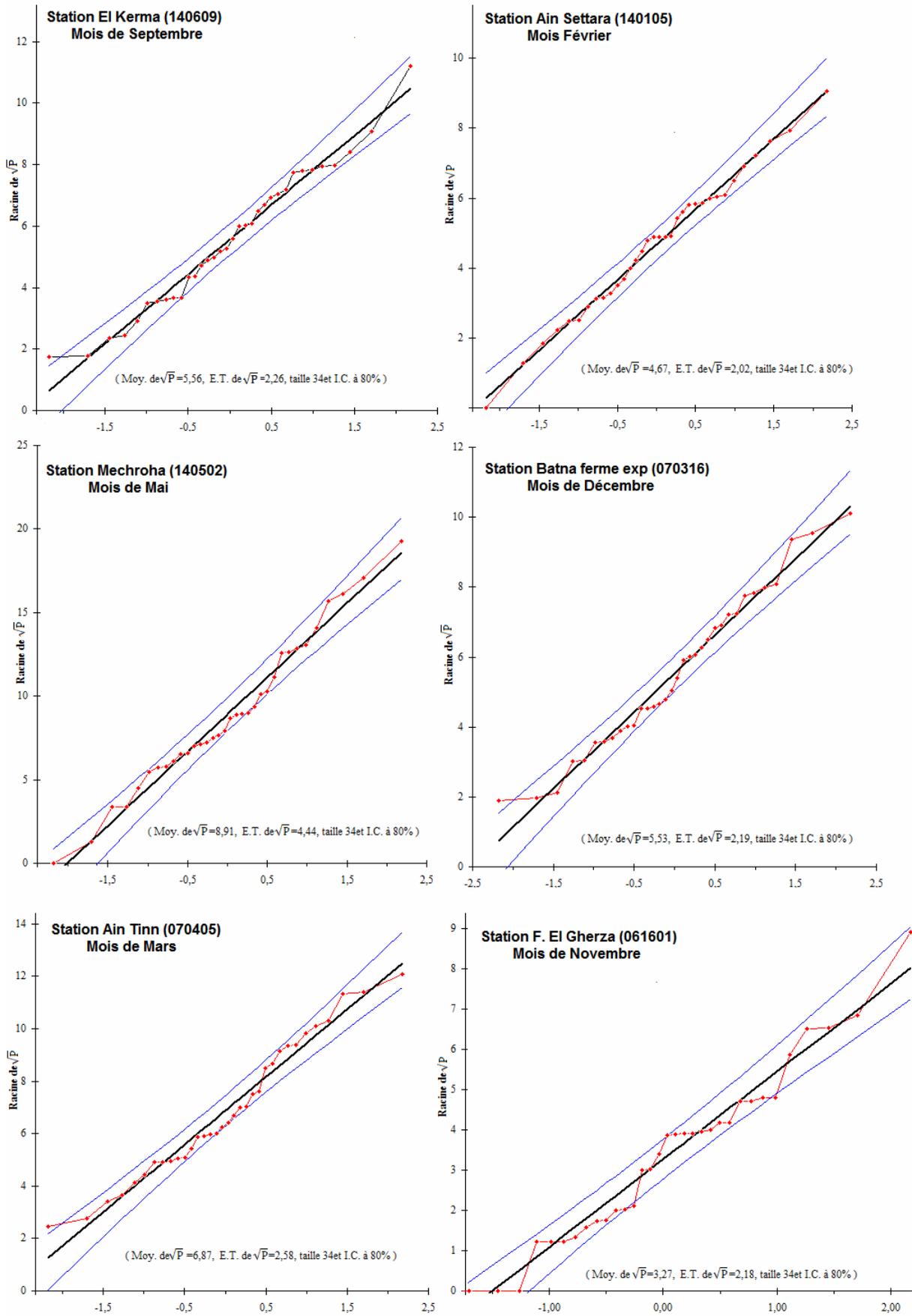


Figure 23 Ajustement à la loi Racine-normale des précipitations mensuelles (1970-2004)

A titre d'exemple, à Mechroha, la station la plus arrosées de la zone étudiée, il apparaît que pour le mois le plus pluvieux de l'année (mars), la valeur atteinte ou dépassée une fois sur 10, 50, 100 ans, en phase humide, serait respectivement 1,8 ; 2,4 et 2,7 fois plus élevés que la moyenne mensuelle. Dans les secteurs les moins arrosés, à Foum El Gherza on remarque, toujours pour le mois le plus pluvieux de l'année (novembre) que la hauteur de la pluie, de durée de récurrence 100 ans, serait en année humide 4,5 fois plus élevés que la hauteur moyenne mensuelle.

Alors que les pluies fréquentielles sont pratiquement nul en période sèche. Si l'on prend l'exemple d'Ain Tinn située en altitude dans les Aurès, on peut lire que la pluie décennale sèche varie entre 0,1 mm en juillet et 12,7 mm en mars.

II-2-1-6 Les précipitations extrêmes

Les valeurs extrêmes des variables hydro-climatiques, présentent un intérêt tout particulier lorsqu'on parle en termes de risque. « Le terme "précipitations extrêmes" caractérise des événements pluviométriques de forte intensité se produisant sur un pas de temps court, et de faible occurrence à la fois dans le temps et dans l'espace » (Berolo et Laborde, 2003).

L'analyse des précipitations journalières maximales et même des hauteurs de pluie horaire, présente un intérêt particulier pour les études de protection contre les crues et le déclenchement de transports solides. Les précipitations et leur intensité exercent un rôle essentiel et décisif autant pour la phase de décapage que dans celle du transport des matériaux (Galevski 1955).

A. Les pluies journalières maximales, facteur générateur des crues

Pour dégager une idée générale sur l'importance des pluies extrêmes, nous nous basons sur des données d'observation disponible (pluies journalières maximales) pour (57) stations et pour une période de (34) ans, ainsi que sur l'étude faite par Body (1981)⁽¹⁾.

Les valeurs des précipitations journalières maximales montrent de fortes irrégularités dans les hauteurs d'eau précipitées. La fréquence la plus forte de ces pluies concerne les secteurs les plus arrosés de la zone étudiée et d'autant plus élevée que le module mensuel et plus fort.

Schématiquement, la hauteur d'eau journalière maximale décroît du nord vers le sud suivant un gradient latitudinal, altéré néanmoins par l'effet orographique des monts du Tell et de l'Atlas saharien (les monts des Aurès).

A titre de comparaison, Bousnib qui totalise en moyenne annuelle et pour la même période de référence (1970-2004), 643 mm, a reçu une lame d'eau journalière maximale moyenne de 61 mm. Alors que Bordj Sabath dont le totale annuelle s'élève à 540 mm, a reçu une hauteur maximale moyenne de 49 mm. La station Ain Tin qui totalise en moyenne annuelle 438 mm, a reçu une lame d'eau journalière maximale moyenne de 48 mm. Alors que Timgad dont le total annuel s'élève à 279 mm, a reçu une hauteur maximale moyenne de 31 mm (figure 24). Concernant la variabilité temporelle de pluies maximales journalières, on relève que la hauteur la plus forte coïncide avec les mois les plus pluvieux de l'année. Ces pluies exceptionnelles alimentent largement les crues et les transports solides des oueds, notamment dans les terrains fortement dénudés qui occupent une partie importante de la zone d'étude.

⁽¹⁾ : Dans ses travaux, Body (1981) a présenté à l'échelle d'un bassin versant quelconque de l'Algérie sa synthèse de connaissance de paramètres et leur répartition spatiale au niveau de chaque station d'observations pluviométriques, les paramètres essentiels sont: La pluie moyenne annuelle "Pan" ; La pluie moyenne journalière maximale "Pjmax" ; L'exposant climatique "b".

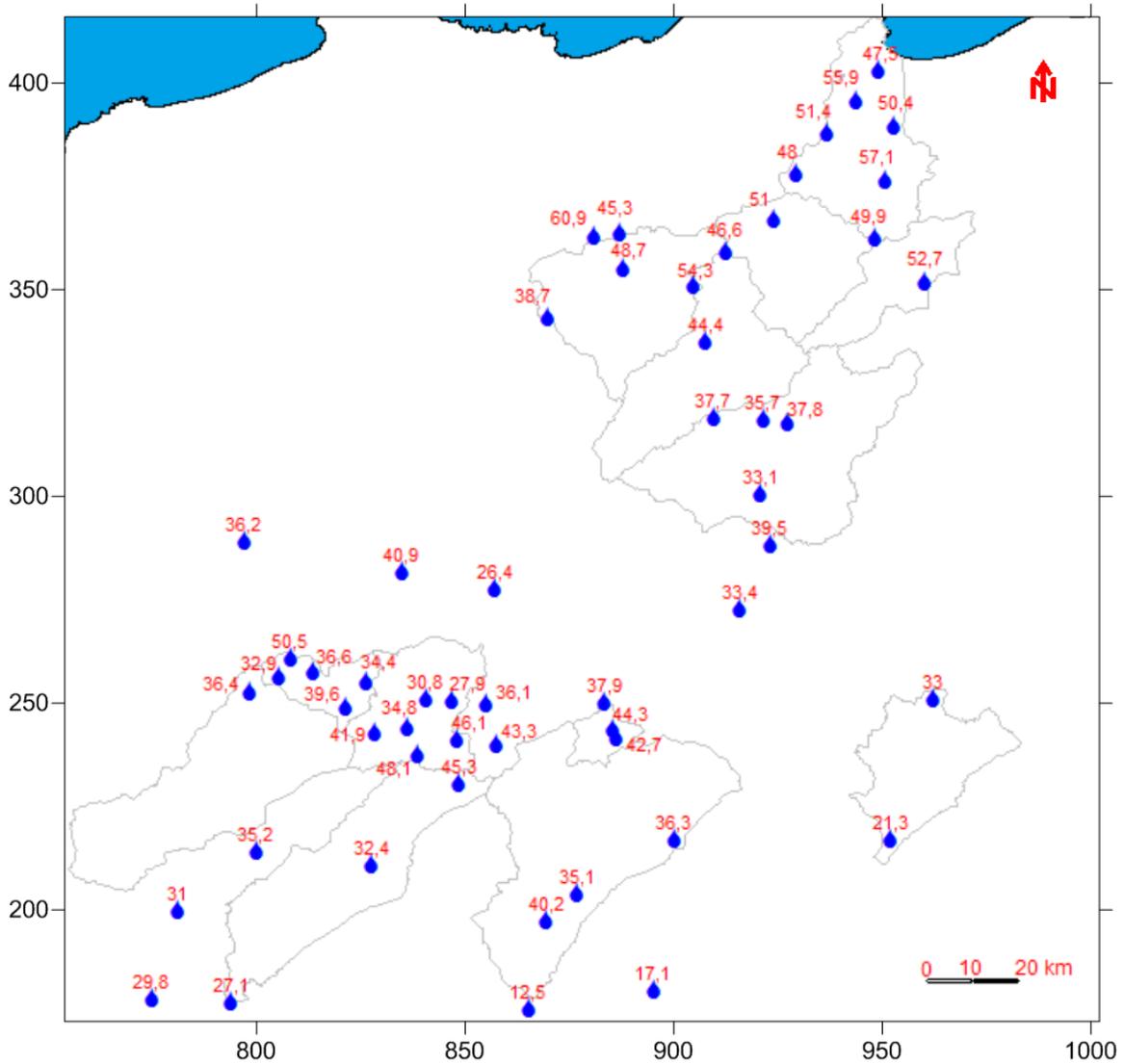


Figure 24 Répartition spatiale des pluies journalières maximales

Afin de faire ressortir cette irrégularité temporelle de pluies extrêmes, et de fournir des éléments indispensables pour la construction d'infrastructures telles que les digues et les ouvrages d'assainissement, une étude fréquentielle nous permet de caractériser et d'estimer les précipitations exceptionnelles, pour les différentes durées de récurrence.

L'approche la plus connue et la plus courante est l'approche statistique. Elle consiste à sélectionner une loi de probabilité qui s'ajuste bien aux valeurs observées de la variable aléatoire à laquelle on s'intéresse. La sélection se fait après comparaison de différentes lois de probabilités théoriques et méthodes d'estimation à l'aide de tests d'adéquation (Mutua, 1994; Mkhandi et al, 2000).

Pour la Seybouse-Aurès, la loi qui s'ajuste mieux aux valeurs extrêmes est celle de Gumbel (1958) ou doublement exponentielle que l'on peut considérer comme très robuste, statistiquement, jusqu'à une durée de retour de 5 à 20 ans ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ : Des récents travaux ont montré que la distribution exacte des maxima à la loi de Gumbel pour de longues séries fait de la distribution de Gumbel une approximation inadéquate (Koutsoyiannis 2003 et 2004, Onibon et al 2004, Habibi et al, 2013).

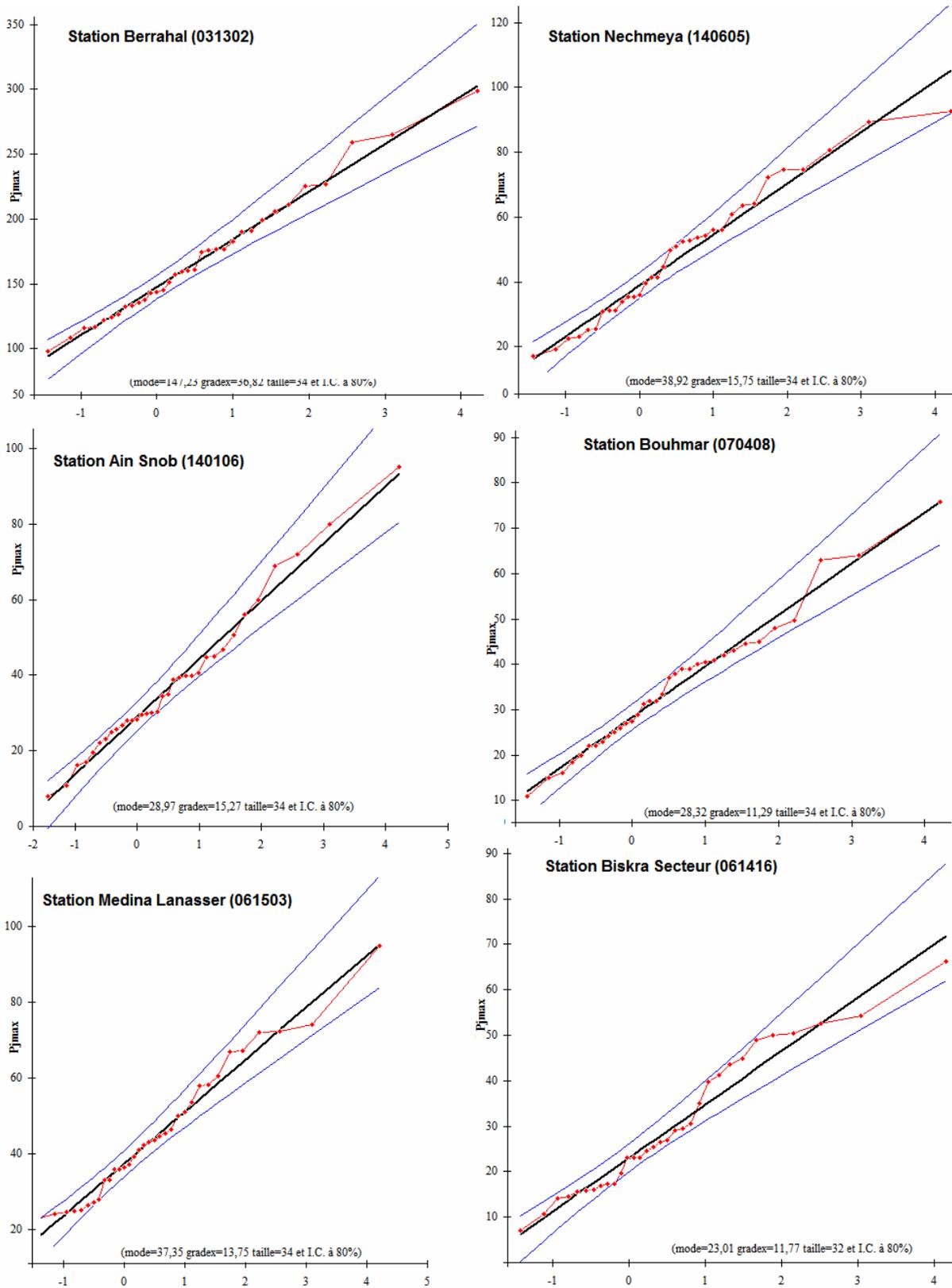


Figure 25 Ajustement à la loi de Gumbel des précipitations maximales journalières (1970-2004)

Tableau 12 Pluie maximale journalière fréquentielle (1970-2004)

Période de retour (ans)	2	5	10	50	100	1000	Période de retour (ans)	2	5	10	50	100	1000	
	Fréquence	0,5	0,90	0,95	0,98	0,99		0,999	Fréquence	0,5	0,90	0,95	0,98	0,99
Variable de Guembel	0,367	2,250	2,970	3,902	4,600	6,907	Variable de Guembel	0,367	2,250	2,970	3,902	4,600	6,907	
P _{jmax%}	Ain El Kleb	41,9	73,1	85,0	100,4	112,0	150,2	Timgad	29,1	44,7	50,6	58,3	64,1	83,1
	Bou Snib	55,5	104,1	122,6	146,6	164,6	224,1	Boulhilet	24,1	44,8	52,7	62,9	70,5	95,8
	Merouana	58,6	94,7	109,2	126,5	139,0	184,2	Ain Diss	73,2	110,1	124,2	142,5	156,1	201,4
	Oued chelih	33,8	57,3	66,3	77,9	86,7	115,4	Yabous	40,1	68,9	80,0	94,3	105,0	140,3
	Mena	32,9	55,4	63,9	75,1	83,4	111,0	Touffana	32,7	62,8	74,3	89,2	100,4	137,2
	Djemorah	27,8	60,2	72,5	88,6	100,6	140,3	Tizi Ala	41,1	64,7	73,8	85,5	94,2	123,2
	BiskraSecteur	27,3	49,5	58,0	68,9	77,1	104,3	Ain Mimoun M	38,8	63,2	72,6	84,6	93,7	123,6
	Medina lanasser	42,4	68,3	78,2	91,0	100,6	132,3	Ain Beida	36,9	60,2	69,1	80,6	89,2	117,8
	Tkout	29,8	53,1	62,0	73,5	82,1	110,7	Fkirina	30,5	58,9	69,8	83,8	94,3	129,1
	F, El Gherza	23,9	52,4	63,2	77,3	87,8	122,6	f, El Gueiss B.	35,6	56,6	64,6	75,0	82,8	108,5
	Boudella	32,5	55,7	64,5	76,0	84,5	112,9	Berriche	30,5	54,0	63,0	74,6	83,3	112,0
	Babar	34,1	53,6	61,1	70,8	78,0	101,9	Ksar Sbahi	34,8	60,3	70,1	82,7	92,2	123,5
	Kheirane	36,4	69,8	82,6	99,1	111,5	152,4	Ain Settara	33,6	52,1	59,1	68,2	75,1	97,7
	Kh. Sidi Nadji	11,3	22,2	26,4	31,8	35,8	49,2	Ain Snob	34,6	63,3	74,3	88,5	99,2	134,4
	SIAR	15,0	33,9	41,1	50,4	57,4	80,6	Ain Makhoulouf	41,1	70,6	81,9	96,6	107,5	143,7
	Ain Troubia	30,5	53,0	61,7	72,8	81,2	108,8	Bordj Sabath	46,0	70,9	80,4	92,7	102,0	132,5
	Ain Babouche	18,9	36,4	43,0	51,7	58,2	79,5	El aria	14,3	42,2	52,9	66,7	77,0	111,2
	Ain djasser	33,6	56,9	65,8	77,3	85,9	114,4	Ras El Akba	19,5	53,8	67,0	83,9	96,6	138,7
	Tazoult	37,2	59,2	67,6	78,5	86,7	113,6	Medjez Amar P	44,1	66,4	75,0	86,0	94,3	121,7
	Ali ben tenoun	32,3	51,4	58,7	68,2	75,3	98,7	Heliopolis	47,4	79,8	92,2	108,3	120,3	160,0
	Ain yagout	37,8	66,1	76,9	90,9	101,4	136,0	Mechroha	48,8	84,1	97,6	115,1	128,2	171,5
	Hamla	30,2	54,6	63,9	76,0	85,0	114,9	Bouchegouf	46,3	78,1	90,2	105,9	117,6	156,5
	Seguene	46,5	82,2	95,8	113,5	126,7	170,5	Nechmeya	44,7	74,4	85,7	100,4	111,4	147,7
	Batna ferme exp	34,4	53,9	61,3	70,9	78,2	102,0	Ain Berda	47,5	81,9	95,1	112,1	124,8	166,9
	Reboa	25,8	44,6	51,7	61,0	67,9	90,9	Boukhamouza	52,6	92,9	108,4	128,3	143,3	192,7
	Ain Tinn	44,3	78,3	91,3	108,1	120,7	162,4	El Kerma	51,7	89,7	104,1	122,9	136,9	183,4
	Foum Toub	43,3	73,3	84,8	99,7	110,8	147,6	Kef Mourad	46,4	81,7	95,1	112,6	125,6	168,8
	Baiou (mechta)	39,2	63,2	72,3	84,2	93,1	122,5	Pont Bouchet	44,3	72,7	83,6	97,7	108,2	143,0
	Bouahmar	32,5	53,7	61,8	72,4	80,2	106,3							

Pour mieux caractériser l'écoulement extrême ayant trait aux crues et aux inondations, il faut descendre à une échelle temporelle encore plus fine dans l'analyse des pluies extrêmes, à l'échelle des pluies horaires, pour une analyse complète des événements avers-crues, observés sur la région d'étude.

B. Les pluies de courte durée

Les données pluviométriques pour des pas de temps inférieurs à la journée sont requises pour le calcul des débits de projet et l'estimation des débits de crue nécessaires pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques (Mohyont et Demarée, 2006). Cependant, n'ayant pas de données suffisantes, on doit recourir à des formules empiriques qui permettent d'estimer les pluies de courte durée. On adopte la loi de Montana⁽¹⁾, utilisée par l'ANRH, d'après Body (1981). La pluie de courte durée, d'un pas de temps voulu pour des différentes fréquences, est donnée dans le tableau 13.

⁽¹⁾ : Selon la loi de Montana (Estorge et al, 1980 ; Kieffer Weisse et bois, 2002), les pluies de courte durée de fréquence donnée $P(t)$ et $P(t')$, correspondant à deux pas de temps différents, (t) et (t') , pour la même variable, sont rapportées par : $\frac{P(t)}{P(t')} = \left(\frac{t}{t'}\right)^b$; Prenant $t' = 24$ h, l'équation devient: $P(t) = \left(\frac{t}{24}\right)^b$; $P(t)$: Pluies de courte durée de fréquence donnée, en heure ; P_{jmax} : Pluie journalière maximale de fréquence donnée. L'estimation de l'exposant climatique (b) d'une région constitue une nécessité absolue pour mener à bien les projets d'aménagement hydraulique. D'où nous allons essayer d'estimer ce dernier pour les différentes stations de notre région d'étude (cf. le chapitre VIII/3^{ème} partie). De cette manière, $P(t)$ peut être calculé en tout point où b et P_{jmax} sont connus.

Tableau 13 Pluie de courte durée pour huit stations pluviométriques stations pluviométriques représentatives de la zone d'étude

St	t (h)	2	5	10	50	100	1000	St	t (h)	2	5	10	50	100	1000	St	t (h)	2	5	10	50	100	1000	St	t (h)	2	5	10	50	100	1000	
		0,5	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999			0,5	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999			0,5	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999			0,5	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999	
Pont Bouchet	1	15,7	17,1	17,6	18,1	18,4	19,3	Boukhamouza	1	16,2	17,9	18,4	19,0	19,3	20,4	Ain Makhoulouf	1	15,5	17,0	17,5	18,0	18,4	19,4	Berriche	1	14,7	16,2	16,7	17,2	17,6	18,5	
	2	19,7	23,5	24,7	26,1	27,1	29,9		2	20,9	25,6	27,1	28,8	29,9	33,3		2	19,1	23,2	24,5	26,0	27,0	30,0		2	17,2	21,1	22,3	23,7	24,7	27,4	
	3	22,5	28,2	30,1	32,4	33,9	38,6		3	24,3	31,6	34,0	36,7	38,7	44,3		3	21,7	27,9	29,8	32,2	33,8	38,7		3	18,9	24,6	26,4	28,6	30,1	34,5	
	4	24,7	32,2	34,7	37,7	39,8	46,3		4	27,0	36,7	39,9	43,7	46,3	54,3		4	23,7	31,7	34,3	37,5	37,7	46,4		4	20,3	27,4	29,8	32,6	34,6	40,6	
	6	28,2	38,7	42,3	46,8	50,0	59,7		6	31,4	45,3	50,0	55,7	59,8	72,4		6	26,8	38,0	41,8	46,4	49,7	59,9		6	22,3	32,0	35,3	39,3	42,2	51,1	
	12	35,3	53,0	59,5	67,6	73,5	92,4		12	40,7	64,9	73,6	84,6	92,6	118,1		12	33,2	51,8	58,5	67,0	73,1	92,8		12	26,1	41,6	47,2	54,2	59,3	75,6	
	18	40,3	63,8	72,6	93,9	92,2	119,3		18	47,3	80,0	92,3	107,9	119,5	157,3		18	37,6	62,1	71,2	83,0	91,6	119,9		18	28,7	48,4	55,9	65,3	72,3	95,2	
	24	44,3	72,7	83,6	97,7	108,2	143,0		24	52,6	92,9	108,4	128,3	143,3	192,7		24	41,1	70,6	81,9	96,6	107,5	143,7		24	30,5	54,0	63,0	74,6	83,3	112,0	
Ain yagout	Ain yagout	1	15,2	16,8	17,3	17,8	18,2	19,2	Reboa	1	14,2	15,7	16,1	16,6	16,9	17,8	Ain Tinn	1	15,7	17,4	17,8	18,4	18,8	19,8	F, El Gherza	1	14,0	16,2	16,7	17,3	17,7	18,8
		2	18,6	22,7	24,0	25,4	26,5	29,4		2	16,2	19,7	20,8	22,1	22,9	25,4		2	19,7	24,1	25,5	27,1	28,2	31,3		2	15,8	20,9	22,3	24,0	25,1	28,3
		3	20,9	27,0	29,0	31,3	32,9	37,7		3	17,5	22,5	24,1	26,0	27,4	31,3		3	22,5	29,2	31,4	33,9	35,7	41,0		3	16,9	24,3	26,5	29,0	30,8	36,0
		4	22,6	30,6	33,2	36,3	38,5	45,1		4	18,4	24,8	26,8	29,3	31,0	36,3		4	24,7	33,5	36,4	39,8	42,3	49,6		4	17,7	27,0	29,9	33,3	35,6	42,6
		6	25,4	36,4	40,1	44,7	47,9	57,9		6	19,9	28,3	31,1	34,6	37,0	44,7		6	28,2	40,6	44,8	49,9	53,6	64,8		6	18,9	31,4	35,4	40,3	43,7	54,1
		12	31,0	49,1	55,5	63,7	69,7	88,7		12	22,7	35,5	40,1	45,9	50,2	63,7		12	35,3	56,4	64,0	73,5	80,4	102,6		12	21,3	40,5	47,3	55,8	61,9	81,5
		18	34,8	58,4	67,2	78,4	86,8	113,9		18	24,4	40,6	46,5	54,2	59,9	78,4		18	40,3	68,3	78,8	92,1	102,0	134,2		18	22,8	47,1	56,0	67,5	76,0	103,5
		24	37,8	66,1	76,9	90,9	101,4	136		24	25,8	44,6	51,7	61,0	67,9	90,9		24	44,3	78,3	91,3	108,1	120,7	162,4		24	23,9	52,4	63,2	77,3	87,8	122,6

C. Courbes Intensités-Durées-Frquences⁽¹⁾

L'analyse des pluies relève de dépouillement des hyétogrammes relatifs aux pluies de courte durée (inexistants dans la plupart des cas) et de celui relatif aux pluies longues (données plus fréquentes dans les stations), (Belloum, 1993).

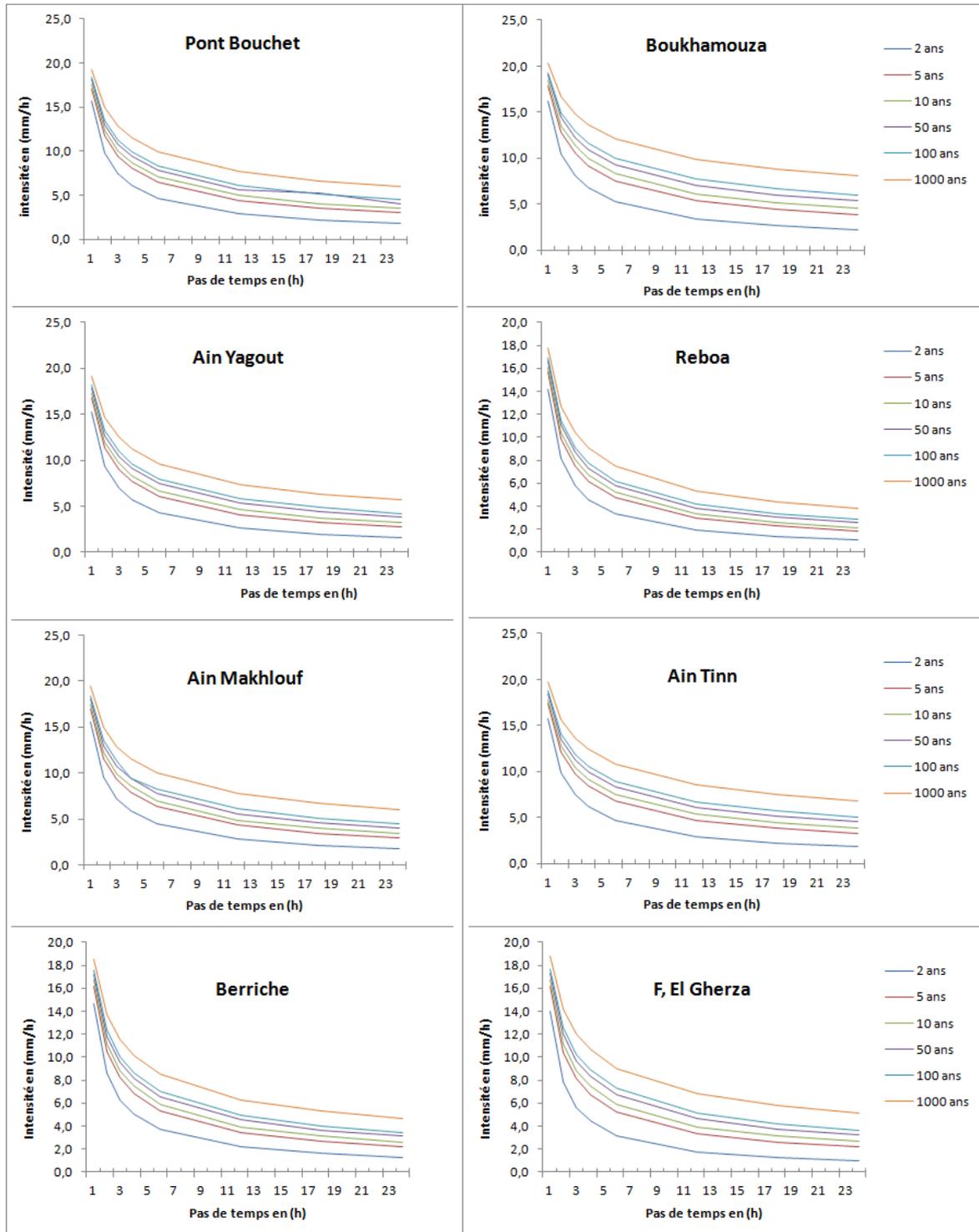


Figure 26 Courbes Intensités – Durées – Fréquences pour (8) stations représentatives de la zone d'étude

⁽¹⁾ : Les courbes IDF donnent pour une période de retour de l'averse T (2, 5, 10, 20,50, 100 et 1000 ans), l'intensité maximale i_m en fonction de la durée de référence dt . Elles représentent graphiquement l'intensité pluvieuse en fonction de la durée d et de la période de retour T .

On est amené à utiliser les relevés journaliers afin d'établir les courbes Intensités-Durées-Fréquences pour notre étude. La méthode s'impose, car la nature des données disponibles dans les stations étudiées ne permette pas d'utiliser des méthodes plus performantes. La figure 26 permette de tirer les remarques suivantes :

- Les courbes IDF montrent des pentes de valeurs négatives, ce qui indique que les intensités horaires des averses s'atténuent généralement lorsque la durée de l'averse augmente.
- Au niveau de la station Boukhamouza et celle de Ain Tinn, les valeurs des intensités sont les plus fortes. Ceci peut être dû à leur situation géographique : la station de boukhamouza est située à 38 m de la Méditerranée, celle d'Ain Tinn (1650 m d'altitude) est relativement élevée par rapport aux autres stations.
- La valeur de la pente change nettement lorsque nous passons de courtes durées (30 min, 1 h et 2h) vers les durées moyennes (3 h, 4h et 6h) et de cette dernière vers les longues durées (8 h, 10 h et 24 h).
- Les averses de courte durée (inférieure ou égale à 1 heure) disposent d'une forte intensité supérieure à 16 mm/h pour une occurrence de moins 10 ans.
- L'intensité des averses de moyenne durée (entre 3 à 6 h) oscille entre 6 et 14 mm/h pour une période de retour inférieure à 50 ans.
- L'intensité des averses de longues durées (plus que 12 h) dépasse rarement 8 mm/h. Elle oscille dans la plupart des cas entre 2 et 8 mm/h.

Les données analysées ci-dessus ne reflètent pas, cependant toute la réalité hydrométéorologique du phénomène d'averse du fait que ces pluies peuvent se succéder au cours d'un épisode pluvieux plus long, c'est à dire sur plusieurs jours consécutifs, et peuvent, par conséquent, exercer un effet plus grand sur la genèse et la propagation des crues.

II-2-2 Les températures et ses nuances : Régime thermique

Les températures régissent directement en interaction avec les autres facteurs météorologiques et biogéographiques, l'évaporation et l'évapotranspiration, mais ces phénomènes seront surtout conditionnés par la disponibilité très variable de la ressource en eau, variabilité bien connue pour le milieu méditerranéen.

Lorsque ces températures sont élevées, cela entraîne généralement d'importantes pertes en eaux des sols par évapotranspiration. Ces pertes en eaux se traduisent par une réduction de l'humidité au niveau des sols qui s'exprime par une régression du couvert végétal et par conséquent des risques plus élevés à l'érosion hydrique (Roose et al, 2008).

On dispose des données de températures moyennes mensuelles et annuelles de 10 stations météorologiques représentatives des bassins étudiés, avec les minima et les maxima (Tableau 14).

Le paramètre température de notre région d'étude est fonction de l'altitude, de la distance à la mer, et de la position topographique. À mesure que l'on s'éloigne de la mer, les températures annuelles moyennes s'abaissent (Tableau 14). Cette régression thermique s'explique par le rôle régulateur de la mer méditerranée et de la continentalité (abaissement des isothermes d'hiver). Dans les zones montagneuses, les températures varient suivant le gradient altitudinal (effet orographique). Elles remontent à nouveau et de façon nette sur les piémonts pré-sahariens des Aurès (effet de la latitude).

Les températures moyennes mensuelles maximales sont atteintes en juillet et août, elles varient entre 25°C et 34°C. Alors que les températures moyennes mensuelles minimales s'observent en janvier atteignant parfois 6°C. Les températures moyennes annuelles varient entre 14,6°C (Batna : station la plus froide) et 22,3°C (Biskra : station la plus chaude). Les variations interannuelles sont faibles (le coefficient de variation est inférieure à 1%).

L'amplitude thermique annuelle qui traduit la différence entre la température moyenne du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid, varie entre 7,4°C à Skikda et 13,5°C à Guelma.

II-3 L'évolution annuelle des précipitations et des températures : Régime climatique

La combinaison des deux principaux facteurs climatiques, températures et précipitations, est intéressante dans la mesure où elle permet de déterminer les mois véritablement secs, qui correspondent selon la définition de [Bagnouls et Gaussen \(1952\)](#), au mois où le total de précipitations est inférieur au double de la température moyenne mensuelle.

Comme le montre les diagrammes ombrothermiques à l'altitude moyenne⁽¹⁾, tous les bassins sont caractérisés par une saison sèche qui s'étend sur 4 à 8 mois. Les mois secs se succèdent de mai en octobre sur la zone littorale, le Tell, les Hauts plateaux et les versants septentrionaux des Aurès. Alors que plus au sud, sur les piémonts pré-sahariens, la saison sèche s'étend d'avril à novembre (figure 27). Cette répartition n'est que moyenne, car les variations inter-annuelles des précipitations sont très grandes, et certaines années réelles échappent à cette schématisation.

De ce fait, la classification des sécheresses de R. Lambert ([Nemouchi, 2001](#)) est plus significative, car elle est plus concrète : R. Lambert distingue 4 types de sécheresse qui s'enchaînent : La sécheresse atmosphérique qui est le moteur, pédologique, phréatique, et patomologique ; L'adéquation qui existe entre ces sécheresses d'un côté, et les différents rapports entre les précipitations et les températures de l'autre, se fait comme suit :

- Si $P = 4T$: Il y a sécheresse ce mois là.
- Si $P < 4T$: Il y a sécheresse atmosphérique, avec une fréquence $> 50\%$.
- Si $P < 3T$: Il y a sécheresse pédologique, avec épuisement de la RFU, et une sécheresse patomologique une année sur deux.
- Si $P < 2T$: La sécheresse atmosphérique est vraiment habituelle ($f > 80\%$) ; assez prononcée pour entraîner une sécheresse pédologique poussée jusqu'à épuisement de la RFU.

Qu'en est-il pour les stations représentatives pour notre zone d'étude ?

L'analyse est basée sur une période de 34 ans, pour lesquels on dispose de mesures continues des précipitations. On porte sur le graphique (figure 28) les 34 valeurs de chaque mois, puis on trace la courbe des températures moyennes mensuelle dans le rapport $P = 2T$, pour isoler les mois secs gaussien.

⁽¹⁾ : Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls est un indice qui tient compte des moyennes mensuelles des précipitations (p en mm) et de la température (t en °C) et donne une expression relative de la sécheresse estivale en durée et en intensité ([Gaussen et Bagnouls, 1952](#)).

Un mois donné est considéré comme sec quand $p < 2t$, c'est-à-dire quand les pertes en eau sont supérieures aux apports (précipitations). Inversement, quand $p > 2t$, le mois est considéré comme humide. La température est estimée, au centre du bassin et à son altitude moyenne, par régression multiple et en tenant compte de l'incidence du relief et de la position géographique. La méthode utilisée pour l'évaluation de la lame d'eau précipitée sur les bassins étudiés, est celle de Theissen.

Tableau 14 Régime thermique mensuel aux stations climatiques de la région d'étude (1990-2004)

		Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jul.	Aou.	Ann.
Skikda Latitude : 36° 54 Longitude : 6° 54 Altitude : 2 m	Max	40,5	39,2	30,7	29,5	28,9	30,1	38,2	36,6	40,0	40,8	46,8	46,5	37,3
	min	12,8	9,3	1,9	0,4	0,9	0,7	2,8	4,6	6,2	10,5	12,9	14,8	6,5
	M	27,2	24,6	20,4	17,6	16,3	16,5	17,8	19,5	21,9	25,3	28,2	29,0	22,0
	m	20,0	16,8	12,8	10,0	8,7	8,8	10,2	11,7	14,9	18,4	21,1	22,2	14,6
	(M+m)/2	23,6	20,7	16,6	13,8	12,5	12,7	14,0	15,6	18,4	21,9	24,7	25,6	18,3
	(M-m)	7,2	7,8	7,6	7,6	7,6	7,7	7,6	7,8	7,0	6,9	7,1	6,8	7,4
Annaba Latitude : 36° 50 Longitude : 7° 49 Altitude : 8 m	Max	42,5	40,1	31,0	27,6	27,0	30,1	36,8	37,9	38,8	42,9	47,5	46,1	37,4
	min	11,3	7,4	2,0	-0,5	0,3	-1,0	2,0	3,3	6,2	9,0	12,2	13,9	5,5
	M	29,4	25,9	20,9	17,5	16,4	16,9	18,6	20,4	23,7	27,5	30,5	31,3	23,3
	m	18,0	15,0	11,0	8,2	6,9	7,1	8,3	9,9	13,0	16,6	19,0	20,2	12,8
	(M+m)/2	23,7	20,5	16,0	12,9	11,7	12,0	13,5	15,2	18,4	22,1	24,8	25,8	18,1
	(M-m)	11,4	10,9	9,9	9,3	9,5	9,8	10,3	10,5	10,7	10,9	11,5	11,1	10,5
Guelma Latitude : 36° 28 Longitude : 7° 28 Altitude : 227 m	Max	45,0	41,0	31,2	28,0	27,3	29,2	34,7	35,2	41,3	46,9	47,4	46,9	37,8
	min	9,4	6,2	0,0	-2,7	-3,5	-4,2	-1,8	-0,5	1,6	6,0	10,2	11,5	2,7
	M	31,4	26,7	20,3	16,5	15,4	16,7	18,7	21,2	26,3	31,6	35,5	36,2	24,7
	m	17,3	13,9	9,2	6,2	4,8	4,6	6,1	8,1	11,5	15,5	18,2	19,4	11,2
	(M+m)/2	24,4	20,3	14,8	11,4	10,1	10,7	12,4	14,7	18,9	23,6	26,9	27,8	18,0
	(M-m)	14,1	12,8	11,1	10,3	10,6	12,1	12,6	13,1	14,8	16,1	17,3	16,8	13,5
Constantine Latitude : 36° 17 Longitude : 6° 37 Altitude : 703 m	Max	41,0	37,0	31,9	24,5	23,3	26,7	32,1	34,3	38,6	41,9	43,5	42,7	34,8
	min	5,0	2,2	-4,6	-4,9	-5,5	-10,2	-2,6	-2,1	1,0	5,5	8,4	10,2	0,2
	M	28,7	23,3	16,7	12,9	11,7	13,3	15,7	18,5	24,0	30,0	33,8	33,8	21,9
	m	15,4	11,3	6,9	3,9	2,5	3,0	4,7	6,7	10,7	15,2	17,9	18,6	9,7
	(M+m)/2	22,1	17,3	11,8	8,4	7,1	8,2	10,2	12,6	17,4	22,6	25,9	26,2	15,8
	(M-m)	13,3	12,0	9,8	9,0	9,2	10,3	11,0	11,8	13,3	14,8	15,9	15,2	12,1
Souk-Ahras Latitude : 36° 17 Longitude : 7° 58 Altitude : 680 m Transfert de la station (1985)	Max	43,0	37,2	27,3	24,5	24,5	27,0	30,6	32,2	37,9	42,6	43,7	43,1	34,5
	min	7,6	3,4	-0,4	-4,2	-5,7	-6,1	-1,5	-1,2	2,0	6,5	9,5	10,5	1,7
	M	28,4	23,3	16,6	12,8	11,6	12,9	15,3	18,1	23,5	29,2	33,4	33,2	21,5
	m	15,7	11,6	7,5	4,7	3,3	3,8	5,3	6,9	10,5	14,8	17,6	18,4	10,0
	(M+m)/2	22,1	17,5	12,1	8,8	7,5	8,4	10,3	12,5	17,0	22,0	25,5	25,8	15,8
	(M-m)	12,7	11,7	9,1	8,1	8,3	9,1	10,0	11,2	13,0	14,4	15,8	14,8	11,5
Sétif Latitude : 36° 11 Longitude : 5° 19 Altitude : 1015 m Station active depuis 1981	Max	38,1	33,0	24,4	28,7	21,3	22,8	28,0	29,4	35,4	39,0	39,8	39,9	31,7
	min	4,2	0,0	-3,2	-8,7	-7,8	-6,9	-4,8	-3,1	-1,3	5,3	8,1	9,6	-0,7
	M	27,2	21,1	14,5	10,5	9,4	11,7	14,1	17,2	22,3	29,3	33,3	32,7	20,3
	m	15,1	10,8	5,8	4,2	1,5	2,2	4,2	6,2	10,5	15,4	18,9	19,1	9,5
	(M+m)/2	21,2	16,0	10,2	7,4	5,5	7,0	9,2	11,7	16,4	22,4	26,1	25,9	14,9
	(M-m)	12,1	10,3	8,7	6,3	7,9	9,5	9,9	11,0	11,8	13,9	14,4	13,6	10,8
Batna Latitude : 35° 43 Longitude : 6° 21 Altitude : 827 m	Max	39,1	35,5	26,9	24,8	22,4	24,7	31,6	33,4	40,5	41,1	42,3	41,7	33,7
	min	3,4	-0,2	-6,2	-8,3	-8,4	-9,0	-7,3	-5,5	-2,5	4,2	7,8	8,3	-2,0
	M	28,4	22,5	15,9	11,9	10,9	12,9	15,8	18,9	24,5	30,8	34,3	33,8	20,9
	m	14,1	9,7	4,8	1,7	0,3	0,8	2,9	5,5	9,9	14,5	17,1	17,3	8,2
	(M+m)/2	21,3	16,1	10,4	6,8	5,6	6,9	9,4	11,4	17,2	22,7	25,7	25,6	14,6
	(M-m)	14,3	12,8	11,1	10,2	10,6	12,1	12,9	3,4	14,6	16,3	17,2	16,5	12,7
O. El Bouaghi Latitude : 35° 52 Longitude : 7° 07 Altitude : 889 m	Max	40,0	36,0	26,2	23,6	22,6	26,2	32,2	33,0	37,6	42,3	42,3	43,3	33,8
	min	3,7	0,0	-5,6	-6,8	-7,3	-8,5	-6,0	-3,0	-0,4	3,6	8,0	7,6	-1,2
	M	28,9	22,9	16,2	12,1	11,1	12,9	16,3	18,9	24,5	30,3	33,6	33,7	21,8
	m	14,5	10,6	5,6	2,4	1,9	1,6	3,7	5,9	10,3	14,7	17,2	17,4	8,8
	(M+m)/2	21,7	16,8	10,9	7,3	6,5	7,3	10,0	12,4	17,4	22,5	25,4	25,6	15,3
	(M-m)	14,4	12,3	10,6	9,7	9,2	11,3	12,6	13,0	14,2	15,6	16,4	16,3	13,0
Tébessa Latitude : 35° 25 Longitude : 8° 07 Altitude : 823 m Arrêt de mesures des T° (1987)	Max	38,5	34,9	27,0	23,8	23,7	29,2	31,7	32,3	40,6	41,2	41,6	41,6	33,8
	min	5,2	-1,0	-3,4	-11,2	-8,4	-6,7	-4,7	-3,8	-0,5	5,4	8,6	8,4	-1,0
	M	29,7	23,3	16,8	13,0	11,8	13,5	16,3	19,8	25,3	31,0	34,5	34,0	22,4
	m	14,9	11,0	6,1	2,9	1,3	2,3	4,3	6,8	11,2	15,1	17,8	18,0	9,3
	(M+m)/2	22,3	17,2	11,5	8,0	6,6	7,9	10,3	13,3	18,3	23,1	26,2	26,0	15,9
	(M-m)	14,8	12,3	10,7	10,1	10,5	11,2	12,0	13,0	14,1	15,9	16,7	16,0	13,1
Biskra Latitude : 34° 48 Longitude : 5° 44 Altitude : 89 m	Max	44,4	40,2	29,0	24,3	24,5	29,1	35,7	38,1	45,3	47,0	47,5	47,2	37,7
	min	12,9	9,0	2,5	-0,4	-1,8	-0,8	3,9	4,4	10,3	14,8	19,9	17,2	7,7
	M	34,2	28,7	21,6	17,6	16,7	19,2	22,6	26,1	31,0	36,8	40,2	39,5	27,9
	m	23,3	17,9	12,1	8,2	7,0	8,6	11,4	14,6	19,5	24,4	27,3	27,4	16,8
	(M+m)/2	28,8	23,3	16,9	12,9	11,9	13,9	17,0	20,4	25,3	30,6	33,8	33,5	22,3
	(M-m)	10,9	10,8	9,5	9,4	9,7	10,6	11,2	11,5	11,5	12,4	12,9	12,1	11,0

Max : températures maximale absolue ; min : température minimale absolue ; M : température moyenne maximale ; m : températures moyenne minimale ; (M+m)/2 : température moyenne mensuelle ; (M-m) : amplitude thermique. Source : Office National de la Météorologie ONM, Constantine.

On dénombre 205 mois secs en 34 ans (1970-2004) à la station de Annaba, soit 50% des mois de la période, 196 (48%) à Guelma, 197 (48%) à Souk Ahrass, 221 (54%) à Oum El Bouaghi, 184(45%) à Batna et 386 (95%) à Biskra, et aucun mois de l'année n'y échappe. Les mois de juin, juillet et août sont secs à plus de 90% pour la quasi-totalité des stations. Le minimum est enregistré en janvier : Annaba (3%), Guelma (9%), Souk Ahrass (9%), Batna (9%) et Biskra (82%). La station d'Oum El Bouaghi enregistre un minimum de 9% en février.

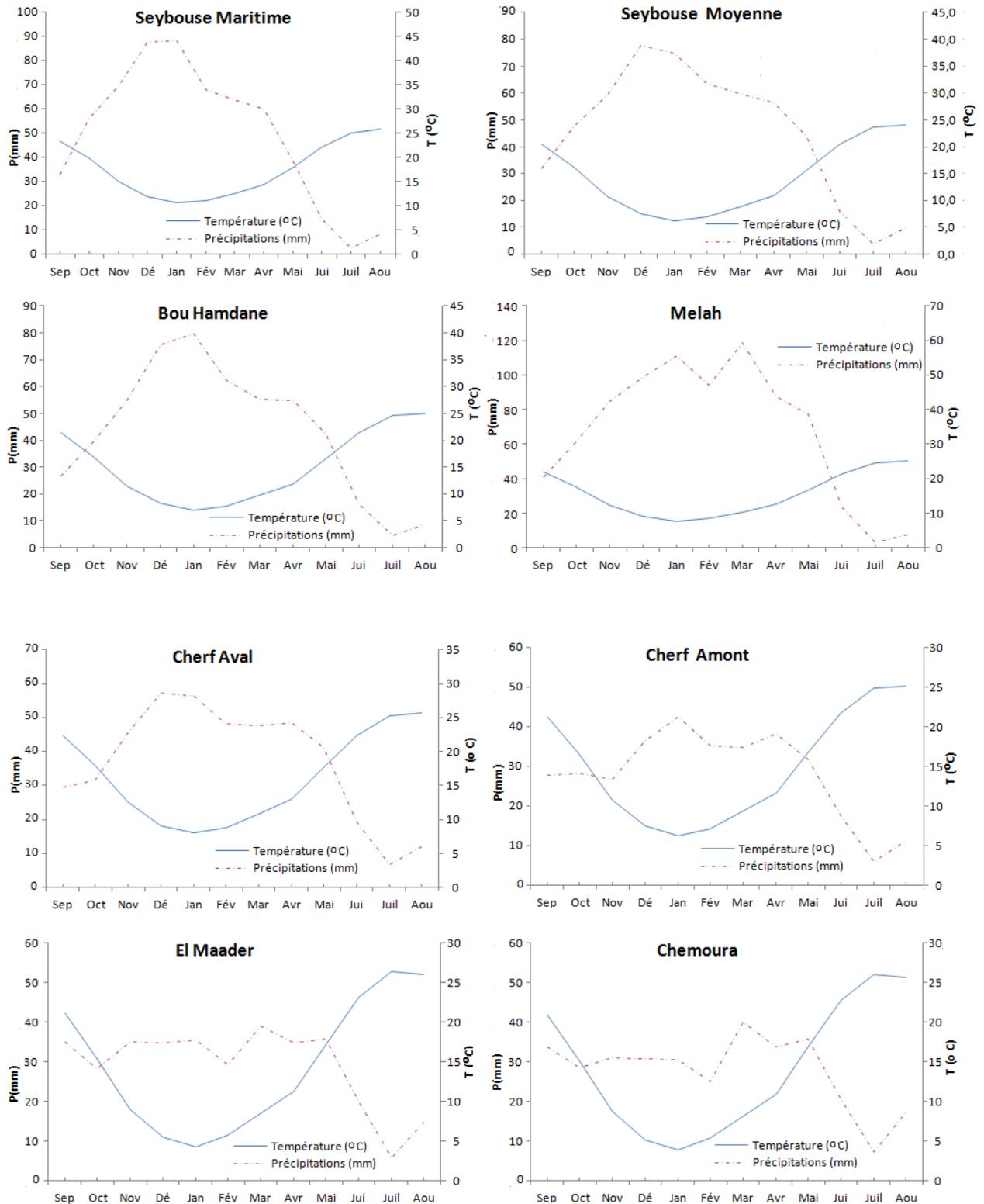


Figure 27 Diagrammes Ombrothermiques à l'altitude moyenne des bassins (1970/71-2003/04)

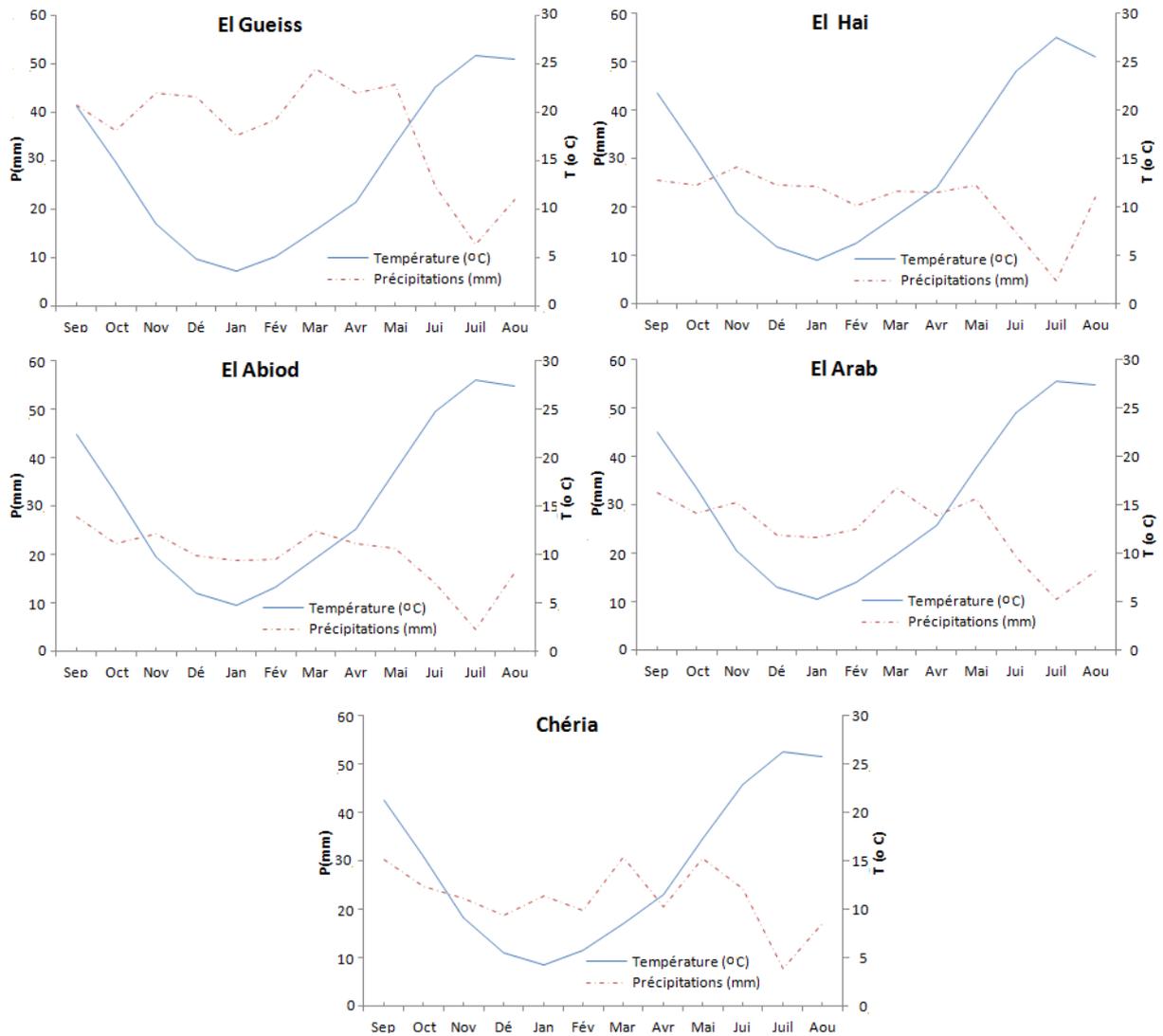


Figure 27 (suite) Diagrammes Ombrothermiques à l'altitude moyenne des bassins (1970/71-2003/04)

Avec $P = 4T$, les mois de mai jusqu'en septembre ont une fréquence $> 80\%$, et les autres mois avoisinent 50% . La station de Biskra a une fréquence qui dépasse les 90% pour tous les mois de l'année. Etabli avec les valeurs moyennes, les mois de juin, juillet, et août sont secs, alors que septembre et octobre sont en équilibre.

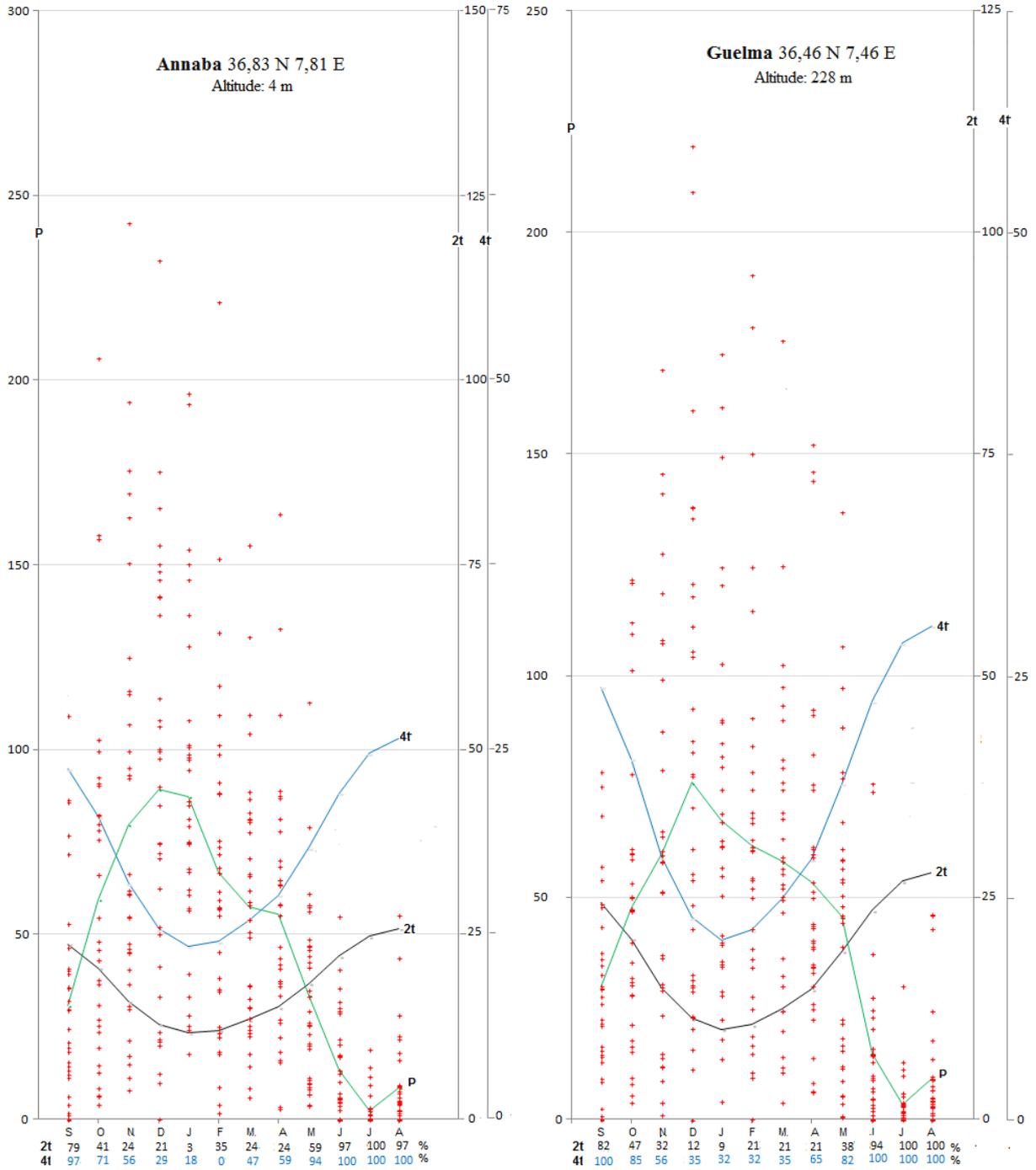


Figure 28 Approche des mois secs (1970/71-2003/04)

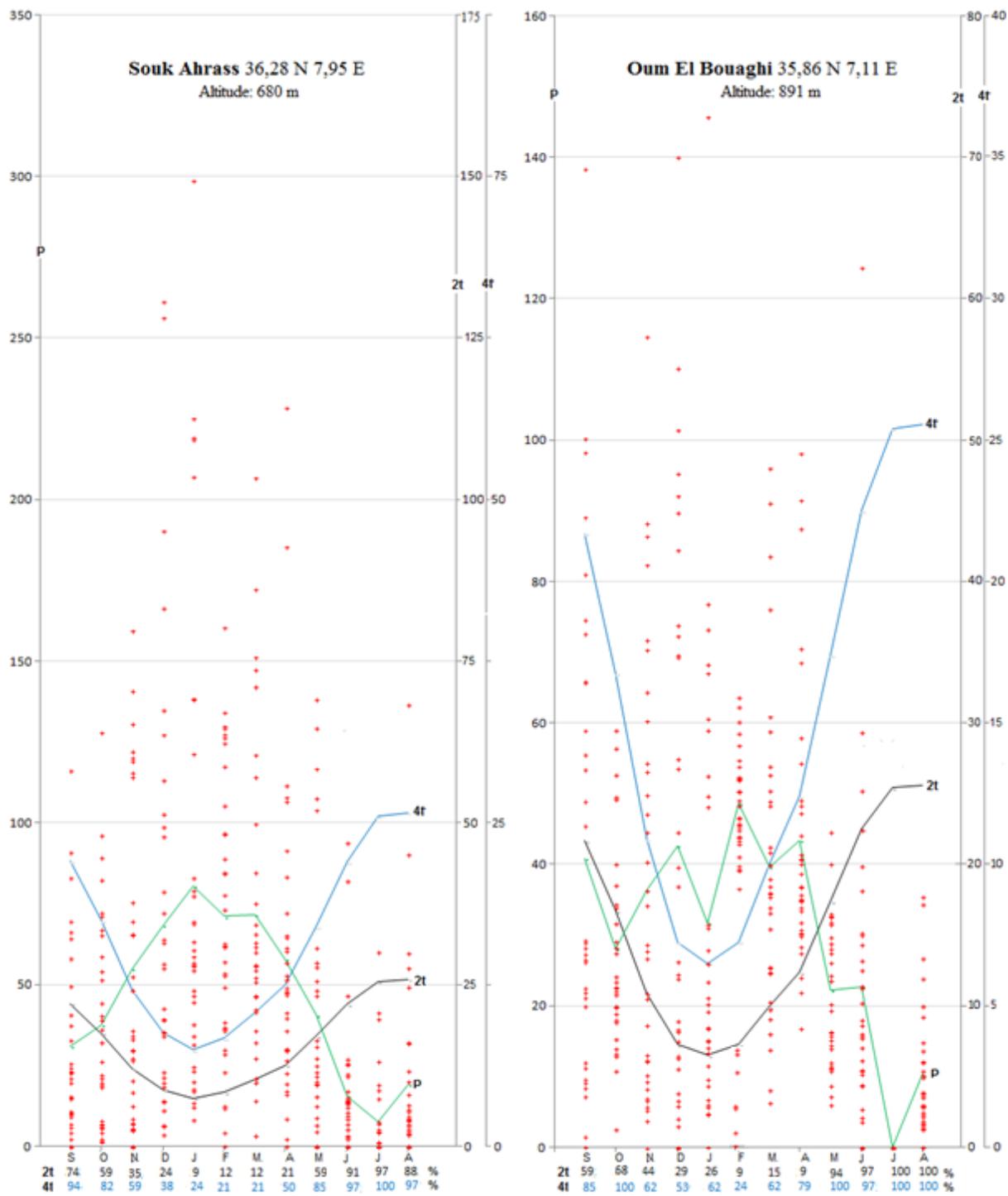


Figure 28 (suite) Approche des mois secs (1970/71-2003/04)

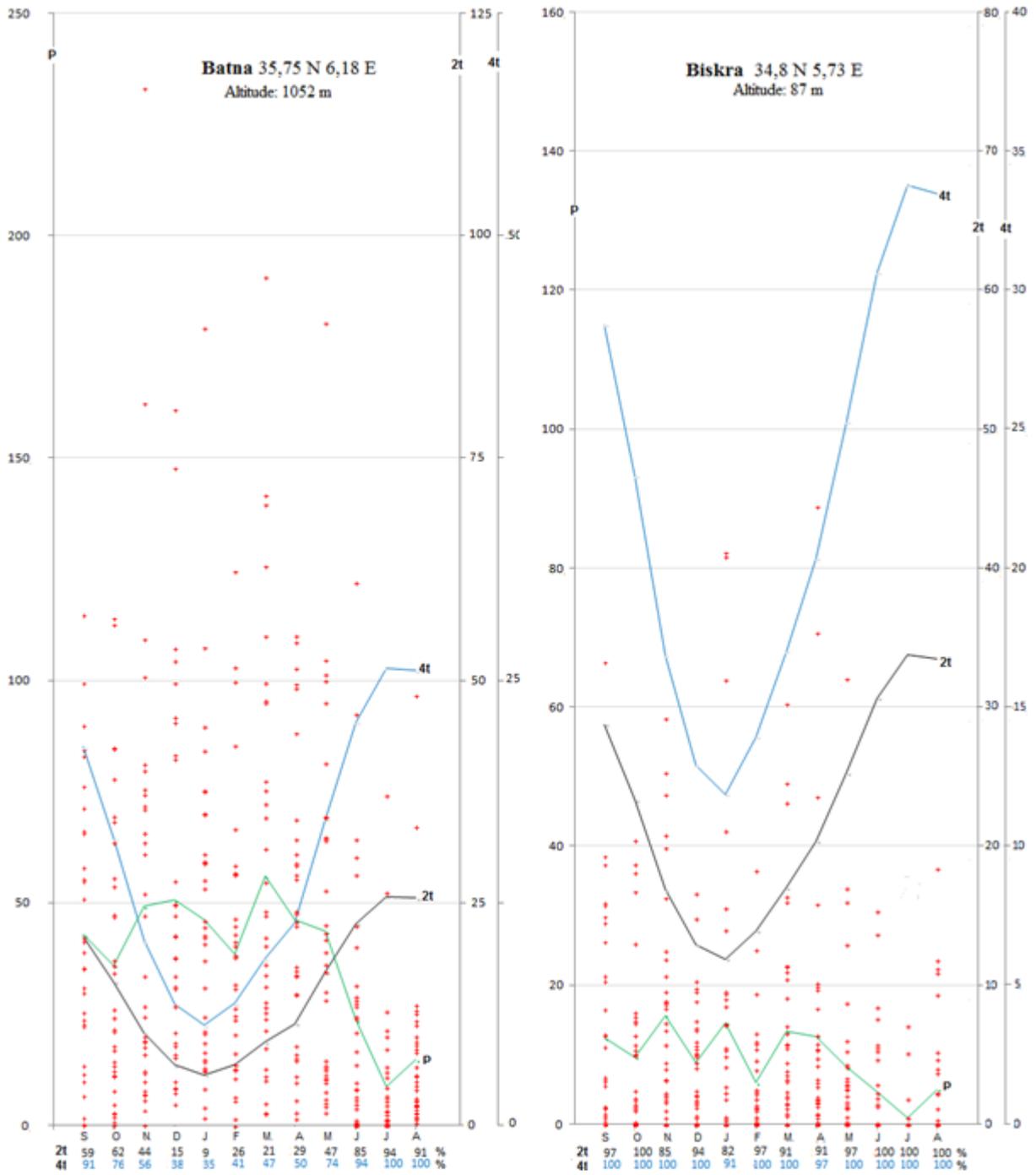


Figure 28 (suite) Approche des mois secs (1970/71-2003/04)

II-4 Le bilan climatique

C'est un bilan calculé qui permet d'évaluer les effets du climat sur l'écoulement dans le bassin versant. Il tient compte uniquement des entrées et des sorties, qui se feront par la voie atmosphérique.

Une esquisse des zones d'écoulement potentiel de la zone d'étude, est établie en calculant le déficit d'écoulement potentiel avec la formule de Turc⁽¹⁾ qui a montré sa bonne corrélation avec les déficits d'écoulement issus des bilans hydrologiques interannuels des bassins jaugés de l'Algérie orientale (Mebarki,2005).

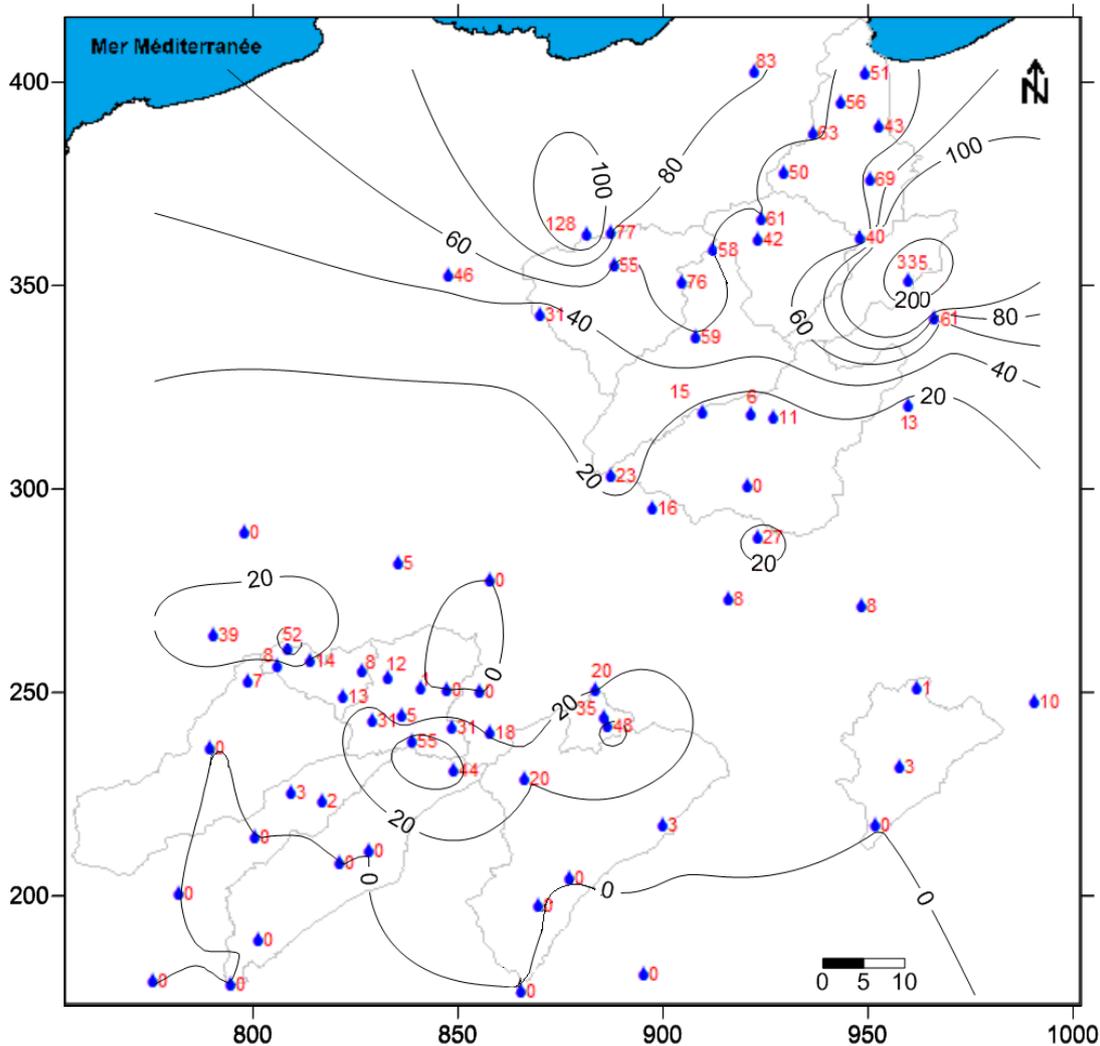


Figure 29 Zonage d'écoulement potentiel

⁽¹⁾ : Turc L. adapte à la famille des courbes $D = f(P, t)$ établie à partir des observations faites sur 254 bassins versants situés sous tous les climats du Globe, l'expression suivante (Réménieras, 1980 in Mebarki, 2005) :

$$D = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

P : Précipitations moyennes annuelles (mm)

L = $300 + 25t + 0,05t^3$ (Pouvoir évaporant) ; t : température moyenne mensuelle (°C).

On a pu distinguer quatre (4) grandes zones (Figure 29) :

- La plaine cotière et le bourrelet montagneux tellien : C'est la zone la plus importante du point de vue écoulement, puisque la lame d'eau écoulee potentielle excède 40 mm, pour atteindre plus de 200 mm sur la Mechrouha (monts de la Medjerda). Sur ce secteur montagneux, les précipitations augmentent plus vite avec l'altitude que le déficit d'écoulement d'où un excédent plus important pour l'écoulement.

- les hauts plateaux : C'est la zone qui présente une lame d'eau écoulee variant entre 0 et 25 mm, c'est une zone où l'excédent d'écoulement est faible, en raison de l'augmentation des températures et par conséquent l'accentuation de l'évaporation.

- le Massif montagneux des Aurès: C'est la zone qui présente un écoulement variant entre 30 et 50 mm, voire plus sur les versants nord exposés aux vents humides.

- le piémont sub-saharien: qui présente un écoulement inférieur à 10 mm, voire nul en allant vers le sud, car l'évapotranspiration est très élevée, les précipitations sont faibles, et par conséquent un écoulement déficitaire.

En se basant sur des considérations essentiellement géographiques, [De Martonne \(1926\)](#) a défini l'aridité du climat par un indice appelé « indice d'aridité »⁽¹⁾. Cet indice associe les précipitations moyennes annuelles aux températures moyennes annuelles, pour évaluer l'intensité de la sécheresse et rendre compte des limites des zones sans écoulement. De Martonne a également défini un indice utilisable à l'échelle mensuelle⁽²⁾ pour préciser les conditions de la semi-aridité estivale. Cet indice exprime la sécheresse mais ne permet pas de savoir à partir de quel moment un mois est vraiment "sec".

On note la bonne correspondance entre la carte précédente (Zonage d'écoulement potentiel) et cet indice, car effectivement les bassins à climat sub-humide et humide présentent un excédent variant entre 60 et 200 mm, alors que les bassins à climat semi-aride et aride, ont un écoulement inférieur à 40 mm voire nul.

En revanche, en appliquant l'indice d'aridité de De Martonne modifié⁽³⁾ ([Martonne, 1935](#)), les bassins de la région d'étude présentent des valeurs annuelles comprises entre 5,3 à Oued El Abiod et 16,3 à Oued Melah. En somme, la fourchette indiciaire proposée par [De Martonne en 1926](#) est plus adaptée. Mais les seuils définis par l'auteur ne doivent pas avoir une limite bien tranchée, de fait que cet indice ne tient compte que du climat, et ignore le relief, la tectonique, et la géomorphologie.

⁽¹⁾ : L'indice d'aridité de De Martonne, qui utilise les hauteurs annuelles des précipitations (P en mm), et les températures moyennes annuelles (T en °C) $I = P / (T + 10)$, permet de placer une zone donnée dans l'étage aride ($I < 10$), semi-aride ($10 < I < 20$) ou humide ($I > 20$), ([De Martonne 1948](#)).

⁽²⁾ : Pour un mois donné caractérisé par une précipitation moyenne P (mm) et une température moyenne t (°C), l'indice d'aridité mensuel est : $I = 12 P / (t + 10)$. La pluviométrie est multipliée par 12 de façon à obtenir une valeur de l'indice comparable à celle de l'indice annuel.

⁽³⁾ : $I = \frac{1}{2} \left(\frac{P}{T + 10} + \frac{12p}{t + 10} \right)$; P : Précipitations moyennes annuelles en mm ; T : Température moyenne annuelle en °C ; p : précipitations du mois le plus sec ; t : Température moyenne du mois sec.

Tableau 15 Indice d'aridité de De Martonne

	sep	oct	nov	dec	janv	fév	mar	avr	mai	jui	juil	aoû	ann
Seybouse Maritime	11,9	22,6	33,3	47,8	51,3	38,6	33,9	29,4	16,5	5,5	0,8	2,7	21,5
Seybouse Moyenne	12,5	21,9	34,4	53,2	55,2	45,0	38,1	32,3	20,7	6,2	1,3	3,4	22,5
Bou Hamdane	10,2	17,7	30,7	49,8	56,4	42,1	33,5	30,2	19,2	6,1	1,6	3,0	20,8
Melah	15,5	26,9	45,7	61,7	75,3	61,1	70,0	46,6	34,6	8,9	1,0	2,6	31,5
Bascherf	10,9	13,5	24,2	35,8	37,5	30,7	27,5	25,4	17,9	7,1	2,2	4,0	17,1
Hautcherf	10,6	12,8	15,5	25,2	31,5	24,7	21,6	21,2	14,3	6,6	2,1	3,9	13,6
El Maader	13,5	13,4	22,1	26,8	29,9	22,2	25,3	19,7	15,8	7,2	1,9	4,9	14,3
Chemoura	13,2	13,7	19,9	24,4	26,2	19,6	26,4	19,4	16,0	7,5	2,4	5,8	14,0
El Gueiss	16,2	17,5	28,6	34,8	31,2	30,5	32,8	25,5	20,6	9,1	4,3	7,4	18,4
El Hai	9,6	11,4	17,6	18,4	20,1	15,0	14,7	12,5	10,6	5,2	1,5	2,9	9,9
El Abiod	10,3	10,2	14,7	14,8	15,2	13,7	15,1	11,8	8,9	4,8	1,4	5,2	9,2
El Arab	12,0	12,7	18,2	17,4	18,3	17,7	20,2	14,5	13,1	6,7	3,3	5,2	11,8
Chéria	11,6	11,7	14,0	14,5	19,1	15,0	20,0	11,5	13,4	8,8	2,6	5,7	11,0

Hyper-aride	aride	Semi-aride	Sub-humide	Humide	Hyper-humide
-------------	-------	------------	------------	--------	--------------

II-5 L'évapotranspiration et le bilan hydrique sous l'aspect agronomique

La connaissance du bilan de l'eau d'une région, consiste à évaluer la répartition des précipitations entre l'écoulement, l'infiltration, et l'évapotranspiration⁽¹⁾. Ce dernier paramètre conditionne l'abondance en eau de la végétation.

A l'origine, l'évapotranspiration potentielle⁽²⁾ était mesurée dans la plupart des cas à l'aide de bacs, d'évapomètre, et de lysimètre. Ces instruments n'estiment que l'ETP physiologique sur une surface restreinte. De nombreuses formules ont été établies pour calculer l'ETP à partir de quatre éléments fondamentaux, mais aux pouvoirs évaporants distincts. Il s'agit de températures, du déficit de saturation, du vent, et de la radiation globale.

⁽¹⁾ :L'évapotranspiration : est la restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre, quelque soit sa nature (sols, végétaux, et eaux libres) à l'atmosphère (Brutsaert 1982, Jensen et al. 1990). Son origine est agronomique et les formules pour la calculer ont souvent été mises au point dans des conditions particulières à l'échelle de la parcelle. L'évapotranspiration est directement liée à l'influence des facteurs climatiques (température, humidité, insolation, radiation, etc.) aux caractères physiologiques du couvert végétal et à la réserve en eau du sol.

⁽²⁾ :L'évapotranspiration potentielle est la consommation maximale d'eau d'un couvert végétal actif, dense et étendu sur une grande surface et bien alimenté en eau, Elle correspond au maximum du pouvoir évaporant de l'air (Brochet et Gerbier, 1975). C'est un concept qui a probablement été introduit par Thornthwaite (1948), (Brutsaert 1982).

Parmi les dizaines de formules élaborées en ce sens, et pour une raison de disponibilité des données, nous avons retenu celles qui ont acquis une certaine notoriété, et qui sont renommées d'après leurs auteurs : Thornthwaite⁽¹⁾, Turc⁽²⁾, et Blanny-Criddle modifiée par la FAO⁽³⁾ et suggérée pour les zones aride et semi-aride.

Dans notre approche, nous avons tout d'abord, essayé de calculer le gradient géothermique⁽⁴⁾ qui convient pour le calcul des températures à l'altitude moyenne de chaque bassin. La période retenue pour températures est de 14 ans (1990-2004).

Les autres paramètres climatiques notamment l'humidité relative, l'insolation, et la vitesse moyenne du vent, sont alignés sur le centre du bassin⁽⁵⁾ et pour une période d'observation de 10 ans (1975-1985). Pour les précipitations⁽⁶⁾, nous avons considéré celles de la période d'observation disponible de 1970 à 2004.

⁽¹⁾ : L'ETP selon Thornthwaite s'écrit de manière suivante : $ETP = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^a \cdot f(\lambda)$

t : température moyenne mensuelle en °C ; $a = 67,7(10^{-8} \cdot I^3) - 77,1(10^{-6} \cdot I^2) + 0,0179I - 0,492$,
Serra (1954) à proposé de la simplifier en $a = 0,016I + 0,5$

I : L'indice thermique annuel est obtenu, en somment les 12 valeurs de $i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$

⁽²⁾ : L'ETP selon Turc s'exprime par la formule suivante $ETP = 0,40 \cdot \frac{t}{t+15} \cdot (I_g + 50)$

Ig : Moyenne mensuelle de la radiation solaire globale, exprimé en cal/cm2/jours, $I_g = I_g a \cdot \left(0,18 + 0,62 \frac{h}{H} \right)$

Iga : Le rayonnement global à la limite de l'atmosphère pour le mois considéré, qui dépend de latitude.

h : Durée moyenne d'insolation en heures.

H : Durée astronomique du jour en heures, elle dépend de la latitude.

t : Moyenne mensuelle de la température mesurée sous abri en °C.

Si l'humidité relative (hr) est inférieure à 50%, le résultat obtenu par la précédente formule doit être multiplié par le facteur correctif $\left(1 + \frac{50 - hr}{70} \right)$.

⁽³⁾ : La formule de l'ETP de Blanny-Criddle modifiée par la F.A.O s'écrit de la manière suivante : $ETP = aF + b$

F : La force évaporante de Blanny-Criddle, en mm/mois: $F = p (0,46t + 8)$

p : Rapport de la durée d'éclairement mensuelle en %.

t : Température moyenne mensuelle en °C.

a et b : Coefficients de correction en fonction des trois paramètres climatiques : Humidité relative, vitesse de vent, et insolation effective moyenne

Pour le calcul de l'ETP_{CUL}, nous avons adopté, Kc = 0,70 pour la saison humide, et Kc = 1,1 pour la saison sèche.

⁽⁴⁾ : La difficulté est de choisir le gradient géothermique qui convient pour le calcul des températures considérées comme référence pour les bassins de notre région d'étude (températures alignées sur le centre du bassin et à son altitude moyenne). Le problème est simplifié en utilisant une régression entre la température moyenne mensuelle observée aux stations météorologiques (t) et les paramètres du relief susceptibles d'être explicatifs :

$$t = a \cdot x + b \cdot y + c \cdot z + d \cdot \epsilon + Cte$$

x, y : Coordonnées kilométriques Lambert de la station (km) ; z : l'altitude de la station en(m) ; ε : éloignement à la mer ; a, b et c : Gradients géothermiques par rapport à x, y, z et ε ; Cte : constante de la régression.

⁽⁵⁾ : le centre du bassin est déterminé géométriquement sous un Sig Mapinfo.

⁽⁶⁾ : La méthode utilisée pour l'évaluation de la lame d'eau précipitée sur les bassins, est celle de Theissen.

La pertinence des modèles d'ETP est généralement jugée en fonction de leur adéquation aux mesures lysimétriques d'évapotranspiration en conditions potentielles, c'est-à-dire lorsque l'eau n'est pas un facteur limitant (Jensen et al., 1990).

De l'analyse comparative des résultats des d'ETP obtenus par les méthodes de Thornthwaite, Turc, Blanny-Criddle et l'évaporation mesurée on peut tirer les remarques suivantes :

- Les trois méthodes donnent des valeurs inégales et font apparaître de grandes divergences dans les résultats, du fait que chaque formule a été élaborée dans un milieu différent, par exemple celle de Thornthwaite convient aux régions humides de la zone tempérée, celle de Turc a un caractère presque universel, ensuite celle de Blanny-Criddle convient aux régions sub-humides et semi-arides.
- L'écart entre les valeurs des trois formules diffère d'une saison à l'autre. Il est très accusé en été et peuvent atteindre plus de 900 mm sur les versants sud des Aurès. On note également le gradient positif nord-sud de l'ETP en toutes saisons.
- L'ETP moyenne annuelle calculée avec la formule de Turc s'échelonne de 1081 (Seybouse Moyenne) à 1315 mm (Oued El Abiod) pour les cumuls annuels (tableau 16). Cette composante climatique s'étale de 1369 (Seybouse Moyenne) à 1788 mm (Oued El Arab) en utilisant la méthode de Blaney-Criddle. L'ETP Thornthwaite donne les valeurs annuelles les plus faibles, devant Turc et Blaney-Criddle, avec un maximum de 884 mm à la Seybouse Maritime).
- Les valeurs des mois de juin, juillet et août, absorbent à elles seules plus de 50% de l'eau nécessaire pour l'année entière.
- L'amplitude des valeurs est plus forte avec la formule de Blaney-Criddle ; Les valeurs mensuelles les plus fortes dépassent les 1700 mm pour le mois de juillet sur les bassins présahariens.
- L'ETP calculée par la méthode de Blaney-Criddle conduit à une bonne estimation de cette composante climatique pour les Aurès et le pourtour présaharien.
- L'ETP obtenue par la méthode de Turc, marque une nette concordance avec l'évaporation mesurée à la Seybouse.
- La méthode de Thornthwaite sous estime considérablement l'ETP. Ceci s'explique par le fait que l'équation fait intervenir uniquement la température, sans tenir compte des autres facteurs importants à savoir : la durée et l'intensité réelle de l'insolation et le vent.

Tableau 16 ETP mensuelle selon Thornthwaite, Turc et Blanny-Criddle

		Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	mai	Jui	Jui.	Août.	année
ETP de Thornthwaite	Seybouse Maritime	109,9	77,0	40,5	26,1	22,0	23,0	35,4	48,9	80,9	118,1	151,4	150,5	883,6
	Seybouse moyenne	95,0	62,3	29,8	17,2	13,5	15,4	27,0	39,3	74,6	113,0	141,7	135,8	764,6
	Melah	98,5	64,0	30,3	17,7	13,9	16,2	28,4	41,4	77,6	118,8	149,7	143,0	799,5
	Bou Hamdane	100,8	66,6	32,5	19,9	15,6	17,8	29,9	43,7	77,8	117,3	149,6	143,4	815,0
	Cherf Aval	104,1	68,0	32,9	18,7	15,7	17,8	30,6	44,3	82,0	123,2	154,2	148,7	840,1
	Cherf Amont	98,7	62,3	28,6	15,6	12,1	14,8	27,2	41,2	79,2	121,2	151,9	143,5	796,3
	El Maader	97,7	56,4	22,0	9,7	6,9	11,0	24,0	39,2	82,7	132,9	166,1	152,0	800,8
	Chemoura	96,6	55,7	21,6	9,0	6,5	10,3	23,4	38,3	82,4	131,2	162,7	149,3	787,0
	El Gueiss	96,0	55,1	21,1	9,0	5,9	9,9	22,7	38,2	81,9	130,0	161,9	147,7	779,4
	El Hai	101,0	56,7	21,4	9,6	6,5	11,1	24,7	41,2	86,1	140,6	177,5	160,5	837,0
	El Abiod	104,4	58,0	21,6	9,0	6,6	11,1	25,2	42,7	90,8	146,6	183,6	166,0	865,6
El Arab	105,7	59,8	23,1	10,4	7,7	11,9	26,1	44,0	91,1	144,5	181,3	164,8	870,2	
Chéria	98,8	57,0	22,3	10,1	6,8	10,8	23,8	40,8	84,0	131,4	164,9	150,1	800,7	
ETP de Turc	Seybouse Maritime	118,5	84,7	58,2	42,3	42,2	57,0	75,4	95,9	138,7	157,4	180,1	162,7	1213,4
	Seybouse moyenne	112,1	78,6	47,1	32,2	30,2	42,8	59,6	81,1	123,4	146,3	170,8	156,8	1081,1
	Melah	115,5	80,3	50,3	34,3	31,9	46,8	65,5	89,9	130,5	156,9	176,1	156,8	1134,9
	Bou Hamdane	118,4	86,9	57,3	42,3	41,5	56,7	74,3	97,3	133,1	154,2	174,9	161,4	1198,3
	Cherf Aval	114,1	85,3	56,3	38,8	36,4	54,0	78,4	97,5	137,3	150,8	176,9	154,7	1180,5
	Cherf Amont	111,9	81,9	51,7	34,1	30,5	47,3	71,9	92,2	133,9	149,3	186,5	153,2	1144,4
	El Maader	119,1	79,7	45,2	28,0	25,1	37,3	64,2	89,5	125,1	181,8	222,0	189,8	1206,9
	Chemoura	118,5	79,0	44,2	26,4	23,7	35,5	62,5	87,7	124,4	179,3	220,8	188,9	1190,9
	El Gueiss	110,5	77,8	44,6	25,2	20,3	37,3	64,6	87,7	133,9	171,3	228,5	185,0	1186,8
	El Hai	123,1	80,9	46,1	29,3	26,2	39,5	67,0	93,1	130,2	196,3	236,0	208,2	1275,8
	El Abiod	128,1	82,1	47,2	29,6	27,5	40,8	69,1	95,6	139,4	203,4	243,0	209,6	1315,3
El Arab	120,4	85,3	50,4	30,9	27,5	46,0	68,5	95,6	146,6	191,6	238,3	210,7	1311,8	
Chéria	114,1	82,2	47,0	27,6	23,2	40,3	62,3	89,7	135,7	178,7	228,2	206,4	1235,3	
ETP de Blanny-Criddle	Seybouse Maritime	123,8	105,8	80,8	71,5	70,3	70,2	90,5	102,4	126,6	244,7	267,9	256,0	1610,3
	Seybouse moyenne	105,9	87,5	64,4	56,0	54,4	55,0	72,6	83,3	108,2	216,9	238,2	226,4	1368,8
	Melah	117,6	97,4	71,9	62,5	60,9	61,9	81,6	93,6	120,6	240,0	334,9	318,1	1661,0
	Bou Hamdane	119,0	99,3	73,9	64,9	62,9	63,7	83,5	95,9	121,7	218,6	335,4	318,8	1657,7
	Cherf Aval	111,1	92,8	69,1	60,1	59,0	59,4	78,3	89,3	114,6	254,3	339,1	295,1	1622,2
	Cherf Amont	108,2	88,8	65,0	56,2	54,6	55,7	74,1	85,6	111,5	250,8	336,3	290,6	1577,5
	El Maader	128,5	93,3	55,6	47,1	54,2	57,5	78,1	91,5	122,9	317,7	348,8	326,2	1721,3
	Chemoura	127,6	92,5	54,9	46,2	53,4	56,5	77,0	90,2	122,2	315,5	345,8	323,7	1705,6
	El Gueiss	126,9	91,8	54,4	45,9	52,8	55,5	76,2	89,8	121,2	314,1	344,3	321,9	1695,0
	El Hai	130,8	94,6	56,2	47,8	54,8	58,7	79,9	94,1	125,7	325,4	357,7	333,1	1758,9
	El Abiod	132,7	96,0	57,0	48,0	55,6	59,5	81,3	96,0	128,7	330,8	362,0	337,2	1784,8
El Arab	133,2	97,2	58,2	49,3	57,1	60,1	82,2	97,0	128,7	329,3	359,4	335,9	1787,6	
Chéria	117,4	93,8	66,5	56,4	54,5	57,1	78,0	92,4	156,7	287,5	346,3	323,8	1730,4	
Evaporation mesurée sur Piche (1990-1997)	Pont Bouchet	119	75	48	31	31	45	72	97	129	154	176	163	1139
	Gulema	106	68	36	23	24	33	60	79	121	141	168	155	1013
	Souk Ahras	112	69	41	26	25	40	65	84	125	154	181	161	1081
	Constantine	106	64	35	20	20	33	61	83	122	151	169	152	1015
	Tébessa	114	74	49	28	27	44	75	95	141	169	198	163	1176
Evaporation mesurée sur Bac évapomètre	Batna (1975-1984)	364	229	189	180	189	168	223	237	273	318	350	322	3042
	Biskra (1990-2000)	329	246	164	123	119	156	206	293	355	413	451	412	3267

Le bilan hydrique utilisé par les agronomes, permet une analyse détaillée de la répartition des précipitations entre l'ETP, la percolation, et le ruissellement, en regard des capacités de réserve en eau du sol, notamment la réserve facilement utilisable RFU⁽¹⁾.

⁽¹⁾ : La RFU est le volume d'eau emmagasiné dans le sol entre le point de flétrissement (RFU vide) et le point de rétention (RFU max) utilisé par les plantes. Il existe de multiples fonctions pour quantifier ce paramètre à partir de données de texture des sols, de sa structure et de la profondeur d'enracinement de la végétation. Nous citons, à titre d'exemple, la formule de Hallaire établie en 1960 (Brochet et Gerbier, 1975) :

$$RFU = 1/3 [Da \cdot He \cdot p], \text{ exprimée en mètre.}$$

Da : Densité apparente du sol pour la région (1,2 < Da < 1,7) ; He : Humidité équivalente pondérale de terres sèches en % (21 < He < 25,5) ; p : Profondeur de la couche de terre, parcourait par les racines en mètre (0,3 < p < 0,5). Pour un sol donné la RFU est d'autant plus faible que le dessèchement du sol est intense, que le sol a une texture fine et que le développement racinaire est peu dense.

Pour établir ce bilan, nous admettons la saturation lorsque les réserves superficielles atteignent le RFU. Le procédé de calcul pour le bilan, consiste en les étapes suivantes :

P = ETP

Les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol, il n'y aura donc pas de surplus pour alimenter le RFU

P > ETP

- L'ETR = ETP

- L'excédent des précipitations sur l'ETP, est emmagasiné dans l'humidité du sol, dont il augmente la réserve jusqu'à ce que ce dernier soit saturé.

- La partie de l'excédent dépassant éventuellement la réserve cumulée, constitue le "Water surplus", et se trouve disponible pour l'alimentation de l'écoulement de surface et des nappes profondes.

P < ETP

- L'ETR = P, plus tout ou partie de la réserve d'eau du sol, celle-ci est mobilisée comme suit :

- Si le RFU est assez forte pour combler l'insuffisance des précipitations, l'ETR = l'ETP.

- Si la réserve d'humidité du sol, est insuffisante pour satisfaire l'ETP, donc l'ETR reste inférieure à l'ETP, qui implique que l'ETR égale aux précipitations du mois plus la réserve disponible.

Partant de connaissance des précipitations P, de l'évapotranspiration potentielle ETP et d'une valeur maximale standard de la réserve facilement utilisable du sol : RFU = 100 mm, terme intermédiaire suffisamment courants des sols algériens (Mebarki, 2005), la méthode du bilan hydrique de Thornthwaite est adoptée afin de quantifier mensuellement les différentes composantes du bilan.

Le déficit hydrique annuel est presque partout supérieur à 500 mm et dès la limite méridionale du Tell, il dépasse 700 mm et atteint 1500 mm aux piemonts sud des Aurès.

Le surplus apparaisse pendant 3 mois (janvier, février et mars) sur la plaine cotière (la Seybouse Maritime : 14 mm) et sur le tell septentrional (le Bouhamdane 9 mm, la Seybouse Moyenne : 23 mm et le Melah : 135 mm). Le bassin de Melah marque certes un surplus important mais il est le seul et représente un espace assez restreint.

La réserve du sol (RFU), commence à se reconstituer à partir du mois d'octobre au mois de mai (juin pour le bassin de Melah) et reste vide le reste de l'année (Figure 30, annexe II).

En revanche, le bilan hydrique est déficitaire, les réserves du sol (RFU) sont totalement à sec, et l'écoulement est nul durant toute l'année sur les hauts plateaux et les Aurès (Figure 31, annexe II).

Les résultats de bilan hydrique établi, ne tiennent pas à la rigueur des calculs, du fait des hypothèses admises, mais nous permettons de se faire une idée sur l'étendue des périodes sèches, et notamment sur les seuils critiques au-delà desquels l'irrigation devient indispensable. En outre, le bilan établi en tenant compte des ETP calculées aux pas mensuels, est fréquemment déficitaire sur la majorité des bassins étudiés, vu le caractère semi-aride de ces bassins, donc seule une analyse au pas journalier permettant de caractériser un bilan assez précis, et dégager l'excédent réel, en évitant l'effet de compensation annuelle et mensuelle.

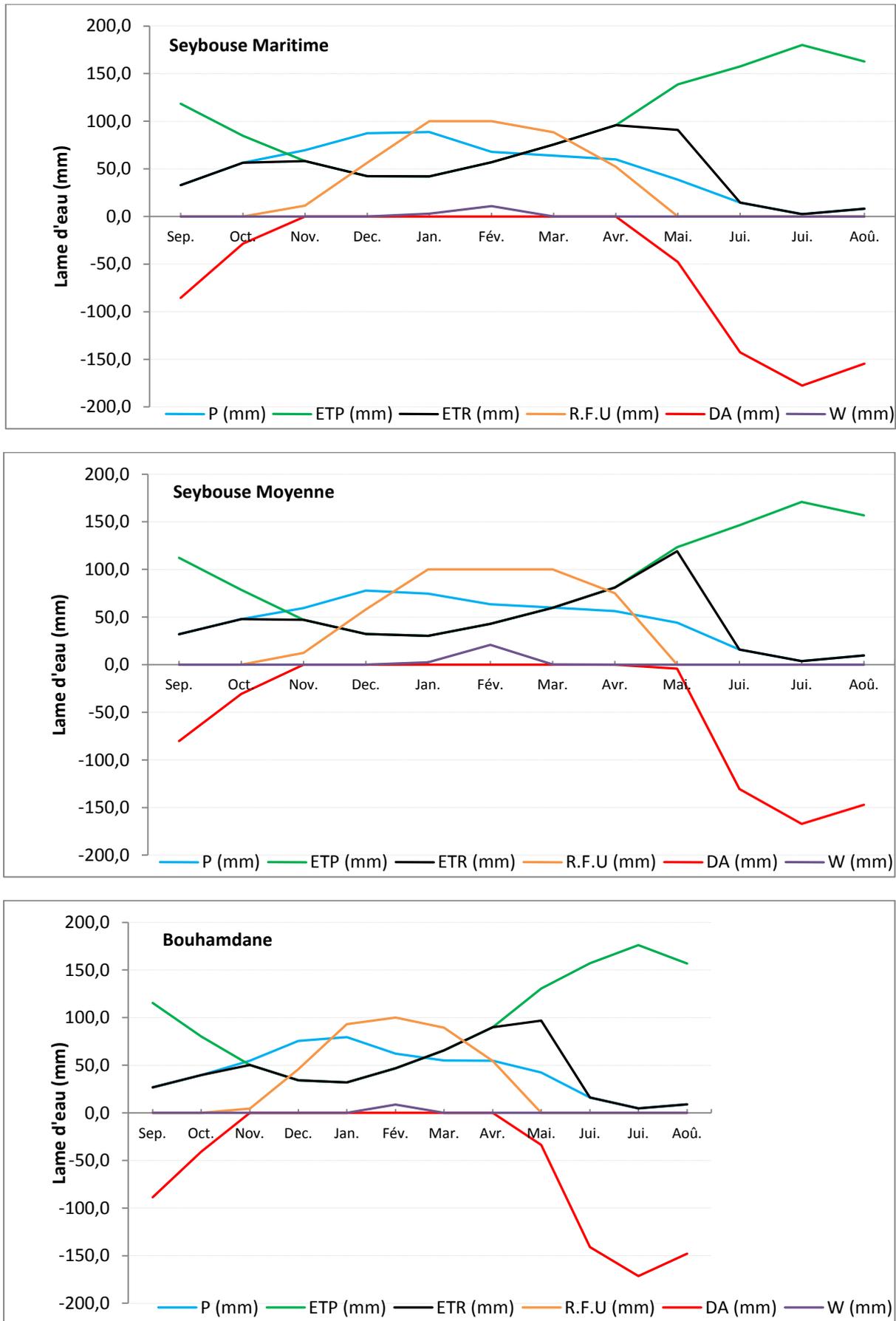


Figure 30 Bilan hydrique selon Thornthwaite et avec l'ETP de turc (bassins de la Seybouse)

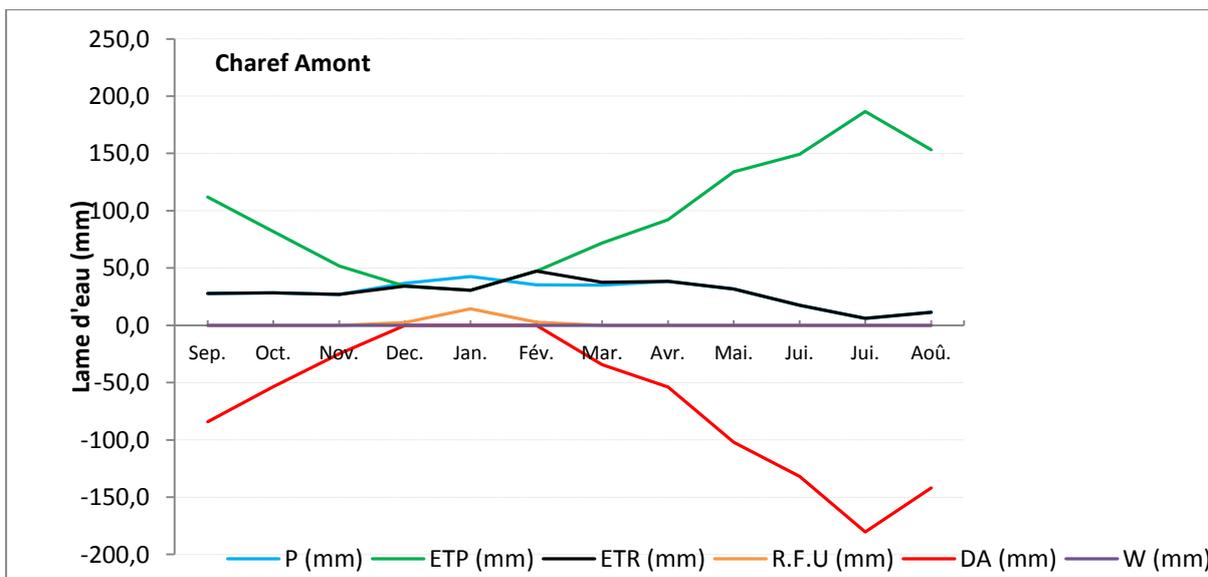
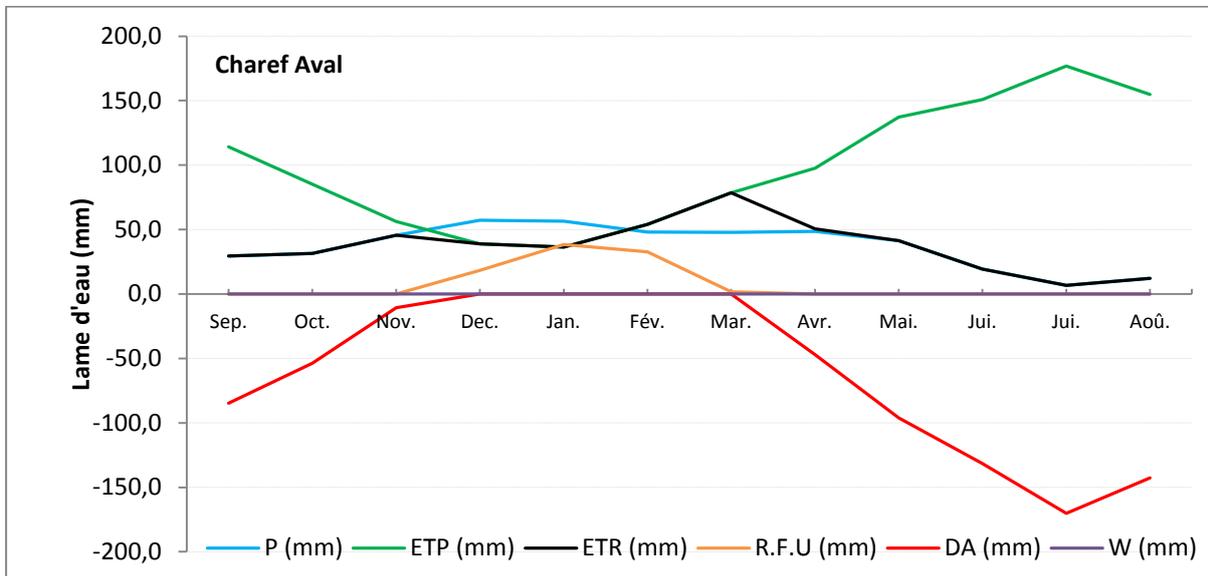
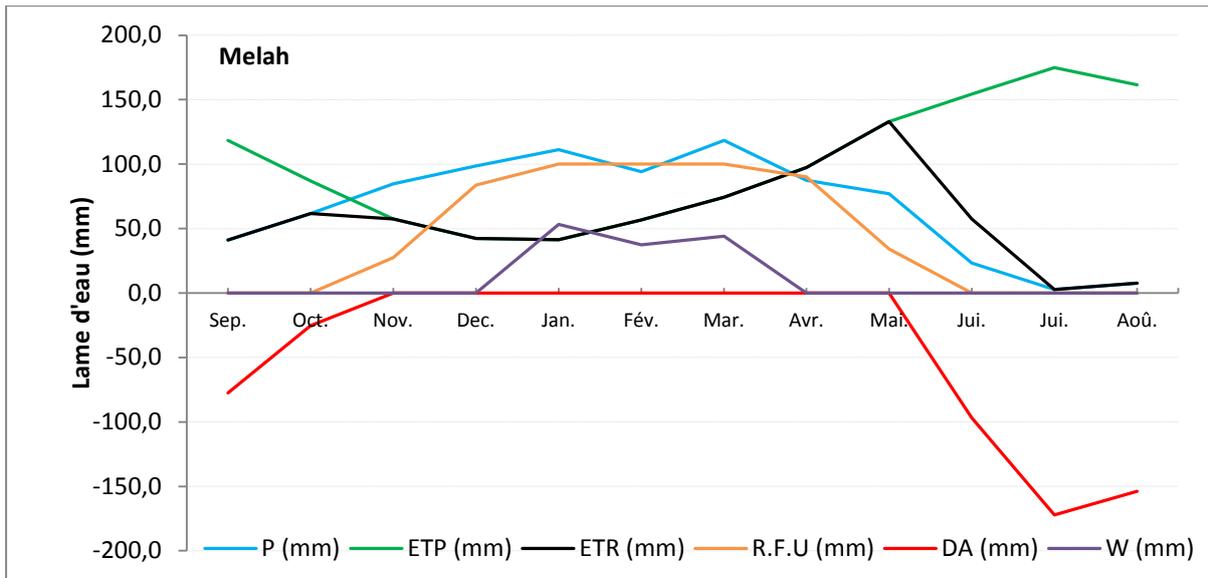


Figure 30 (suite) Bilan hydrique selon Thornthwaite et avec l'ETP de turc (bassins de la Seybouse)

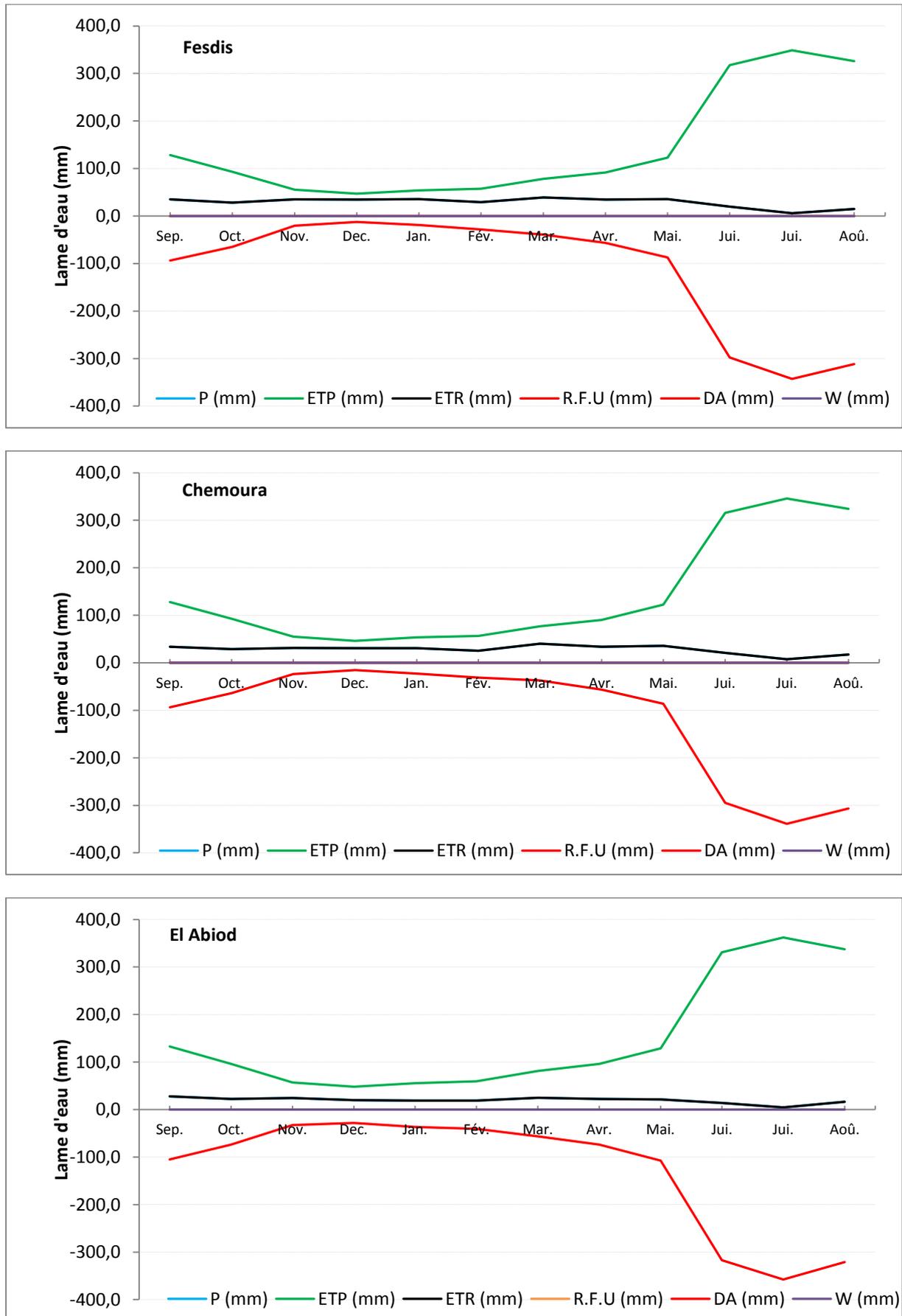


Figure 31 Bilan hydrique selon Thornthwaite et avec l'ETP de Blanny-Criddle (bassins des Aurès)

Conclusion

Les caractéristiques climatiques de la Seybouse-Aurès, sont étroitement liées à sa position géographique, et à son relief. Elles sont connues par leur irrégularité d'une année à l'autre et d'une saison à l'autre. Cette irrégularité est marquée notamment par de fortes variabilités spatiales et surtout temporelles des précipitations et des températures.

L'évolution annuelle de ces deux paramètres, permet de distinguer une période chaude et sèche qui s'étend sur 4 à 8 mois, et une période froide et humide pour le reste de l'année.

L'irrégularité inter-annuelle qui est aussi l'une des caractéristiques de la région d'étude, se traduit par une sécheresse plus ou moins marquée, et qui confirme le caractère semi-aride du climat dans la quasi-totalité du terrain d'étude, notamment dans les Hauts plateaux et l'Aurès.

Les hauteurs moyennes annuelles et mensuelles ainsi que les maxima journaliers enregistrés dans les stations retenues dans l'étude, montrent clairement la variabilité spatiale des précipitations, elle est relativement plus accentuée dans le sud.

Quant à l'évapotranspiration, elle évolue suivant les deux saisons pluvio-thermiques, c'est-à-dire quelle est très élevée en saison chaude sèche, ce qui accentue le déficit d'écoulement, et faible en saison froide humide où la pluviométrie est abondante.

Chapitre III Spatialisation des précipitations et analyse des tendances : approche géostatistique

Depuis la fin des années soixante, la pluviométrie en Algérie accuse de façon générale une tendance à la baisse (Laborde et al. 1993, Anser 1998, Mebarki 2005, Meddi et al. 2002, Kettab et al. 2004). Si cette tendance est incontestable, sa caractérisation à partir des séries d'observations pluviométriques ponctuelles s'avère très difficile.

Ce chapitre expose quelques résultats obtenus par une méthode de cartographie automatique fondée sur les liens statistiques existant entre les précipitations et certaines caractéristiques du relief. Par cette technique, nous voudrions mettre la lumière sur la tendance des précipitations et estimer la lame d'eau moyenne tombée sur les bassins étudiés.

III-1 La cartographie des précipitations en Algérie

La cartographie des précipitations en Algérie a fait l'objet de quelques travaux relativement anciens mériteraient d'être réactualisés : la carte pluviométrique de Seltzer (1946) qui a été établie à l'échelle du 1/1.000.000, d'après les moyennes brutes de 25 années climatiques, de septembre 1913 à août 1938 ; la carte au 1/500.000 de Gaussen (1948) qui couvre la période 1913-1947 et la carte au 1/500.000 de Chaumont et Paquin (1971) qui représente les précipitations annuelles moyennes ramenées à une période de 50 ans (1913-1963). Ces travaux sont basés sur l'interpolation manuelle du contour des isohyètes à partir des données mesurées aux stations en s'appuyant sur un fond hypsométrique (Mebarki, 2005).

La carte réalisée en 1993 par l'agence nationale des ressources hydrique a substituée l'approche cartographique fondée sur l'interpolation manuelle par une méthode de cartographie automatique opérationnelle, basée sur la géostatistique. Cette carte est à l'échelle du 1/500.000 (2 coupures), et représente les moyennes de 60 ans (du 1^{er} septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1^{er} septembre 1968 au 31 août 1989).

Plus récemment, des séries d'analyses et de cartographie des précipitations ont été menées sur l'ensemble ou une partie du pays comme celles de Aissani et Laborde 1983, Anser 1998, Davtian 1998, Mouhous 1997, Meddi et Humbert 2000, Touazi 2001, Ineglizs 2002, Laborde et al 2003, Touaibia et al 2006 et Louamri 2009. La thèse de Mebarki (2005) demeure le travail le plus complet à ce jour sur la pluviométrie du Nord-est algérien). En effet, ce chapitre vise à compléter et apporter des améliorations à la cartographie des précipitations pour la région d'étude et, en particulier, pour la région des Aurès où la topographie complexe rend délicate l'interpolation des données pluviométriques ponctuelles.

III-2 variables à cartographier, Choix des stations et période d'étude

La densité du réseau pluviométrique est un point crucial pour la déduction du comportement du modèle de corrélation spatiale (Bacchi et Kottegoda, 1994). De manière générale, la corrélation entre deux valeurs de pluie à deux points donnés aura tendance à diminuer lorsque la distance entre ces points augmente.

Parmi toutes les stations pluviométriques disponibles dans la région d'étude, nous avons retenus 73 stations pour les cumuls moyens mensuels et annuels, et 57 stations pour les maximas journaliers.

La période d'observation retenue est comprise entre le 1^{er} septembre 1970 et le 31 août 2004 et les paramètres géographiques de ces stations (coordonnées Lambert, altitude et distance à la mer) sont donnés dans le tableau 03 illustré dans le chapitre II/ 1^{ère} partie.

Par ailleurs, la pertinence de l'échelle, qu'elle soit spatiale ou temporelle, dépend de l'objectif poursuivi par l'étude : compréhension de l'impact de la variabilité temporelle de la pluie sur les ressources, analyse de l'impact hydrologique des périodes sèches et des sécheresses, prédétermination des phénomènes de crue.....etc. En effet, il faudra dès lors choisir les échelles spatiale et temporelle adéquates en fonction des objectifs poursuivis.

Dans ce contexte, nous avons estimé nécessaire d'établir des esquisses cartographiques pour les variables pluviométriques suivantes :

- pluies moyennes annuelles
- pluies mensuelles moyennes
- pluies journalières maximales annuelles de fréquence décennale

Cette cartographie est illustrée en divisant le cadre d'étude en deux zones juxtaposées (la Seybouse et les Aurès). Une limite majeure, de direction est - ouest, a été tracée au milieu de la zone étudiée⁽¹⁾. Elle sépare le domaine exoréique (la Seybouse), caractérisé par le bourrelet Tellien et la plaine côtière d'Annaba, du domaine endoréique composé du Massif Aurèssien et les hauts Plateaux.

III-3 Construction du modèle pluie – relief

Pour établir quantitativement l'influence du relief sur la répartition spatiale des précipitations, différentes variables topo-géographiques (position géographique, altitude et distance à la mer) sont considérées à partir de modèles de régression linéaire multiple⁽²⁾.

⁽¹⁾ : Une aire de 15 km de large le long de cette limite est retirée de la représentation cartographique, pour réduire la considérable taille du semis de points côte (2281666). Réduction qui s'avère nécessaire, en vue d'une extrapolation spatiale réalisable de cette masse d'information sous SURFER[®].

⁽²⁾ : La régression linéaire multiple est une technique qui permet de décrire la liaison entre la variable dépendante (endogène) ou expliquée et un ensemble de variables explicatives (exogènes). Soit une variable Y que l'on veut relier à m variables X par le modèle linéaire suivant de la forme (Holder, 1985) : $Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_mX_m + \varepsilon$
Avec Y : La variable dépendante ; B0, B1, ..., Bm : Les coefficients de régressions partiels calculés par la méthode des moindres carrés ; m : Le nombre de variables indépendantes ; ε : Résidu de régression (écart entre la variable Y observée et la variable Y* estimée par la régression).

Pour vérifier l'adéquation des paramètres B0, B1, ..., Bm et montrer la proportion de la variation de Y qui est expliquée par l'ensemble des variables explicatives introduites dans le modèle, on utilise les coefficients de corrélation multiple (ou de préférence son carré, appelé coefficient de détermination multiple et noté R²) et partielle ($r_{x.y.z_1\dots z_p}$), (Deguen, 1998).

$$R^2 = \frac{\sum_i(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_i(y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\sum_i(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i(y_i - \bar{y})^2}$$

$\sum_i(y_i - \bar{y})^2$: Somme des carrés totaux (SCT), traduit la variabilité totale de l'endogène ;

$\sum_i(\hat{y}_i - \bar{y})^2$: Somme des carrés expliqués (SCE), traduit la variabilité expliquée par le modèle ;

$\sum_i(y_i - \hat{y}_i)^2$: Somme des carrés résiduels (SCR), correspond à la variabilité non-expliquée par le modèle ;

$$r_{x.y.z_1\dots z_p} = r_{e_x e_y}$$

$r_{e_x e_y}$: Coefficient de corrélation brute entre les résidus de régression de X et Y : e_x, e_x , sur (z_1, z_2, \dots, z_p) respectivement.

$$r_{e_x e_y} = \frac{\sum_i(e_{x_i} - \bar{e}_x)(e_{y_i} - \bar{e}_y)}{\sqrt{\left(\sum_i(e_{x_i} - \bar{e}_x)^2\right)\left(\sum_i(e_{y_i} - \bar{e}_y)^2\right)}}$$

$\sum_i(e_{x_i} - \bar{e}_x)(e_{y_i} - \bar{e}_y)$: variance de $(e_x e_y)$; $\sum_i(e_{x_i} - \bar{e}_x)^2$: variance de e_x ; $\sum_i(e_{y_i} - \bar{e}_y)^2$: variance de e_y .

La signification du coefficient de corrélation multiple est vérifiée par le calcul de la valeur de la loi Fisher-Snedecor (F)⁽¹⁾ associée à une variable f et un seuil de signification(α). Celle du coefficient de corrélation partielle est vérifiée par le test de Student-Fisher⁽²⁾ : Probabilité critique (p-value). Plutôt que de comparer la statistique calculée avec le seuil théorique fournie par le test de signification, les logiciels, dont MINITAB[®], proposent souvent la probabilité critique (p-value) que l'on doit comparer au risque α que l'on s'est fixé. Si le p-value est plus petit, alors nous rejetons l'hypothèse nulle (Rakotomalala, 2008).

III-3-1 La construction du modèle numérique de terrain (MNT)

La cartographie automatique des pluies nécessite un modèle numérique de terrain d'espace étudié. La Figure 10, introduite précédemment, présente le modèle numérique de terrain (MNT) de la région d'étude que nous avons utilisé. Ce MNT a été obtenu à l'issue de plusieurs étapes:

- Le MNT de la SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) à 30 secondes d'arc, dont les archives peuvent être téléchargées à l'adresse suivante : <http://glcfapp.glc.f.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>, a été rétablie, par interpolation, à la maille 40 x 40 m², en utilisant les SIG GLOBAL MAPPER et MAPINFO. Le modèle est décrit par un quadrilatère que délimitent les méridiens 5° 31' E et 7° 59' E et les parallèles 34° 49'N et 36° 57' N et qui couvre l'ensemble de la zone d'étude.

- Une portion du MNT à maille de 40 m de côté selon la projection Lambert Nord Algérie, qui couvre seulement les treize sous bassins étudiés. Ce MNT est obtenu par numérisation sous SIG Mapinfo des courbes de niveau de (59) cartes topographiques au 1 : 50 000 avec une équidistance de 20 m (plus de 1191000) altitudes ont été échantillonnées).

La confrontation entre les deux MNT nous a permis d'éliminer les artefacts.

III-3-2 L'altitude lissée (Zliss)

La relation entre la pluie et l'altitude est connue depuis longtemps, elle est liée au phénomène d'ascendance orographique. Deux types de données peuvent être utilisés, l'altitude réelle des postes et l'altitude lissée qui traduise au mieux le trajet des flux atmosphériques (Laborde, 2004). Le calcul de l'altitude lissée, pour chaque nœud du MNT initial, nécessite la construction d'un maillage régulier de 09 nœuds centrés sur le poste pluviométrique (Figure 32). Il est recommandé de retenir pour Zliss, la valeur maximale entre : l'altitude réelle au poste et les 04 cotes obtenues par interpolation linéaire des huit (08) nœuds les plus proches (Inegliz, 2002).

⁽¹⁾ : La loi de Fisher-Snedecor est donnée par l'approximation de Paulson :

$$P(F < f) = P \left(u < \frac{f_1^{\frac{1}{3}} \left(1 - \frac{2}{9\sqrt{2}} \right) + \frac{2}{9\sqrt{2}} - 1}{\sqrt{\frac{2}{9\sqrt{2}} + f_1^{\frac{2}{3}} \frac{2}{9\sqrt{2}}}} \right)$$

$$f_1 = \left(\frac{v1}{v2} \right) \left(\frac{R}{1-R} \right)$$

u : Variable réduite de la loi normale associée à la probabilité α

v1, v2 : Nombres de degré de liberté : v1 = N0 – NV, v2 = NV – 1 ; R : rapport de corrélation

⁽²⁾ : le test de Student-Fisher est donné par la relation : $P \left(t \leq 0.5LN \left(\frac{1+f_2}{1-f_2} \right) - v^{0.5} \right)$

t : Variable de Student associée à un seuil de signification α

f₂ : est la valeur absolue du coefficient de corrélation partielle.

v : Le nombre de degré de liberté : v = N0 – NV – 1

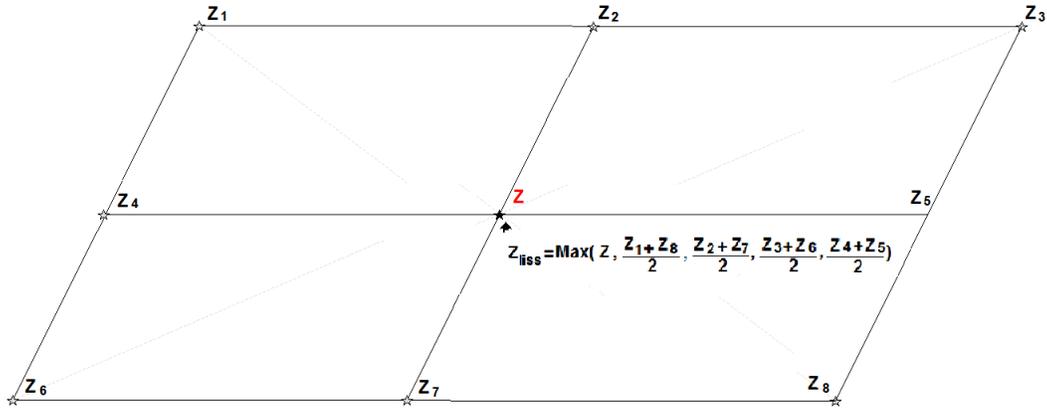


Figure 32 Estimation de l'altitude lissée (Zliss)

III-3-3 La distance à la mer

Cette variable représente la distance de la station de mesure à la mer dans le sens des vents pluvieux (Réménieras, 1965). Une station plus proche de la mer, sera plus exposée au vent porteur de pluie. En plus, l'atmosphère humide que crée la mer dans son entourage favorise les précipitations ; la pression de saturation est atteinte plus rapidement dans ces conditions (Jedidi et al., 2009). La grille des distances à la mer (Figure 33) a été établie sous SIG Mapinfo, en partant des coordonnées géographiques des points de la ligne de côte et des nœuds de la grille MNT⁽¹⁾.

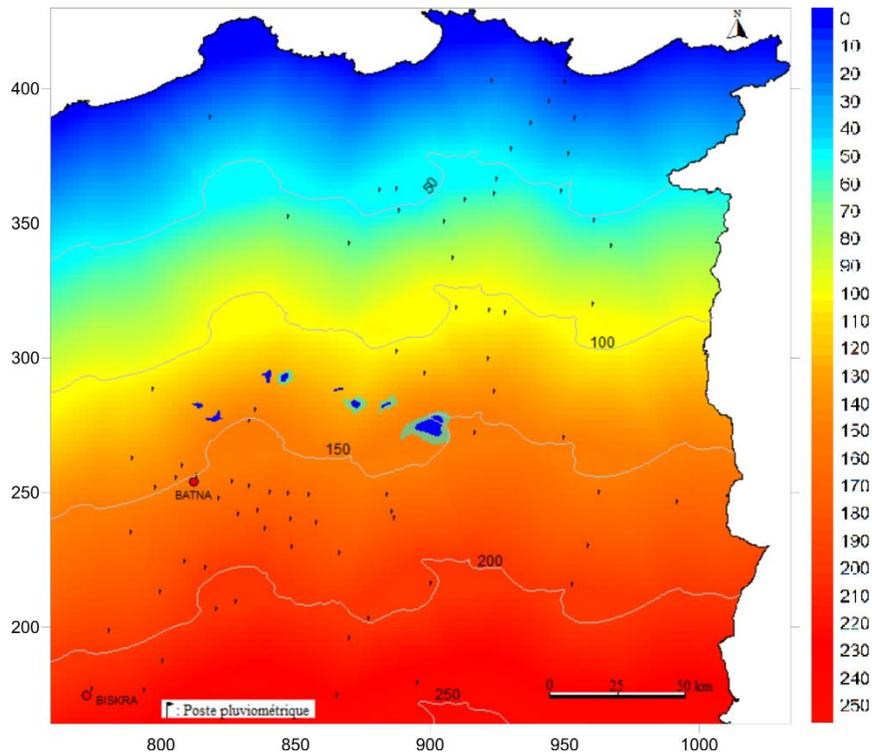


Figure 33 Distance à la mer

⁽¹⁾ : $dm = \min\left[\sqrt{(x_0 - x_{côte})^2 + (y_0 - y_{côte})^2}\right]$

x_0, y_0 : Coordonnées géographiques des nœuds de la grille MNT ; $x_{côte}, y_{côte}$: Coordonnées géographiques des points de la ligne de côte.

III-3-4 Régression pluviométrie-paramètres explicatifs

La pluviométrie s'explique en grande partie par des facteurs géo-morphométriques parfaitement connus en tout point du territoire. Nous pouvons donc penser que la pluie de la zone d'étude s'explique linéairement en fonction de l'altitude lissée Z_{liss} , de la distance à la mer DM et des coordonnées Lambert X et Y .

Il est incontestable que les précipitations en Algérie décroissent du littoral vers l'intérieur suivant un fort gradient latitudinal, altéré toutefois par l'effet orographique (Seltzer 1946, Laborde 2004, Mebarki 2005). En termes de variance, la latitude (Y Lambert) et la distance à la mer expliquent 69% de la distribution spatiale des pluies moyennes annuelles à l'échelle de la région étudiée. L'impact de la longitude est moins net, on trouve qu'elle est peu corrélée avec les pluies annuelles et explique seulement 25% de la variance. Cependant, seuls 5% de la variance sont expliqués par l'altitude lissée des stations (Z_{liss}). (Figure 34).

Par ailleurs, les paramètres explicatifs sont liés entre eux : une partie de l'effet de la distance à la mer se retrouve dans la longitude et l'influence des altitudes est liée à la distance à la mer et à la longitude. Seule une régression multiple permettra de choisir directement ceux à retenir (Laborde, 2004).

Nous ferons également intervenir les quantités X/Y , Z_{liss}/X , Z_{liss}/Y , $X.Z_{liss}/Y$, $Y.Z_{liss}/X$, $X.Y/Z_{liss}$, ainsi que le Z_{liss}/DM .

Au total nous avons donc 11 variables susceptibles d'être explicatives⁽¹⁾. Les essais de régressions multiples pas à pas⁽²⁾ réalisés montrent que certaines variables (quantités) ne sont jamais utilisées, mais sept d'entre elles apparaissent plusieurs fois comme prédicateurs.

Le premier paramètre étudié est la pluie moyenne annuelle que nous noterons (\overline{Pa}). Il serait fastidieux de décrire ici toutes les tentatives qui ont été faites. Nous avons été amenés à retenir une dernière itération dont les précipitations annuelles se corrélaient mieux avec les quantités à savoir : Y , Z_{liss} , Z_{liss}/X et Z_{liss}/DM (tableau 17).

Le coefficient de corrélation multiple (R^2_{ajust}) est de 0,82, ce qui signifie que 18 % de la variance spatiale des $\sqrt{\overline{Pa}}$ ne s'explique pas par des champs parfaitement connus (tableau 17).

⁽¹⁾ : « Il ne peut y avoir de règles générales car tout dépend de la nature du phénomène étudié et de la connaissance, au moins subjective, des processus », (Laborde, 2004).

⁽²⁾ : La méthode de régressions multiples pas-à-pas (ou « stepwise ») consiste à sélectionner, à partir d'un grand nombre de variables explicatives, un petit sous-ensemble de variables qui expliquent la plus grande partie de la variation de la variable dépendante (à expliquer). Les variables explicatives sont introduites ou retirées une à une de l'équation que l'on cherche à optimiser.

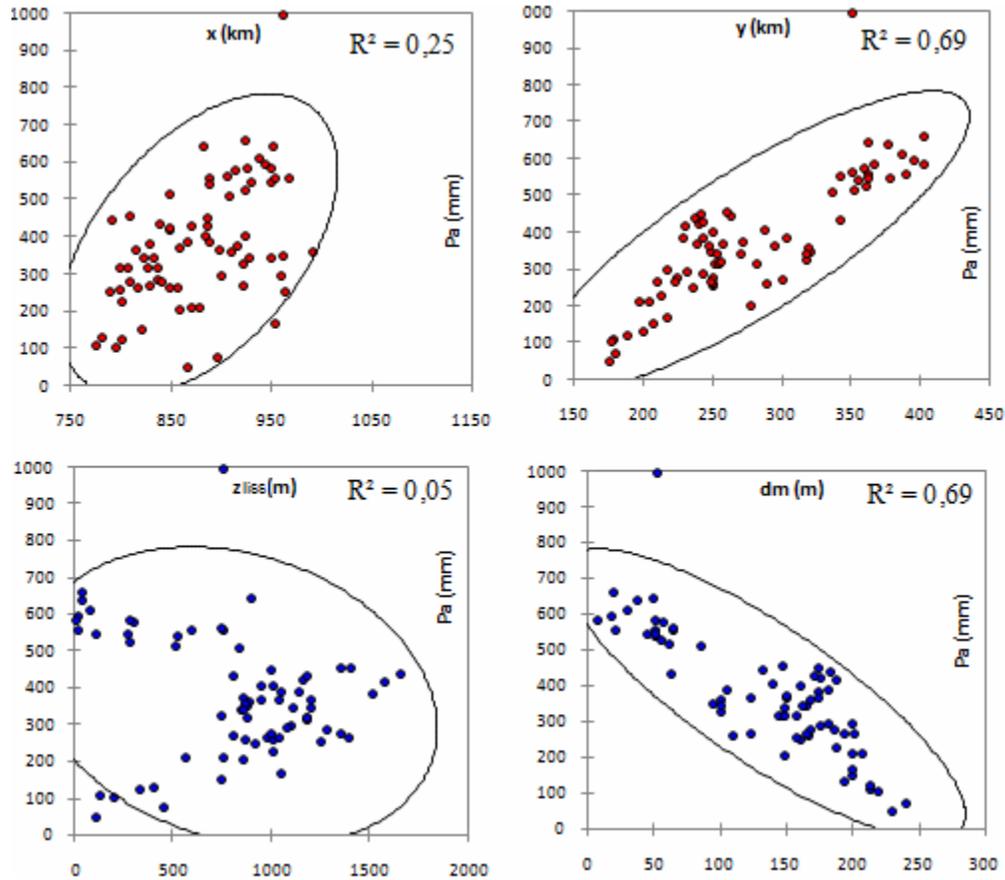


Figure 34 Corrélations pluie annuelle, latitude, longitude, altitude et distance à la mer

Une autre façon de présenter ce résultat est de se dire que la pluie moyenne annuelle ramenée au niveau de la mer \sqrt{Pa}_0 est liée à X, Y et DM par la relation : $\sqrt{Pa} = -6,56 + 0,0776 (Y)$

Il existe un gradient altimétrique $\frac{\partial \sqrt{Pa}}{\partial Z}$ variant en fonction de la distance à la mer DM et de la longitude :

$$\frac{\partial \sqrt{Pa}}{\partial Z_{liss}} = -0,0122 + \frac{3,49}{X} + \frac{0,434}{DM}$$

Tableau 17 Résultats de la régression multiple : pluies annuelles - paramètres explicatifs

$\sqrt{Pa} = -6,56 + 0,0776 (Y) - 0,0122 (Z_{liss}) + 3,49 (Z_{liss}/X) + 0,434 (Z_{liss}/DM)$										
Variables	Coefficients de régression	Terme constant	Corrélation multiple*					Corrélation paettielle		
			Coefficient de corrélation multiple R	Coefficients de corrélation multiple ajusté $r_{ajust} (\alpha = 5\%)$	R^2_{ajust}	F	p-value	r	T	p-value
Y	0,077599	-6,558	0,91	0,90	0,82	81,22	0,000	0,856	13,64	0,000
Z _{liss}	-0,012234							-0,330	-2,89	0,005
Z _{liss} /X	3,4935							0,426	3,88	0,000
Z _{liss} /DM	0,4337							0,319	2,77	0,006

* La significativité globale du modèle est fournie à l'aide d'un test F Fisher-Snedecor et une probabilité associée p-value. Si F est associé à une probabilité d'erreur < 5 %, le modèle est donc globalement significatif.

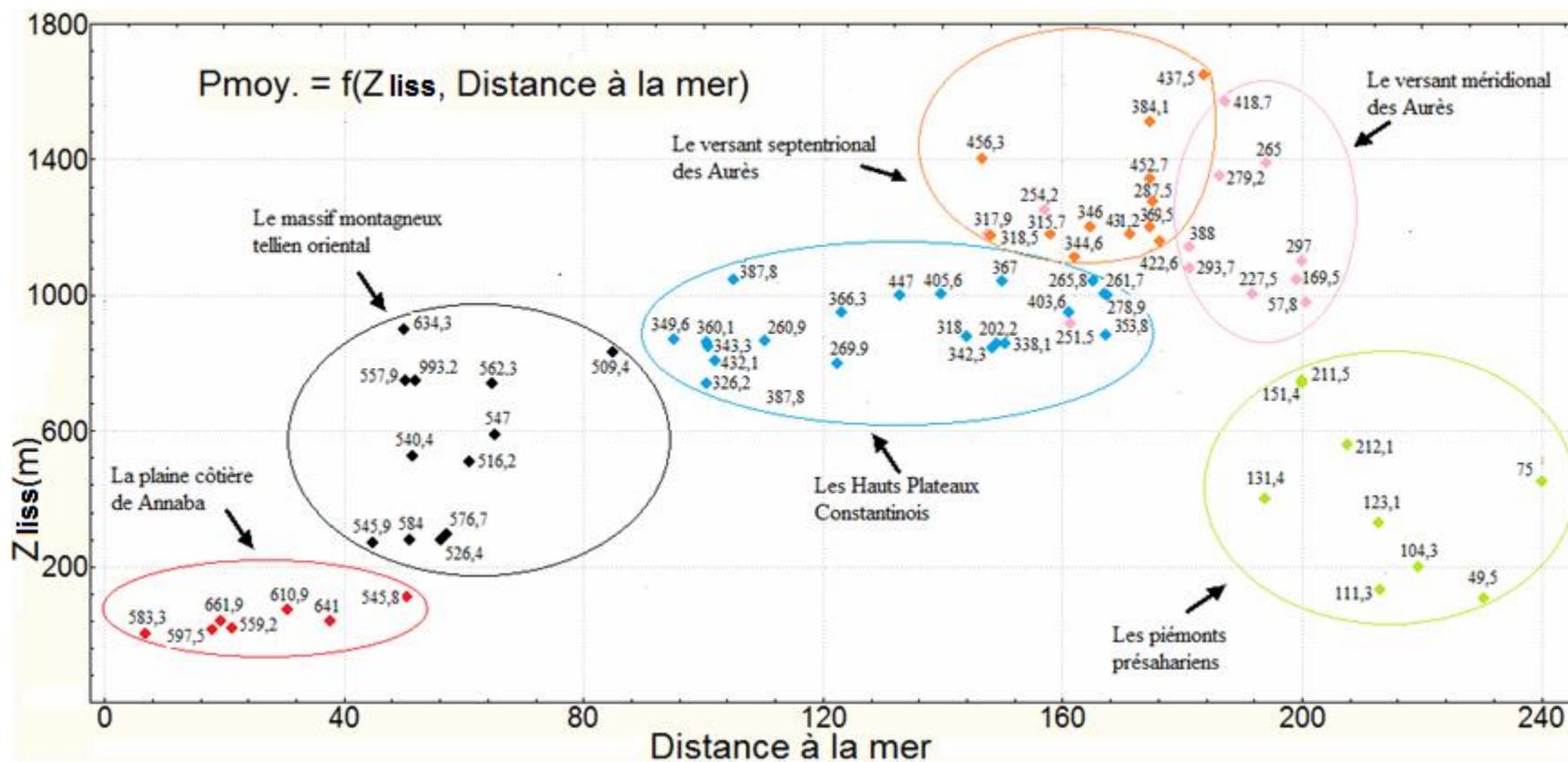


Figure 35 Pluie moyenne annuelle en fonction de l'altitude lissée et de la distance à la mer

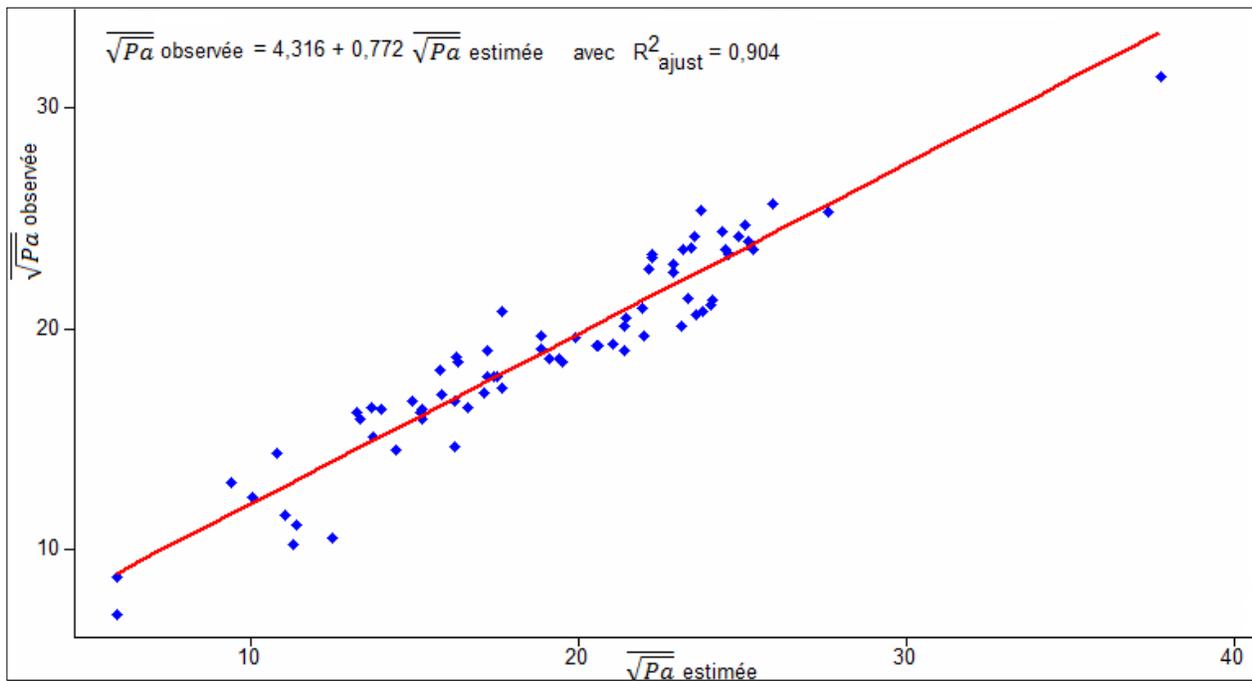


Figure 36 Régression entre les \sqrt{Pa} estimées et \sqrt{Pa} observées sur 73 postes pluviométriques

En outre, la modélisation statistique des effets du relief sur la répartition spatiale des précipitations, en utilisant la régression linéaire multiple, a montré sa faisabilité à l'échelle des moyennes mensuelles. Après quelques tentatives avec tout les paramètres explicatifs envisagés pour les pluies moyennes annuelles, nous avons retenu ceux qui sont exposés dans le tableau 18 pour les moyennes mensuelles.

Nous avons aussi procédé de façon analogue pour établir une régression multiple entre les pluies journalières annuelles extrêmes de fréquence décennale ($Pj_{max 10}$) et les différentes quantités explicatives émanant des variables X, Y, Zliss et DM (tableau 17).

Tableau 17 : Résultats de la régression multiple : pluies journalières extrêmes de fréquence décennale - paramètres explicatifs

$\sqrt{Pj_{max 10}} = 52,1 - 16,0 \text{ LOG}(Y) + 0,343 (Z/X) - 0,0431(DM)$										
Variables	Coefficients de régression	Terme constant	Corrélation multiple*					Corrélation partielle		
			Coefficient de corrélation multiple R	Coefficients de corrélation multiple ajusté R_{ajust}^2 ($\alpha = 5\%$)	R_{ajust}^2	F	p-value	r_{min}	T	p-value
log y	-16,008	52,14	0,780	0,764	0,585	25,47	0,000	-0,346	-2,58	0,013
zliiss/x	0,34279							0,503	4,08	0,000
dm	-0,04313							-0,490	-3,94	0,000

* La significativité globale du modèle est fournie à l'aide d'un test F FISHER-SNEDECOR et une probabilité associée p-value. Si F est associé à une probabilité d'erreur $< 5\%$, le modèle est donc globalement significatif.

Tableau 18 Résultats de la régression multiple : pluies mensuelles - paramètres explicatifs

\sqrt{Pm}	X	Y	Zliss	DM	X/Y	Zliss / X	Zliss / Y	X.Zliss/Y	Zliss/DM	Terme constant	Corrélation multiple*					Corrélation paetielle		
											R	R _{ajust}	R ² _{ajust}	F	p-value	r _{min}	T	p-value
Sept	0,0046	-	-	-	-1,1358	-	0,46517	-	-0,06330	4,066	0,76	0,74	0,55	23,31	0,000	-0,244	-2,07	0,040
Oct		0,0237	-0,0065			1,6624	-	-	0,13658	-1,8634	0,89	0,88	0,78	65,78	0,000	0,329	2,87	0,005
Nov	-	-	-	-0,0538	2,2012	-	2,2125	-0,0020	-	4,408	0,87	0,86	0,75	54,32	0,000	-0,325	-2,84	0,005
Déc	-	0,0372	-0,0071	-	-	1,7508	-	-	0,20133	-5,1593	0,94	0,94	0,88	132,87	0,000	0,392	3,51	0,001
Jan	-	0,0314	-0,0059	-	-	1,2294	-	-	0,25466	-3,1884	0,94	0,94	0,88	135,33	0,000	0,397	3,56	0,001
Fév	-	0,0285	-0,0062	-	-	1,4184	-	-	0,25523	-3,1490	0,93	0,93	0,87	117,07	0,000	-0,456	-4,23	0,000
Mar	0,0111	-	-0,0075	-	-1,9768	-	1,7961	-	0,25038	2,003	0,86	0,85	0,73	40,06	0,000	-0,412	-3,70	0,000
Avr	-	-	-0,0046	-	-1,9210	-	0,9629	-	0,19655	11,7655	0,87	0,87	0,75	55,41	0,000	0,28	2,49	0,013
Mai	0,0182	-0,0335	-0,0060	-	-4,017	1,3322	-	-	0,21814	11,539	0,86	0,85	0,72	31,12	0,000	-0,294	-2,50	0,012
Jui	0,0042	0,0073	0,0022	-	-	-	-	-	-0,06814	-3,018	0,81	0,80	0,64	32,27	0,000	-0,272	-2,33	0,020
Juil	-	-	-	-0,0041	-	-	-0,7934	0,0013	-	1,6349	0,68	0,66	0,44	19,48	0,000	-0,271	-2,34	0,020
Aou	-	-	0,0022	-	-0,4988	-	-	-	-0,11653	4,0377	0,72	0,70	0,50	24,51	0,000	-0,350	-3,11	0,002

* La significativité globale du modèle est fournie à l'aide d'un test F FISHER-SNEDECOR et une probabilité associée p-value. Si F est associé à une probabilité d'erreur < 5 %, le modèle est donc globalement significatif.

III-4 Etude de la structure spatiale des résidus de régression

L'importance de la prise en compte de la structure spatiale des résidus sur le résultat final de la spatialisation des pluies a été montré par de nombreux auteurs (Laborde 1988, Meddi 1994, Humbert et al. 1993, 1997, Mebarki 2005,...). Ceci est primordiale pour la mise en application de la technique d'interpolation choisie et nous renseigne sur les résidus de régression de tout l'espace étudié, à partir du l'analyse de variogramme.

III-4-1 Variogrammes expérimentaux et modélisation théorique

Le variogramme brut expérimental $\gamma_e(h)$ ⁽¹⁾ exprime la variance des écarts entre les résidus de régression entre deux points distants de (h) , (Laborde, 1995). Il se fait en calculant la variance pour toutes les couples de points connus et par la suite la variance entre chaque point connu et tous les points à estimer (Meylan, 1986).

Pour chacun des 73 postes pluviométriques utilisés, nous avons calculé les résidus de régression des moyennes des racines carrées des pluies moyennes interannuelles ($\sqrt{\varepsilon}$) et nous avons tenté de mettre en évidence une structure spatiale.

Le calcul du variogramme omnidirectionnel expérimental nous a conduits à un nuage de points qui a été ajusté visuellement à un modèle théorique ⁽²⁾ de type exponentiel sans pépite (Figure 37). De la même façon que pour les pluies moyennes annuelles, nous avons adopté le schéma exponentiel pour modéliser les variogrammes des résidus de régression des pluies moyennes mensuelles et des pluies journalières extrêmes de fréquence décennale. La pluie moyenne du mois d'aout a fait l'exception et s'ajuste au variogramme linéaire (Figure 38 et 39).

III-4-2 Interpolation des résidus de régression

Une fois le variogramme tracé et le modèle théorique ajusté, reste à passer à l'interpolation des résidus. Le but est d'obtenir une information continue de tout l'espace, en partant de valeurs ponctuelles. Le choix de la méthode d'interpolation ⁽³⁾ dépend de la nature des données et la précision du résultat dépend de la méthode choisie.

$$\text{(1)} : \gamma_e(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \forall x \in D$$

$N(h)$: nombre de paires dont les points sont espacées de h .

Z : une variable aléatoire de nature continue (la pluie dans notre cas) mesurée aux points x_1, \dots, x_n .

- Le vecteur $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{id})$ désigne la coordonnée du $i^{\text{ème}}$ point auquel on s'intéresse ; les points x_i appartiennent à un domaine $D : x_i \in D \subseteq R^d$

- Le vecteur distance h en deux points x_i et x_j est défini par : $h_{ij} = x_i - x_j = (x_{i1} - x_{j1}, \dots, x_{id} - x_{jd})$.

⁽²⁾ : On dispose de nombreux modèles pratiques à l'ajustement, mais on distingue 4 principaux modèles :

$$\text{Modèle sphérique} : \gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[\frac{3|h|}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{|h|}{a} \right)^3 \right] & h \leq a \\ C & h > a \end{cases} ; \text{Modèle exponentiel} : \gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{-\left(\frac{|h|}{a}\right)} \right]$$

$$\text{Modèle gaussien} : \gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{-\left(\frac{|h|}{a}\right)^2} \right] ; \text{Modèle puissance} : \gamma(h) = C_0 + C|h|^\lambda$$

$\gamma(h)$: Variogramme théorique ; h : La distance moyenne inter-classe (km) ; C : Le palier (mm^2) ; a : la portée théorique du phénomène (km) ; C_0 : Effet de pépite.

⁽³⁾ : On peut citer les fonctions d'interpolation suivantes: La recherche du plus proche voisin (Voronoi ou Thiessen), Le calcul d'une surface de tendance, la pondération en fonction de l'inverse de la distance (Inverse distance weighting), Les méthodes par courbes spline (Splining), et Les méthodes d'interpolation par krigeage (Joliveau, 2004).

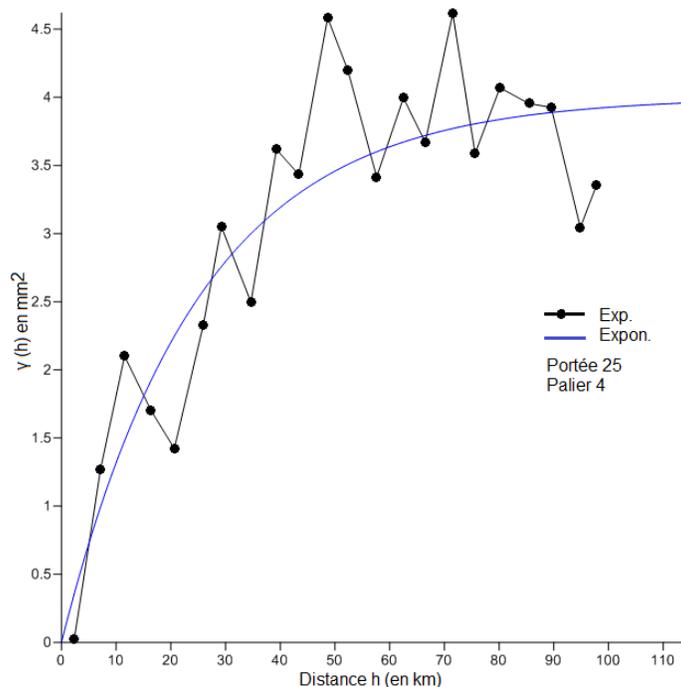


Figure 37 Variogramme des résidus de régression (moyennes des racines carrées de pluies annuelles, modèle exponentiel : portée = 25 km ; palier = 4 mm² ; pépite nulle à l'origine)

- Le krigeage comme méthode d'interpolation spatiale

Parmi les méthodes de régionalisation des variables spatiales, on trouve la méthode du krigeage⁽¹⁾. Cette méthode est largement préférée pour l'interpolation des précipitations. Elle part de l'idée que la valeur de la variable (inconnue) en un site non échantillonné dépend exclusivement de son positionnement dans le semis des points qui l'entourent et dont la valeur est connue (Lebel et Laborde 1988 ; Gratton 2002).

En plus, le krigeage est un interpolateur exact puisque la surface obtenue passe par les points expérimentaux (sauf intégration d'un effet de pépite). Il se distingue des autres méthodes d'interpolation par sa prise en compte de la structure spatiale des données sous forme d'un modèle de variogramme (Chilès et Delfiner, 1999).

L'interpolation des résidus de régression des moyennes des racines carrées de pluies annuelles, mensuelles et maximale de fréquence décennale, calculés sur les 73 postes pluviométriques, a été effectuée aux nœuds d'une grille de 40 x 40 km². La mise en application du Krigeage a été réalisée par le logiciel SURFER[®].

⁽¹⁾ : Le Krigeage porte le nom de son précurseur, l'ingénieur minier sud-africain D.G. Krige, son estimateur est de la forme : $Z^*(t_0) = \sum_{i=1}^P \lambda_i Z(t_i)$ où $Z^*(t_0)$ est une estimation de Z au point t_0 ; λ_i est le poids affecté à la valeur Z au point t_i et P est le nombre total des points de mesure de la variable Z .

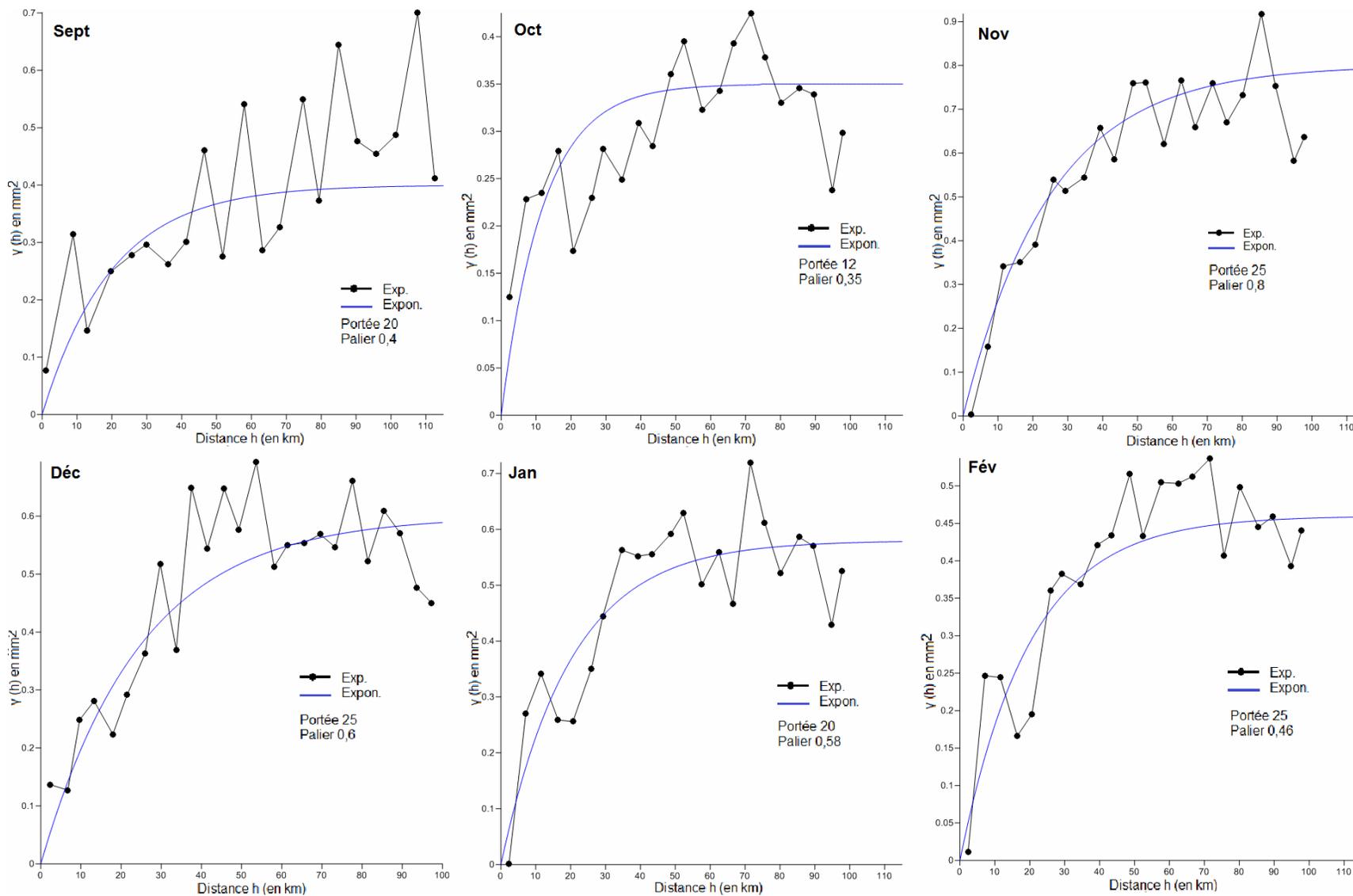


Tableau 38 Modèles des variogrammes associés aux pluies moyennes mensuelles

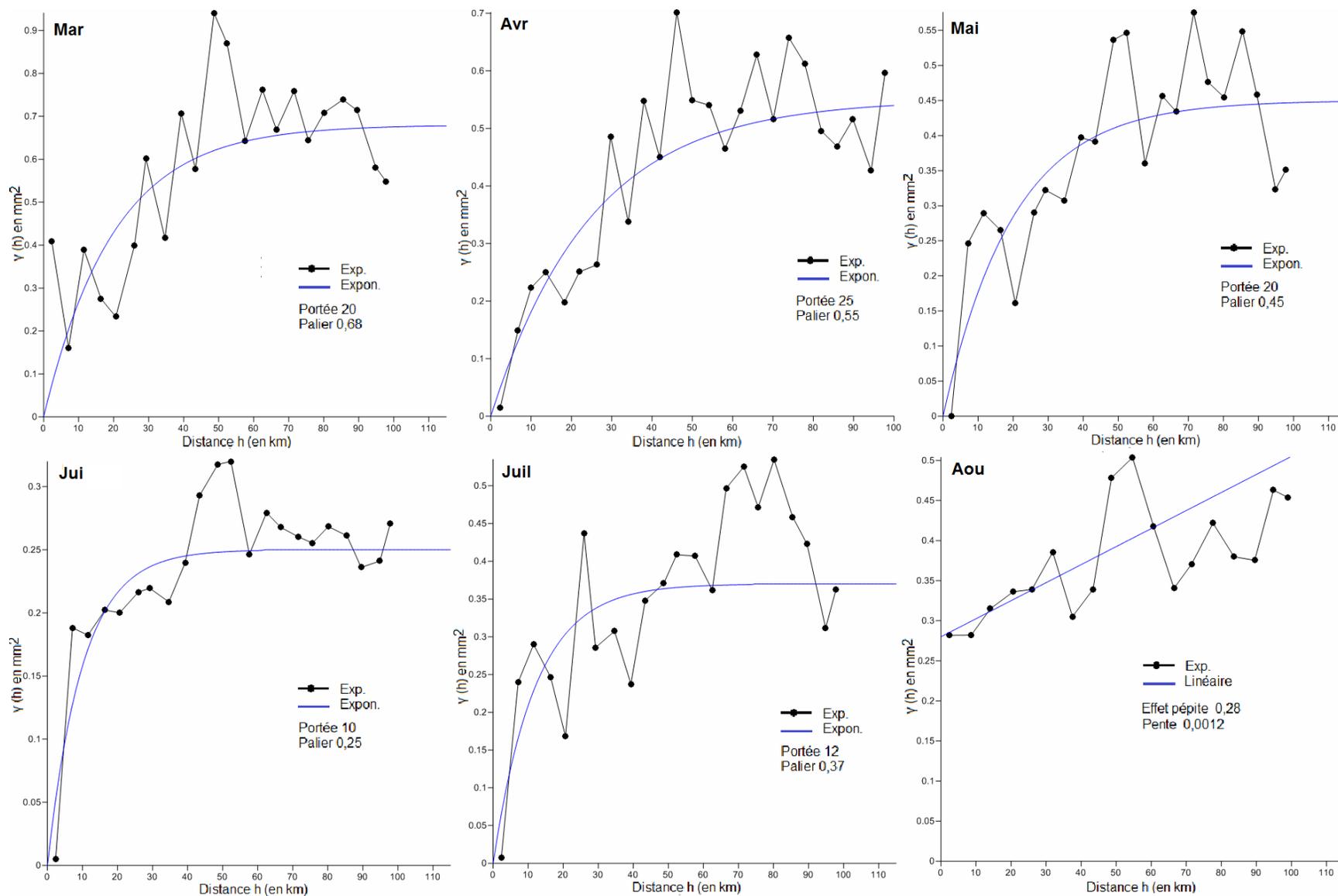


Figure 38 (suite) Modèles des variogrammes associés aux pluies moyennes mensuelles

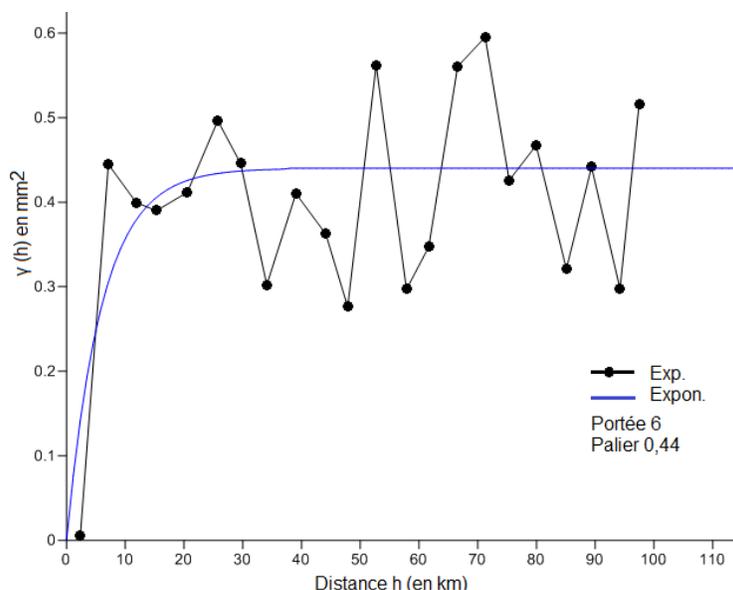


Figure 39 Variogramme des résidus de régression (moyennes des racines carrées de pluies journalières max de fréquence décennale, modèle exponentiel : portée = 6 km ; palier = 0,44 mm² ; pépité nulle à l'origine)

III-5 Constitution de la grille finale et de la cartographie automatique

Les variables explicatives sélectionnées comme prédicteurs et les valeurs interpolées des résidus de la régression sont alors calculées pour tous les points d'une grille à maillage 40 x 40 m².

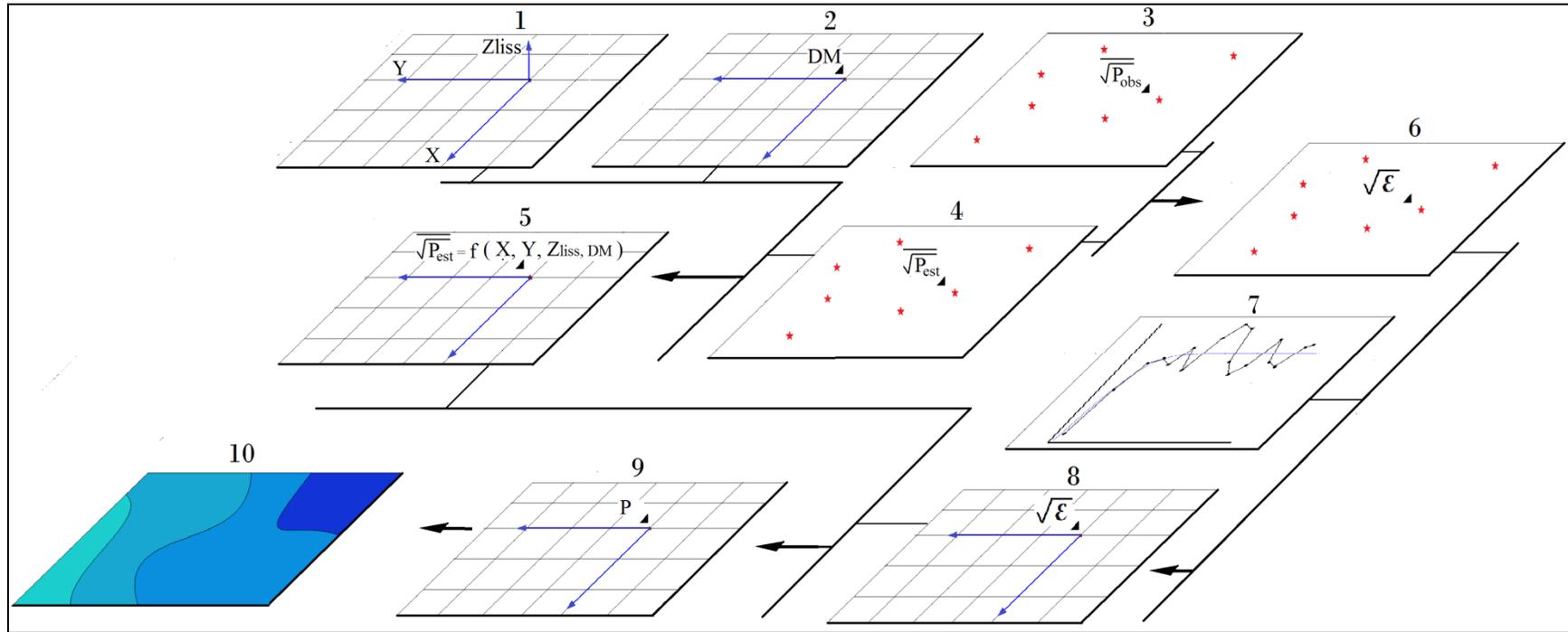
L'équation $P = \left(\sqrt{\overline{P}_i} + \sqrt{\varepsilon}\right)^2$ appliquée à ces points définit une grille finale des précipitations calculées, permettant de tracer les courbes isohyètes. Cette démarche a été appliquée pour l'élaboration de trois types de cartes ; Il s'agit des cartes des pluies moyennes annuelles (\overline{Pa}), mensuelles (\overline{Pm}) et maximales de fréquence décennale ($Pj_{max 10}$). Ces cartes tiennent compte des incertitudes sur les estimations ponctuelles et valorisent l'information topo-géographique disponible. Un fonds hypsométrique issu du MNT et différents éléments d'habillage, peuvent être ajoutés aux cartes réalisées (Figures 41, 42,43 et 44, Annexe III).

III-6 Interprétation des cartes pluviométriques élaborées

III-6-1 Étude de la variabilité spatiale et analyse des tendances évolutives

Tout d'abord, notre cartographie des isohyètes montre une variabilité spatiale de la pluviométrie, caractérisée par une diminution des précipitations du nord vers le sud. Ceci s'explique par l'affaiblissement des perturbations, vers le sud, en raison du dessèchement progressif des masses d'air chargées d'humidité. Par ailleurs, l'effet orographique des massifs de Tell oriental et des Aurès accentue les précipitations.

Il est incontestable que les cartes de [Seltzer \(1946\)](#), [Chaumont et Paquin \(1971\)](#) et [l'ANRH \(1993\)](#), faisant largement appel à l'expérience et à la connaissance du terrain, restent des documents de référence fiables et instructifs, pour les études de la pluviométrie au nord de l'Algérie. De la superposition de notre esquisse d'isohyètes (1970/2004) à ces anciennes cartes, ressortent les constatations suivantes :



- 1 : Altitude lissée du point de coordonnées (X,Y) de la grille
- 2 : Distance à la mer du point de coordonnées (X,Y) de la grille
- 3 : Valeurs ponctuelles des moyennes des racines carrées des précipitations observées
- 4 : Valeurs ponctuelles des moyennes des racines carrées des précipitations estimées
- 5 : Moyenne des racines carrées des précipitations estimées du point de coordonnées (X,Y) de la grille
- 6 : Valeurs ponctuelles des résidus de régression $\sqrt{\epsilon} = \sqrt{P_{obs}} + \sqrt{P_{est}}$
- 7 : Variogramme expérimental des résidus de régression et modèle théorique adopté.
- 8 : Racine carrée du résidu de régression $\sqrt{\epsilon}$ du point de coordonnées (X,Y) de la grille.
- 9 : pluie $P = \left(\sqrt{P_{est}} + \sqrt{\epsilon}\right)^2$ du point de coordonnées (X,Y) de la grille finale des précipitations
- 10 : Carte finale des précipitations

Figure 40 Etapes de réalisation de la cartographie des précipitations annuelles, mensuelles et journalières extrêmes de fréquence décennale

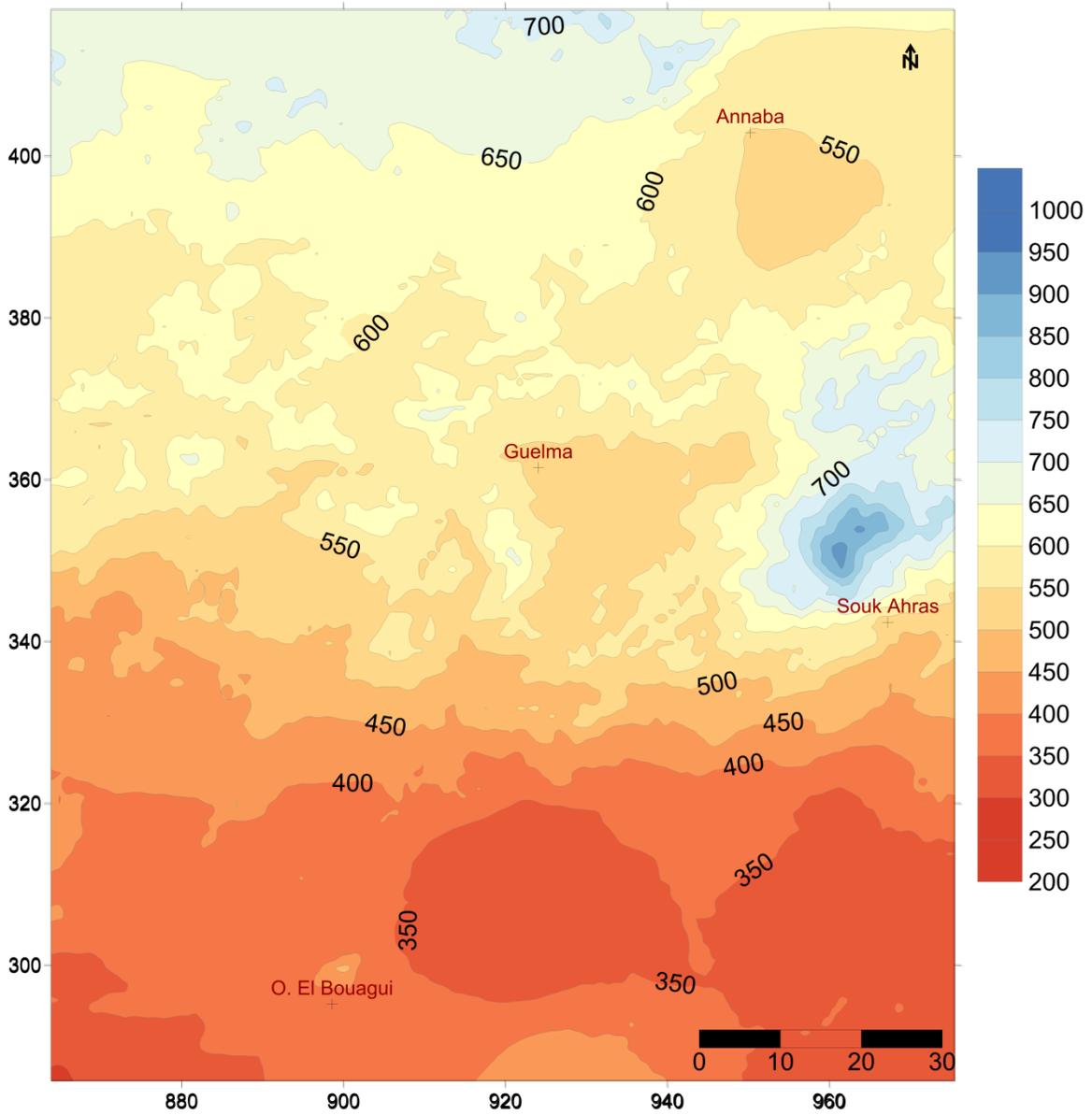


Figure 41 Carte des précipitations annuelles moyennes de la Seybouse
(Période du 1er septembre 1970 au 31 août 2004)

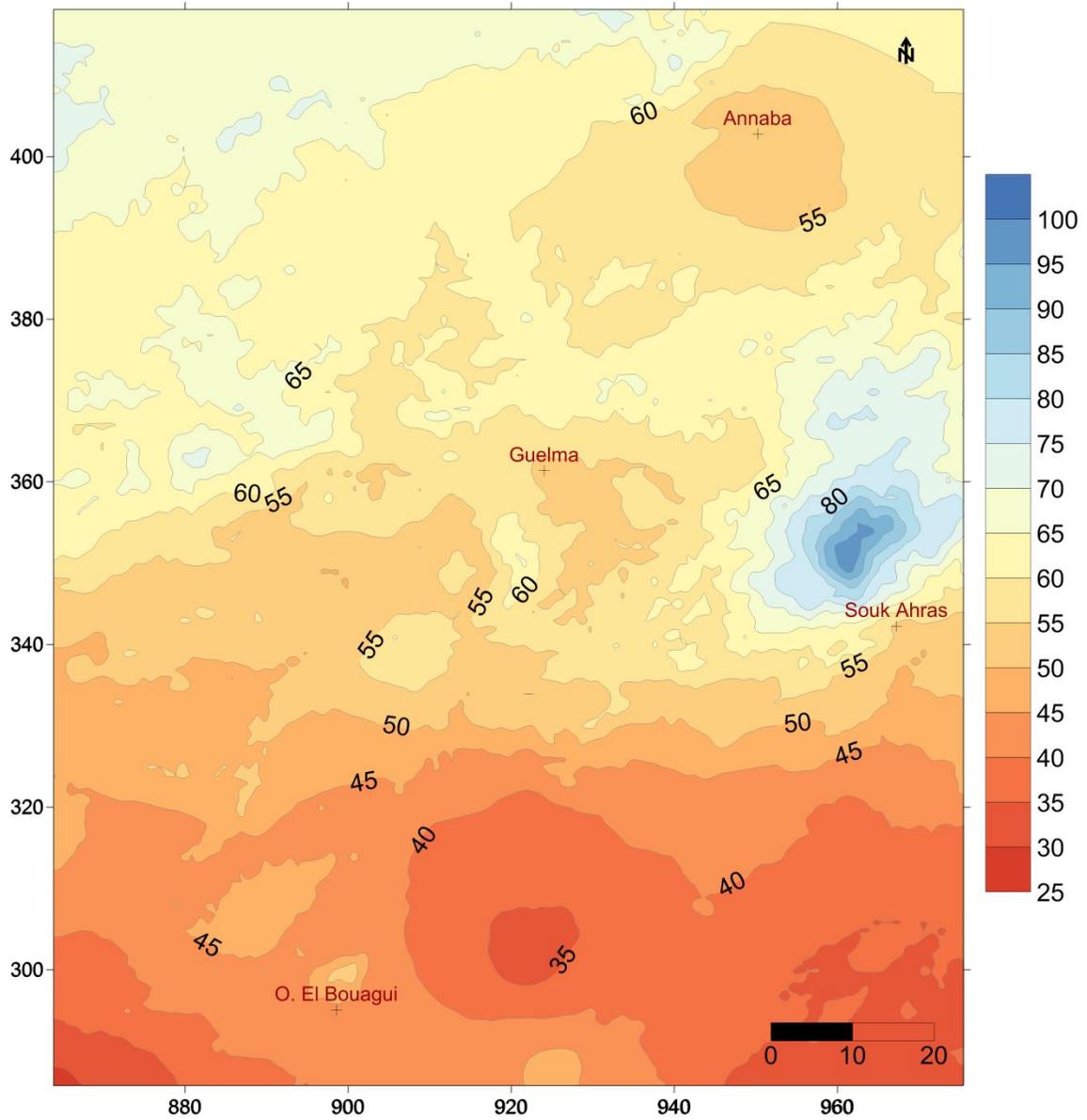


Figure 42 Carte des précipitations mensuelles moyennes de la Seybouse (Mois d'avril, périodes du 1er septembre 1970 au 31 août 2004)

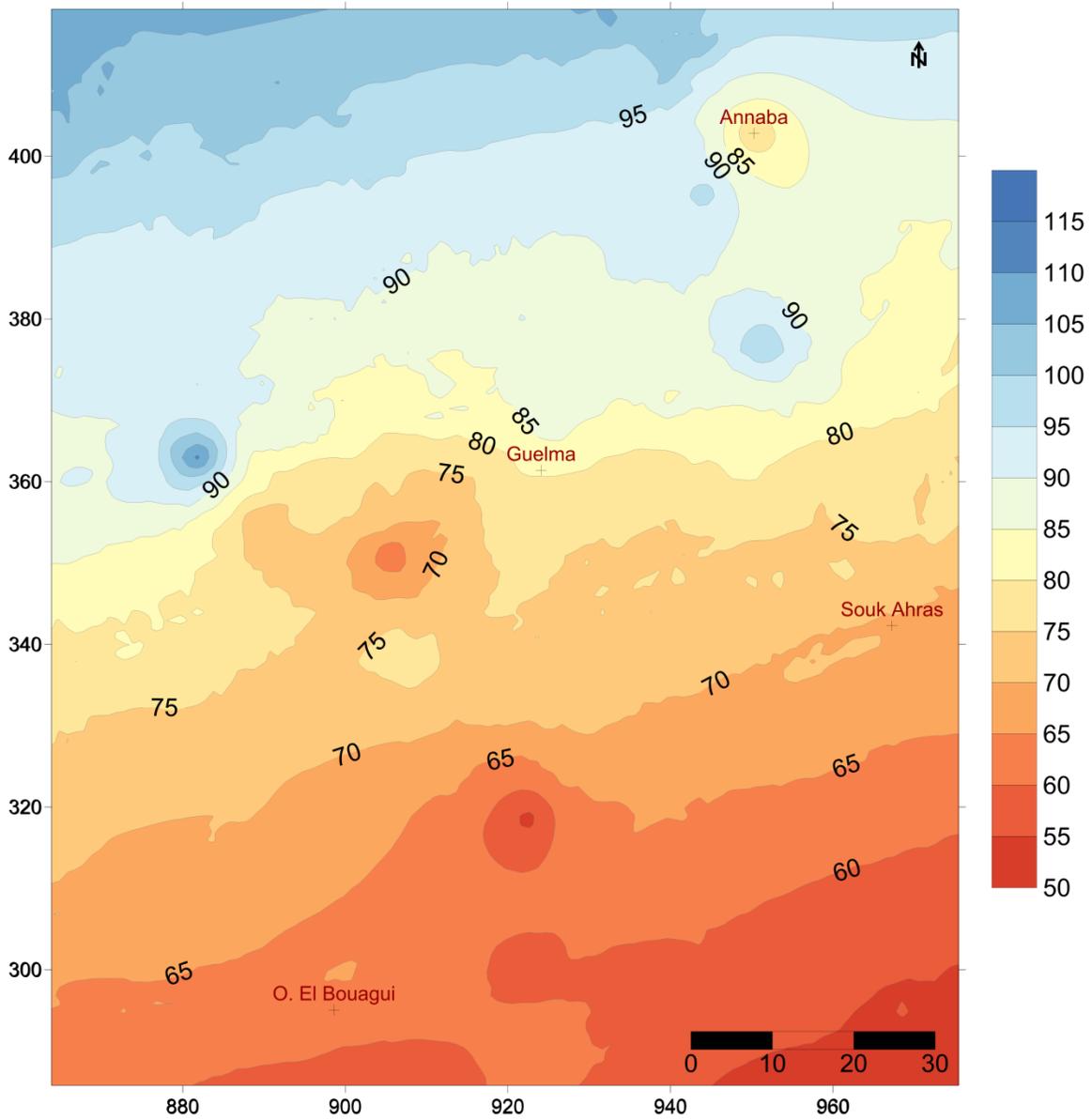


Figure 43 Carte des précipitations journalières max de fréquence décennale de la Seybouse (Périodes du 1er septembre 1970 au 31 août 2004)

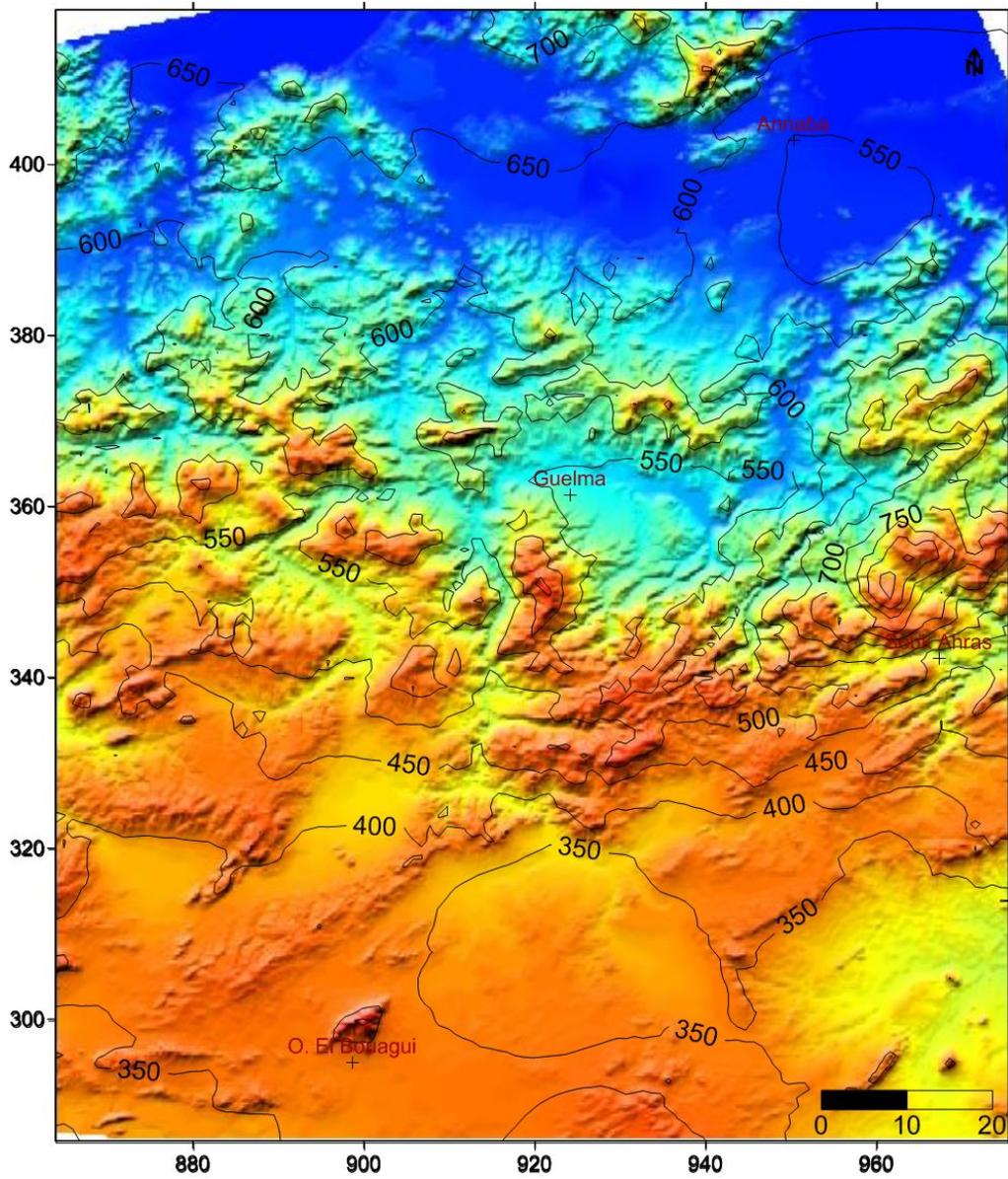


Figure 44 Superposition des isohyètes de pluies moyennes annuelles de la Seybouse (1970 -2004) sur MNT.

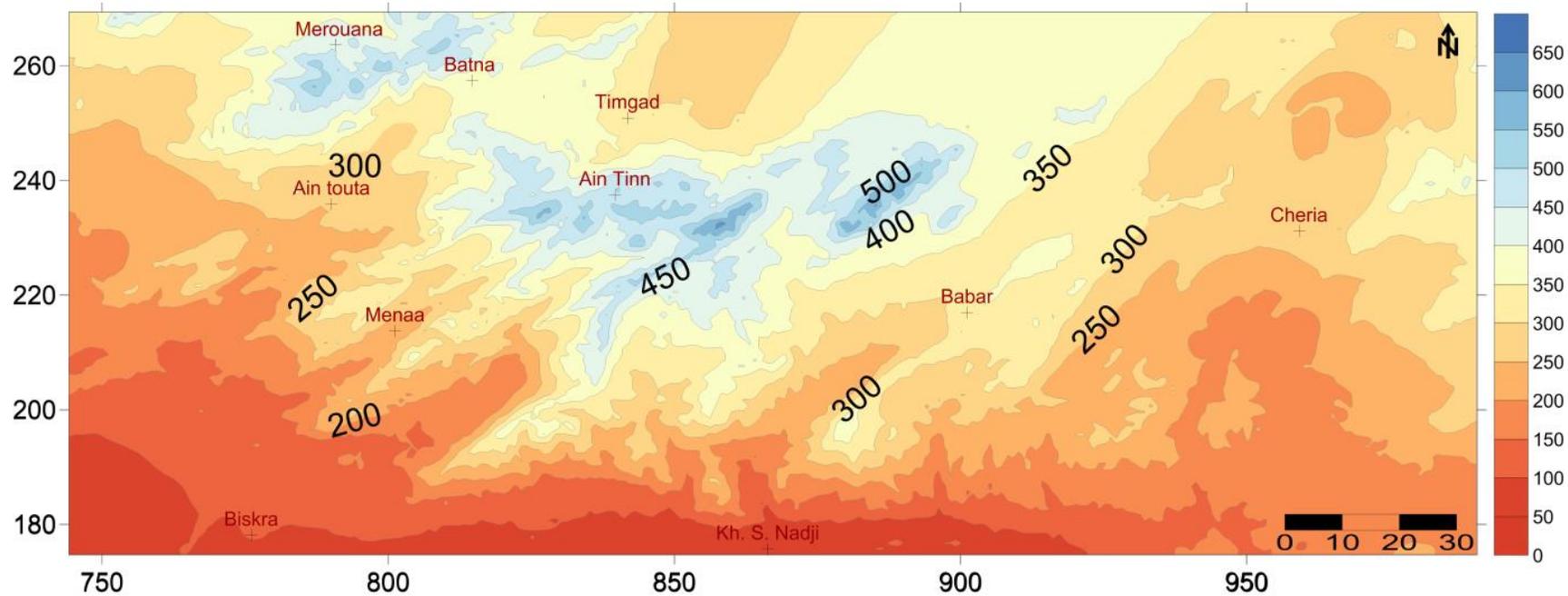


Figure 45 Carte des précipitations annuelles moyennes des Aurès
(Périodes du 1er septembre 1970 au 31 août 2004)

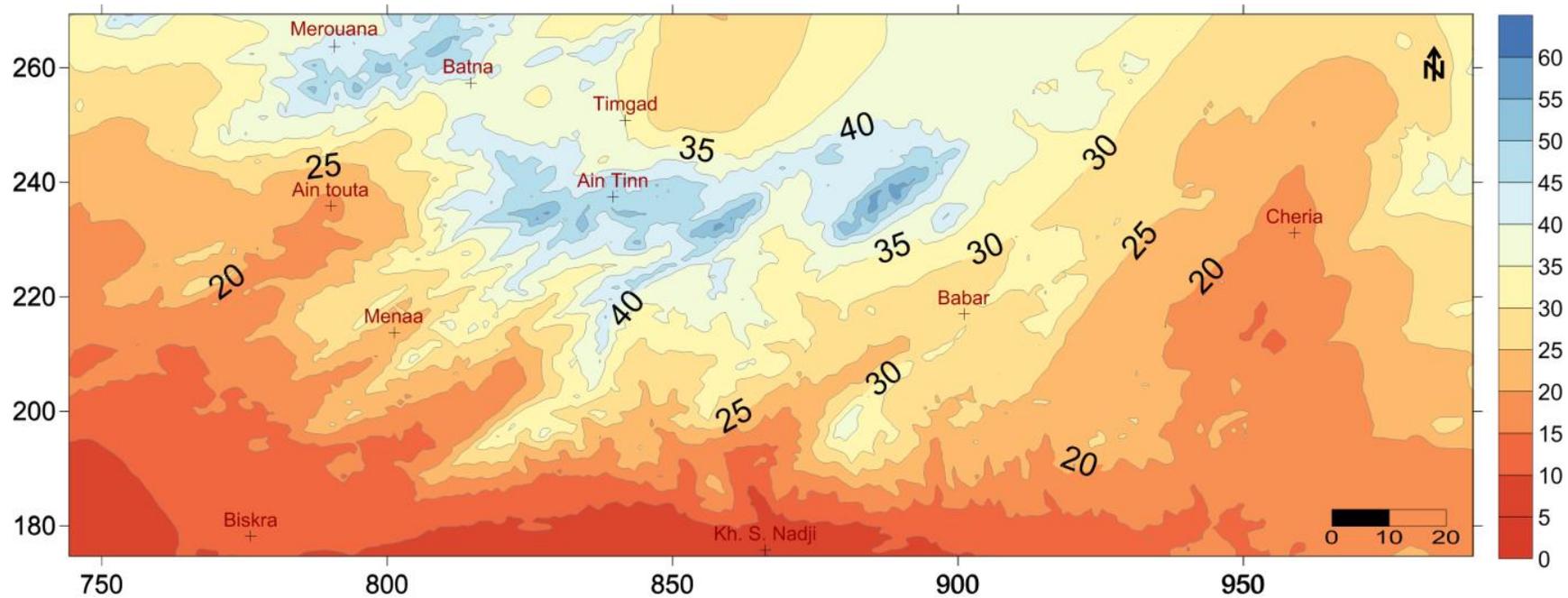


Figure 46 Carte des précipitations mensuelles moyennes des Aurès
(Mois d'avril, périodes du 1er septembre 1970 au 31 août 2004)

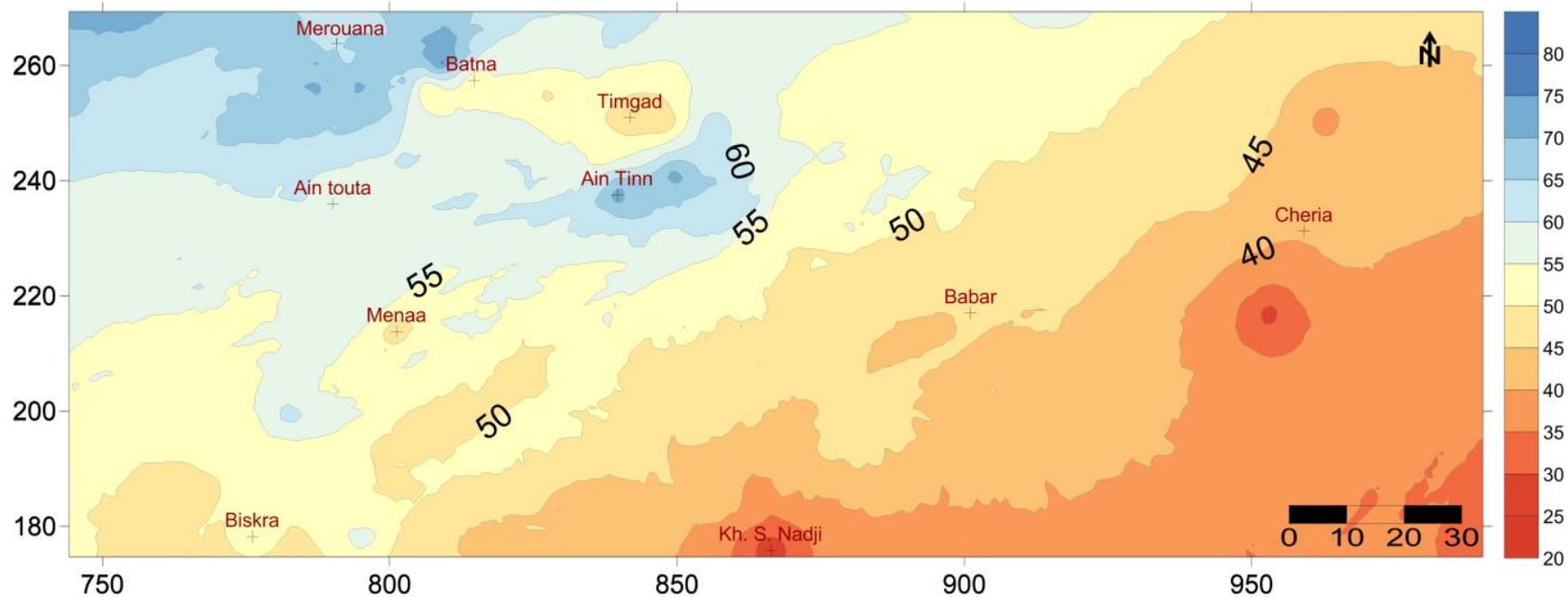


Figure 47 Carte des précipitations journalières max de fréquence décennale des Aurès
(Périodes du 1er septembre 1970 au 31 août 2004)

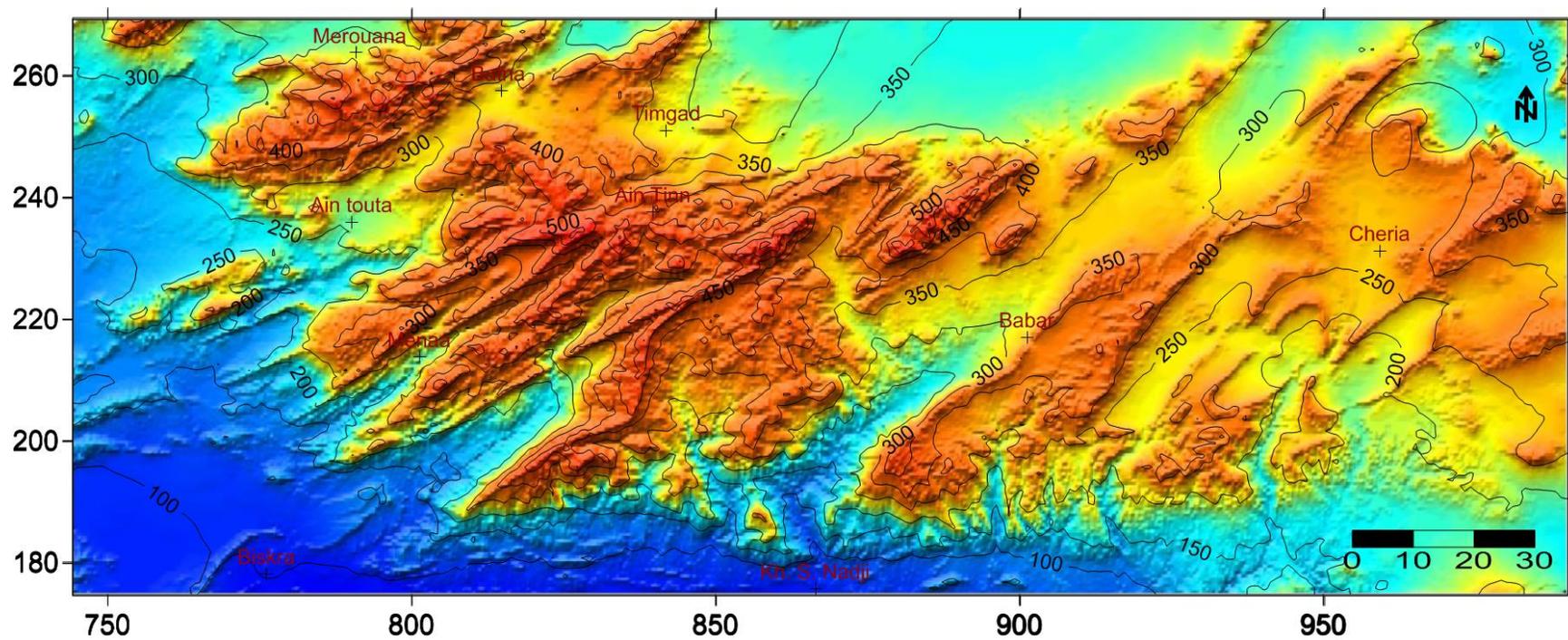


Figure 48 Superposition des isohyètes de pluies moyennes annuelles des Aurès (1970 -2004) sur MNT

- La régression linéaire simple établie entre les moyennes des racines carrées des précipitations annuelles (1970/2004) et celles des anciennes séries, montre une très bonne corrélation et les équations de régression correspondantes s'écrivent comme suit:

$$\sqrt{P_{(70/04)}} = 0,97\sqrt{P_{(ANRH)}} - 0,44 \quad ; \quad R=0,96$$

$$\sqrt{P_{(70/04)}} = 0,91\sqrt{P_{(Chaumont \text{ et } Paquin)}} - 0,92 \quad ; \quad R=0,88$$

$$\sqrt{P_{(70/04)}} = 0,95\sqrt{P_{(Seltzer)}} - 2,31 \quad ; \quad R=0,80$$

- Pour les quatre périodes citées précédemment, la forme générale des isohyètes se maintient sur l'ensemble de la zone d'étude. En plaine, les isohyètes sont globalement parallèles aux chaînes montagneuses du Tell et de l'atlas saharien. Dans la zone de montagne les isohyètes épousent la forme du relief.

- la carte établie par l'ANRH pour la période (1922/60-1969/89) présente les valeurs annuelles moyennes les plus proches de celles trouvées pour la période (1970-2004).

- la période étudiée (1970-2004), est relativement sèche et on assiste à une tendance pluviométrique qui reste nettement déficitaire.

- Dans le bassin de la Seybouse où les zones pluviométriques sont disposées longitudinalement plus ou moins parallèles, on remarque un net décalage des isohyètes de la série (1970/2004) vers le nord. Les lignes isohyètes, de 800 à 1200 mm, ont complètement disparu du bassin (Figure, 49).

- La figure 50 met en exergue une baisse remarquable de la pluviométrie dans la région des Aurès au cours de la période étudiée. Cette baisse est marquée par une forte diminution en surface des zones à pluviométrie de 400 et 500 mm et une disparition de l'isohyètes (600 à 800 mm).

Les écarts par rapport à la série récente (1970-2004) au niveau des 73 stations étudiées, ont été calculés⁽¹⁾ et représentés en valeur relative (figure 51). On enregistre au moyen 27 %, 24% et 9% de diminution de la pluviosité par rapport aux périodes (1913-1938), (1913-1963) et (1922/60-1969/89) respectivement.

Cela prolonge les résultats de [Mebarki \(2005\)](#) qui avaient déjà observé une baisse des précipitations sur l'Est algérien de l'ordre de 8 % pour la période (1972-1984) comparée à celle de l'ANRH qui accuse elle-même un déficit pluviométrique de 10 % par rapport à la série de [Chaumont et Paquin \(1913-63\)](#).

⁽¹⁾ : l'écart relatif : $E_r(\%) = \frac{\bar{P}_r - \bar{P}_e}{\bar{P}_e}$

\bar{P}_r : Pluie moyenne interannuelle de la période récente (1970-2004). \bar{P}_e : Pluie moyenne interannuelle de l'ancienne série : Seltzer (1913-1938), (Chaumont et Paquin (1913-1963) ou l'ANRH (1922/60-1969/89). La valeur moyenne des anciennes séries est obtenue par interpolation (triangulation with smoothing) et après positionnement des 73 stations sur les anciennes cartes numérisées sous SIG Mapinfo.

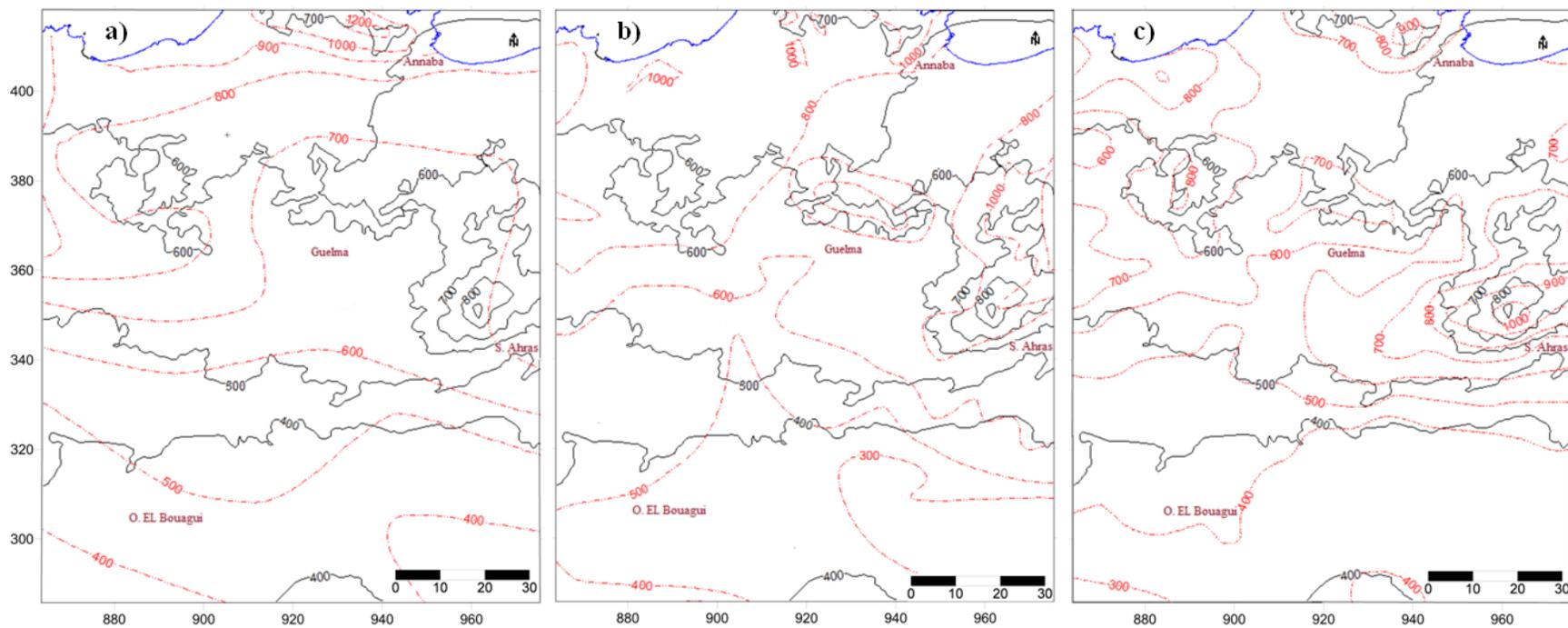


Figure 49 Superposition des isohyètes de la période (1970-2004) et celles de : a) Seltzer (1913-1938), b) Chaumont et Paquin (1913-1963) et c) l'ANRH (1922/60-1969/89), bassin de la Seybouse

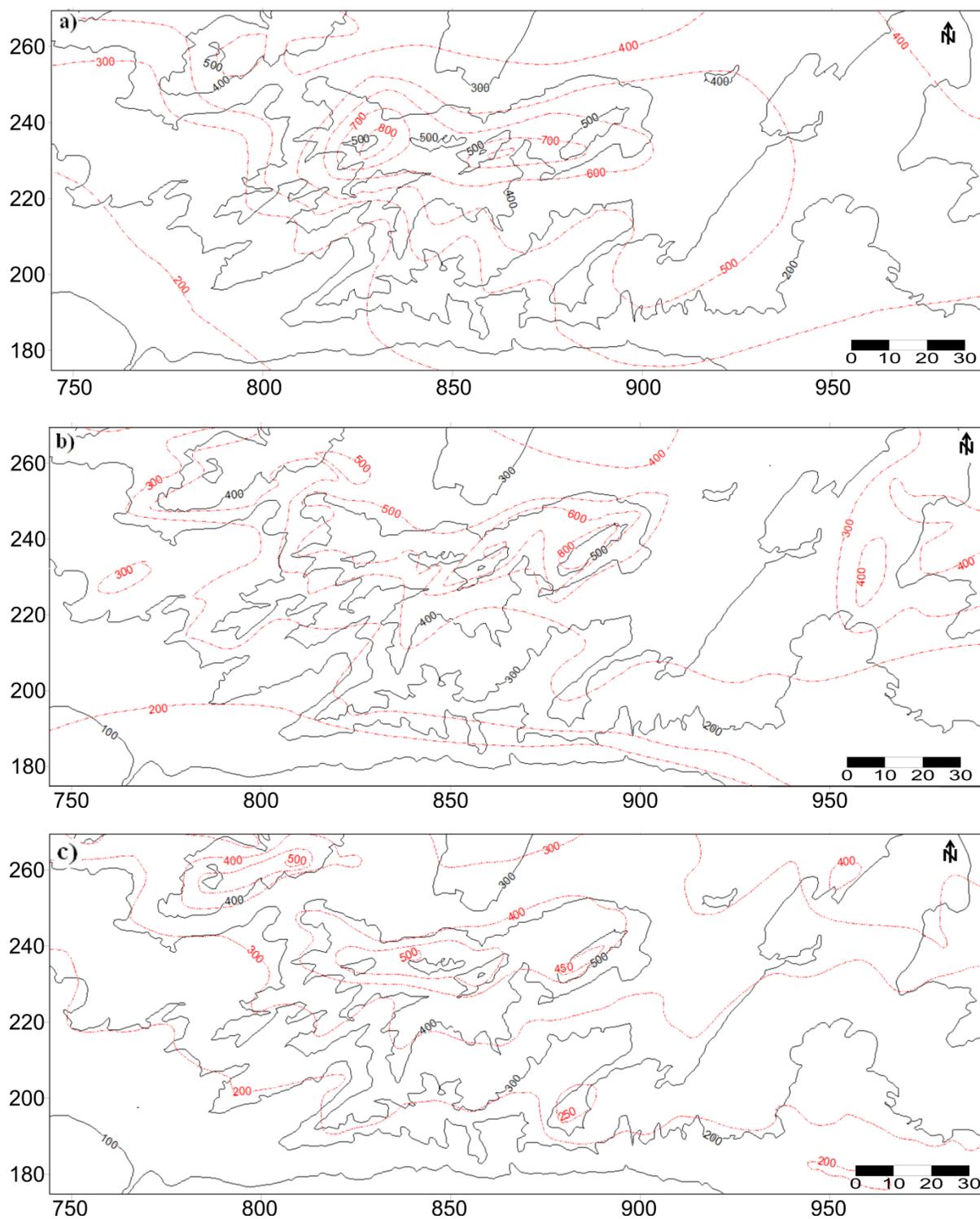


Figure 50 Superposition des isohyètes de la période (1970-2004) et celles de : a) Seltzer (1913-1938), b) Chaumont et Paquin (1913-1963) et c) l'ANRH (1922/60-1969/89), région des Aurès

Certaines stations ont vu leurs moyennes augmenter : Mechroha enregistre une augmentation de 7% par rapport à la période (1913-1963), Ain Snob 9%, Seguene 10%, Merouana 11%, la Meskiana 12% et Ain El Beida 15%. Dix stations enregistrent une augmentation variant de 3 à 22% par rapport à la série de l'ANRH.

La station de Tebessa marque un excédent de 7 et 15% par rapport aux séries de Seltzer et de l'ANRH, respectivement. L'individualisation des stations de Khanget Sidi Nadji et SIAR est frappante, avec un déficit de 87% (ANRH), 75% (Chaumont et Paquin) et 85% (Seltzer) pour la première et 50% (ANRH), 62% (Chaumont et Paquin) et 82% (Seltzer) pour la deuxième.

Les interrogations qui se formulent à propos de l'existence d'une tendance à la baisse des précipitations au cours de ces dernières décennies en Algérie septentrionale, de ces causes et de ces conséquences, sont nombreuses et fréquentes. En outre, notre analyse de tendance révèle un certain nombre de particularismes locaux, indiquant qu'il est difficile d'établir des conclusions approuvables pour l'ensemble ou une partie du pays.

Néanmoins, on peut souligner que la tendance à la baisse, aperçues sur notre région d'étude, semble être une suite logique d'un processus de dégradation en chaîne du milieu naturel, dont l'élément prémonitoire est le déficit pluviométrique.

III-6-2 Evaluation de la lame d'eau précipité sur les bassins

L'analyse des pluies sur l'ensemble du bassin, est basée sur l'hypothèse que la pluie tombée à une station est représentative de celle tombée autour de la station, sur une étendue plus ou moins vaste selon la densité du réseau pluviométrique.

Parmi les méthodes généralement proposées pour calculer la lame d'eau précipitée à partir des mesures ponctuelles aux postes pluviométriques, on distingue la méthode de la moyenne arithmétique⁽¹⁾, la méthode des polygones de Thiessen⁽²⁾ ou l'utilisation d'isohyètes⁽³⁾.

Les résultats de calcul des trois méthodes sur les bassins de la zone d'étude ont donné des valeurs plus ou moins rapprochées (tableau 20).

⁽¹⁾ : La moyenne arithmétique est une méthode simple grossièrement rapprochée, elle ne tient pas compte du caractère orographique des précipitations de la région : $\bar{P} = \sum P_i / N$, avec \bar{P} : pluie moyenne sur l'ensemble du bassin versant (mm), P_i : hauteur de pluie moyenne d'une station donnée (mm) et N : nombre de stations.

⁽²⁾ : la polygonation de Thiessen est l'une des méthodes les plus rapides et les plus utilisées, elle consiste à diviser la surface du bassin (S_T) en polygones de surface (S_i), dans lesquels on attribue à chaque poste pluviométrique un poids proportionnel à une zone d'influence ($\bar{P} = \sum S_i \cdot P_i / S_T$). Un point situé dans cette zone soit plus près en distance horizontale du pluviomètre correspondant, que de tout autre pluviomètre.

⁽³⁾ : On appelle isohyètes le lieu géométrique des points d'égales précipitations moyennes, déterminée pour une période donnée. Pour passer à la pluie moyenne (\bar{P}) tombée sur la surface totale du bassin (S_T) on planimètre chacune des surfaces élémentaires (S_i) délimitée par les isohyètes (P_i) et (P_{i+1}). La somme de toutes les moyennes de (P_i) et (P_{i+1}) multipliées par les surfaces correspondante et divisée par la surface totale du bassin donne de la hauteur des précipitations sur le bassin : $\bar{P} = \sum S_i \cdot P_i / S_T$

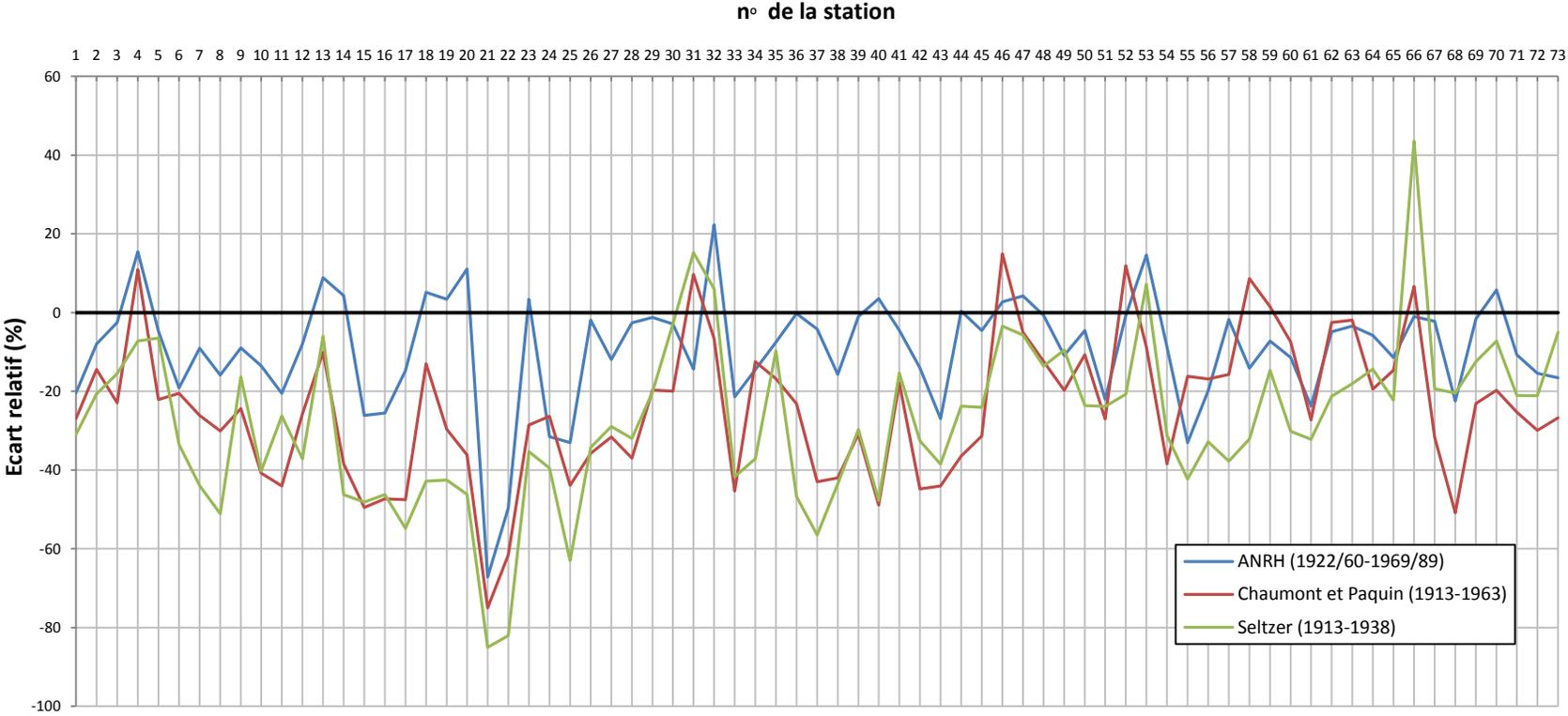


Figure 51 Ecarts relatifs des précipitations annuelles moyennes pour 73 postes pluviométriques situés dans la zone d'étude (en %)

Nous retenons, la méthode des isohyètes, qui apparait la plus précise et tient compte de la réalité topo-géographique et climatique des bassins. C'est à partir de la carte des isohyètes établies pour la période (1970-2004) que nous avons procédé au calcul.

On peut noter que la lame précipitée augmente avec la topographie, mais elle est plus élevée sur les versants exposés aux vents humides. Elle passe de 726 mm sur le bassin de l'Oued Melah à 234 mm sur l'Oued El Abiod au barrage de Foum El Gharza (figure 52).

Tableau 20 Résultats des méthodes d'évaluation de la lame d'eau précipitée

Bassin	Lame d'eau précipitée sur le bassin P (mm)		
	Polygonation de Thiessen	Contours en isohyètes	M. Arithmétique
Seybouse	496	517	490
Seybouse à Mirebek	493	498	490
Seybouse Maritime	591	610	583
Ressoul	560	592	578
Seybouse Moyenne	543	555	519
Bouhamdane à Medjez AmarII	520	528	508
Bouhamdane au B. H. Debagh	520	528	508
Bordj Sabath	545	558	557
El Maleh	808	731	602
Bascherf	444	466	449
Hautcherf (station)	337	387	351
Hautcherf (station)	337	387	351
Fesdis	348	374	361
Chemoura (Station)	335	372	342
Chemoura au B. K. Medouar	369	383	342
Reboa	406	434	383
El Gueiss (station)	438	393	419
El Gueiss (barrage)	438	393	419
El hai au B. F. Des Gazels	246	262	289
El hai à El Kantara	279	358	306
El abiod au B. F. El Guerza	235	232	236
El abiod à M'chouneche	238	279	270
El arab à kh. S. Nadji)	302	290	323
El arab (B. Babar)	363	349	388
Chéria	269	260	270

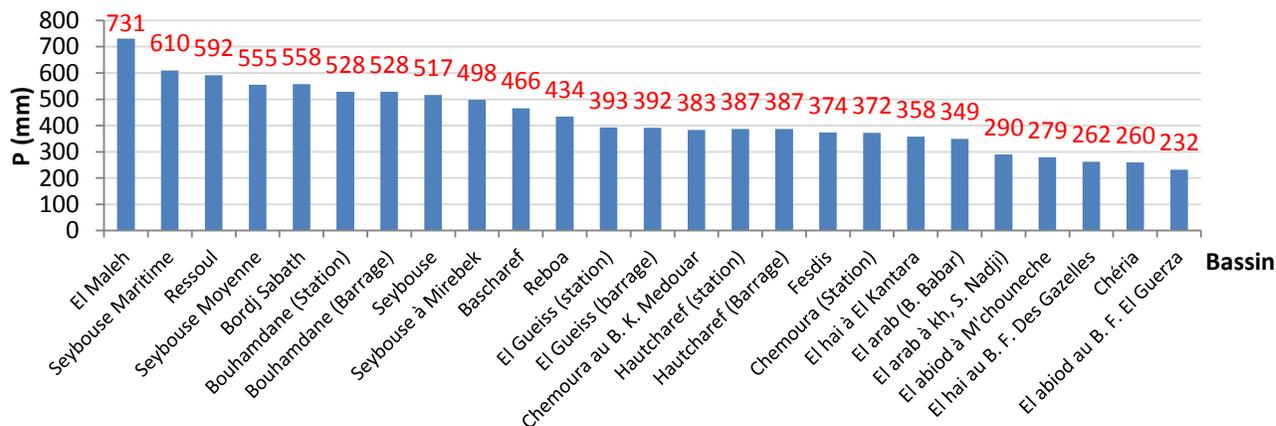


Figure 52 Répartition par ordre décroissant des lames précipitées annuelles moyennes pour les bassins de la zone d'étude

Conclusion

Visant à mettre en évidence la spatialisation des précipitations annuelles, mensuelles et journalières max de fréquence décennale de la Seybouse-Aurès sur un support cartographique simple, permettant une représentation synthétique facile à analyser, une bonne connaissance de la structuration des champs pluviométriques dans l'espace s'avère nécessaire.

La présente approche a mis en évidence une triple influence sur les précipitations: la latitude, la longitude et l'altitude complétée par les l'éloignement de la mer. La régression multiple a permis d'élaborer les meilleurs modèles statistiques pour les différents paramètres à cartographier.

En outre, l'analyse variographique montre que la structure des résidus pluviométriques à différents pas de temps, suit généralement une fonction de type exponentiel. La superposition des couches d'information des résidus de régression obtenues par krigeage et celles des pluies estimées, a permis de tracer les différentes cartes d'isohyètes (1970-2004). Ces dernières ont fait ressortir le rôle prépondérant du relief et de la position géographique dans la répartition spatiale des précipitations. En plus, elles peuvent être utilisées dans les zones démunies d'informations pluviométriques.

L'approche a été complétée par une comparaison entre la carte des pluies moyennes annuelles obtenue et celles de l'ANRH (1922/60-1969/89), de Chaumont et Paquin (1913-1963) et de Seltzer (1913-1938). L'analyse montre généralement une tendance à la baisse pour les dernières décennies qui aurait, par conséquence, un effet important sur l'écoulement des surface et donc sur le volume d'eau mobilisé.

Conclusion de la première partie

La région d'étude présente des ensembles morpho-structuraux bien tranchés et des caractères morphométriques déterminant des différences sensibles dans l'aptitude des terrains au ruissellement. Les facteurs lithologiques donnent lieu à des possibilités d'infiltration et d'érodibilité très nuancées sur le plan spatial.

La couverture végétale est très discontinue dans le temps et dans l'espace. La forêt est en état de dégradation avancé et réduite à quelques lambeaux, notamment dans le nord-est de la Seybouse et sur les Aurès en haute altitude. Le climat est caractérisé par une forte variabilité spatiale et surtout temporelle, il est marqué par l'influence élevée de l'évapotranspiration, notamment dans les hauts plateaux et les Aurès.

Aux soixante-treize stations et sur une période de 34 ans, nous avons pu montrer la variabilité interannuelle et fréquentielle, ainsi que les tendances évolutives des précipitations. Par ailleurs, l'analyse spatialisée et la cartographie automatique des précipitations à l'échelle annuelle, mensuelle et journalière ont fait l'objet d'une attention particulière dans cette partie de l'étude. Ceci par la construction de modèles statistiques permettant d'estimer et de cartographier cette composante climatique en fonction des paramètres de positionnement géographique et de relief.

La combinaison de ces conditions physico-géographique et climatiques, est déterminante dans le comportement hydrologique des bassins étudiés

La plaine côtière et le bourrelet montagneux tellien, offrent les meilleures conditions pour le ruissellement : les précipitations sont abondantes, les températures plus clémentes, le bilan climatique est excédentaire, ce qui engendre la constitution d'un potentiel d'écoulement important.

En allant vers le sud, l'aptitude à l'écoulement est très faible voire nulle sur les hauts plateaux, notamment sur les dépressions marécageuses, ce qui reflète les caractéristiques physico-climatiques très sévères de ce secteur, notamment en précipitations très faibles, des températures relativement élevées, un couvert végétal saisonnier et des pentes peu accentuées.

Sur les contreforts septentrionaux des Aurès exposés aux vents humides, les précipitations sont abondante, et le bilan climatique est excédentaire, mais qui engendre un écoulement de potentiel plus faible que celui de la plaine côtière et du Tell.

Le piémont sub-saharien présente un potentiel d'écoulement très faible, voire nul en allant vers le sud, car l'évapotranspiration est très élevée, les précipitations sont faibles, et par conséquent un bilan quasiment déficitaire.

Les influences sur l'écoulement des différents facteurs physico-géographique et climatiques exposés dans cette partie de l'étude, pourraient être cernées de manière plus précise, si on les envisage au niveau des unités contrôlées par des stations hydrométriques lesquelles feront ultérieurement l'objet d'étude de bilans hydrologiques.

Deuxième partie

Les processus hydrologiques et les ressources en eau de surface

Chapitre IV Les écoulements annuels et leurs variations spatiales

Avant d'aborder l'analyse de l'écoulement proprement dit, il importe d'évoquer d'abord, l'organisation du réseau hydrométrique et la qualité des séries d'observation, dont dépend l'exactitude des résultats. Puis on procède à l'évaluation de l'écoulement moyen annuel qui interfère avec les autres facteurs climatiques déjà étudiés (les précipitations et l'évaporation), dans le bilan hydrologique. Ceci à l'échelle des bassins versants.

I-1 Le réseau hydrométrique et les données d'observation des débits

La région d'étude compte (14) stations de jaugeages réparties entre des sites différents. Chaque sous bassin est contrôlé par une station hydrométrique, sauf le Bas Cherf et la moyenne Seybouse (ANRH, 2005). Or, si on applique la recommandation de l'organisation météorologique mondiale (WMO, 1994)⁽¹⁾ à notre zone d'étude, on constate que cette dernière présente un réseau relativement dense : une station pour 1072 km² à la Seybouse et une station pour 873 km² au sud, dans la région montagneuse des Aurès.

L'exploitation des stations a connu des périodes creuses qui se sont fait sentir quant à la disponibilité de la donnée. Il est regrettable que nous n'avons pas réussi à obtenir de données détaillées sur l'hydrométrie de la station Moulin Rochefort et que celle de la station de Fesdis est plus ou moins lacunaire (1970/71-78/79 et 80/81), voire inutilisables parfois. C'est les raisons pour lesquelles nous avons décidé de ne pas prendre en compte ces deux stations dans l'étude. Seules des valeurs moyennes interannuelles ont été introduites dans l'analyse de la variabilité spatiale des débits.

Tableau 21 Caractéristiques du réseau hydrométrique

bassin	Sous bassin	station	Code ANRH	Type	Coordonnées Lambert (km)		Z (m)	Surface contrôlée (km ²)	Période d'obs.
					X	Y			
Chott Melrhir	El Hai	El Kantara	061201	Classique	773,35	219,2	520	1170	1968/69 – 94/95
	El Abiod	M'chouneche	061502	Classique	800,40	186,2	295	1050	1971/72 – 98/99
	El Arab	Kh. S. Nadji	061801	Classique	866,20	179,2	190	2083	1972/73 – 96/97
	Chéria	A. Babouche	062308	Classique	953,00	216,0	1000	810	1973/74 – 75/76, 1982/83 – 94/95
Hauts Plateaux Constantinois	Fesdis	Fesdis	070301	Classique	816,35	259,0	985	305	70/71–78/79, 80/81*
	Reboa	Reboa	070403	Automatisée	848,20	250,2	1010	296	1969/70 – 93/94
	Chemoura	Chemoura	070501	Automatisée	855,1	264,5	890	759	1969/70 – 93/94
	El Gueiss	F. El Gueiss	070702	Automatisée	885,2	247,30	980	144	1969/70 – 96/97
Seybouse	Haut Cherf	M. Rechfort	140202	Classique	922,35	319,8	710	1732	1972/73 – 93/94*
	Bouhamdane	Medjez A. II	140301	Classique	912,30	358,75	270	1105	1968/69 – 98/99
	Bordj Sabat	Bordj Sabat	140302	Automatisée	889,05	355,1	540	305	1973/74 – 94/95
	Melah	Boucheouf	140501	Automatisée	949,6	362,1	95	550	1948/49 – 54/55, 1968/69 – 02/03
	Seybouse	Mirebek	140601	Classique	952,80	394,20	10	5955	1968/69 – 94/95
	Ressoul	A. EL Berda	140602	Automatisée	938,2	387,0	55	103	1963/64 – 02/03

Source : ANRH

* : Seulement la valeur moyenne interannuelles est exploitées et à titre indicatif.

⁽¹⁾ : la recommandation du guide WMO assigne comme densité minimale : une station pour 2750 km² en zone côtières, 1000 en zones montagneuses, 1875 en Collines et plaines intérieures, 300 en petites îles et 20000 en zones polaires et arides.

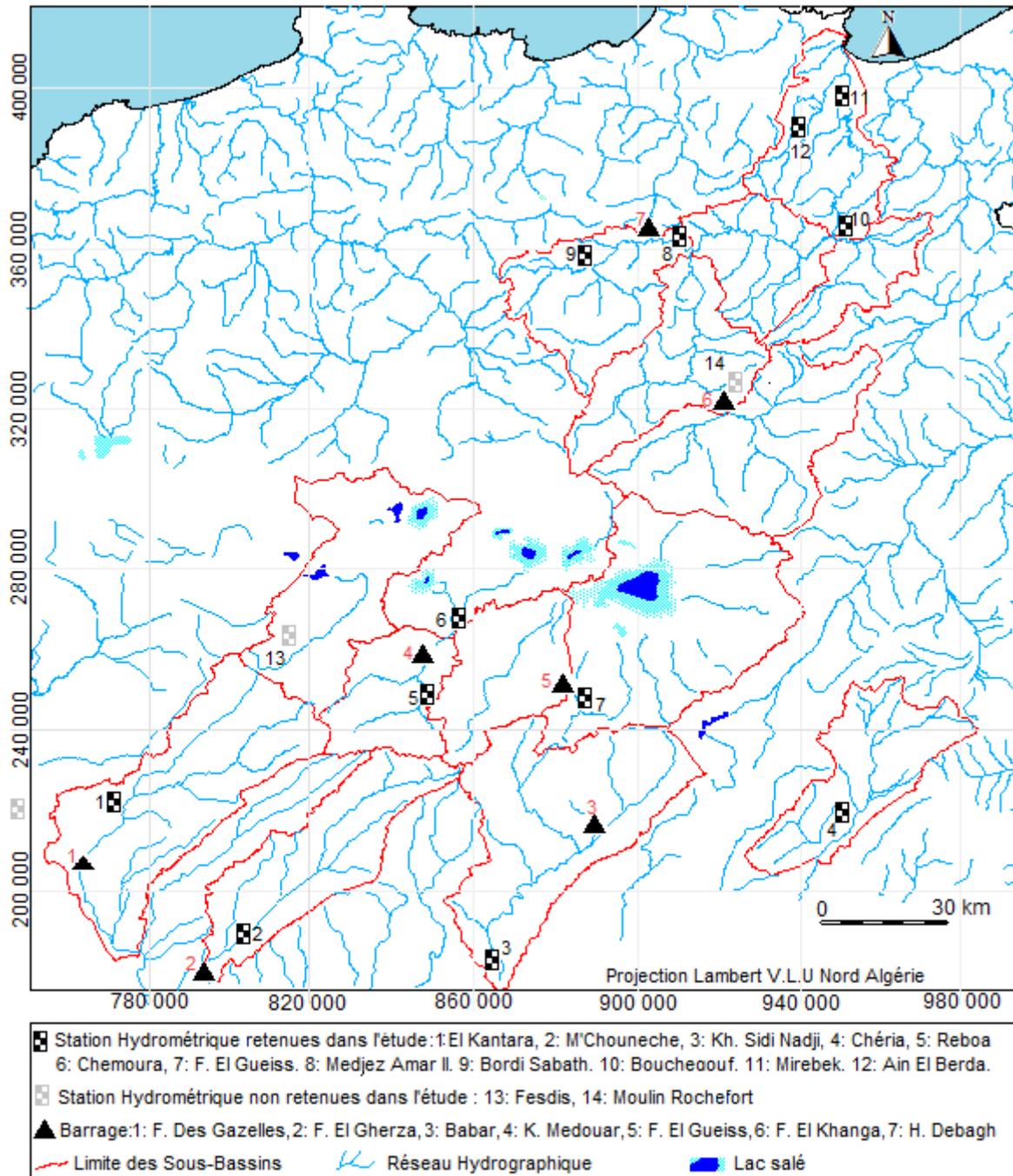


Figure 53 Equipement hydrométriques et barrages de la région d'étude

Par ailleurs, les séries de débits sont complètes sur la période (1972/73-1993/94), et ne comportent aucune lacune à l'exception de la station d'Ain Babouche pour les années 1975/76 et 1981/82. De ce fait, nous avons jugé utile de ne procéder à aucune opération d'extension de données, afin de baser notre analyse sur des données réellement observées, et non théoriquement extrapolées. D'autant plus que la courte étendue de la série d'observation de Fesdis, ne peut constituer une base d'analyse hydrologique, elle est utilisée seulement à titre indicatif.

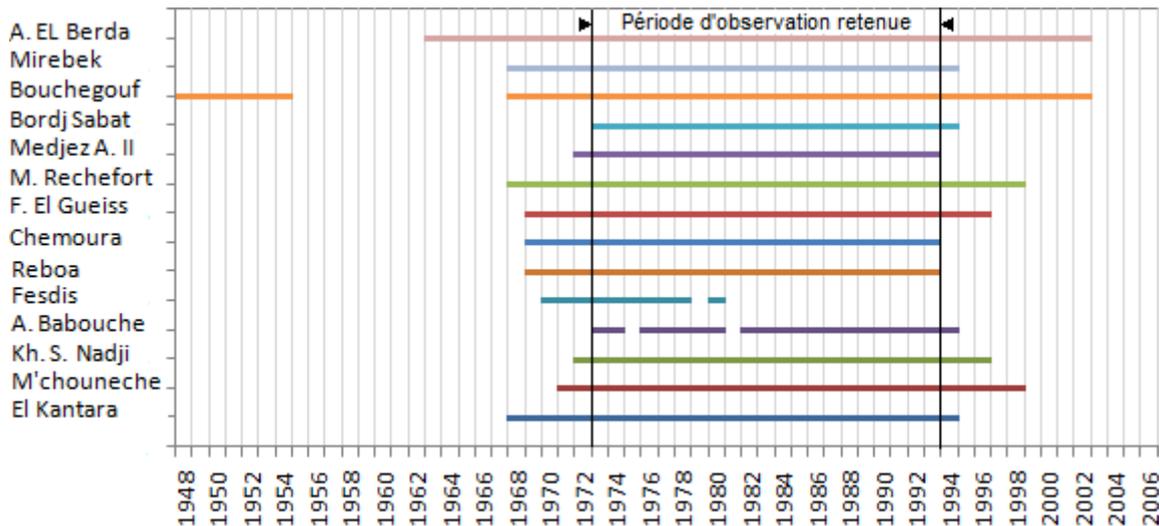


Figure 54 Séries hydrométriques exploitées dans l'étude

Pour chaque station hydrométrique, la donnée brute se présente sous deux formes de fichier, à savoir : un original de mesures instantanées (date, heure, hauteur d'eau, débit liquide, concentration en matières fines) ; un fichier traité sous forme d'annuaire de débit moyen journalier.

Les mesures des débits liquides sont obtenues de deux façons : sur la base de la courbe de tarage à partir des hauteurs d'eau lues sur une échelle limnimétrique, d'une part, et par dépouillement des hauteurs d'eau enregistrées par un limnigraphe, d'autre part. En chaque station opérationnelle, le service d'hydrologie de l'ANRH, effectue des jaugeages $Q = f(H)$ périodiques au moulinet suivant un programme fixe (en principe en début de chaque mois). Les jaugeages de crues et de moyennes eaux s'effectuent par l'intermédiaire d'un téléphérique (jaugeage au saumon) ou à partir d'un pont, alors que les jaugeages de très basses eaux (en étiage) se font au déversoir lorsque l'emploi du moulinet devient impossible.

A partir des courbes de tarage $Q = f(H)$ obtenus à partir des jaugeages effectués et des limnigrammes dépouillés $H = f(t)$, l'ANRH a établi des barèmes d'étalonnage qui permettent de calculer le débit moyen journalier, mensuel et annuel.



Figure 55 Station Ain Berda sur le bassin de l'Oued Ressoul : Station mise en service en 1958, en bon état et fonctionne correctement : canal et échelle en bon état, équipement automatique opérationnel : Situation au 1^{er} Juin 2007 (Beloulou et al., 2008)

Malgré l'installation progressive de stations dites automatiques, remplaçant le mode d'enregistrement graphique sur papier, le réseau hydrométrique de la Seybouse-Aurès, comme c'est le cas pour tout le réseau national, n'est pas encore géré d'une manière rationnelle : équipements en panne ou cambriolés ; manque d'entretien et de curage des oueds au niveau de certaines stations (e.g. station Bouchegouf : canal ensablé et lit de l'oued modifié) ; le nombre de jaugeages très insuffisant (en moyenne 5 à 10 jaugeages/an et par station) ; les jaugeages en hautes eaux sont relativement rares ; une extrapolation hasardeuse (Beloulou et al., 2008). Aussi, il est regrettable de voir des stations qui se sont arrêtées, surtout en particulier, celle de Mirbek sur la Seybouse (arrêtée depuis 1995), et celle de Fesdis qui ferme la cuvette de Batna (abandonnée en 1981).

I-2 L'écoulement moyen annuel et ces nuances

L'écoulement fluvial concentré, intègre tous les types d'écoulement qui s'enchaînent dans le temps et dans l'espace, il est le seul à être contrôlé, et il traduit le comportement hydrologique du bassin par l'observation du volume d'eau qui s'écoule à l'exutoire du système.

I-2-1 Les modules absolus et spécifiques

L'écoulement moyen annuel ou l'abondance annuelle est la première grandeur à connaître pour un bassin versant donné. Le module brut ou absolu (volume d'eau écoulé en 365 jours à la sortie d'un bassin) est généralement exprimé en m^3/s et le module spécifique se traduit en $\text{l/s}/\text{km}^2$. Sa valeur moyenne peut servir notamment à l'estimation d'autres caractéristiques hydrologiques qui lui sont liées (CEMAGREF, 1989 in Mebarki, 2005).

Les débits moyens annuels dans les bassins étudiés, se caractérisent par leurs nuances spatiales et temporelles remarquables (Figure 56). Cette variabilité de l'écoulement concorde étroitement avec les caractéristiques climatiques et physico-géographiques déjà analysées.

En général, au niveau des bassins endoréiques, les cours principaux s'écoulent des secteurs montagneux productifs de l'eau et perdent leur énergie dans les dépressions présahariennes au sud ou dans les lacs salés des hauts plateaux dans le nord, qui sont déperditifs de l'eau.

Les apports sont modestes sur le versant méridional des Aurès où les conditions d'écoulement sont très astreignantes telles qu'elles ont été analysées dans la première partie de ce travail : une faiblesse des précipitations (entre 260 et 360 mm) qui se conjugue avec une importance relative de l'évapotranspiration. Le module absolu augmente progressivement avec l'aire drainée. L'Oued El Arab offre le plus important module brut de tous les oueds de l'Aurès Méridional ($0,72 \text{ m}^3/\text{s}$), mais avec une surface de drainage (2083 km^2) deux fois plus grande que celles de l'Oued el Hai (1170 km^2) et l'Oued El Abiod (1050 km^2), qui débitent respectivement, $0,42$ et $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$. le bassin de Chéria écoule un débit de $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui est relativement peu pour une surface de 810 km^2 .

Sur le versant septentrional des Aurès, l'Oued Reboa, qui draine une superficie de 296 km^2 et soumis à des conditions physico-géographiques favorables à l'écoulement et à une abondance relative des précipitations (432 mm), apporte un débit annuel de $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station du même nom. Après sa confluence avec l'Oued Soultez, il devient l'Oued Chemoura qui débite $0,71 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une aire de réception de 759 km^2 .

Malgré l'accroissement de 463 km^2 de l'aire de réception, le module brut de cet oued ne gagne que $0,21 \text{ m}^3/\text{s}$. Ce débit est le résultat des Oueds Soultez et Morri situés aux piedmonts des Aurès drainant respectivement une aire de 190 km^2 et 25 km^2 , et de nombreux petits affluents de rive gauche, issus pour la plupart des revers sud-est de Djebels Bou Arif.

L'Oued El Gueiss qui est un petit bassin montagneux de l'Aurès septentrionale (144 km²) et qui a des caractères nettement semblables au bassin de Reboa, offre un module brut de 0,24 m³/s.

Dans le bassin exoréique de la Seybouse le cours principal s'écoule des hauts plateaux semi-arides vers des zones subhumides et humides. En effet, les affluents qui proviennent des parties montagneuses de Tell oriental, accroissent progressivement l'écoulement avec la surface drainée.

La Seybouse débite à Mirebek 10,75 m³/s pour une surface drainée de 5955 km². Le Cherf et le Bouhamdane, qui sont par leur réunion à Medjez Amar forment la Seybouse, apportent respectivement 1,32 m³/s à M. Rochefort pour une aire partielle de 1732 km² et 2,25 m³/s à Medjez Amar II pour un bassin drainé de 1103 km². L'Oued Sabath, affluent du Bouhamdane, qui draine une aire de 305 km² écoule à Bordj Sabat 0,83 m³/s.

Le Melah, petit bassin montagnard de 550 km², affiche un débit important de 3,15 m³/s à Bouchegouf (29% du module global de la Seybouse); Ceci est lié aux précipitations abondantes atteignant environ 1 m à Mechroha. Enfin le plus petit des bassins contrôlés, le Ressoul, débite à Ain Berda 0,40 m³/s, pour une aire drainée de 103 km². Au total, c'est les affluents du secteur Tellien considéré comme le principal château d'eau de la Seybouse, qui fournissent à ce dernier, plus de la moitié de son débit total.

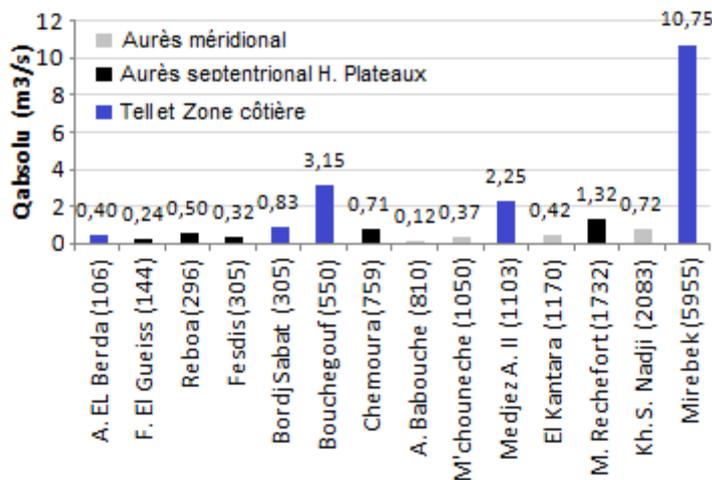


Figure 56 Écoulement moyen annuel absolu (1972/73-1993/94) : Arrangement des stations par ordre croissant selon la superficie contrôlée

Les variations spatiales de l'écoulement à l'échelle de notre région d'étude, peuvent être cernées par les débits spécifiques. Ces derniers permettent en effet, la comparaison des bassins d'étendues différentes, et de faire ressortir le rôle des autres facteurs d'écoulement.

La zone d'étude se caractérise par une variation spatiale de débits spécifiques, passant de 0,15 l/s/km² au bassin de Chéria à 5,52 l/s/km² à la station de Bouchegouf qui contrôle le petit bassin montagnard de l'Oued Melah (Figure 57). Cette variation s'explique, d'une part, par une augmentation sensible de la température et de l'évaporation à la sortie de la zone montagneuse Tellienne et une diminution des précipitations en allant vers le sud. Elle traduit aussi le caractère « déperditif de l'écoulement » des bassins endoréiques des Aurès en allant vers les zones de dépression présahariennes ou des Haut plateaux. Le débit spécifique d'autre part, varie en fonction du comportement hydrologique de chaque bassin, à savoir la lithologie et la couverture végétale.

Tableau 22 Débits moyens annuels

Bassin	El Hai		El Abiod		El Arab		Chéria		Reboa		Chemoura		El Gueiss		Bouhamdane		Bordj Sabat		Melah		Seybouse		Ressoul	
Station	El Kantara		M'chouneche		K. S. Nadji		A. Babouch.		Reboa		Chemoura		El Gueiss		Medjez A. II		Bordj Sabat		Boucheouf		Mirebek		A. EL Berda	
module	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
72/73	1,37	1,17	1,04	0,99	2,79	1,34	0,17	0,21	1,57	5,30	2,75	3,62	0,88	6,11	6,65	6,03	0,79	2,59	7,49	13,62	33,6	5,64	1,03	10,0
73/74	0,35	0,30	0,28	0,27	0,45	0,22	0,07	0,09	0,73	2,47	0,77	1,01	0,27	1,88	0,41	0,37	0,08	0,26	1,23	2,24	4,84	0,81	0,03	0,29
74/75	0,35	0,30	0,42	0,40	1,04	0,50	0,21	0,26	0,36	1,22	0,46	0,61	0,32	2,22	0,52	0,47	0,09	0,30	2,49	4,53	6,68	1,12	0,09	0,87
75/76	1,13	0,97	0,57	0,54	1,12	0,54	0,25	0,31	0,87	2,94	1,76	2,32	0,42	2,92	1,14	1,03	0,37	1,21	2,34	4,25	7,66	1,29	0,12	1,17
76/77	0,8	0,68	1,25	1,19	0,84	0,40	0,17	0,21	0,77	2,60	0,93	1,23	0,24	1,67	1,78	1,61	0,61	2,00	3,66	6,65	11,6	1,95	0,46	4,47
77/78	0,27	0,23	0,25	0,24	0,69	0,33	0,17	0,21	0,19	0,64	0,17	0,22	0,07	0,49	0,97	0,88	0,34	1,11	2,35	4,27	6,96	1,17	0,2	1,94
78/79	0,21	0,18	0,23	0,22	0,75	0,36	0,17	0,21	0,26	0,88	0,19	0,25	0,09	0,63	2,30	2,09	0,73	2,39	2,77	5,04	7,70	1,29	0,31	3,01
79/80	0,68	0,58	0,70	0,67	0,15	0,07	0,11	0,14	0,40	1,35	0,33	0,43	0,14	0,97	0,47	0,43	0,11	0,36	1,23	2,24	1,19	0,20	0,01	0,10
80/81	0,74	0,63	0,58	0,55	0,13	0,06	0,11	0,14	0,37	1,25	0,44	0,58	0,11	0,76	3,17	2,87	0,83	2,72	2,95	5,36	9,35	1,57	0,35	3,40
81/82	0,14	0,12	0,15	0,14	0,37	0,18	0,11	0,14	0,30	1,01	0,58	0,76	0,26	1,81	0,17	0,15	0,62	2,03	2,43	4,42	5,53	0,93	0,23	2,23
82/83	0,21	0,18	0,27	0,26	0,41	0,20	0,03	0,04	0,65	2,20	0,95	1,25	0,15	1,04	1,91	1,73	0,58	1,90	1,85	3,36	5,62	0,94	0,34	3,30
83/84	0,18	0,15	0,08	0,08	0,55	0,26	0,01	0,01	0,16	0,54	0,38	0,50	0,16	1,11	5,77	5,23	1,95	6,39	6,21	11,29	21,7	3,64	0,94	9,13
84/85	0,36	0,31	0,08	0,08	2,1	1,01	0,01	0,01	0,69	2,33	0,69	0,91	0,37	2,57	7,89	7,15	5,42	17,77	6,42	11,67	29,2	4,90	0,93	9,03
85/86	0,41	0,35	0,34	0,32	1,20	0,58	0,01	0,01	0,27	0,91	0,45	0,59	0,16	1,11	0,71	0,64	0,20	0,66	1,09	1,98	3,81	0,64	0,07	0,68
86/87	0,37	0,32	0,33	0,31	0,61	0,29	0,06	0,07	0,29	0,98	0,40	0,53	0,15	1,04	6,82	6,18	1,54	5,05	7,41	13,47	25,4	4,27	1,27	12,33
87/88	0,06	0,05	0,11	0,10	0,68	0,33	0,28	0,35	0,06	0,20	0,08	0,11	0,02	0,14	0,13	0,12	0,09	0,30	0,59	1,07	1,65	0,28	0,004	0,04
88/89	0,16	0,14	0,28	0,27	0,54	0,26	0,13	0,16	0,35	1,18	0,30	0,40	0,08	0,56	0,16	0,15	0,33	1,08	1,00	1,82	2,03	0,34	0,12	1,17
89/90	0,27	0,23	0,65	0,62	0,56	0,27	0,24	0,30	1,26	4,26	1,26	1,66	0,32	2,22	0,21	0,19	0,02	0,07	0,91	1,65	4,01	0,67	0,13	1,26
90/91	0,32	0,27	0,17	0,16	0,22	0,11	0,19	0,23	0,45	1,52	0,76	1,00	0,48	3,33	0,33	0,30	0,81	2,66	5,15	9,36	17,2	2,89	0,77	7,48
91/92	0,44	0,38	0,11	0,10	0,22	0,11	0,04	0,05	0,50	1,69	0,9	1,19	0,41	2,85	0,23	0,21	0,46	1,51	4,13	7,51	9,38	1,58	0,3	2,91
92/93	0,34	0,29	0,13	0,12	0,16	0,08	0,05	0,06	0,36	1,22	0,85	1,12	0,17	1,18	6,05	5,49	1,76	5,77	3,62	6,58	16,0	2,69	0,65	6,31
93/94	0,01	0,01	0,10	0,10	0,18	0,09	0,05	0,06	0,08	0,27	0,14	0,18	0,04	0,28	1,80	1,63	0,45	1,48	1,95	3,55	5,42	0,91	0,49	4,76
Moy	0,42	0,36	0,37	0,35	0,72	0,34	0,12	0,15	0,50	1,68	0,71	0,93	0,24	1,68	2,25	2,04	0,83	2,71	3,15	5,72	10,75	1,81	0,40	3,90
max	1,37	1,17	1,25	1,19	2,79	1,34	0,28	0,35	1,57	5,30	2,75	3,62	0,88	6,11	7,89	7,15	5,42	17,77	7,49	13,62	33,6	5,64	1,27	12,33
min	0,01	0,01	0,08	0,08	0,13	0,06	0,01	0,01	0,06	0,20	0,08	0,11	0,02	0,14	0,13	0,12	0,02	0,07	0,59	1,07	1,19	0,20	0,004	0,04
E-type	0,34	0,29	0,31	0,30	0,65	0,31	0,08	0,10	0,37	1,26	0,61	0,80	0,19	1,34	2,58	2,34	1,16	3,79	2,14	3,88	9,21	1,55	0,37	3,61
cv	0,81	0,81	0,85	0,85	0,91	0,91	0,70	0,70	0,75	0,75	0,86	0,86	0,80	0,80	1,15	1,15	1,40	1,40	0,68	0,68	0,86	0,86	0,93	0,93
n>moy	6		7		7		10		8		9		10		7		5		8		7		8	
n<moy	16		15		15		12		14		13		12		15		17		14		15		14	
R	137,00		15,63		21,46		28,00		26,17		34,38		44,00		60,69		271,00		12,69		28,24		317,50	

(1) : module absolu en m³/s ; (2) : module spécifique en l/s/km² ; R= Max/min : coefficient d'immédiation ou d'irrégularité

En résumé, la distribution géographique des modules spécifiques fait apparaître trois zones plus ou moins homogènes :

- l'Aurès méridional avec des débits faibles et peu variables (l'Oued el Hai 0,36 l/s/km², l'Oued El Abiod 0,35 l/s/km², l'Oued El Arab 0,34 l/s/km² et Chéria à l'extrême Est 0,15 l/s/km²) ;
- l'Aurès septentrional et les hauts plateaux où l'abondance spécifique est moyenne (1,68 l/s/km² à Reboa et Foug El Gueiss, 1,05 l/s/km² à Fesdis, 0,93 à Chemoura et 0,76 l/s/km² à Moulin Rochefort) ;
- le Tell et la zone côtière avec un débit spécifique relativement important qui varie entre 1,81 l/s/km² à Mirebek et 5,72 l/s/km² à Bouchegouf ;

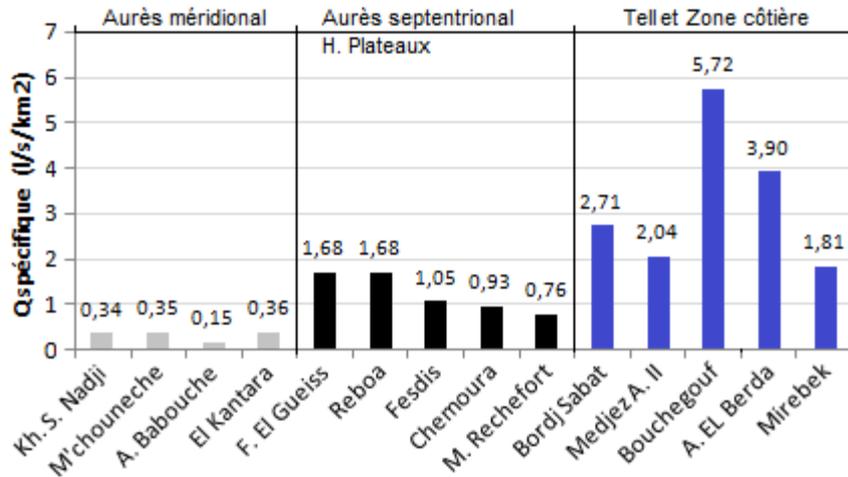


Figure 57 Écoulement moyen annuel spécifique (1972/73-1993/94) : Arrangement des stations selon la latitude

I-2-2 lames d'eau écoulee et précipitée

L'établissement d'un bilan hydrologique suppose l'unification des unités de différents termes utilisés dans ce bilan. L'unité adéquate la plus utilisée est la lame d'eau en millimètre⁽¹⁾.

L'étude globale des précipitations a été faite précédemment (chapitre II/1^{ère} partie), la présente analyse sera perçue sous l'aspect hydrologique, et concerne la période commune avec la série de données hydrométriques disponibles (1972/73-1993/94). L'estimation de la tranche d'eau moyenne précipitée⁽²⁾, permet une comparaison avec la lame d'eau écoulee, et de déduire le déficit d'écoulement.

La tranche d'eau moyenne écoulee qui traduit le comportement hydrologique des bassins étudiés, passe de 5 mm pour le bassin de Chéria à 181 mm sur le Melah (Tableau 23). En effet, elle varie de 5 à 11 mm sur le versant sud d'Aurès, de 24 à 53 mm sur l'Aurès septentrional et les Hauts plateaux et de 57 à 181 mm sur le Tell et la zone côtière.

$$(1): E(mm) = \frac{Q(m^3/s) \cdot 31,536 \cdot 10^3}{S(km^2)}$$

E : La lame d'eau annuelle écoulee ; S : La superficie du bassin ; Q : Le débit absolu.

(2): La méthode utilisée pour l'évaluation de la lame d'eau précipitée, est celle des isohyètes, en raison de sa

$$\text{précision acceptable : } P(mm) = \frac{\sum Si \cdot Pi}{S_T}$$

S_T : Surface totale du bassin.

Si : Surface élémentaire délimitée par les isohyètes P_i et P_{i+1}.

Pi : Hauteur moyenne des précipitations entre deux isohyètes i et i+1.

Les zones d'écoulement moyen, se sont donc réparties en fonction de la diversité des facteurs lithologiques, biogéographiques et climatiques. Une relation de dépendance existe entre la lame d'eau précipitée et lame d'eau écoulée, qui se manifeste par une variation spatiale presque synchronique (figure 58). Généralement, les bassins les plus arrosés sont les plus abondants en écoulement.

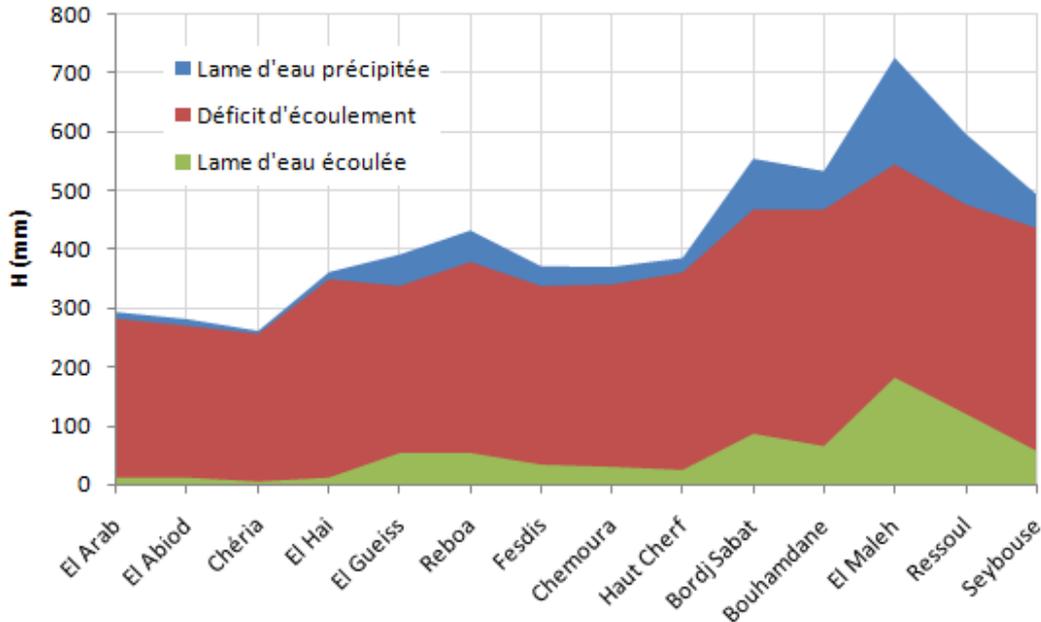


Figure 58 Relation lame d'eau moyenne écoulée- lame d'eau moyenne précipitée (1972/73-1993/94)

Le coefficient d'écoulement (C.E) qui est le rapport de la lame d'eau écoulée à la lame d'eau précipitée, reflète néanmoins l'interaction des divers facteurs physico-géographiques, leur influence sur l'écoulement, et sert aussi à comparer des bassins d'étendues différentes (Figure 59). C'est sur le Melah, affluent dynamique drainant un bassin humide que l'on obtient la valeur la plus élevée du coefficient d'écoulement (25%). Au sud-est, l'Oued Chéria à Ain Babouche, contrôlant un bassin à climat semi-aride a le coefficient d'écoulement le plus faible (2%).

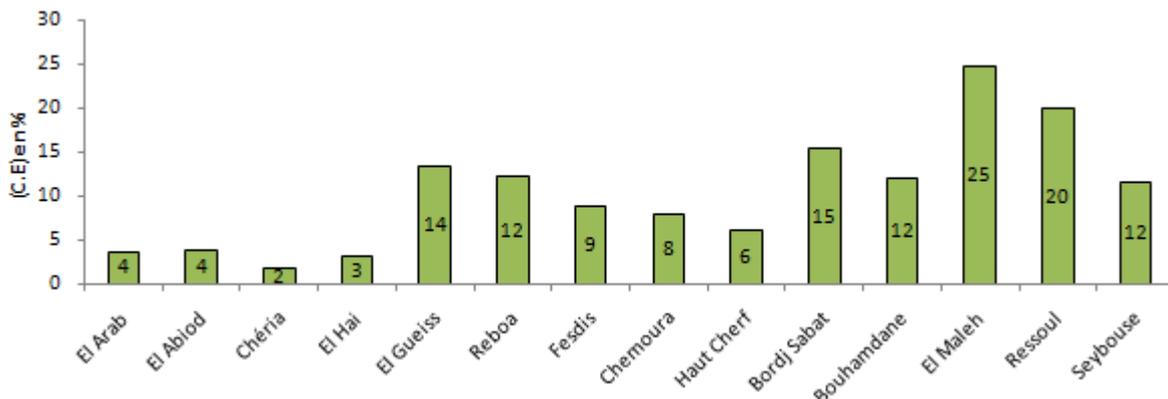


Figure 59 Répartition selon la latitude des coefficients d'écoulement (C.E) des bassins étudiés

I-4 Le bilan hydrologique et le déficit d'écoulement

Le bilan hydrologique permet de quantifier les transferts d'eau issus des précipitations. Il comporte trois principaux termes :

Les entrées, les sortie, et les stocks⁽¹⁾. Ainsi, on doit entendre par bilan moyenne annuel, l'étude et la comparaison des volumes d'eau précipités et des volumes écoulés dans un bassin versant donné au cours d'une année particulière ou d'une série d'années (Ghachi, 1986). Le bilan hydrologique est calculé sur une année hydrologique, qui en climat méditerranéen est souvent définie entre le 1^{er} septembre d'une année et le 31 août de l'année suivante.

Le déficit moyen annuel d'écoulement, généralement très élevé en Algérie, oscille au niveau des bassins étudiés entre 256 mm à Chéria et 545 mm au bassin de Melah (Figure 60). Ces variations entre bassins mettent bien en valeur le rôle déterminant de l'abondance pluviométrique, des températures et par conséquent l'évapotranspiration.

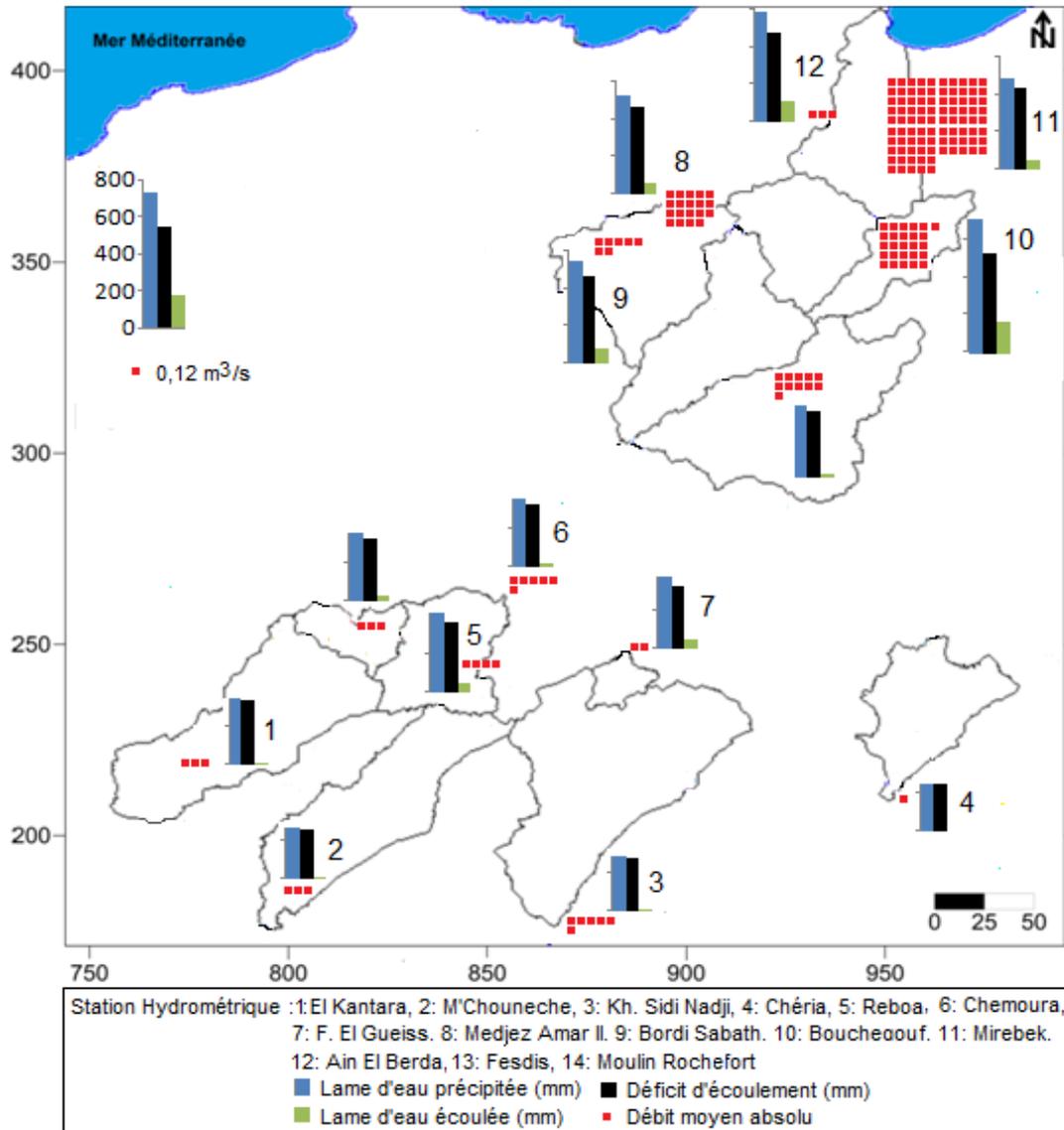


Figure 60 Bilan moyen annuel de l'écoulement à différentes stations de la zone étudiée

⁽¹⁾ : Dans l'hypothèse d'un cycle hydrologique complet où les variations de stocks (ΔR), sont nulles, car il y a compensation entre les années humides et les années sèches. De même pour les entrées et les sortie souterraines ($\pm W$), il y a compensation qui s'effectue entre les secteurs à drainage externes et les secteurs drainés souterrainement du bassin, de tel sorte qu'il y a un équilibre entre les entrées et les sorties.

L'équation du bilan hydrologique donc s'écrit : $P \text{ (mm)} = E \text{ (mm)} + D \text{ (mm)}$

P: Lamme d'eau annuelle moyenne précipitée ; E : Lamme d'eau annuelle écoulée ; D : Déficit annuel d'écoulement, il peut être assimilé à l'évapotranspiration réelle (ETR)

On sait d'une manière générale que, le déficit annuel moyen augmente lui-même, et ceci jusqu'à un certain seuil car l'air saturé ne permet pas une évaporation plus grande, et la saturation du sol limite les possibilités d'infiltration.

Dans la région d'étude, ce seuil limite est loin d'être atteint, et le bilan précipitation-évapotranspiration est équilibré, par conséquent c'est l'une des raisons de la persistance de phénomène d'endorémisme dans les hauts plateaux et les Aurès.

A partir de la relation corrélatrice, précipitations-écoulement (Figure 61), il est aisé d'esquisser un essai cartographique de l'écoulement moyen annuel et de déficit d'écoulement pour la période (1972/73-1993/94).

Les valeurs de la lame d'eau écoulée, obtenues par corrélation, passent de 0 à 251 mm pour des précipitations allant de 50 à 993 mm. Ceci donne des déficits d'écoulement variant de 50 à 742 mm. En effet, plusieurs dégradés se sont installés et les iso-écoulement ainsi que les lignes d'égal déficit, traduisent fidèlement l'effet orographique, l'exposition aux vents humides et l'effet de la continentalité (Figure 62 et 63).

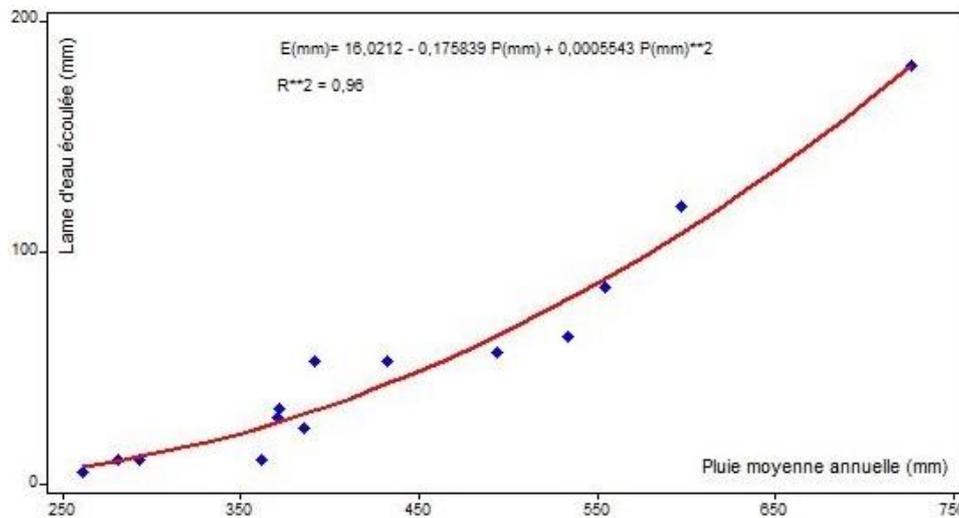


Figure 61 Corrélation lame d'eau moyenne écoulée- lame d'eau moyenne précipitée (1972/73-1993/94)

I-5 Les variations interannuelles de l'écoulement

L'irrégularité interannuelle de l'écoulement dans la Seybouse-Aurès est étroitement liée aux fluctuations des précipitations. Elle peut être exprimée par les variations du rapport des extrêmes (coefficient d'immodération), de coefficient d'hydraulicité (Ch) et de coefficient de variation.

1-5-1 le coefficient d'immodération ou d'irrégularité

Le rapport des modules extrêmes (R) ou coefficient immodération (Parde 1968, in : Frécaut R., 1974) correspondant à la période (1972/73-1993/94), a été calculé pour les douze séries de débits moyens annuels, disponibles. Généralement, les valeurs de (R) sont assez disparates et variés entre 12,7 et 60,7 (Tableau 22). Cependant, nous avons relevé des valeurs de (R) trop élevées pour les Oueds El Hai (137), Sabat(271) et Ressoul (317,5). Ces valeurs remarquables (record) montrent l'irrégularité accentuée des débits interannuels et leur variation spatiale. En effet, Cette variabilité s'explique par le comportement hydrologique de chaque bassin à savoir le couvert végétal, la rétention-restitution et la lithologie.

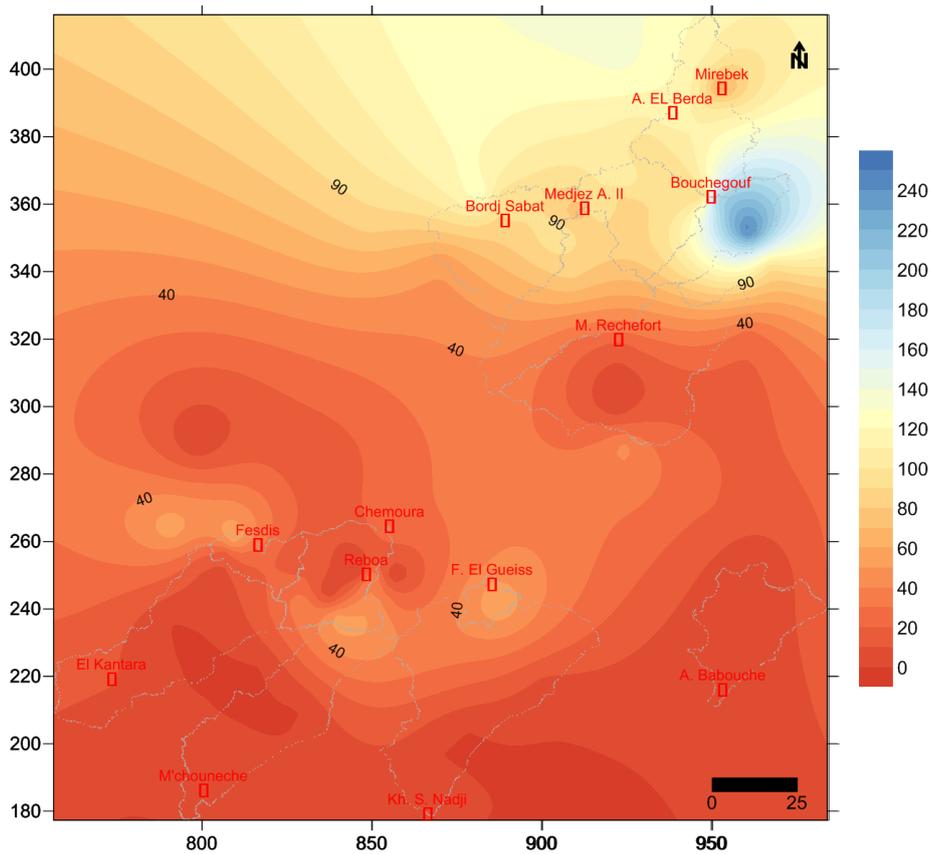


Figure 62 Ecoulement moyen annuel de surface dans l'Aurès-Seybouse (1972/73-1993/94) en (mm)

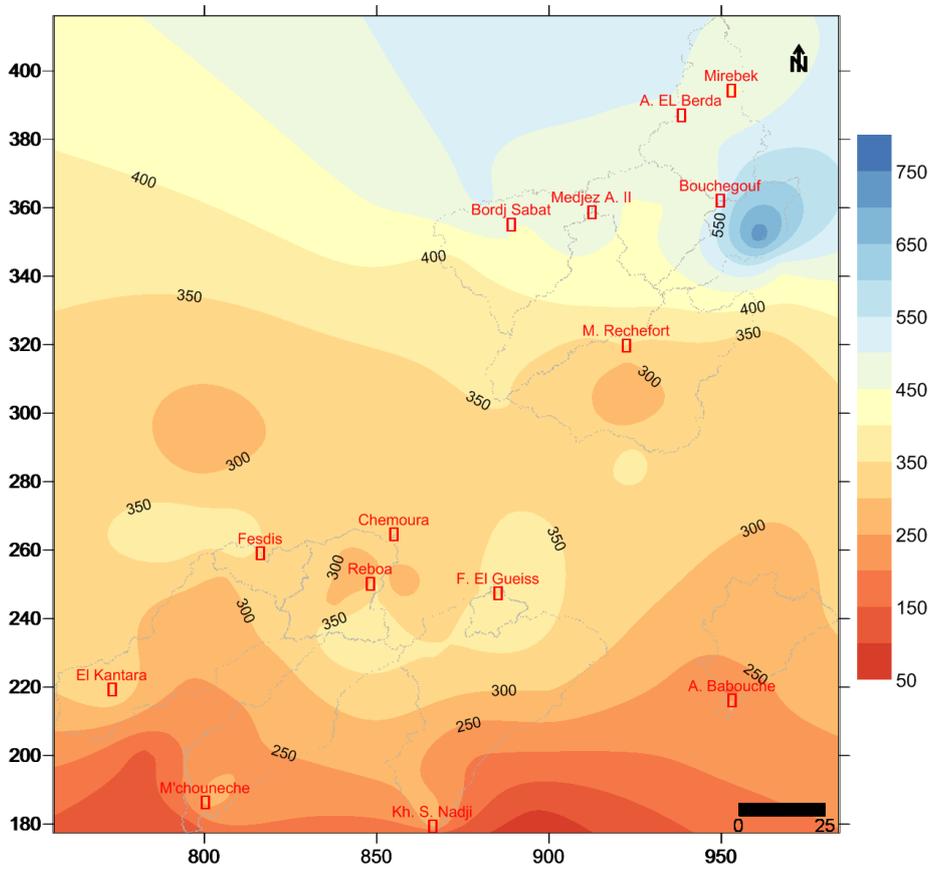


Figure 63 Déficit d'écoulement moyen annuel dans l'Aurès-Seybouse (1972/73-1993/94) en (mm)

1-5-2 le coefficient d'hydraulicité

L'hydraulicité, rapport du débit de l'année (Q_i) considérée au module (\bar{Q}), permet d'exprimer l'irrégularité interannuelle de l'écoulement. L'évolution de l'hydraulicité pour les oueds étudiés (tableau 23), montre de fortes fluctuations des débits d'une année à l'autre, ce qui témoigne de l'irrégularité de l'écoulement qui est liée à l'alimentation essentiellement pluviale des oueds. En outre, la discordance entre les courbes d'hydraulicité pour les différents affluents, peut être attribuée à la variation de l'apport des réserves en eau souterraines, surtout s'il s'agit d'une période climatique sèche.

Au premier abord, entre 55 et 77% des années hydrologiques sont déficitaires dans les différentes stations et pour une période de 22 ans (1972/73-1993/94). Ceci, confirme l'indigence quasi-générale de l'écoulement et la tendance climatique "sèche" pendant cette période. On constate aussi que l'année 1972/73 apparaît la plus abondante avec un coefficient d'hydraulicité (Ch) le plus élevé dans sept stations. Par ailleurs, l'année 1987/88 est la plus déficitaire dans 50% des stations analysées. Or, la station de Chéria enregistre la valeur de l'hydraulicité la plus élevée durant la même année (Ch=2,31) qui peut être attribuée aux quelques averses très fortes et localisées, qu'avait connues le bassin de Chéria pendant cette année. L'amplitude entre les valeurs extrêmes de l'hydraulicité varie considérablement, ce qui exprime bien les fortes fluctuations des débits d'une année à l'autre. Elle oscille entre 2,19 à Bouchegouf et 6,53 à Bordj Sabat.

I-5-2 Variabilité relative à travers le coefficient de variation (Cv)

L'analyse de l'irrégularité interannuelle de l'écoulement, peut être complétée par le coefficient de variation⁽¹⁾ (tableau 22), paramètre statistique qui permet de mesurer la dispersion des modules particuliers autour de la moyenne globale et de comparer entre bassins de taille différente. Aussi, le calcul de Cv est généralement nécessaire pour connaître les apports de différentes probabilités de dépassement (loi de répartition de Gauss, Galton, etc.), (Mebarki, 2005).

La valeur de Cv varie de 0,68 à 1,4 dont les valeurs « moyennes » se situant autour de 0,85. Elle est de 0,75 à Reboa, 0,7 à Ain Babouche, et 0,68 à Bouchegouf. Ce dernier chiffre qui caractérise l'Oued Melah à régime d'écoulement moyen annuel relativement régulier, concorde assez bien avec le coefficient d'immodération le moins élevé (12,69). A Mirebek le Cv est de 0,86 pour une période de 22 ans (1972/73-1993/94).

Les fortes valeurs enregistrées sur l'Oued bouhamdane (1,15) et son affluent l'Oued Sabath (1,4), confirment ainsi les valeurs de coefficients d'irrégularité élevés pour ces oueds (60,7 et 271 respectivement).

Les résultats obtenus font apparaître aussi, un comportement hydrologique inattendu de certains oueds. Le Cv est plus grand dans un petit bassin humide de plaine côtière (Ressoul : 0,93) alors qu'il est faible dans un bassin relativement étendu en domaine semi-aride dont la distribution temporelle et spatiale des averses est très irrégulière (Chéria : 0,7). D'autre part on a obtenu le même Cv pour deux oueds de domaines hydro-climatiques différents et de surfaces drainées inégales : la Seybouse à Mirebek (Cv=0,86 et S=5955 km²) et Chemoura (Cv=0,86 et S=759 km²).

Sur les versants des Aurès, la similitude de régimes d'écoulement est plus nette entre El Kantara (0,81), M'Chouneche (0,86), Chemoura(0,86) et Foum El Gueiss (0,80) qu'entre ces quatre stations et Kn. Sidi Ndji (0,91), Ain Babouche (0,70) et Reboa (0,75).

⁽¹⁾ : coefficient de variation est le rapport de l'écart type (δ_Q) à la moyenne (\bar{Q}) : $Cv = \frac{\delta_Q}{\bar{Q}}$

Tableau 23 lame d'eau écoulée, coefficient d'hydraulicité

Bassin	El Hai		El Abiod		El Arab		Chéria		Reboa		Chemoura		El Gueiss		Bouhamdane		Bordj Sabat		Melah		Seybouse		Ressoul	
Station	El Kantara		M'chouneche		K. S. Nadji		A. Babouch.		Reboa		Chemoura		El Gueiss		Medjez A. II		Bordj Sabat		Bouchehouf		Mirebek		A. EL Berda	
	E	Ch	E	Ch	E	Ch	E	Ch	E	Ch	E	Ch	E	Ch	E	Ch	E	Ch	E	Ch	E	Ch	E	Ch
72/73	36,7	3,30	30,9	2,82	42,1	3,90	6,3	1,38	166,3	3,16	113,8	3,89	191,6	3,63	191,6	2,95	82,3	0,95	429,5	2,38	178,8	3,12	318,2	2,57
73/74	9,4	0,84	8,3	0,76	6,8	0,63	2,6	0,57	77,8	1,47	32,0	1,10	58,3	1,10	11,7	0,18	8,0	0,10	69,4	0,39	25,5	0,45	8,5	0,07
74/75	9,3	0,83	12,7	1,15	15,6	1,46	8,1	1,76	37,9	0,72	19,0	0,65	69,1	1,31	14,3	0,23	8,9	0,11	136,5	0,79	34,4	0,62	26,1	0,22
75/76	30,2	2,71	17,1	1,56	17,0	1,56	9,6	2,06	92,4	1,75	73,1	2,49	91,2	1,72	32,3	0,50	37,8	0,44	134,8	0,74	40,6	0,71	37,7	0,31
76/77	21,5	1,92	37,6	3,40	12,6	1,17	6,3	1,38	81,3	1,54	38,4	1,31	52,4	1,00	50,4	0,79	63,0	0,74	208,7	1,16	61,2	1,08	139,9	1,15
77/78	7,2	0,64	7,5	0,68	10,4	0,96	6,3	1,38	20,7	0,39	7,0	0,24	15,4	0,29	26,4	0,43	34,0	0,42	130,5	0,75	35,8	0,65	58,1	0,49
78/79	5,6	0,50	6,9	0,63	11,4	1,05	6,3	1,38	28,0	0,53	7,7	0,27	20,2	0,38	64,9	1,02	74,8	0,89	157,6	0,88	40,3	0,72	94,6	0,78
79/80	18,1	1,63	20,8	1,90	2,3	0,21	4,4	0,95	41,8	0,80	13,5	0,46	30,3	0,57	13,3	0,21	11,4	0,13	71,1	0,39	6,4	0,11	3,8	0,03
80/81	19,5	1,77	17,2	1,58	1,8	0,18	4,4	0,95	38,5	0,74	18,0	0,62	24,5	0,47	90,0	1,41	84,8	1,01	166,6	0,94	48,8	0,87	105,1	0,87
81/82	3,8	0,33	4,5	0,41	5,7	0,52	4,4	0,95	31,6	0,60	24,1	0,82	57,7	1,09	4,9	0,07	63,1	0,75	138,0	0,77	29,1	0,51	69,7	0,57
82/83	5,7	0,51	8,0	0,73	6,2	0,58	1,2	0,26	68,4	1,30	39,2	1,35	32,5	0,62	55,0	0,85	60,5	0,70	106,2	0,59	29,9	0,52	105,5	0,86
83/84	4,9	0,44	2,4	0,21	8,4	0,76	0,5	0,12	17,1	0,33	15,4	0,53	34,4	0,65	160,8	2,56	195,0	2,36	349,5	1,97	113,2	2,02	281,0	2,33
84/85	9,6	0,86	2,3	0,21	31,8	2,94	0,5	0,11	73,1	1,39	29,2	0,98	79,8	1,53	228,3	3,50	569,9	6,56	370,8	2,04	155,9	2,72	287,4	2,32
85/86	11,1	1,00	9,1	0,83	18,1	1,67	0,4	0,08	28,6	0,54	18,8	0,64	34,8	0,66	20,1	0,31	20,9	0,25	62,9	0,35	20,2	0,35	20,5	0,17
86/87	10,0	0,90	9,8	0,89	9,2	0,85	2,3	0,49	31,1	0,59	16,6	0,57	31,9	0,61	189,7	3,03	153,9	1,86	417,2	2,35	131,9	2,36	381,3	3,15
87/88	1,7	0,15	3,4	0,31	10,2	0,95	10,7	2,31	6,6	0,13	3,5	0,12	5,0	0,09	3,7	0,06	8,8	0,10	33,6	0,19	8,8	0,15	1,2	0,01
88/89	4,2	0,38	8,5	0,77	8,2	0,75	5,2	1,11	36,8	0,70	12,5	0,42	16,3	0,31	4,4	0,07	35,2	0,42	56,2	0,32	10,6	0,19	36,3	0,30
89/90	7,3	0,65	19,3	1,77	8,4	0,78	9,7	2,04	134,0	2,54	52,4	1,79	70,1	1,33	6,1	0,10	2,4	0,03	52,1	0,29	21,4	0,37	40,8	0,33
90/91	8,5	0,76	5,2	0,47	3,3	0,30	7,3	1,57	48,0	0,91	31,4	1,07	105,0	1,98	9,5	0,15	83,5	0,98	295,1	1,63	91,2	1,60	235,2	1,92
91/92	11,9	1,06	3,4	0,31	3,3	0,31	1,6	0,35	53,4	1,00	37,8	1,27	91,7	1,72	6,7	0,10	46,7	0,55	236,8	1,31	49,7	0,87	90,4	0,74
92/93	9,0	0,81	3,9	0,36	2,4	0,22	1,8	0,40	37,9	0,72	35,1	1,20	38,7	0,74	174,2	2,69	184,0	2,13	209,8	1,15	85,2	1,49	199,3	1,61
93/94	0,2	0,02	2,9	0,27	2,7	0,25	1,8	0,38	8,2	0,16	5,7	0,19	9,6	0,18	49,9	0,80	44,3	0,54	107,2	0,62	27,7	0,50	147,3	1,21
Moy	11,2	1,00	11,0	1,00	10,8	1,00	4,6	1,00	52,7	1,00	29,3	1,00	52,7	1,00	64,0	1,00	85,2	1,00	179,1	1,00	56,7	1,00	122,2	1,00
max	36,7	3,3	37,6	3,4	42,1	3,9	10,7	2,31	166,3	3,16	113,8	3,89	191,6	3,63	228,3	3,5	569,9	6,56	429,5	2,38	178,8	3,12	381,3	3,15
min	0,2	0,02	2,3	0,21	1,8	0,18	0,4	0,08	6,6	0,13	3,5	0,12	5	0,09	3,7	0,06	2,4	0,03	33,6	0,19	6,4	0,11	1,2	0,01

E : lame d'eau écoulée en mm ; Ch : coefficient d'hydraulicité

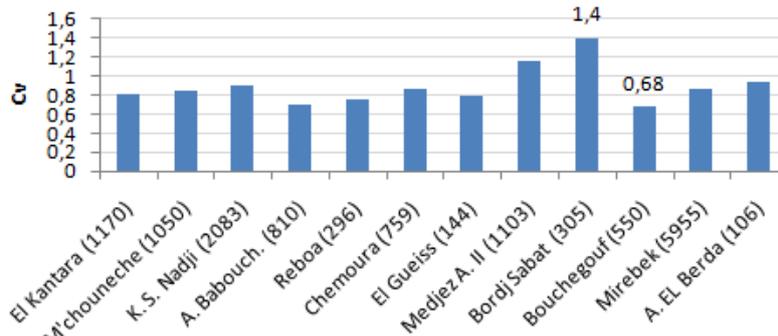


Figure 64 Répartition du coefficient de variation des débits annuels (période: 1972-94)

I-6 Analyse statistique des apports liquides

Pour mieux apprécier le phénomène d'irrégularité de l'écoulement annuel, une analyse fréquentielle des débits est nécessaire. La forte dispersion des débits annuels mis en lumière par les valeurs élevées du coefficient de variation, laisse supposer une distribution dissymétrique des échantillons, on a essayé donc d'ajuster les modules annuels à la loi de Galton⁽¹⁾. Les graphiques d'ajustement (figure 65) et le test adéquatation χ^2 montrent l'adaptation de cette loi à la distribution statistique des débits annuels pour neuf stations de notre zone d'étude. Néanmoins, L'ajustement paraît insuffisant pour les débits moyens d'El Kantara, Ain Babouche et Ain El Berda. Ces séries ont été soumises à d'autres lois dont nous avons retenu enfin de compte, la loi Racine-Normal⁽²⁾ qui donne de bonnes adéquations. Ainsi, on a calculé pour l'ensemble des stations, les modules ayant une durée de récurrence de 2, 5, 20, 50 et 100 ans, en année sèche et en année humide (tableau 24).

Tableau 24 Les débits moyens annuels et durée de récurrence

T (an)	Année sèche			Module médian	Année humide		
	100	50	10		2	10	50
f	0,01	0,02	0,1	0,5	0,9	0,98	0,99
u	-2,327	-2,054	-1,282	0,0	2,282	3,054	2,327
El Kantara	0,00	0,007	0,078	0,358	0,841	1,231	1,387
M'chouneche	0,040	0,05	0,09	0,27	0,765	1,437	1,795
Kh. S. Nadji	0,073	0,092	0,176	0,515	1,507	2,879	3,618
A. Babouche	0,000	0,002	0,022	0,103	0,243	0,357	0,402
Reboa	0,06	0,074	0,137	0,380	1,054	1,948	2,420
Chemoura	0,073	0,091	0,175	0,516	1,519	2,913	3,665
F. El Gueiss	0,023	0,030	0,058	0,177	0,541	1,060	1,345
Medjez A. II	0,043	0,063	0,180	1,042	6,024	17,342	25,186
Bordj Sabat	0,022	0,031	0,083	0,421	2,154	5,745	8,121
Bouchegouf	0,463	0,564	0,987	2,494	6,307	11,031	13,437
Mirebek	0,931	1,189	2,383	7,549	23,918	47,923	61,242
A. EL Berda	0,000	0,005	0,028	0,312	0,722	1,411	1,617

⁽¹⁾ : La représentation de la loi log-normale est la suivante : La fonction de répartition est

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} . du$$

L'équation de GALTON s'écrit alors : $u = a \log(Q - Q_0) + b$

a et b peuvent être représentée par : $a = \frac{1,517}{\sqrt{\log \left[1 + \frac{\delta_Q^2}{(Q-Q_0)^2} \right]}}$; $b = \frac{1,1513}{a} - a \log(\bar{Q} - Q_0)$

Q_0 : Paramètre de position, estimé sur graphique.

⁽²⁾ : Comme pour la loi de Galton on se ramène à une loi de Gauss par un changement de variable :

$Q_f = (\sqrt{Q} + u \delta_{\sqrt{Q}})^2$; \sqrt{Q} : La moyenne de la racine du débits moyens annuels en m³/s ; $\delta_{\sqrt{Q}}$: L'écart-tupe de la racine de pluie mensuelle en mm ; u : La variable réduite de GAUSS.

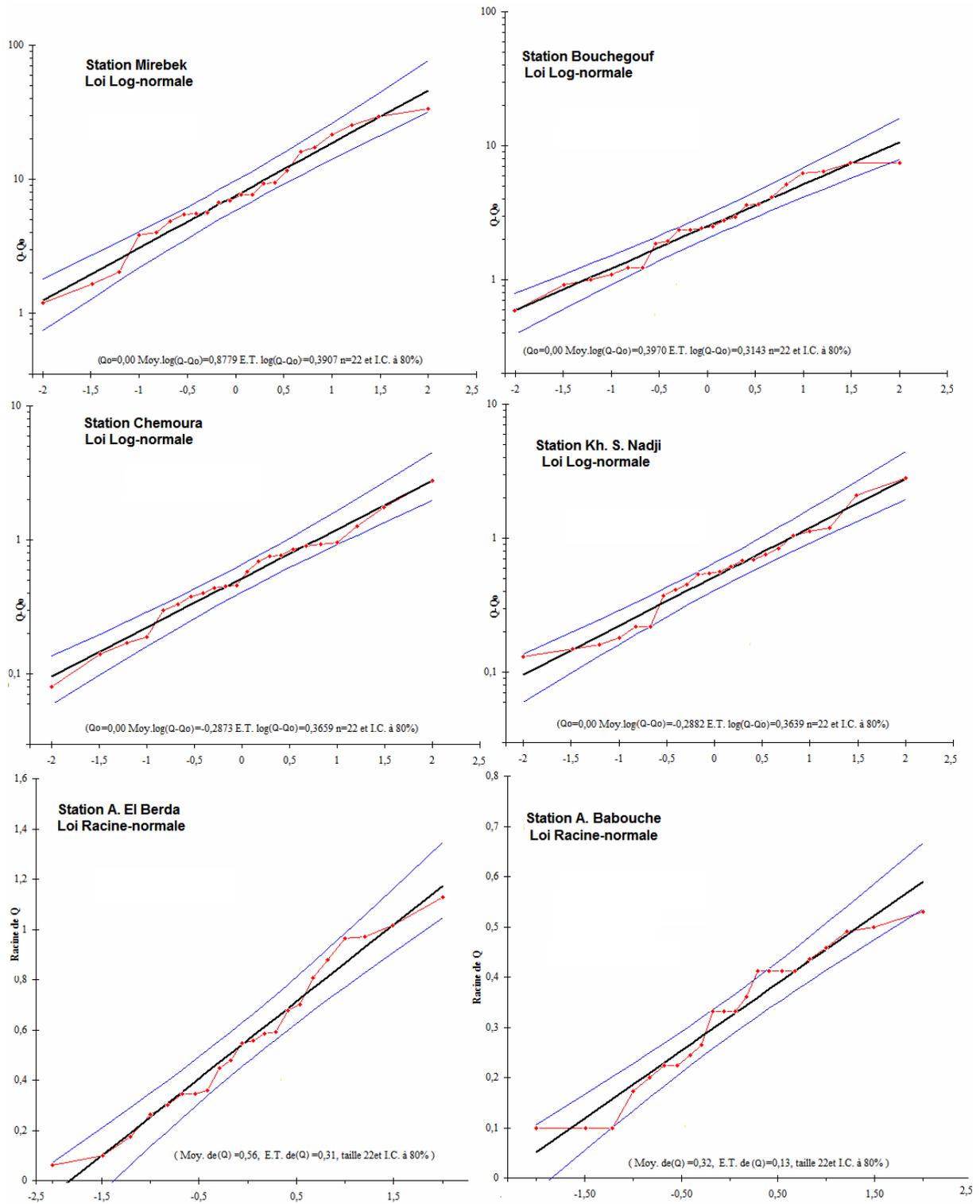


Figure 65 Ajustement des débits moyens annuels à une loi de probabilité (1972-1994)

Conclusion

En dépit de données de débits incomplètes, particulièrement pour les bassins de Fesdis et le Haut Cherf, nous avons pu néanmoins, dégager les grands traits du régime d'écoulement de notre région d'étude. L'étude des débits aux différentes stations a fait ressortir une nette variation spatio-temporelle de l'écoulement moyen annuel absolu et spécifique. Ceci est lié aux contrastes nord-sud caractérisant le contexte physico-climatique et hydrographique varié de la Seybouse-Aurès.

Les séries de débits mesurés et homogénéisées ont permis de faire ressortir la grande étendue de la gamme des apports annuels moyens des oueds : de 3,7 à 337,4 Hm³.

Le débit spécifique qui est un élément purement géographique nous a permis de comparer bassin par bassin et de faire apparaître les zones plus homogènes. Ce module est relativement élevé sur le Tell et la plaine côtière avec 1,81 l/s/km² à Mirebek et 5,7 l/s/km² à Bouchegouf. Il est moyen sur l'Aurès septentrional et les hauts plateaux avec 0,76 l/s/km² à Moulin Rochefort et 1,68 l/s/km² à Reboa et Fom El Gueiss, puis tombe rapidement jusqu'au chiffre de 0,155 l/s/km² à Chéria sur l'Aurès méridional en passant par une valeur autour de 0,35 l/s/km² sur l'Oued El Hai, El Abiod et El Arab.

Aussi, nous avons pu esquisser une carte d'écoulement moyen annuel pour la période (1972/73-1993/94) à partir de la relation corrélative : précipitations-écoulement. Ces débits annuels moyens n'ont cependant qu'une signification théorique, en raison de la forte variabilité interannuelle de l'écoulement mise en lumière par les valeurs de l'hydraulicité et des coefficients d'immodération et de variation, ainsi que par les résultats des estimations fréquentielles.

Chapitre V Les variations intra-annuelles des débits : Régime de l'écoulement

La variabilité des débits au cours de l'année dépend des nuances météorologiques très sensibles, entre saison chaude et sèche et saison fraîche et humide. De ce fait, l'analyse des débits mensuels permet de mettre en lumière le régime du cours d'eau et ses variations intra-annuelles. Cependant, ces moyennes mensuelles n'ont pas de sens pour les oueds à écoulement temporaire et ne reflètent pas la réalité hydrologique de la vie de ces cours d'eau. Nous compléterons alors notre analyse par l'étude d'hydrogrammes avec la méthode géographique.

V-1 Les variations des débits et les nuances géographiques des régimes d'écoulement

Les histogrammes établis pour toutes les stations étudiées sur une moyenne de 22 années (figure 66) traduisent fidèlement la variation inter-mensuelle et inter-saisonnière des débits. Pour l'ensemble des stations de la Seybouse, les moyennes des années particulières s'éloignent souvent du module moyen. Aussi les hautes eaux et les basses eaux sont respectivement observées en saison froide et en saison chaude.

Le débit moyen mensuel est maximum au mois de février à Medjez Amar II $6,26 \text{ m}^3/\text{s}$ et à Bouchegouf $8,19 \text{ m}^3/\text{s}$ pour un module moyen de $2,25$ et $3,15 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivement. Ce maximum a été de $1,11 \text{ m}^3/\text{s}$ et $25,6 \text{ m}^3/\text{s}$ en mars à Ain El Berda et à Mirebek, s'éloignant du module moyen qui est respectivement de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ et $10,75 \text{ m}^3/\text{s}$. Il a été de $3,45 \text{ m}^3/\text{s}$ à Bordj Sabat au mois de décembre et s'écarte du module moyen qui est de $0,83 \text{ m}^3/\text{s}$. Le minimum est de $1,33 \text{ m}^3/\text{s}$ à Mirebek, presque négligeable à Medjez Amar II ($0,13 \text{ m}^3/\text{s}$) et nul à Ain El Berda en juillet, il est également très faible à Bouchegouf $0,19 \text{ m}^3/\text{s}$ en aout.

Pour les stations du versant nord des Aurès, les histogrammes montrent clairement que la période des hautes eaux est marquée au cours de quatre mois successifs (février- mai), du fait de l'importance relative des précipitations printanière et le rôle non négligeable de la neige qu'il faut en tenir compte en années exceptionnelles. Alors que la période de basse eaux commence dès juin jusqu'à janvier, mais avec une augmentation relative des débits pendant les mois de septembre et octobre à cause des averses orageuses de la fin d'été - début de l'automne, avant de décroître à nouveau en décembre.

Le débit moyen mensuel se caractérise par un minimum correspond au mois de juillet (Foum El Gueiss $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$, Reboa $0,14 \text{ m}^3/\text{s}$ et Chemoura $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$, et un maximum situé en mars pour Foum El Gueiss $0,79 \text{ m}^3/\text{s}$ et Reboa $1,03 \text{ m}^3/\text{s}$, alors que Chemoura enregistre un maximum de $1,59 \text{ m}^3/\text{s}$ au mois d'avril.

A l'image d'un climat capricieux, les oueds du versant sud des Aurès ont un écoulement inter-mensuel très irrégulier. En septembre et selon l'état de surface du sol, une grande partie de la lame d'eau précipitée écoule brusquement suite aux averses orageuses automnales, ce qui provoque la remontée rapide des eaux pendant cette période. Ce type d'écoulement se reproduit, mais à un degré moindre pendant la période printanière, (mars-mai). Le débit moyen mensuel atteint est maximum en juillet aux stations de Khangat Sidi Nadji $1,82 \text{ m}^3/\text{s}$, M'chouneche $1,02 \text{ m}^3/\text{s}$ et El Kantara $1,43 \text{ m}^3/\text{s}$, alors que Ain babbouche enregistre un maximum de $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$ au mois de juin.

La période des basses eaux est marquée au cours de 7 à 9 mois du fait de la faiblesse des précipitations et l'importance de l'évaporation. Le minimum a été $0,24 \text{ m}^3/\text{s}$ à Khanget Sidi Nadji en décembre, $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$ à M'chouneche en juillet, $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ à Ain Babouche en avril et $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$ à El Kantara en aout.

Tableau 25 Apport moyen mensuel et lame d'eau écoulee aux différentes stations hydrométriques (1972/73-1993/94)

Station	Sept		Oct		Nov		Dec		Janv		Fevr		Mars		Avr		Mai		Juin		Juil		Aout		Année		δ	Cv
	L. écol (mm)	App. (Hm ³)	L. écol (mm)	App. (Hm ³)	L. écol (mm)	App. (Hm ³)	L. écol (mm)	App. (Hm ³)	L. écol (mm)	App. (Hm ³)	L. écol (mm)	App. (Hm ³)	L. écol (mm)	App. (Hm ³)	L. écol (mm)	App. (Hm ³)	L. écol (mm)	App. (Hm ³)	L. écol (mm)	App. (Hm ³)	L. écol (mm)	App. (Hm ³)	L. écol (mm)	App. (Hm ³)	L. écol (mm)	App. (Hm ³)		
Bordj Sabat	0,00	0,00	0,14	0,04	3,13	0,96	30,28	9,23	13,72	4,18	17,26	5,26	10,11	3,08	8,67	2,64	1,68	0,51	0,17	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	85,15	25,97	1,10	1,33
Mirebek	0,84	5,02	1,29	7,70	3,39	20,17	6,02	35,86	11,11	66,17	10,10	60,17	11,51	68,57	7,33	43,67	2,74	16,30	0,97	5,79	0,60	3,55	0,75	4,44	56,66	337,41	9,85	0,92
Medjez A. II	0,48	0,53	0,67	0,74	2,89	3,19	12,66	13,96	14,04	15,48	13,90	15,33	10,29	11,35	6,32	6,97	1,45	1,60	0,59	0,65	0,31	0,34	0,45	0,49	64,03	70,62	2,45	1,09
Chemoura	2,84	2,16	1,32	1,00	1,95	1,48	1,52	1,15	2,41	1,83	2,39	1,81	5,40	4,10	5,44	4,13	3,51	2,67	1,60	1,21	0,42	0,32	0,48	0,37	29,28	22,23	0,48	0,67
A. Babouche	0,40	0,32	0,31	0,25	0,12	0,10	0,12	0,09	0,52	0,42	0,50	0,41	0,14	0,11	0,10	0,08	0,34	0,27	1,19	0,97	0,24	0,19	0,66	0,53	4,62	3,74	0,10	0,82
M'chouneche	2,52	2,64	0,88	0,92	0,78	0,82	0,63	0,66	1,06	1,12	0,76	0,79	1,14	1,20	1,12	1,18	0,84	0,88	0,63	0,66	0,20	0,21	0,43	0,45	10,99	11,54	0,23	0,64
Kh. S. Nadji	2,26	4,71	1,60	3,33	1,14	2,37	0,31	0,64	0,60	1,26	0,48	0,99	0,66	1,38	0,55	1,15	1,12	2,33	1,08	2,25	0,50	1,04	0,51	1,07	10,82	22,53	0,46	0,64
F. El Gueiss	1,63	0,23	1,21	0,17	2,61	0,38	2,05	0,30	3,80	0,55	5,64	0,81	14,68	2,11	10,31	1,48	7,02	1,01	2,03	0,29	0,77	0,11	0,98	0,14	52,74	7,59	0,24	0,98
El Kantara	3,18	3,72	0,75	0,87	0,85	0,99	0,42	0,49	0,51	0,60	0,71	0,83	1,45	1,70	1,37	1,61	0,50	0,59	0,73	0,85	0,38	0,45	0,30	0,35	11,16	13,05	0,36	0,86
Reboa	5,34	1,58	2,77	0,82	3,70	1,09	2,41	0,71	4,02	1,19	4,87	1,44	9,28	2,75	8,27	2,45	6,54	1,94	2,44	0,72	1,22	0,36	1,84	0,54	52,70	15,60	0,29	0,58
A. EL Berda	0,11	0,01	1,43	0,15	9,11	0,94	16,45	1,69	21,99	2,27	23,84	2,46	28,98	2,99	15,79	1,63	3,58	0,37	0,71	0,07	0,10	0,01	0,08	0,01	122,18	12,58	0,42	1,06
Bouchegouf	1,13	0,62	2,37	1,30	8,37	4,60	18,93	10,41	29,68	16,32	36,37	20,01	36,69	20,18	27,94	15,36	12,06	6,63	3,25	1,79	1,38	0,76	0,92	0,50	179,09	98,50	3,05	0,97

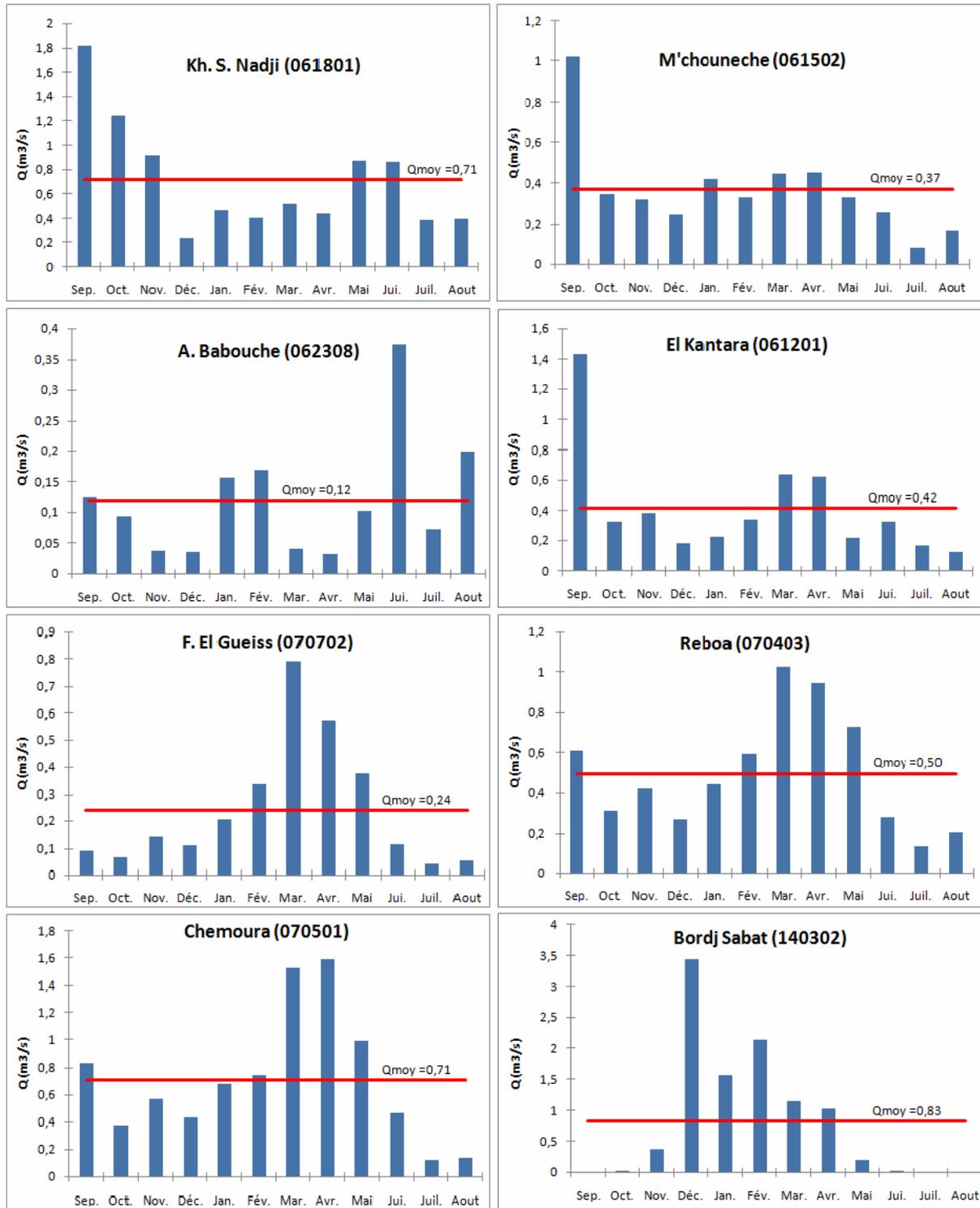


Figure 66 Variations mensuelles des débits moyens (1972/73-1993/94)

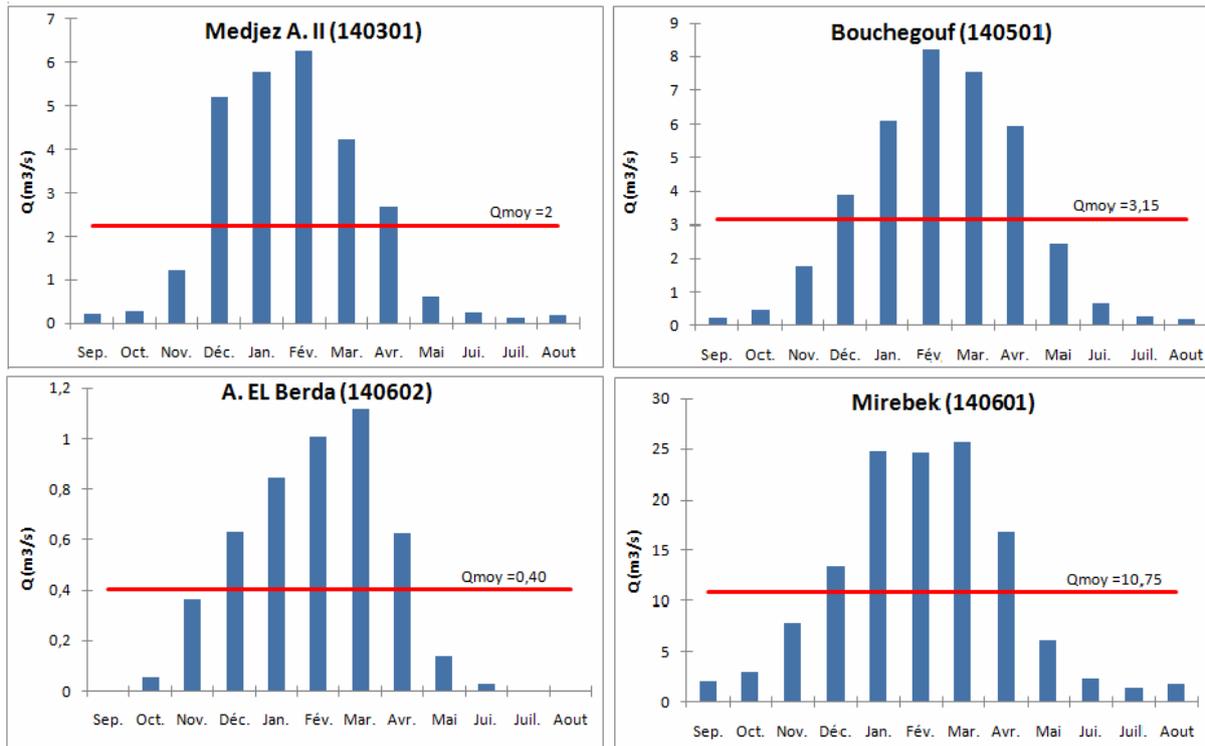


Figure 66 (suite) Variations mensuelles des débits moyens (1972/73-1993/94)

V-2 Le coefficient de variation et l'écart-type

En plus de cette variabilité mensuelle, il apparaît que l'écoulement mensuel est extrêmement variable d'une année à l'autre, surtout au cours de la période de basses eaux. Le coefficient de variation et l'écart-type permettent de saisir les fluctuations des modules dans le temps et ont l'intérêt de mettre en évidence les caractéristiques de l'écoulement saisonnier (Ghachi, 1986). Les valeurs des coefficients de variations mensuels de la Seybouse-Aurès varient entre 0,66 et 3,97.

Ces coefficients sont généralement maximums en janvier (saison froide et humide) pour les stations du versant sud des Aurès (Khanget Sidi Nadji 2,73 ; M'chouneche 2,65 ; Ain Babouche 2,08 et El Kantara 2,20).

Alors que sur le versant nord, la fluctuation de l'écoulement est maximum en automne-été (Foum El Gueiss 2,76 et Reboa 2,58 en aout ; Chemoura 2,35 en novembre). De même, la fluctuation de l'abondance est maximum en saison chaude pour les stations de la Seybouse (Medjez Amar II 2,37 ; Bouchegouf 2,32 et Mirebek 1,83 en Novembre, Bordj Sabat 3,97 ; Ain EL Berda 3,39 en juillet).

La place du minimum connaît une dispersion dans le temps, mais généralement il se localise en février pour les stations du versant nord des Aurès, mai-décembre pour celles du versant sud et mars-aout pour la Seybouse (tableau 28, figure 67)

Ceci reflète une pluviosité irrégulière qui tombe sous forme des averses intenses engendrant des crues brutales et localisées, caractérisant évidemment les bassins à influence climatique méditerranéenne et semi-aride. En plus, le débit d'un oued dépend de la réponse de la structure physique du bassin (Lithologie, couvert végétal, et déclivité des versants).

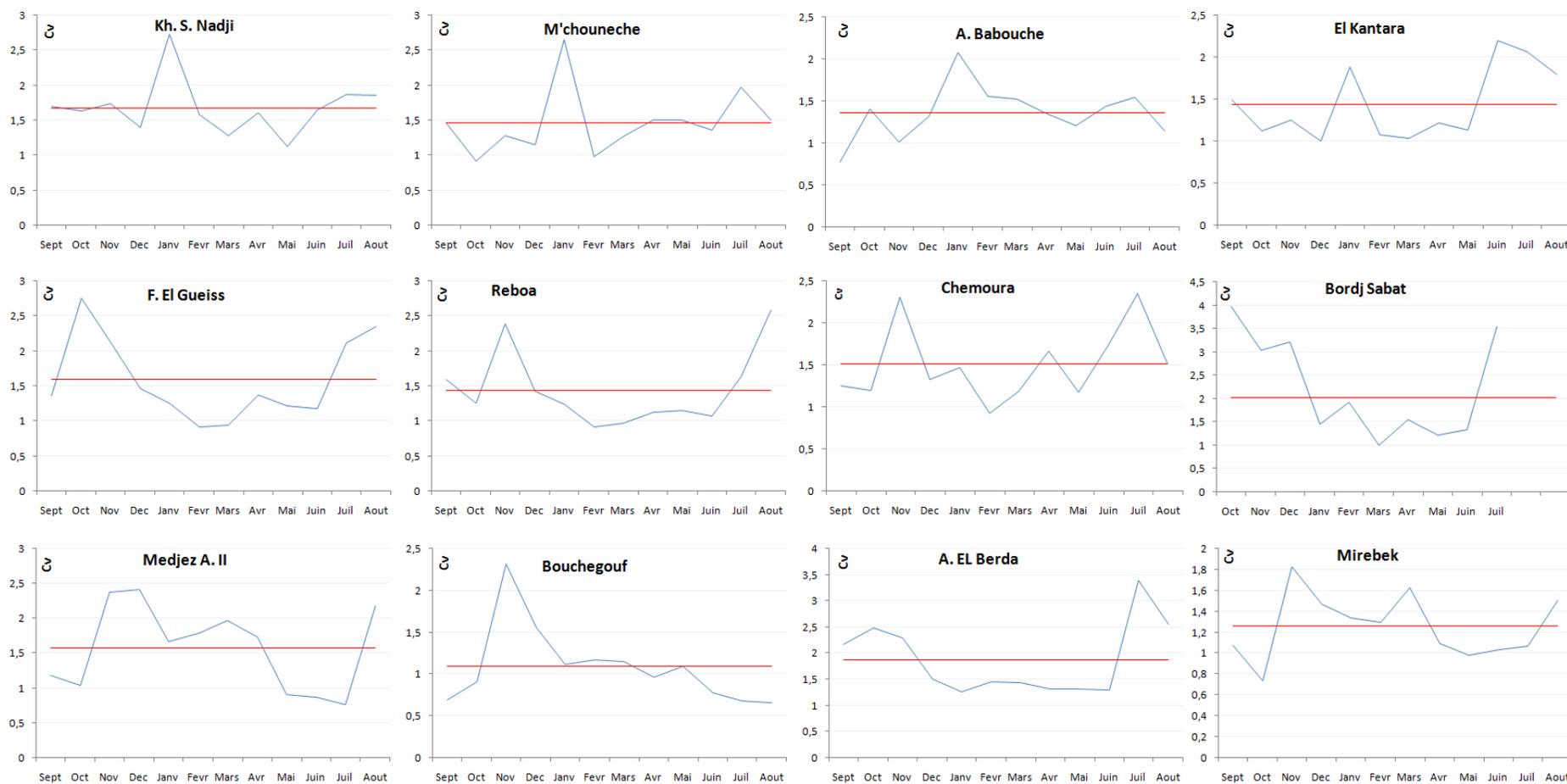


Figure 67 Variations annuelles du coefficient de variation période (1972/73-1993/94)

L'analyse à titre indicatif de l'évolution des débits mensuels de six oueds représentatifs de la zone d'étude, sur une période de 22 ans successifs (1972/73-1993/94), (figure 68), montre que les maxima peuvent s'observer à n'importe quel mois de l'année sauf en juillet et août. Ces deux derniers mois connaissent certes de faibles débits, mais pas forcément les plus faibles. Sur les six oueds étudiés 45% à 77% des débits minima sont enregistrés en mois de juillet et août.

La place du maximum se situe en période des hautes eaux mensuelles (décembre-mai) caractérisant ainsi le régime fluvial méditerranéen. Néanmoins, il est intéressant de remarquer que le maximum à M'Chounèche est affiché 5 fois en septembre à égalité avec octobre et 2 fois en novembre et décembre. Ceci s'explique par les averses orageuses de la fin d'été et de début d'automne caractérisant le versant sud des Aurès.

D'après cette analyse, il apparaît que la Seybouse et ses affluents ont un régime pluvial méditerranéen à tendance cyclique qui se reproduit assez fidèlement chaque année. Cependant, les oueds des Aurès sont caractérisés par une forte fluctuation interannuelle du régime saisonnier. De ce fait il est nécessaire, de définir le régime des oueds de la Seybouse-Aurès

V- 3 L'approche classique du régime : Méthode des CMD

La méthode classique d'étude des régimes des cours d'eau, est basée sur les débits moyens mensuels que l'on transforme en coefficients mensuels de débits (CMD). Ces coefficients ont l'avantage de permettre la comparaison des variations saisonnières du régime des cours d'eau de débit très différents et aux bassins versants de tailles différents.

Les mois dont le coefficient mensuel de débits (rapport de débit moyen mensuel au module de la période considérée) est inférieur à l'unité, représentent la période de basses eaux, et les mois dont le CMD est supérieur à l'unité, correspondant au période de hautes eaux. La figuration graphique des CMD établie pour les séries hydrométriques disponibles, permettent de faire ressortir quelques traits caractéristiques du régime des oueds étudiés et montrent distinctement la différence de leur alimentation (figure 69).

Nous voyons nettement que pour la Seybouse, se dessiner une période de hautes eaux en hiver et en printemps (décembre-avril) avec un maximum de CMD généralement en février (Medjez Amar II 2,78 ; Bouchegouf 2,60 ; Ain EL Berda 2,50 et Mirebek 2,30). Ce maximum est marqué exceptionnellement en décembre à Bordj Sabat 4,17 et correspond au plus grand coefficient mensuel observé dans toutes les séries.

Cette période des hautes eaux se rétrécit pour les oueds du versant nord des Aurès. Elle est décalée et ramenée à quatre mois (Février-mai). Le maximum est prononcé en mars à Foum El Gueiss 3,27, Reboa 2,07 et 2,50 en avril à Chemoura.

Pour les oueds de l'Aurès méridional, le maximum de CMD est marquée en septembre, début de l'année hydrologique (Khanget Sidi Nadji 2,54 ; M'chounèche 2,78 ; El Kantara 3,45). Ceci est lié aux fortes crues d'automne pouvant produire des débits moyens mensuels importants, ce qui explique le caractère temporelle de l'écoulement de ces oueds.

Le minimum mensuel varie entre 0 et 0,17 et se déplace entre juillet et août, mais les valeurs enregistrées en période de basses eaux ne sont guère plus élevées. Néanmoins, la station de Khanget Sidi Nadji fait l'exception et enregistre un minimum de 0,33 en décembre.

Au total, il y a une nette adaptation du régime hydrologique au régime pluviométrique. Ceci ressort clairement de l'allure générale des courbes de CMD qui rappelle celle des précipitations étudiées précédemment.

Tableau 26 Apport moyen mensuel : les maxima de la période (1972/73-1993/94)

	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94
Mirebek	mar	avr	fév	mars	nov	fév	avr	mar	jan	mar	déc	fév	jan	mar	fév	mar	fév	jan	mar	avr	jan	fév
	509,2	34,7	80,7	70,4	168,6	78,2	170,4	15,3	115,8	62,4	73,7	322,7	305,5	38,9	241,6	11,1	18,2	34,3	152,2	104,7	246,6	81,2
Medjez A. II	mar	fév	fév	mar	nov	fév	avr	mar	jan	jan	déc	fév	déc	mar	fév	juin	fév	avr	nov	avr	jan	fév
	104,9	2,1	8,3	16,7	34,8	16,1	52,7	5,0	38,6	3,0	26,7	111,1	151,9	8,2	81,0	0,5	0,9	1,1	2,1	1,4	99,6	25,3
Chemoura	avr	déc	mai	avr	mai	nov	avr	sep	mar	mai	nov	fév	mar	mar	sept	mai	juin	jan	avr	mar	mar	aoû
	31,9	6,1	3,8	13,5	7,5	1,7	3,9	7,5	3,4	4,4	16,3	4,8	8,7	4,8	3,4	1,1	1,7	11,7	7,9	10,0	7,1	1,1
Bouchehouf	mar	avr	fév	mar	nov	fév	avr	mar	fév	mar	déc	fév	déc	mar	fév	mar	fév	jan	mar	avr	déc	fév
	110,3	17,4	41,9	27,5	50,8	27,3	56,7	14,9	26,8	20,3	13,6	99,4	69,0	16,1	65,1	6,7	9,1	11,0	49,7	50,3	22,5	33,7
M'Chounech	avr	déc	mai	mar	jan	sep	oct	sep	sep	mai	nov	oct	mai	mars	oct	juin	nov	sep	oct	sep	oct	déc
	8,2	2,3	4,2	3,7	14,2	1,2	2,3	14,6	5,7	0,9	4,0	1,3	1,2	4,2	2,9	1,0	1,2	10,4	0,8	0,7	0,7	0,4
Reboa	avr	déc	mai	mar	jan	nov	avr	sept	mar	avr	nov	avr	mar	mar	mar	juin	oct	sep	avr	mai	mar	mar
	12,4	4,6	2,3	5,6	4,3	0,7	1,7	9,4	3,7	2,2	12,3	1,8	5,2	4,3	2,1	1,0	2,9	6,9	5,4	4,8	3,6	0,6

Tableau 27 Apport moyen mensuel : les minima de la période (1972/73-1993/94)

	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94
Mirebek	nov	juin	juin	juin	mar	juil	nov	juil	sep	aoû	juil	aoû	sep	aoû	sep	juil	juil	juin	sep	sep	aoû	juil
	5,3	3,1	4,1	6,0	6,3	5,6	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,1	3,1	0,4	0,0	0,6	0,0	1,0	1,2	0,4
Medjez A. II	aoû	juil	aoû	sep	aoû	aoû	aoû	aoû	juil	fév	aoû	aoû	sep	aoû	juil	aoû	sep	aoû	sep	sep	juil	sep
	0,8	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,0	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,0	0,0
Chemoura	juil	aoû	juil	aoû	aoû	juil	aoû	juil	juil	juil	juil	nov	sep	juil	aoû	aoû	avr	nov	aoû	juil	juil	sep
	0,5	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Bouchehouf	aoû	nov	aoû	sep	sep	sep	aoû	juil	aoû	aoû	sep	sep	aoû	sep	aoû	aoû	sep	sep	sep	sep	aoû	juil
	0,5	0,0	0,4	0,4	0,6	0,6	0,5	0,1	0,7	0,7	0,4	0,4	0,6	0,3	0,4	0,0	0,1	0,0	0,2	0,4	0,2	0,1
M'chounech	juil	aoû	aoû	aoû	oct	juin	aoû	nov	juil	juil	juil	nov	sept	juil	aoû	sep	août	juil	juil	juil	avr	fév
	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Reboa	juil	oct	juil	oct	aoû	oct	juil	nov	aoû	juil	aoû	nov	aoû	juin	aoû	jan	déc	déc	aoû	nov	aoû	aoû
	0,7	0,4	0,0	0,2	0,3	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0

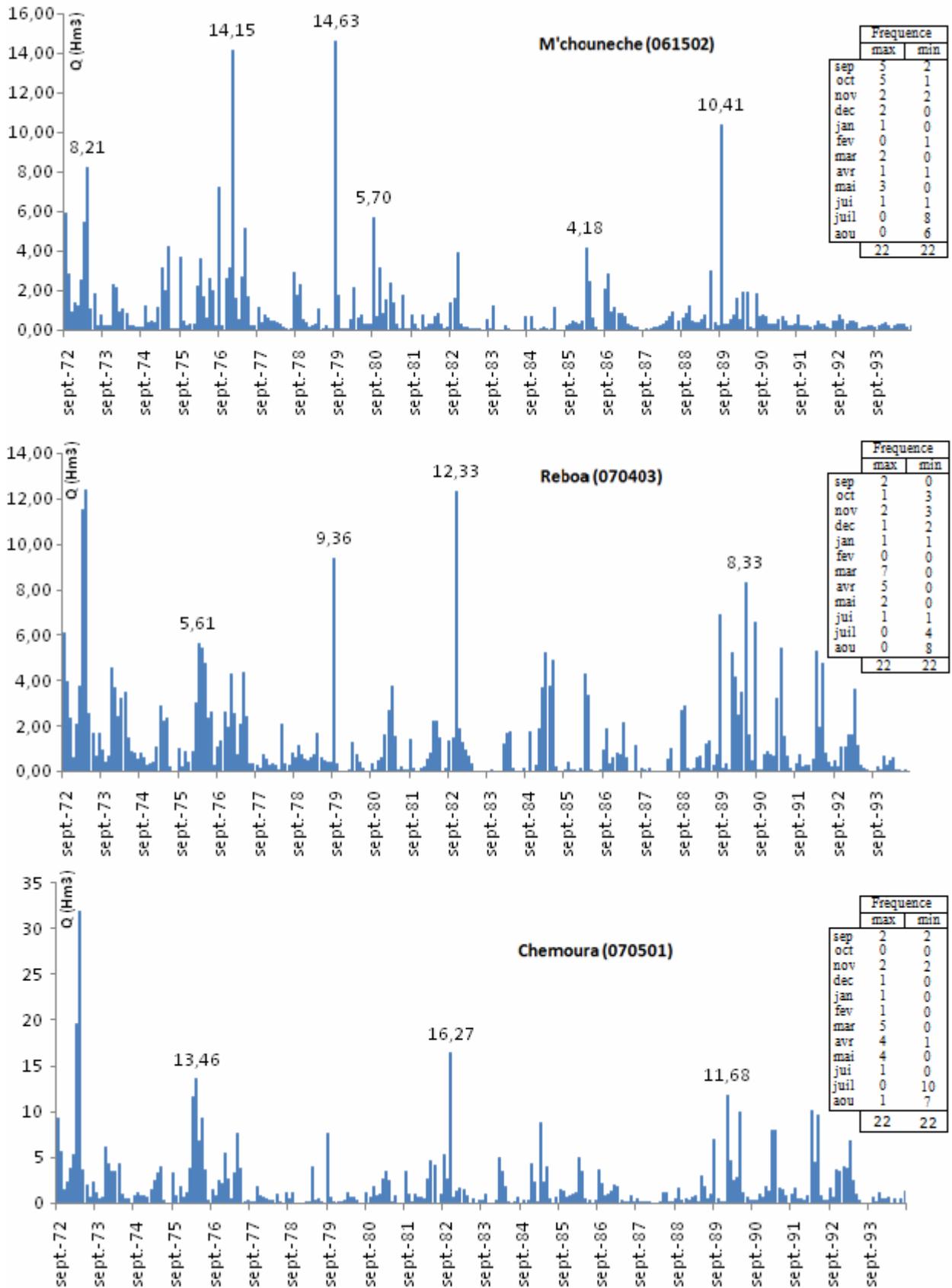


Figure 68 Variations mensuelles des débits (1972/73-1993/94)

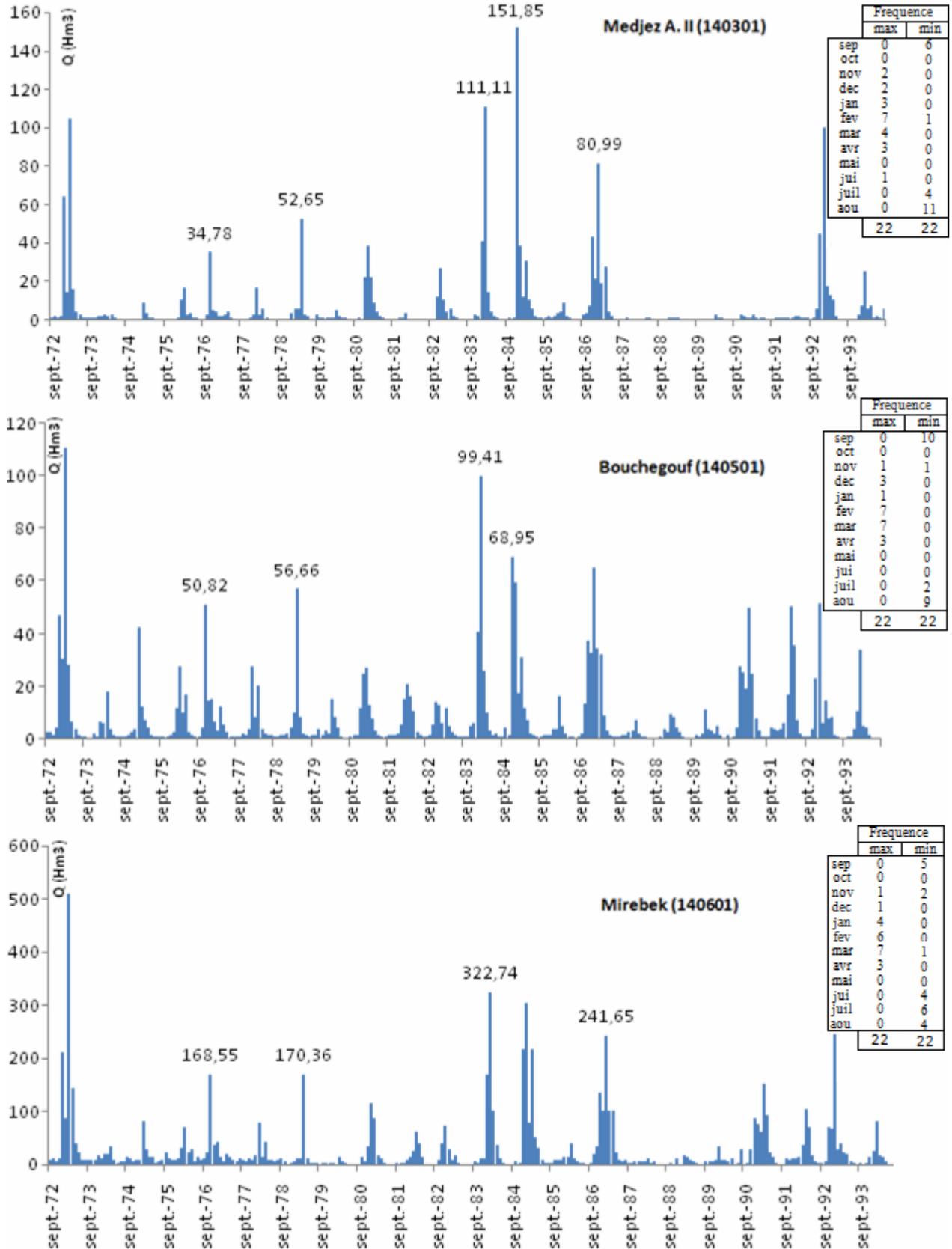


Figure 68 (suite) Variations mensuelles des débits (1972/73-1993/94)

Tableau 28 Moyenne, Écart-type, Coefficient de variation et coefficient mensuel des débits (1972-1994)

Station		Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Kh. S. Nadji	Q (m ³ /s)	1,82	1,24	0,92	0,24	0,47	0,41	0,52	0,44	0,87	0,87	0,39	0,40	0,71
	CMD	2,54	1,74	1,28	0,33	0,66	0,57	0,72	0,62	1,22	1,21	0,39	0,56	-
	δ	3,08	2,03	1,59	0,33	1,28	0,64	0,66	0,71	0,98	1,43	0,72	0,74	0,65
	Cv	1,70	1,63	1,74	1,40	<u>2,73</u>	1,58	1,28	1,60	1,12	1,64	1,86	1,85	0,91
M'chouneche	Q (m ³ /s)	1,02	0,34	0,32	0,25	0,42	0,33	0,45	0,45	0,33	0,26	0,08	0,17	0,37
	CMD	2,78	0,94	0,86	0,67	1,14	0,89	1,22	1,24	0,89	0,70	0,08	0,46	0,37
	δ	1,49	0,32	0,41	0,28	1,10	0,32	0,57	0,68	0,49	0,35	0,16	0,25	0,31
	Cv	1,46	0,92	1,29	1,16	<u>2,65</u>	0,98	1,27	1,50	1,51	1,36	1,97	1,51	0,86
A. Babouche	Q (m ³ /s)	0,12	0,09	0,04	0,03	0,16	0,17	0,04	0,03	0,10	0,37	0,07	0,20	0,12
	CMD	1,04	0,79	0,31	0,29	1,31	1,41	0,34	0,26	0,85	3,13	0,07	1,66	-
	δ	0,10	0,13	0,04	0,05	0,32	0,26	0,06	0,04	0,12	0,54	0,11	0,23	0,08
	Cv	0,77	1,40	1,01	1,32	<u>2,08</u>	1,56	1,52	1,35	1,21	1,44	1,55	1,14	0,69
El Kantara	Q (m ³ /s)	1,43	0,33	0,38	0,18	0,22	0,34	0,63	0,62	0,22	0,33	0,17	0,13	0,42
	CMD	3,45	0,78	0,92	0,44	0,54	0,82	1,52	1,49	0,53	0,79	0,17	0,32	-
	δ	2,14	0,36	0,48	0,18	0,42	0,37	0,65	0,76	0,25	0,72	0,35	0,24	0,34
	Cv	1,49	1,12	1,25	1,00	<u>1,88</u>	1,08	1,03	1,22	1,13	2,20	2,07	1,80	0,81
F. El Gueiss	Q (m ³ /s)	0,09	0,07	0,15	0,11	0,20	0,33	0,79	0,57	0,38	0,11	0,04	0,05	0,24
	CMD	0,37	0,27	0,60	0,46	0,85	1,38	3,27	2,37	1,56	0,47	0,04	0,22	-
	δ	0,12	0,18	0,31	0,16	0,26	0,31	0,74	0,79	0,46	0,13	0,09	0,12	0,19
	Cv	1,37	2,76	2,14	1,47	1,26	0,92	0,94	1,38	1,22	1,18	2,12	<u>2,35</u>	0,80
Reboa	Q (m ³ /s)	0,61	0,31	0,42	0,27	0,44	0,59	1,03	0,94	0,72	0,28	0,14	0,20	0,50
	CMD	1,23	0,62	0,85	0,54	0,90	1,19	2,07	1,90	1,46	0,56	0,14	0,41	-
	δ	0,97	0,38	1,00	0,38	0,55	0,54	0,98	1,06	0,83	0,30	0,22	0,52	0,37
	Cv	1,59	1,25	2,38	1,42	1,24	0,91	0,96	1,12	1,14	1,07	1,63	<u>2,58</u>	0,75
Chemoura	Q (m ³ /s)	0,83	0,37	0,57	0,43	0,68	0,74	1,53	1,59	1,00	0,47	0,12	0,14	0,71
	CMD	1,18	0,53	0,81	0,61	0,97	1,05	2,17	2,25	1,41	0,66	0,12	0,19	-
	δ	1,04	0,45	1,32	0,57	1,00	0,69	1,83	2,67	1,18	0,81	0,28	0,21	0,61
	Cv	1,25	1,20	<u>2,31</u>	1,33	1,47	0,93	1,19	1,67	1,18	1,74	2,35	1,51	0,86
Bordj Sabat	Q (m ³ /s)	0,00	0,02	0,37	3,45	1,56	2,14	1,15	1,02	0,19	0,02	0,00	0,00	0,83
	CMD	0,00	0,02	0,45	4,17	1,89	2,59	1,39	1,23	0,23	0,02	0,00	0,00	-
	δ	0,00	0,06	1,12	11,11	2,28	4,12	1,17	1,58	0,23	0,03	0,00	0,00	1,16
	Cv	-	<u>3,97</u>	3,04	3,22	1,46	1,92	1,01	1,55	1,22	1,34	3,55	0,00	1,40
Medjez A. II	Q (m ³ /s)	0,20	0,28	1,23	5,21	5,78	6,26	4,24	2,69	0,60	0,25	0,13	0,18	2,25
	CMD	0,09	0,12	0,55	2,31	2,56	2,78	1,88	1,19	0,27	0,11	0,13	0,08	-
	δ	0,24	0,29	2,92	12,58	9,62	11,14	8,29	4,66	0,54	0,22	0,10	0,40	2,58
	Cv	1,18	1,04	<u>2,37</u>	2,41	1,66	1,78	1,96	1,73	0,91	0,86	0,76	2,17	1,15
Bouchegouf	Q (m ³ /s)	0,24	0,49	1,78	3,89	6,09	8,19	7,53	5,93	2,48	0,69	0,28	0,19	3,15
	CMD	0,08	0,15	0,56	1,23	1,94	2,60	2,39	1,88	0,79	0,22	0,28	0,06	-
	δ	0,16	0,45	4,12	6,10	6,84	9,62	8,68	5,75	2,72	0,54	0,19	0,12	2,14
	Cv	0,69	0,91	<u>2,32</u>	1,57	1,12	1,17	1,15	0,97	1,10	0,78	0,68	0,66	0,68
A. EL Berda	Q (m ³ /s)	0,00	0,05	0,36	0,63	0,85	1,00	1,11	0,63	0,14	0,03	0,00	0,00	0,40
	CMD	0,01	0,14	0,90	1,58	2,11	2,50	2,78	1,56	0,34	0,07	0,00	0,01	-
	δ	0,01	0,14	0,83	0,96	1,08	1,47	1,60	0,83	0,18	0,04	0,01	0,01	0,37
	Cv	2,17	2,49	2,30	1,52	1,27	1,46	1,44	1,32	1,32	1,30	<u>3,39</u>	2,56	0,93
Mirebek	Q (m ³ /s)	1,94	2,87	7,78	13,39	24,71	24,63	25,60	16,85	6,08	2,23	1,33	1,66	10,76
	CMD	0,18	0,27	0,72	1,24	2,30	2,30	2,38	1,57	0,57	0,21	0,12	0,15	-
	δ	2,08	2,14	14,22	19,72	33,18	32,02	41,83	18,51	5,93	2,33	1,41	2,50	9,21
	Cv	1,08	0,74	<u>1,83</u>	1,47	1,34	1,30	1,63	1,10	0,98	1,04	1,07	1,51	0,86

L'approche classique des régimes est basée sur la moyenne qui ne reflète pas la réalité de l'écoulement dans les oueds, surtout au milieu continental semi-aride caractérisé par des saisons très irrégulières engendrant un écoulement très variable et très irrégulier. Une méthode géographique pour l'étude des régimes a été mise au point par R. Lambert, pour pallier ces insuffisances (Nemouchi, 2001), et que nous appliquerons pour le cas de l'Oued Melah dans la Seybouse et l'Oued Chemoura sur les Aurès.

V-4 L'approche géographique des régimes des oueds : R. Lambert

Cette méthode tient compte de l'évolution de débit journalier d'une année réelle qu'on situe par rapport à une longue série d'observation, et des données pluvio-thermiques de la même année ; Donc le régime se définit par quatre types de paramètres : La lame d'eau écoulée annuellement, l'évolution des débits quotidiens au cours de l'année, la pondération ou l'excessivité du régime qui dépend de la structure hydrologique du bassin versant, et de la variabilité inter annuelle de l'écoulement. Le principe de la méthode et les règles d'emploi sont les suivantes :

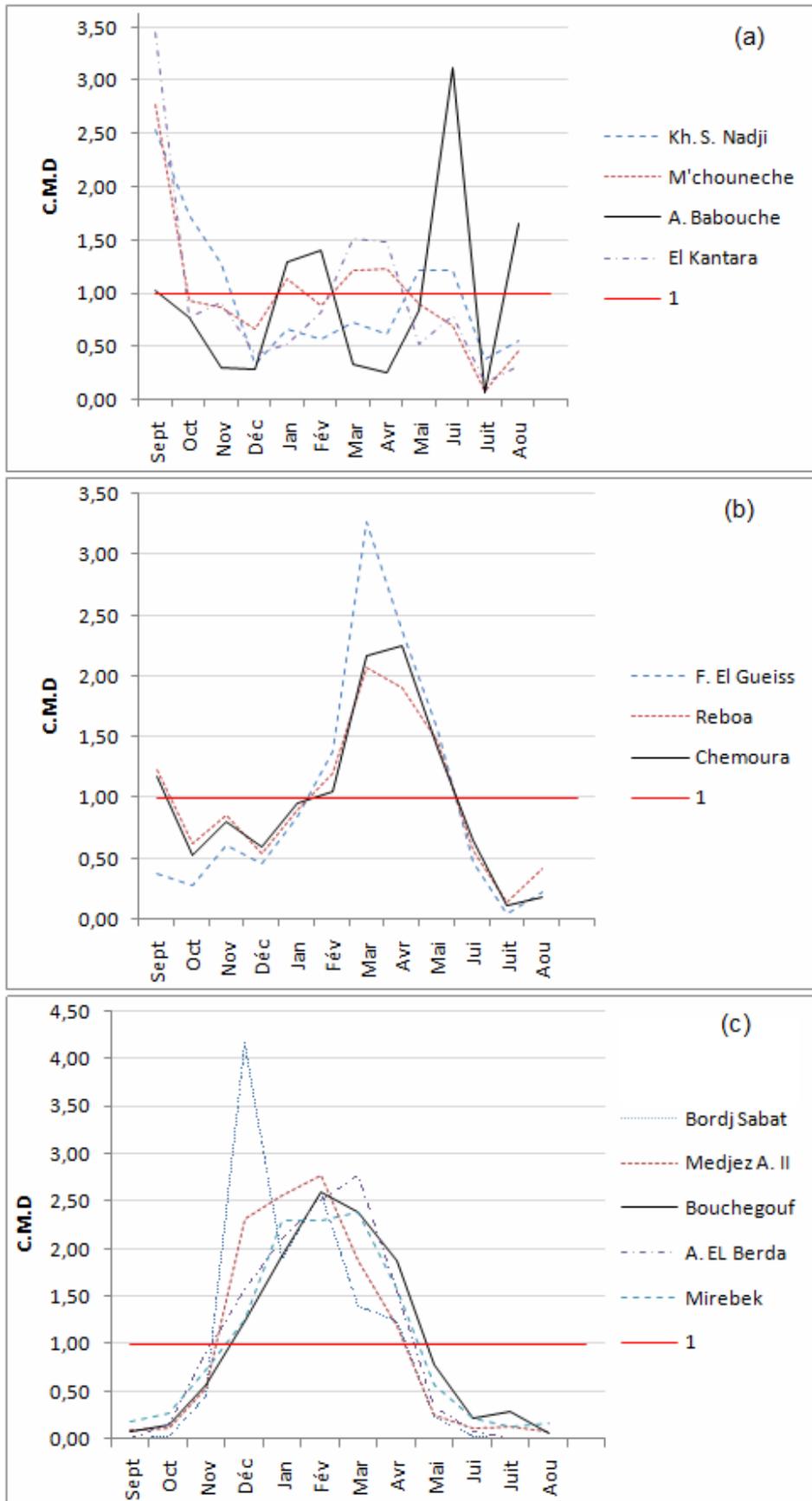


Figure 69 Courbes des coefficients mensuels des débits (1972/73-1993/94)

- On représente graphiquement l'évolution des débits journaliers avec en ordonnée en échelle logarithmique le débit, absolue (m^3/s), spécifique ($l/s/km^2$), et en (mm) ; en abscisse le pas de temps en jours, soit 365 jours de l'année dans leur succession temporelle.
- On désigne le débit moyen annuel, et le module.
- On reporte sur le même graphique, la pluviométrie moyenne mensuelle du bassin versant de la même année en (mm/jour).
- On reporte aussi les températures mensuelles en équivalent (mm/jour) dans le rapport mensuel ($p=4t$)

Nous avons apposé la méthode géographique, pour deux stations représentatives, Bouchegouf et Chemoura, de l'année humide 1972/73 et l'année sèche 1987/88.

V-4-1-1 Oued Melah

La figure 70 illustre l'application de cette méthode pour l'Oued Melah, pour l'année hydrologique 1972/73, et permet de cerner le régime de cet oued. L'abondance moyenne est de $7,49 m^3/s$ ($429,5mm$), alors que le module est de $3,15 m^3/s$. Le coefficient d'hydraulicité est de 2,38.

Le rythme hydrologique est caractérisé par une évolution irrégulière des débits. La saison pluvieuse a débuté d'octobre à mai au cours de laquelle les crues ont été brutales, notamment entre mi-janvier et mars. En effet, le débit est passé de $21,8$ à $72,3 m^3/s$ en 24 heures, le 26 mars. Le jour suivant, il atteint environ $378 m^3/s$.

L'année humide 1972/73 se limite au quatre mois (mi-janvier- mi-avril) où les débits journaliers dépassent largement la moyenne annuelle ($7,49 m^3/s$). L'accentuation de déficit hydrique engendre une période de crues modérées et espacées qui s'étend de mai à décembre et un débit de base très faible ($0,12 m^3/s$) en juillet. Les mois de septembre, octobre novembre et décembre, voient leurs débits ne dépasser pas $2,5 m^3/s$.

Généralement, au cours de l'année on peut distinguer 2 périodes:

La première (Hiver-printemps) englobe les mois de décembre à mai, elle se caractérise par une baisse de températures et une abondance des précipitations déclenchant des crues importantes qui haussent périodiquement le débit de l'oued.

La deuxième (Eté-automne) s'étend de juin à novembre au cours desquels on enregistre une chute des précipitations et une persistance de forte température engendrant une forte ETP et une baisse de débit. Mais le processus de tarissement ne s'achève pas, preuve de l'existence des réserves souterraines qui soutiennent l'écoulement en l'absence de pluie.

La comparaison avec l'année déficitaire de 1987/88 ($Ch=0,19$) illustrée par la figure 70, montre les deux périodes, mais avec une durée et un emplacement dans le calendrier différent de l'année 1972/73 qui est excédentaire ($ch=2,38$). Nous signalons aussi, le processus de tarissement qui est abouti en juillet et s'étale jusqu'à la fin d'août

V-4-1-2 Oued Chemoura

Quant au régime de l'Oued Chemoura, il est illustré par la figure 71 qui présente l'hydrogramme de l'année 1972/73. L'abondance moyenne est de $2,75 m^3/s$, alors que le module est de $0,71 m^3/s$. C'est une année de forte hydraulicité ($Ch= 3,89$).

Le rythme hydrologique est défini par la durée du processus de l'écoulement qui est saisonnier. Il se caractérise par une puissance et une brutalité très grande des crues entre juin et novembre.

Ces crues interviennent brusquement, durent parfois deux à trois jours et décroissent rapidement, en raison de la nature courte et intense des averses et les fortes pentes des versants sud du bassin. À titre d'exemple le 04 septembre, le débit est passé de $0,28 m^3/s$ à $66 m^3/s$ en 24 heures, le 7 octobre le débit a été de $0,27 m^3/s$ et $26,6 m^3/s$, le jour suivant.

Entre décembre et mai, on enregistre une reprise des températures mais les précipitations sont abondantes et le bilan hydrique est équilibré voire excédentaire. L'hydrogramme se présente en paliers (décembre-mars et avril-mai) et on décèle une amplitude de variation plus atténuée. Les crues engendrées sont modérées dont le maximum est de 33,7 m³/s en mars. Elles se déclenchent immédiatement car le bassin étant saturé pendant cette période.

Au total, on peut aussi distinguer deux périodes:

La première (Hiver-printemps), s'étend de décembre à mai et se caractérise par une abondance pluviométrique, une baisse de température, et un excédent hydrique. Ceci engendre un écoulement plus ou moins équilibré, cependant le déclenchement de quelques crues importantes hausse périodiquement le débit de l'oued.

La deuxième (Eté-automne) s'étend de juin jusqu'à novembre au cours desquels on enregistre des précipitations brèves et orageuses déclenchant une série de crues brutales qui décroissent très rapidement. On note aussi l'absence de tarissement malgré le rôle évident de l'évaporation.

La comparaison avec l'année déficitaire de 1987/88 (Ch=0,12) illustrée par la figure 71, montre une grande différence dans la durée, l'intensité et l'emplacement des crues dans le Calendrier. La fréquence des fluctuations journalières devient très grande et propre à chaque mois.

L'oued est à sec pendant 316 jours et ne coule que lorsqu'une pluviométrie conséquente s'abat sur le bassin. Les débits journaliers peuvent atteindre plus de 1 m³/s pendant ces périodes pluvieuses avec un maximum de 7,9 m³/s en mai et décroissent brusquement. Ceci est due à la structure hydrologique dans le nord qui est constituée de plaines à formations lithologiques perméables, déclivité atténuée, et aussi caractérisée par un déficit hydrique prolongé et accentué, ce qui atténue l'intensité des crues et engendre de longs processus de tarissement.

En somme, les oueds de la Seybouse-Aurès comme tous les oueds algériens subissent des variations journalières importantes. Ces variations que nous venons de voir n'est pas toujours généralisable sur le plan géographique. Il peut y avoir opposition entre les bassins de la zone d'étude au sein d'une même année.

V-5 Conséquences hydrologiques de tels régimes à l'aval

Le rythme de l'écoulement des oueds étudiés a un grand impact à l'aval notamment, sur le régime d'alimentation des nappes phréatiques et des lacs salés (Sebkha, Garâ, Chott) qui constitue l'exutoire naturel des bassins endoréiques des Aurès. En effet, la prédominance des crues dans l'écoulement des oueds, contribue considérablement à l'alimentation de ces deux types de réservoirs. En effet, ce n'est que lors des fortes crues que les lacs sont inondés et que les nappes alluviales sont alimentées. En dehors de ces épisodes quand le débit se réduit, les pertes par évaporation et par infiltration, sont si importantes que le débit est faible, notamment en période estivale, ce qui engendre le tarissement des oueds dès qu'ils pénètrent dans la plaine.

Ce rythme a aussi un impact sur la mise en valeur des terres par le développement de l'irrigation par dérivation des eaux pérenne ou par épandage des crues. En effet, des étendues de céréales, de cultures maraîchères, et d'arbre fruitier sont irriguées par les eaux pérennes et celles des crues, mais ces dernières sont beaucoup plus dévastatrices que bénéfiques dans plusieurs cas.

Les barrages érigés dans la région devraient permettre une régularisation de l'écoulement de ces oueds, le développement d'une irrigation moderne et efficiente, et l'alimentation en eau potable de plusieurs agglomérations.

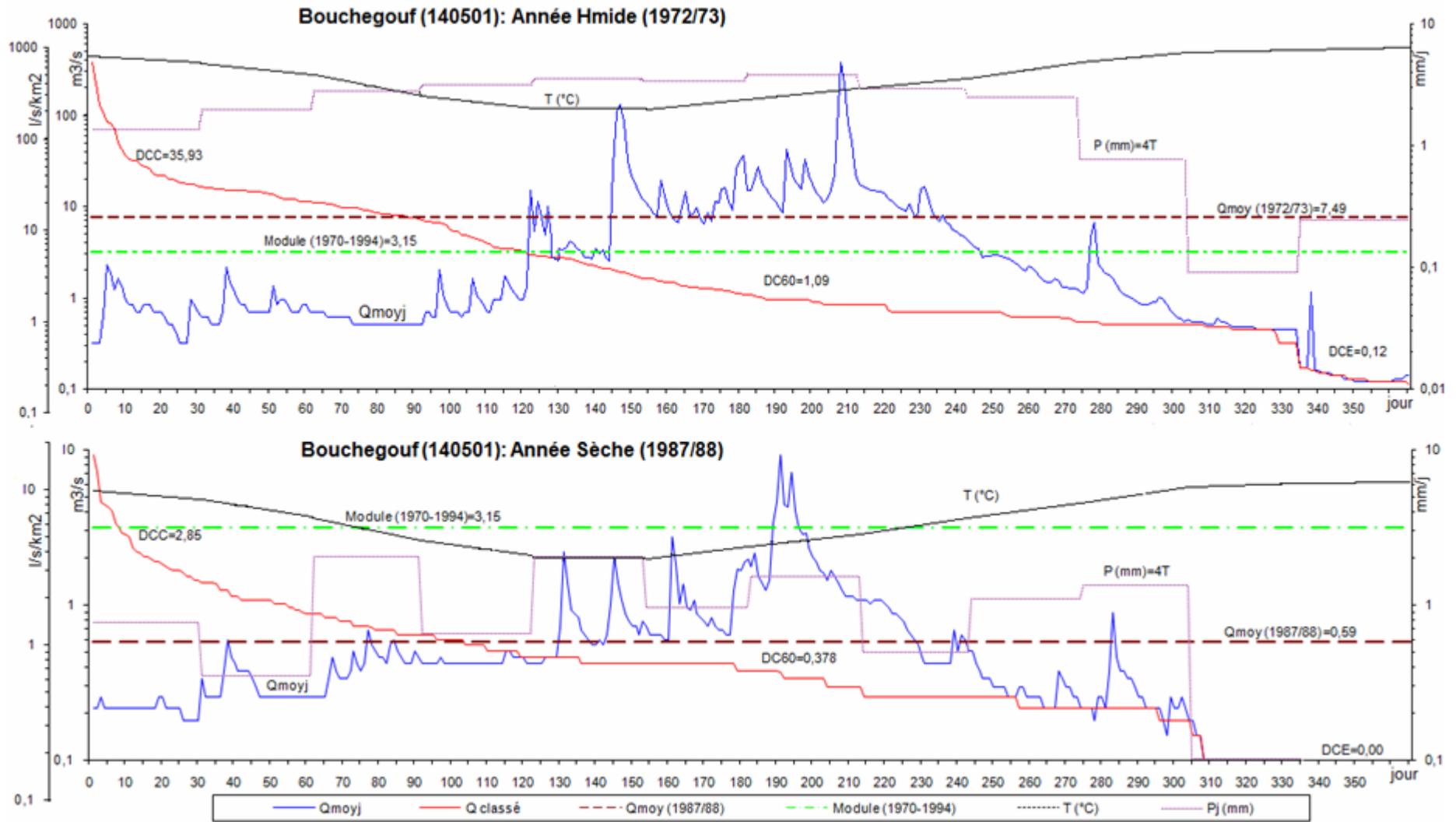


Figure 70 Application de l'approche géographique des régimes des oueds (R. Lambert) : Oued Melah

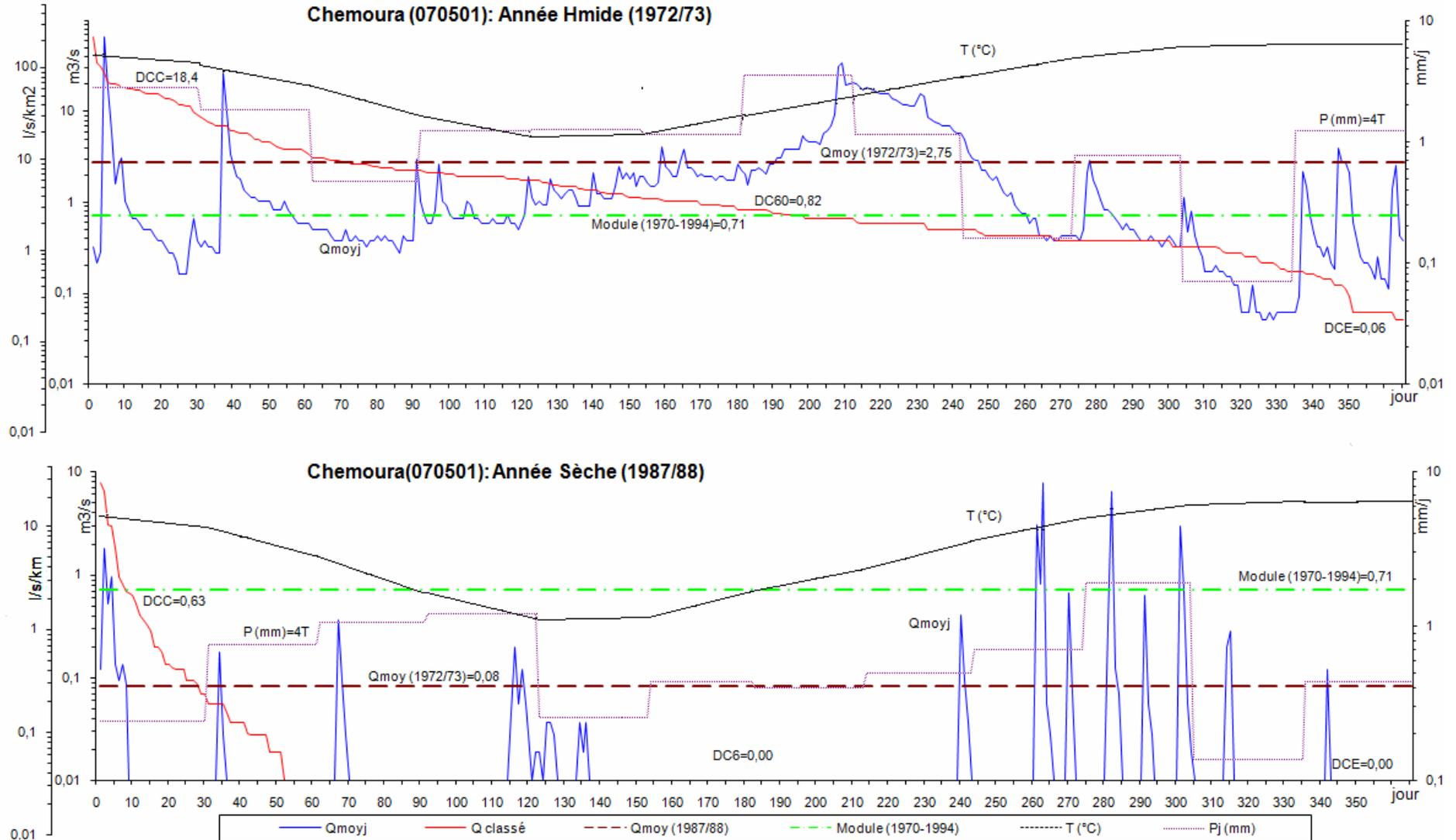


Figure 71 Application de l'approche géographique des régimes des oueds (R. Lambert) : Oued Chemoura

Conclusion

Les ressources en eau superficielles dans la Seybouse-Aurès, sont soumises à de très fortes variations intra-annuelles et saisonnières. Le régime d'écoulement est donc variable et irrégulier, car dépendant du régime des pluies et de réponse du milieu physique des bassins. Cependant un certain rythme d'écoulement se reproduit chaque année plus ou moins fidèlement.

Ce régime est bien exprimé par la méthode géographique qui analyse l'évolution de débit journalier d'une année hydrologique réelle et tient compte des données pluviométriques de la même année.

Par contre la méthode de CMD basée sur le débit moyen mensuel qui est une donnée abstraite, ne reflète pas la réalité de l'écoulement dans les oueds surtout en milieu continental caractérisé par une grande amplitude.

Le régime saisonnier des oueds étudiés, à alimentation essentiellement pluviale, se fait sous forme de crues et il y a une nette adaptation du régime hydrologique au régime pluviométrique étudiée antérieurement. Cependant, il existe des nuances sensibles liées à la structure hydrologique de chaque bassin.

Ce rythme périodique de l'écoulement a un impact à l'aval, il permet une alimentation des nappes phréatiques, une submersion des lacs salés et un développement de l'irrigation par épandage des crues et dérivation des eaux pérennes.

Chapitre VI Les formes extrêmes de l'écoulement : Crues et étiages

Les débits extrêmes que sont les phénomènes de crue et d'étiage, conditionnent dans une large mesure le potentiel hydrologique et ses variations, car il suffit d'une grande crue dans l'année pour que l'écoulement annuel soit important, comme il suffit d'un étiage long et sévère pour que le débit moyen annuel soit très faible.

De ce fait, l'étude de ces deux formes d'écoulement totalement différentes et même opposées, est importante notamment pour la connaissance du potentiel hydrologique, mais aussi leurs conséquences sur les phénomènes de concentration en sédiments (en crues), la pollution et les restitutions des nappes aquifères à l'écoulement fluvial (en étiage).

Dans cette étude, les crues et les étiages seront définis comme des événements statistiques qui constituent un moyen efficient, à notre point de vue, pour étudier ces extrêmes hydrologiques en toute objectivité.

III-1 Les débits maximums annuels : Les crues

La crue est une augmentation brutale du débit quel que soit ce débit. C'est la période durant laquelle le débit dépasse un certain multiple (2 à 3 par exemple) du débit moyen annuel (Laborde, 2000). Il s'agit d'un gonflement fluvial exceptionnel (Ghachi, 1986), due à un événement météorologique comme des précipitations en forte quantité ou la fonte rapide des neiges. La crue est définie par trois caractéristiques principales, soit la pointe, le volume et la durée.

Dans la Seybouse-Aurès, la crue est la forme d'écoulement prédominante, elle est caractérisée par une brutalité et une puissance élevée, et peut se produire en n'importe quelle période de l'année. L'étude des crues (puissance, amplitude, fréquence et variations spatio-temporelles) permet de mettre en lumière la réponse du bassin versant, pendant un pas de temps réduit, à une averse ou séquence pluvieuse donnée. Une des manières de caractériser les crues d'une année est d'utiliser soit le plus fort débit instantané (Q_{max}) soit le plus fort débit journalier (Q_{jmax}).

III-1-1) Les variations spatio-temporelles des débits maximums

Le tableau 29 montre les valeurs des débits journaliers et instantanés maximums, qui ont une distribution annuelle très variable. En effet, il n'existe pas une liaison marquante entre les valeurs de ces débits (Q_{max} , Q_{jmax}). On remarque aussi que les plus fortes crues n'ont pas été observées simultanément la même année dans les stations voisines et qui ont la même taille d'échantillon :

- la station d'El Kantara enregistre un $Q_{jmax} = 114,05 \text{ m}^3/\text{s}$ et un $Q_{max} = 467 \text{ m}^3/\text{s}$ en septembre 1979, comme M'Chounèche enregistre un $Q_{jmax} = 78,6 \text{ m}^3/\text{s}$ et un $Q_{max} = 297 \text{ m}^3/\text{s}$ en septembre 1989 ;
- Reboa a un $Q_{jmax} = 70,6 \text{ m}^3/\text{s}$ en septembre 1989 et un $Q_{max} = 309,8 \text{ m}^3/\text{s}$ en septembre 1979, alors que $Q_{jmax} = 123,2 \text{ m}^3/\text{s}$ en novembre 1982 et $Q_{max} = 227,3 \text{ m}^3/\text{s}$ en septembre 1972 à la station de Chemoura ;
- Medjez Amar II marque un $Q_{jmax} = 903,7 \text{ m}^3/\text{s}$ en décembre 1984 et $Q_{max} = 1364,5 \text{ m}^3/\text{s}$ en février 1984, tandis que Bouchegouf enregistre un $Q_{jmax} = 903,7 \text{ m}^3/\text{s}$ en décembre 1982 et un $Q_{max} = 1010,8 \text{ m}^3/\text{s}$ en novembre 1976 ;

L'étude sommaire de la répartition des fréquences d'apparition de Q_{jmax} et Q_{max} , pour les stations des Aurès, montre qu'ils sont plus fréquents au début de l'année hydrologique (septembre). Les fréquences les plus faibles sont marquées entre décembre et février.

Tableau 29 Les débits de crue journaliers et instantanés

Oued		72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94
El Kantara	Q _{max}	170,00	15,00	82,60	119,23	218,46	178,50	83,10	<u>467,00</u>	98,30	61,20	182,00	35,70	38,00	52,96	147,00	34,02	88,06	108,00	61,20	124,30	121,00	1,10
	Q _{jmax}	42,28	7,99	4,77	29,31	84,12	11,35	9,39	<u>114,05</u>	15,71	11,96	23,65	5,08	16,94	8,76	36,69	4,47	11,09	27,05	49,76	19,11	31,25	0,58
	Q _{max} / Q _{jmax}	4,00	1,88	17,32	4,07	2,60	15,72	8,85	4,09	6,26	5,12	7,70	7,02	2,24	6,04	4,01	7,61	7,94	3,99	1,23	6,50	3,87	1,89
M'chouneche	Q _{max}	172,00	5,00	45,85	107,00	196,05	237,00	34,32	283,00	178,20	53,90	242,60	127,60	52,10	79,00	63,06	13,38	91,00	<u>297,00</u>	3,00	1,00	5,50	1,27
	Q _{jmax}	61,06	3,20	14,59	26,30	75,49	17,19	8,90	58,50	28,34	5,40	19,69	13,59	7,66	17,60	10,90	2,79	31,20	<u>78,60</u>	3,00	0,94	1,71	0,32
	Q _{max} / Q _{jmax}	2,82	1,56	3,14	4,07	2,60	13,79	3,86	4,84	6,29	9,98	12,32	9,39	6,80	4,49	5,79	4,80	2,92	<u>3,78</u>	1,00	1,06	3,22	4,02
Kh. S. Nadji	Q _{max}	468,00	96,00	<u>724,00</u>	374,00	84,70	207,80	68,08	19,50	19,84	32,30	23,80	60,10	374,00	518,00	136,00	93,50	152,00	61,50	1,20	55,00	12,96	14,50
	Q _{jmax}	<u>246,63</u>	13,91	92,84	66,79	33,97	48,18	17,66	19,50	6,21	32,30	23,80	60,10	114,00	55,68	33,91	34,60	50,28	22,34	50,55	22,32	5,36	6,68
	Q _{max} / Q _{jmax}	1,90	6,90	7,80	5,60	2,49	4,31	3,86	1,00	3,19	1,00	1,00	1,00	3,28	9,30	4,01	2,70	3,02	2,75	0,02	2,46	2,42	2,17
A. Babouche	Q _{max}	-	10,46	16,10	85,90	-	-	-	-	-	-	3,74	0,65	1,07	22,62	85,20	118,00	51,30	43,22	<u>166,00</u>	28,62	118,80	45,41
	Q _{jmax}	-	2,47	2,80	11,71	-	-	-	-	-	-	0,50	0,08	0,17	1,07	7,36	31,25	18,22	19,90	20,23	2,17	<u>104,20</u>	5,58
	Q _{max} / Q _{jmax}	-	4,24	5,75	7,34	-	-	-	-	-	-	7,54	8,33	6,39	21,14	11,57	3,78	2,82	2,17	8,21	13,20	1,14	8,14
Reboa	Q _{max}	207,20	10,14	76,20	34,05	80,20	235,20	18,74	<u>309,80</u>	13,80	72,24	255,00	3,15	56,16	18,17	103,60	23,30	224,00	87,16	10,46	25,94	7,25	9,73
	Q _{jmax}	43,06	5,97	5,94	7,68	17,24	20,77	3,75	67,88	2,24	7,63	68,49	1,38	10,72	7,36	11,76	7,31	31,23	<u>70,60</u>	6,65	11,68	2,41	5,58
	Q _{max} / Q _{jmax}	4,81	1,70	12,83	4,43	4,65	11,32	5,00	4,56	6,16	9,47	3,72	2,28	5,24	2,47	8,81	3,19	7,17	1,23	1,57	2,22	3,01	1,74
Chemoura	Q _{max}	<u>227,33</u>	21,55	99,00	197,00	150,00	57,00	81,50	138,80	127,60	221,00	216,20	51,25	5,38	122,00	153,20	33,80	190,70	170,40	114,00	88,20	33,99	67,80
	Q _{jmax}	66,04	9,99	7,46	38,91	34,11	8,01	14,08	20,75	7,01	24,98	<u>123,20</u>	15,64	0,23	6,53	29,24	7,88	19,67	69,07	46,16	19,50	9,00	8,66
	Q _{max} / Q _{jmax}	3,44	2,16	13,27	5,06	4,40	7,12	5,79	6,69	18,20	8,85	1,75	3,28	23,15	18,70	5,24	4,29	9,69	2,47	2,47	4,52	3,78	7,83
El Gueiss	Q _{max}	65,00	6,02	12,70	42,48	17,40	79,00	12,70	41,00	25,70	78,46	41,98	1,45	9,04	28,30	28,90	29,70	26,10	21,36	<u>1076,00</u>	16,08	1,48	30,50
	Q _{jmax}	20,41	1,95	3,32	6,03	10,62	8,11	2,53	7,78	2,35	6,93	21,35	1,45	4,35	8,00	3,10	3,30	6,16	9,42	<u>25,52</u>	13,29	1,48	1,76
	Q _{max} / Q _{jmax}	3,18	3,09	3,83	7,04	1,64	9,74	5,02	5,27	10,94	11,32	1,97	1,00	2,08	3,54	9,32	9,01	4,24	2,27	42,16	1,21	1,00	17,32
Medjez A. II	Q _{max}	986,10	10,4	89,30	57	580,40	49,00	387,60	32,72	185,00	9,14	60,40	<u>1364,5</u>	1060	16,25	357,50	12,14	13,92	4,50	18,50	13,42	638	18,25
	Q _{jmax}	416,64	3,93	53,20	40,33	233,76	27,81	251,23	13,60	84,75	6,47	45,08	723,90	<u>903,70</u>	10,79	189,00	1,41	5,51	3,34	10,62	6,06	421,00	16,07
	Q _{max} / Q _{jmax}	2,37	2,65	1,68	1,41	2,48	1,76	1,54	2,41	2,18	1,41	1,34	1,88	1,17	1,51	1,89	8,62	2,52	1,35	1,74	2,22	1,52	1,14
Bordj Sabat	Q _{max}	-	4,71	10,70	16,40	309,70	12,20	224,00	10,30	19,80	19,80	18,10	442,00	<u>4606,0</u>	9,60	228,30	4,13	98,59	3,35	241,00	163,00	365,00	109,30
	Q _{jmax}	-	2,04	5,27	13,12	107,50	7,73	121,80	4,90	12,43	10,87	12,32	255,10	<u>1002,0</u>	3,40	54,99	3,07	26,57	0,67	52,03	33,12	240,00	26,11
	Q _{max} / Q _{jmax}	-	2,31	2,03	1,25	2,88	1,58	1,84	2,10	1,59	1,82	1,47	1,73	4,60	2,82	4,15	1,35	3,71	5,04	4,63	4,92	1,52	4,19
Boucheouf	Q _{max}	559,50	71,10	456,24	145,00	<u>1010,8</u>	177,80	386,96	86,70	57,75	85,90	83,00	715,40	509,80	71,80	221,00	12,52	47,30	47,30	460,40	350,60	240,90	148,50
	Q _{jmax}	377,52	37,98	241,84	75,94	353,75	64,68	212,53	26,13	36,44	35,85	<u>903,70</u>	336,10	331,20	31,20	124,40	9,26	18,49	18,09	155,00	164,40	117,30	60,72
	Q _{max} / Q _{jmax}	1,48	1,87	1,89	1,91	2,86	2,75	1,82	3,32	1,58	2,40	0,09	2,13	1,54	2,30	1,78	1,35	2,56	2,61	2,97	2,13	2,05	2,45
Mirebek	Q _{max}	2342	76,69	634,34	162	780,60	173,20	760,60	101	409,80	157,20	208,16	699	<u>2900</u>	118,70	675,00	15,28	114,60	122,50	677,30	410,60	613,00	225,40
	Q _{jmax}	<u>2111</u>	48,14	486,22	120,61	907,01	109,94	678,54	67,76	277,60	119,76	154,06	570,94	1207,4	79,24	375,60	12	69,38	77,10	487,10	295,30	511,30	162
	Q _{max} / Q _{jmax}	1,11	1,59	1,30	1,34	0,86	1,58	1,12	1,49	1,48	1,31	1,35	1,22	2,40	1,50	1,80	1,27	1,65	1,59	1,39	1,39	1,20	1,39
A. EL Berda	Q _{max}	137,20	3,90	22,95	14,69	102,40	43,10	93,50	4,93	32,50	21,20	63,50	173,00	80,00	9,33	71,84	3,79	52,55	24,45	61,35	32,50	<u>178,00</u>	19,12
	Q _{jmax}	<u>74,22</u>	0,67	7,82	7,88	44,27	9,92	33,14	1,43	10,23	4,73	10,86	51,58	35,11	1,87	30,14	0,41	16,80	6,65	21,59	14,75	38,49	9,96
	Q _{max} / Q _{jmax}	1,85	5,82	2,93	1,86	2,31	4,34	2,82	3,45	3,18	4,48	5,85	3,35	2,28	4,98	2,38	9,30	3,13	3,68	2,84	2,20	4,62	1,92

Q_{max} : Débit instantané maximum annuel (m³/s) ; Q_{jmax} : Débit journalier maximum annuel (m³/s) ; (467,00) : Maximum interannuel (m³/s)

Au nord et pour les stations de la Seybouse, les fréquences d'apparition les plus élevées sont enregistrées aux mois de février et mars et avec un degré moindre en décembre et avril (tableaux 30, 31). Ces maxima et leurs fréquences, ne coïncident pas nécessairement avec le mois le plus pluvieux de l'année.

Tableau 30 La fréquence des débits maximums instantanés

Oued		Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû
El Kantara	Nb	12	4	1	1	0	0	0	2	0	1	0	1
	%	55	18	5	5	0	0	0	9	0	5	0	5
M'chouneche	Nb	6	2	3	1	0	0	2	1	1	3	0	3
	%	27	9	14	5	0	0	9	5	5	14	0	14
Kh. S. Nadji	Nb	7	2	2	0	0	1	1	1	5	2	1	0
	%	32	9	9	0	0	5	5	5	23	9	5	0
A. Babouche	Nb	5	0	0	0	0	0	1	0	1	2	2	4
	%	33	0	0	0	0	0	7	0	7	13	13	27
Reboa	Nb	5	2	1	0	0	0	2	2	4	4	2	0
	%	23	9	5	0	0	0	9	9	18	18	9	0
Chemoura	Nb	8	2	0	0	0	1	1	2	4	2	1	1
	%	36	9	0	0	0	5	5	9	18	9	5	5
El Gueiss	Nb	3	1	3	0	1	0	4	0	3	4	2	1
	%	14	5	14	0	5	0	18	0	14	18	9	5
Medjez A. II	Nb	0	0	1	5	1	8	4	1	1	1	0	0
	%	0	0	5	23	5	36	18	5	5	5	0	0
Bordj Sabat	Nb	0	0	2	4	2	5	5	3	0	0	0	0
	%	0	0	10	19	10	24	24	14	0	0	0	0
Boucheouf	Nb	0	0	1	3	0	5	6	3	2	0	0	1
	%	0	0	5	14	0	23	27	14	9	0	0	5
Mirebek	Nb	0	0	1	2	3	4	7	4	0	0	0	1
	%	0	0	5	9	14	18	32	18	0	0	0	5
A. EL Berda	Nb	1	0	3	2	1	6	5	3	0	1	0	0
	%	5	0	14	9	5	27	23	14	0	5	0	0

Tableau 31 La fréquence des débits journaliers maximums

Oued		Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû
El Kantara	Nb	11	2	3	1	0	2	0	3	0	0	0	0
	%	50	9	14	5	0	9	0	14	0	0	0	0
M'chouneche	Nb	6	2	4	2	0	0	1	1	2	2	0	2
	%	27	9	18	9	0	0	5	5	9	9	0	9
Kh. S. Nadji	Nb	8	2	3	0	0	0	1	1	3	3	1	0
	%	36	9	14	0	0	0	5	5	14	14	5	0
A. Babouche	Nb	4	1	0	1	1	1	0	0	1	3	1	2
	%	27	7	0	7	7	7	0	0	7	20	7	13
Reboa	Nb	6	1	1	2	0	2	1	3	3	2	1	0
	%	27	5	5	9	0	9	5	14	14	9	5	0
Chemoura	Nb	4	1	3	2	1	1	2	3	4	1	0	0
	%	18	5	14	9	5	5	9	14	18	5	0	0
El Gueiss	Nb	0	0	2	1	1	1	5	2	3	5	1	1
	%	0	0	9	5	5	5	23	9	14	23	5	5
Medjez A. II	Nb	0	0	2	5	1	6	5	1	1	1	0	0
	%	0	0	9	23	5	27	23	5	5	5	0	0
Bordj Sabat	Nb	0	0	1	5	2	6	4	3	0	0	0	0
	%	0	0	5	24	10	29	19	14	0	0	0	0
Boucheouf	Nb	0	0	1	4	1	6	6	3	1	0	0	0
	%	0	0	5	18	5	27	27	14	5	0	0	0
Mirebek	Nb	0	0	1	2	2	5	7	4	0	0	0	1
	%	0	0	5	9	9	23	32	18	0	0	0	5
A. EL Berda	Nb	0	0	3	3	1	6	7	1	1	0	0	0
	%	0	0	14	14	5	27	32	5	5	0	0	0

III-1-2 Typologie et caractéristiques des crues

Une crue se définit par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe (ou débit maximum) et son volume (Klemes, 1975 in Beloulou, 2008). Les relevés horaires et journaliers des débits de crues, disponibles pour neuf stations hydrométriques de la région, nous a permis d'avoir une idée sur l'évolution de ces crues et sur la réaction de la structure hydrologique des bassins à ces dernières.

III-1-2-1 La genèse des crues

L'évolution spatiale des crues est en fonction des précipitations (répartition, puissance et intensité), de la densité de drainage et de la vitesse de propagation des maxima, elle-même fonction de plusieurs facteurs physico-géographiques (topographie, lithologie, couvert végétal, et caractéristiques des lits des oueds). En Algérie du Nord et dans la plus part des cas, ce sont les averses généralisées qui provoquent les plus fortes crues (Ghachi 1986, Bouanani 2004).

Nous avons procédé au dépouillement de toutes les crues, de pointe supérieure à 15 m³/s, voire même 10 m³/s pour certaines stations (tableau 32, annexe IV).

Les crues sélectionnées, constituant un échantillon exhaustif ont pu être utilisées pour les besoins de cette étude, notamment la quantification des sédiments transportés par les oueds (relations débit liquide- débit solide). De l'analyse du listing des crues sélectionnées, Il ressort une classification de ces événements en trois groupes.

- les crues d'orages, localisées et brutales, de courtes durées avec fortes intensités, arrivant généralement au début d'automne (septembre), et provoquées par les averses qui se produisent sur des sols secs. Les débits maximums instantanés peuvent être importants, mais les lames ruisselées restent toujours faibles. Ces crues engendrent des concentrations en sédiments considérables atteignant en pointe des valeurs remarquables. Les crues de ce type ont été observées sur les oueds endoréiques des Aurès à climat semi-aride.

- les fortes crues généralisées qui se manifestent généralement durant les saisons d'hiver et de printemps, et plus particulièrement durant le mois de mars. Elles sont engendrées par des précipitations importantes, généralisées dans l'espace, longues, régulières, présentant des intensités faibles ou moyennes. Ces crues se produisent sur des sols saturés et entraînent des ruissellements importants et généralisés. Elles touchent plus particulièrement l'Aurès septentrional, la moyenne et la basse-basse. La concentration en sédiments correspondant à ces types de crues est relativement faible.

- les crues intermédiaires entre les deux extrêmes précédents comportera : - des crues d'automne, produites par des précipitations intermittentes et désorganisées, d'intensité faible ou moyenne, entraînant un ruissellement sub-généralisé. Les volumes ruisselés sont relativement importants et les concentrations en sédiments sont relativement faibles si on les compare aux crues du premier groupe ; - des crues d'hiver ou de printemps engendrées par des précipitations courtes, peu importantes et localisées. Les lames ruisselées et les concentrations sont les plus faibles. Cette situation est généralement constatée sur l'ensemble de la zone d'étude.

III-1-2-2 Les crues des oueds exoréiques

La Seybouse connaît des crues généralement en saison froide (novembre- avril). Ce sont les mois de décembre, février et mars qui comptent le plus de crues.

A. Les crues de mars 1973

Les pluies qui ont eu lieu du 25 au 29 mars 1973, sont à l'origine des crues exceptionnelles, survenues sur l'Est algérien et qui ont engendré des gigantesques inondations notamment, dans les plaines de la Seybouse (Annaba et Guelma).

La hauteur pluviométrique mensuelle a été de 200 mm à Ain El Berda, 241 mm à Heliopolis, 352 mm à Mechroha, 232 mm à Bouchegouf, 128 mm à Ksar Sbahi, 103 mm à Berriche et 81 mm à Ain Makhlof. Le maximum journalier a atteint 60 mm, 92 mm, 144 mm, 80 mm, 33 mm, 27 mm et 16 mm, respectivement. La saturation des sols a dû être à un stade très avancé le 26 mars, ce qui a entraîné le débordement de l'Oued Seybouse. Ces crues ont été exceptionnelles tant en volumes ruisselés qu'en débits de pointe.

Le 27 mars à 21^h30 Medjez Amar II a enregistré 936 m³/s (figure 72), Ain El Berda 137 m³/s à 15^h30. C'est le jour suivant, le 28 mars à 2^h00, qu'à la station de Mirebek un débit de 1307 m³/s a été atteint, la hauteur de l'eau atteint environ 6 m à Medjez Amar II, 3,5 m à Ain El Berda et 15 m à Mirebek. Le débit de la crue fut respectivement 220 m³/s, 34 m³/s et 569 m³/s aux différentes stations.

Sur le Melah et le Cherf, nous n'avons malheureusement pas d'informations détaillées (hydrogrammes). Néanmoins, Ghachi (1986) a indiqué un débit journalier (28 mars) de 368,5 m³/s et un maximum instantané de 559 m³/s à bouchegouf et 114 m³/s à Moulin Rochefort avec un maximum instantané de 345 m³/s. Suivant le même auteur, le débit journalier du 28 mars à Mirebek a été de 2111m³/s avec un maximum de 2343 m³/s qui est largement supérieur à celui que nous avons présenté ci-dessus.

Les hydrogrammes de crues (figure 72) sont complexes, particulièrement à Medjez Ammar II et Ain Berda et mettent en évidence le caractère relativement durable des précipitations tombées au mois de mars.

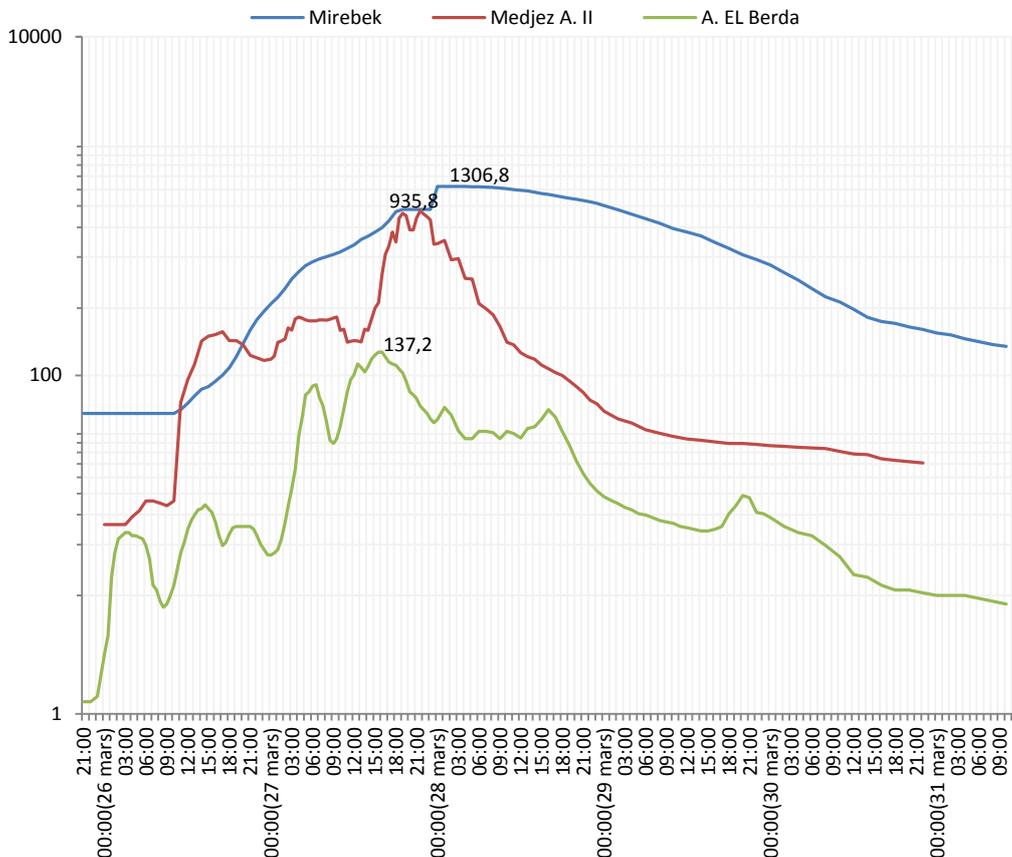


Figure 72 Évolution horaire de la crue du 25-31mars 1973 aux stations de la Seybouse

B. Les crues de décembre 1984

La situation de crues est généralisée sur l'ensemble de la région extrême Est où les volumes ruisselés ont été très importants.

L'épisode pluvieux, allant du 29 décembre 84 au janvier 85, survenu juste après de fortes pluies enregistrées du 21 au 23 décembre 84, est à l'origine de ces crues. La lame d'eau précipitée atteignit les 200 mm sur les monts de l'Edough et Medjerdah, pour les 4 jours de pluie, par contre elle n'a pas dépassé les 150 mm sur la plaine côtière d'Annaba.

Des mesures de débit de crue ont été pratiquées par l'ANRH à Ain Berda et Mirbek jusqu'à 2,50 m et 10,20 m respectivement. Toutefois aucune mesure n'a été effectuée sur les autres stations par suite des routes coupées.

Qualifiées d'exceptionnelles, les crues ont débuté simultanément le 29 décembre 1984 sur l'ensemble du réseau. La saturation du sol due aux pluies antérieures a facilité le ruissellement. Les débits maximums sont plus ou moins importants selon les stations, et ont persisté pendant une durée allant de 24 heures à 3 jours.

La station de Medjez Amar II située en aval du barrage Hammam Debagh, a enregistré une hauteur de 6,06 m, correspond à un débit max de 961,04 m³/s le 30 décembre à 17^h30, alors que la crue a débuté le 28 décembre à 21^h. L'hydrogramme de la crue a une pointe avec des fluctuations sur 36 h (Figure 73)⁽¹⁾. A la station d'Ain Berda, une hauteur max de 3 m a été enregistrée le 30 décembre à 1^h30. Elle correspond à un débit de 80 m³/s.

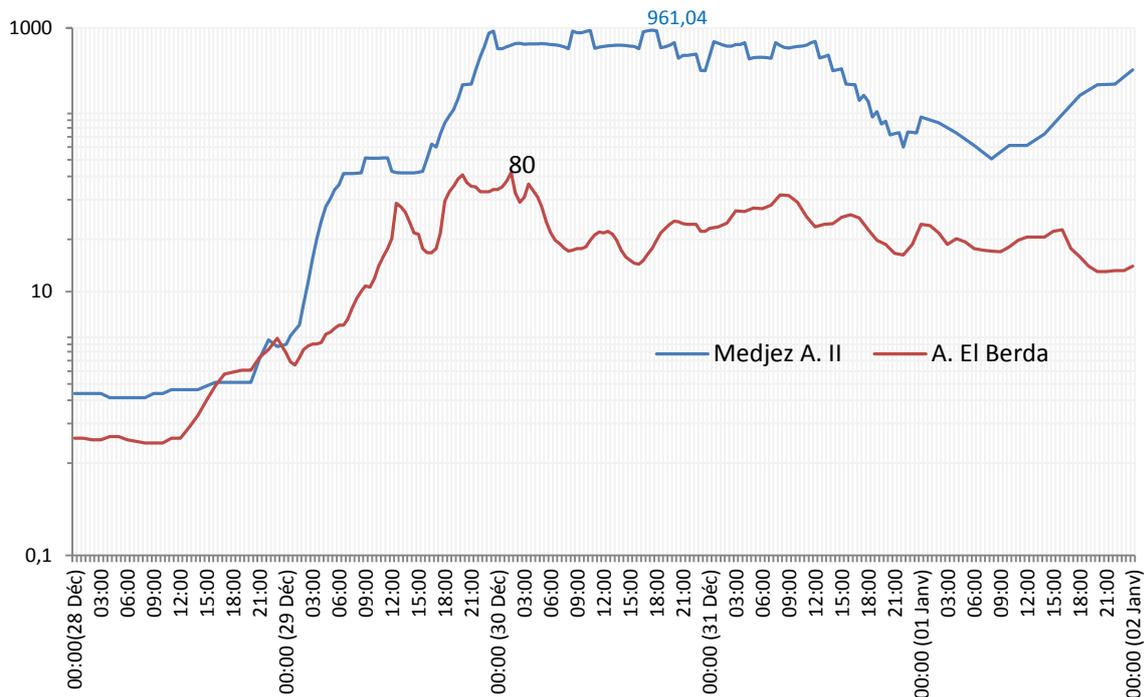


Figure 73 Évolution horaire de la crue du 25 Décembre-1 avril 1984 aux stations de la Seybouse

⁽¹⁾ : C'est informations concernent la base de données, sous forme numérique (fichiers Microsoft Excel), collectée auprès de l'ANRH. A l'opposé et selon [Adjeb \(1984\)](#), la crue a débuté le 29 décembre à 02^h, le débit max a été de 1330 m³/s le même jour à 23h, la hauteur relevée a atteint 6,20 m.

[Adjeb \(1984\)](#) a signalé aussi, que le débit max en amont du barrage Hammam Debagh a atteint 1450 m³/s. Ainsi, à la station de Medjez Amar I - Oued Cherf, la cote relevée a atteint 6,20 m, pratiquement à la même heure qu'à Medjez Amar II.

Pour l'Oued Melah à la station de Bouchegouf, la cote d'eau max atteignit 3,9 m. Cependant, Le creusement d'un chenal en rive droite a facilité la déviation d'un grand débit qui ne devient plus contrôlable.

Le maximum instantané à Mirebek fut de 2300 m³/s tiré de la courbe de tarage pour une hauteur d'eau de 14,90 m (Le débit maximum estimé par extrapolation de l'hydrogramme est 2900 m³/s). Ce maximum a été atteint le 31 décembre à 0^h00 et la décrue n'a été amorcée que vers 14^h00. Selon [Adjeb \(1984\)](#), il était impossible de contrôler tout le débit à cette station, du fait des inondations. Une grande partie du débit transite de part et d'autre du pont de Chbaita Mokhtar, lieu d'implantation de la station hygrométrique. Cette crue a dégradé le réseau de mesure, en érodant et ravinant les berges ainsi que les fonds de lit.

C. Les crues de mars 1991

La hauteur pluviométrique mensuelle et le maximum journalier ont été respectivement, de (134 mm et 34 mm) à Ain El Berda, (232 mm et 48 mm) à Mechroha, (120 mm et 34 mm) à Bouchegouf, (79 mm et 20 mm) à Ksar Sbahi, (53 mm et 22 mm) à Berriche et (70 mm et 22 mm) à Ain Makhlouf. Ces précipitations ont provoqué la crue du 15-23 mars 1991.

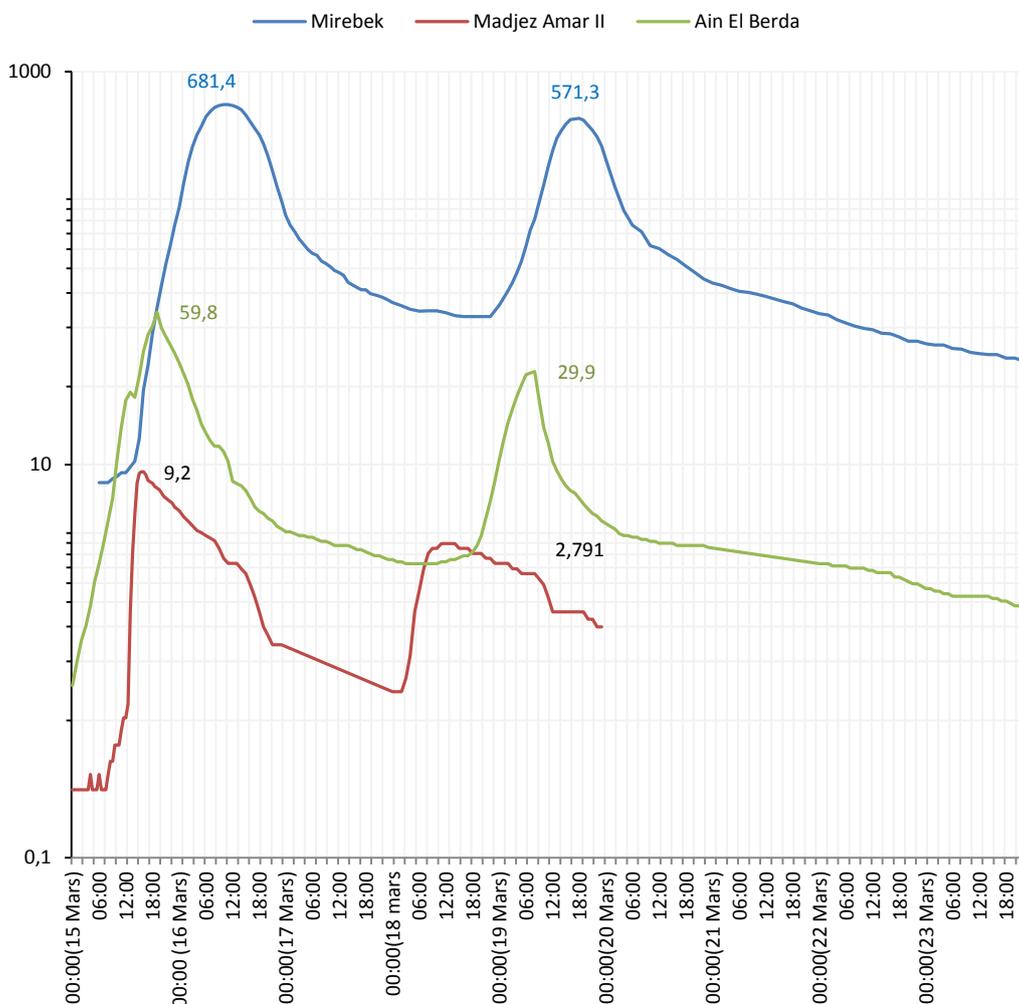


Figure 74 Évolution horaire de la crue du 15-23 mars 1991 aux stations de la Seybouse

Les hydrogrammes sont intéressants dans la mesure où ils laissent apparaître deux montées de niveau d'eau, dues à des averses successives. Cependant, le maximum journalier a été enregistré le 15 mars vers 19^h00 à la station d'Ain El Berda (59,75 m³/s) et le 16 mars vers 10^h00 à Mirebek (681,4 m³/s). La crue a donné un débit moyen de 8 m³/s à Ain El Berda et 184 m³/s à Mirebek.

Nous constatons aussi, que le Bouhamdane n'est pas concurrent à cette crue, les débits instantanés enregistrés à la station de Medjez Amar II sont très faibles et n'ont pas dépassé les 4,5 m³/s (Figure 74). Ceci est dû à notre avis aux conditions météorologiques ayant engendré la crue, dont le Bouhamdane a reçu des précipitations moins abondantes que le Melah et la Seybouse maritime.

III-1-2-3 Les crues des oueds endoréiques

Les crues restent mal connues dans les bassins endoréiques des Aurès. Cependant on peut se référer à quelques séries d'observations disponibles pour donner une idée sur ces événements. Elles sont fréquentes en saison d'automne surtout le mois de septembre et coïncident avec les averses intenses et fréquentes pendant ce mois.

A. Les crues de septembre 1972

C'est un exemple de crues qui se produisent au début d'automne et qui revêtent un caractère de gravité élevée en raison de la forte intensité des averses et la faiblesse de l'action protectrice du sol par la couverture végétale durant cette période.

La crue généralisée a lieu au mois de septembre, dont la hauteur pluviométrique mensuelle a été de 84 mm à Timgad, 30 mm à Ain Tin, 104 mm à Foug Toub, 90 mm à Batna, 186 mm à Medina et 69 mm à Mena. Le maximum journalier a été de 35, 8, 28, 64, 95 et 42,5 mm respectivement.

Cette crue a donné un débit moyen de 30, 6 m³/s à Chemoura, 47 m³/s à Reboa, 3,7 m³/s à Foug El Gueiss, 21,5 m³/s à M'Chounèche et 71 m³/s à Khanguet Sidi Nadji. Les débits maximums instantanés ont été respectivement 227,3 m³/s à 13^h15 ; 207,2 m³/s à 11^h30 ; 19,7 m³/s à 13^h30, 92,5 m³/s à 7^h00 et 468 m³/s à 20^h30. L'allure des hydrogrammes relatifs à cette crue, donne une image suggestive de la rapidité et brutalité caractérisant la montée et la descente de ces crues (figure 75).

Il est à noter que sur les hydrogrammes des cinq (5) oueds, il y a un intervalle de 15 minutes à 13,5 heures entre les débits maximum enregistrés aux différentes stations. (Figure 75). Ceci est dû à plusieurs facteurs, notamment, la déclivité et la forme de l'aire réceptrice, la densité de drainage et la forme du réseau hydrographique, l'effet retardateur de la couverture végétale et la répartition spatiale des averses.

En effet, nous signalons ici le cas de l'Oued Reboa, affluent de l'Oued Chemoura et responsable d'une grande partie de la crue de ce dernier : Le bassin l'Oued Reboa, caractérisé par une couverture forestière très faible et dégradée, une déclivité très élevée et constitue par des formations lithologiques marno-calcaires ou argileuses peu perméables, a reçu des précipitations plus abondantes. Plus au nord, à l'aval de la ville de Timgad, la vitesse d'écoulement est atténuée à cause de la faible déclivité. Ce qui se traduit par un temps de concentration de 7,4 heures pour le sous bassin de Reboa, moins que celui du bassin de l'Oued Chemoura (13,3 heures). Ceci est déjà souligné au chapitre I de la première partie d'étude.

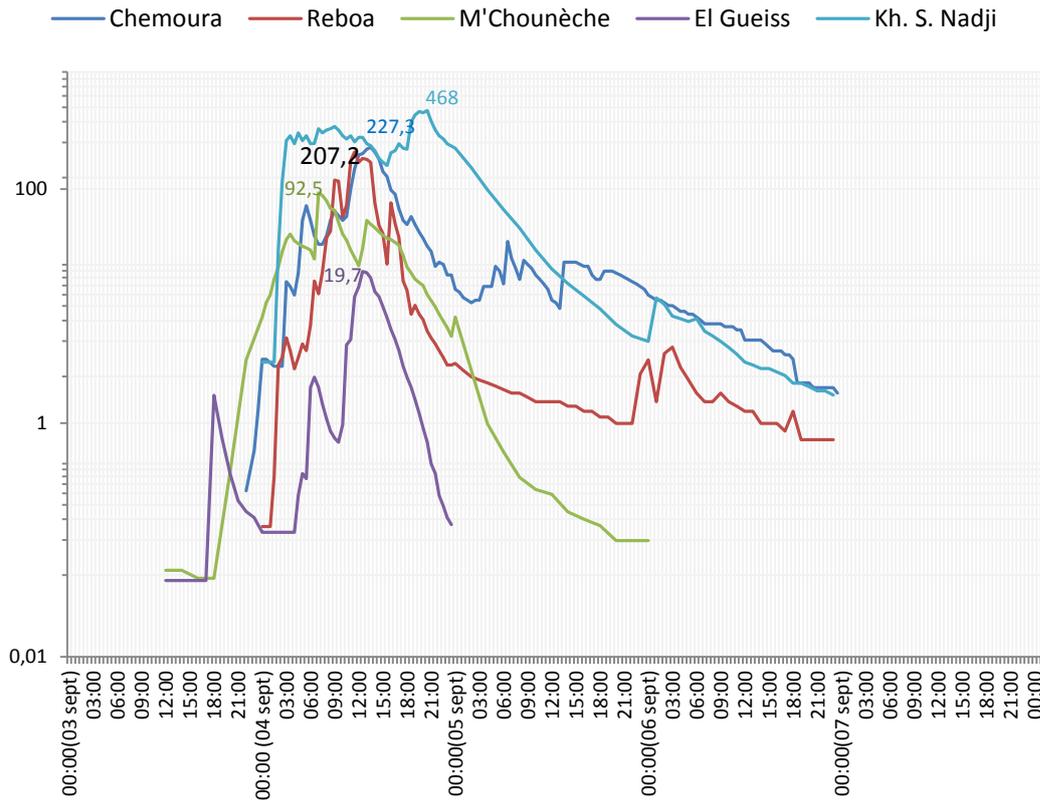


Figure 75 Évolution horaire de la crue du 03-07 septembre 1972 aux stations des Aurès

B. Les crues de septembre 1979

Au mois de septembre, une pluie abondante s'était abattue sur les Aurès. Le maximum journalier a atteint 13,5 mm à Timgad, 64,5 mm à Ain Tin, 28,5 mm à Foug Toub, 50,1 mm à Medina et mm 14,4 à Mena. La hauteur pluviométrique mensuelle a été de 49 mm 157 mm, 49 mm, 119 mm et 35,4 mm, respectivement. Ces précipitations, généralisées sur tous les Aurès, ont provoqué les crues de septembre 1979.

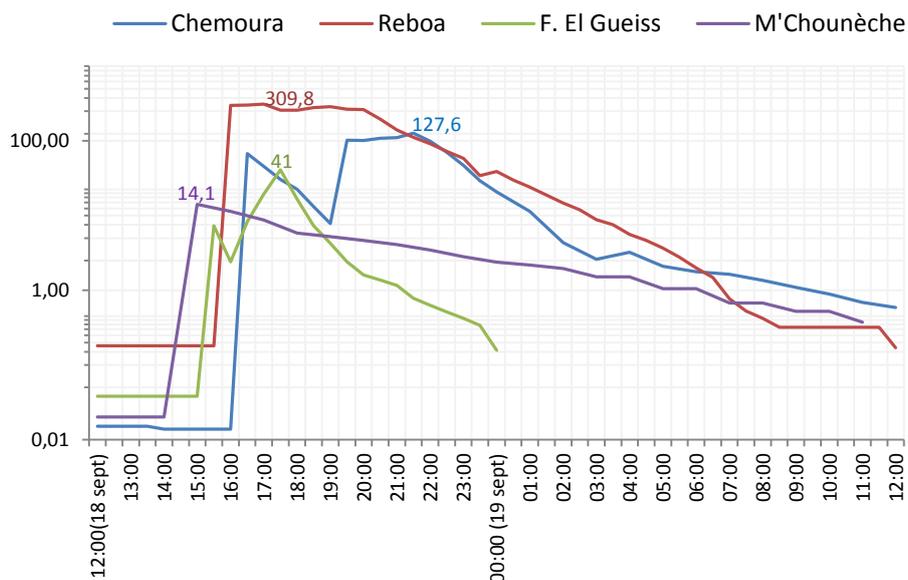


Figure 76 Évolution horaire de la crue du 18-19 septembre 1979 aux stations des Aurès

Les 18-19 septembre (figure 76), la station de Reboa a enregistré 31 m³/s, Chemoura 28 m³/s, Foug El Gueiss 4,6 m³/s et M'Chounèche 6,8 m³/s. Le maximum instantané fut respectivement 309,8 m³/s, 127,6 m³/s, 41 m³/s et 29 m³/s aux différentes stations.

Il importe de souligner la brutalité caractérisant la montée des hydrogrammes en septembre 1979. Cependant, la phase de décrue est moins rapide en raison du prolongement des averses 3 jours après la pointe de crue et aussi la saturation des sols à la suite des averses préparatoires.

C. Les crues de septembre 1989

Une pluie abondante s'était abattue sur la région des Aurès au mois de septembre 1989, elle a provoqué la crue du 20-21 septembre. La lame mensuelle précipitée a été de 41,5 mm à Ain Tin, 60 mm à Foug Toub, 30 mm à Medina, 45 à mm Baiou et 35, mm à Mena. Le maximum journalier a atteint 28 mm, 32 mm, 17 mm, 32 mm et 35 mm respectivement.

Nous constatons sur les trois hydrogrammes (Figure 77) que la crue n'affecte pas les bassins avec la même puissance et que les oueds du versant nord (Reboa et Chemoura) ne sont pas concurrents à cette crue.

La crue est plus marquée au bassin de l'Oued El Abiod dont le maximum instantané a atteint 297 m³/s le 21 septembre à 8^h00. Alors que les Oueds Reboa et Chemoura ont écoulés seulement 6 m³/s le 20 septembre à 16^h00 et 28 m³/s le 21 septembre à 11^h30 comme maximum, respectivement.

Ceci est lié probablement à une forte averse orageuse extrêmement intense et très localisée sur le bassin de l'Oued El Abiod. Le débit écoulé durant la crue fut respectivement de 62,2 m³/s, 2,2 m³/s et 6,3 m³/s à M'chounèche, Reboa et Chemoura.

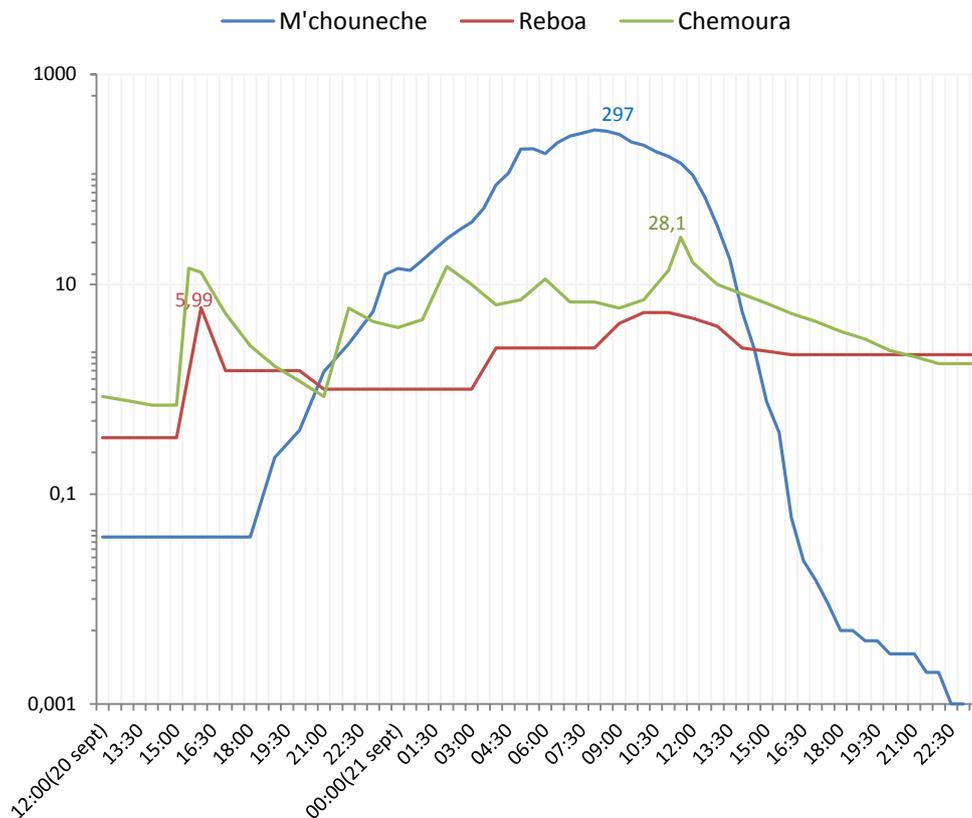


Figure 77 Évolution horaire de la crue du 20-21 septembre 1989 aux stations des Aurès

Tableau 32 Caractéristiques des principales crues

Date du maximum	Durée (h)	Qmoy annuel (m ³ /s)	Qmoy mensuel (m ³ /s)	Qcrue (m ³ /s)	Qmax instantané (m ³ /s)	Qmax/Qcrue	A = Qmax/√S
El Kantara							
03/09/1995	23,5	-	-	25,4	218	8,58	6,37
05/09/1995	23	-	-	21,1	175	8,29	5,12
24/09/1995	36	-	-	32,1	134	4,17	3,92
06/12/1995	9	-	-	8,8	42,6	4,84	1,25
12/06/1996	32	-	-	8,2	42,6	5,20	1,25
17/06/1996	32	-	-	16,2	121	7,47	3,54
13/07/1996	31	-	-	41	574	14,00	16,8
15/09/1997	33	-	-	14,5	51,5	3,55	1,51
17/09/1997	42	-	-	57,6	320	5,56	9,36
07/11/1997	36,5	-	-	28,3	108	3,82	3,16
M'chouneche							
26/08/1978	60	0,25	1,08	7,4	131	17,70	4,04
03/09/1979	78	0,70	5,64	21,3	148	6,95	4,57
25/06/1981	12	0,58	0,69	38,4	178,2	4,64	5,50
11/09/1982	12	0,27	0,53	29,9	198,3	6,63	6,12
31/10/1982	12	0,27	0,61	30	242,2	8,07	7,47
03/11/1982	12	0,27	1,53	27,9	118,6	4,25	3,66
08/10/1983	18	0,08	0,47	13,6	115	8,45	3,55
29/08/1984	12	0,08	0,26	7,85	129	16,43	3,98
30/05/1986	18	0,34	0,34	10,1	96,5	9,55	2,98
21/09/1989	35,5	0,65	3,69	62,2	297	4,77	9,17
Kh. S. Nadji							
04/09/1972	71	2,79	12,93	93,65	468	5,00	10,25
07/10/1972	70	2,79	5,79	54,2	448,8	8,28	9,83
29/08/1973	46	2,79	2,68	31,1	285	9,16	6,24
22/09/1974	94	1,04	6,93	54,7	724	13,24	15,86
30/06/1976	78	1,12	4,97	31,0	374	12,06	8,19
14/05/1978	125	0,69	0,95	4,8	207,8	43,29	4,55
19/10/1978	106	0,75	1,69	10,9	215,4	19,76	4,72
22/10/1984	29,5	2,1	6,53	54,5	293,4	5,38	6,43
11/11/1984	95	2,1	6,48	46	415,4	9,03	9,10
25/05/1985	23,5	2,1	1,83	51,8	196,8	3,80	4,31
Reboa							
27-sept-69	83	1,81	3,84	27,1	350,4	12,93	20,37
06-oct-69	46	1,81	7,32	42,5	300,2	7,06	17,45
28-oct-69	95	1,81	7,32	19,1	187,6	9,82	10,90
04-sept-72	47	1,57	2,35	22,4	207,2	9,25	12,04
17-mai-78	12	0,19	0,77	40,1	235,2	5,87	13,67
18-sept-79	72	0,40	3,61	31	309,8	9,99	18,01
10-nov-82	20	0,65	4,76	59,8	255	4,26	14,82
30-sept-88	9	0,35	1,041	78,6	187,6	2,39	10,90
04-oct-88	71	0,35	1,11	11,4	224	19,94	13,02
01-sept-89	32	1,26	2,65	53,8	297,5	5,53	17,29
Chemoura							
04/09/1972	73,5	2,75	3,57	30,6	227,3	7,43	8,25
28/06/1976	78	1,76	2,51	22,0	197	8,95	7,15
03/09/1981	26	0,58	1,28	16,9	182,3	10,79	6,62
02/06/1982	42	0,58	1,66	17,7	221	12,49	8,02
14/09/1982	42	0,95	1,98	28	216,2	7,72	7,85
10/11/1982	78	0,95	6,28	55,3	203,3	3,68	7,38
02/10/1988	24	0,30	0,55	16,4	181,3	11,05	6,58
27/05/1989	75	0,30	1,06	8,1	239,5	29,6	8,69
31/03/1991	58	0,76	2,93	30	184,5	6,15	6,70
15/10/1995	79,5	-	-	24,5	197	8,04	7,15
F. El Gueiss							
25/09/1971	30	0,79	0,44	7,5	44	5,87	3,67
24/05/1972	40	0,79	1,02	8,2	52,6	6,41	4,38
06/10/1972	58	0,88	0,86	9,4	65	6,91	5,42
29/06/1976	24	0,42	0,57	6,3	42,5	6,75	3,54
15/08/1978	17,5	0,07	0,55	11,6	44,7	3,85	3,73
24/08/1978	24	0,07	0,55	8,7	79	9,08	6,58
12/05/1982	29	0,26	1,23	10,9	78,5	7,20	6,54
28/05/1991	35	0,48	1,29	8,7	103,6	11,91	8,63
30/05/1991	17	0,48	1,29	10,7	44,9	4,20	3,74
31/07/1994	6	0,04	0,06	1,8	44,9	24,94	3,74

Tableau 32 (suite) Caractéristiques des principales crues

Date du maximum	Durée (h)	Qmoy annuel (m ³ /s)	Qmoy mensuel (m ³ /s)	Qcrue (m ³ /s)	Qmax instantané (m ³ /s)	Qmax/Qcrue	A = Qmax/√S
Medjez A. II							
24-déc-69	46	3,45	18,37	198,1	865,6	4,37	26,04
24-janv-73	166	6,65	23,77	98,2	400	4,07	12,03
27-mars-73	120	6,65	39,18	221,6	935,8	4,22	28,15
18-nov-76	142	1,78	13,42	100,04	491,7	4,90	14,79
16-avr-79	144	2,30	20,31	88,5	336,4	3,80	10,12
03-févr-84	119	5,77	44,34	197	1364,5	6,93	41,05
30-déc-84	96	7,89	56,70	414,45	961	2,32	28,91
06-févr-87	142	6,82	33,48	65,4	299	4,57	8,99
13-févr-87	426	6,82	33,48	41,4	230	5,56	6,92
31-déc-92	63	6,05	16,68	172,5	493,2	2,86	14,84
Mirebek							
25-déc-69	262	18,75	66,29	117,3	798,4	6,81	10,35
22-avr-70	118	18,75	51,46	180,2	699	3,88	9,06
21-janv-72	312	17,00	61,63	140,9	476	3,38	6,17
26-janv-73	216	33,61	79,31	247,7	746	3,01	9,67
28-mars-73	718	33,61	190,1	180,4	1306,8	7,24	16,93
18-févr-75	166	6,68	33,35	116,5	573,7	4,92	7,43
28-déc-86	263	25,40	49,99	124,7	445,4	3,57	5,77
14-févr-87	672	25,40	99,89	99,89	679,4	6,80	8,80
16-mars-91	214	17,20	56,84	183,6	681,4	3,71	8,83
A. EL Berda							
24-déc-69	124	0,58	2,63	15	115,6	7,71	11,39
22-avr-70	56	0,58	2,12	18,4	98	5,33	9,66
27-mars-73	145	1,03	6,91	33	137,2	4,16	13,52
18-nov-76	111	0,46	3,24	14,98	102,4	6,84	10,09
16-avr-79	120	0,31	2,65	14,7	93,5	6,36	9,21
03-févr-84	118	0,92	5,81	26,6	166	6,24	16,36
30-déc-84	60	0,93	3,51	27,0	80	2,96	7,88
04-nov-92	66	0,65	2,21	17,5	169,6	9,69	16,71
08-janv-95	114	-	-	17,9	109	6,09	10,74
29-avr-96	54	-	-	18,1	146,1	8,07	14,40

III-1-3 Les apports de crues

Parmi les quelques crues généralisées au niveau de la Seybouse on peut citer celle du 27-28 mars 1973 qui a généré un volume de 17,2 Hm³ à Ain El Berda, 95,7 Hm³ à Medjez Amar II et 466,3 Hm³ à Mirebek pour des débits de pointes respectivement de 137,2 m³/s, 935,8 m³/s et 1306,8 m³/s. Ceci représente 53%, 46 % et 44% du volume écoulé pendant l'année 1972/73, respectivement.

La forte crue du 03 février 1984 a écoulé à Medjez Amar II 84,4 Hm³, soit 46% du volume totale écoulé pendant l'année hydrologique 1983/84. Alors que l'Oued Ressoul à Ain El Berda a évacué 11,3 Hm³, soit 39% du total annuel.

Pour la même année (1983/84), la crue de 30 décembre a écoulé à Medjez Amar II 143,2 Hm³ et 5,8 Hm³ à Ain El Berda, soit 58% et 20% du total annuel, respectivement. Il faut noter que nous n'avons pas pu avoir des données détaillées sur les deux dernières crues, pour la station de Mirebek.

Pendant la crue généralisée du 03-07 septembre 1972, sur la région des Aurès, un apport de 23,9 Hm³ est issu de l'Oued el Arab pour un débit de pointe de 468 m³/s, soit 27% de l'apport moyen annuel. L'Oued El Abiod a évacué 5,6 Hm³ pour un débit de pointe de 92,5 m³/s, soit 17% du total annuel. La même crue a générée un volume de 8,1 Hm³ au niveau de l'Oued Chemoura, 3,8 Hm³ à Reboa et 0,32 Hm³ à l'Oued El Geiss, soit 9% 8% et 1% du volume annuel. Le maximum instantané a été de 227,3 m³/s, 207,2 m³/s et 19,7 m³/s, respectivement.

Parmi les crues importantes enregistrées dans les stations des Aurès, signalons celle du 03 septembre 1979 qui a enregistré à M'Chounèche un volume de 14,6 Hm³, la crue du 22/09/1974 qui a écoulé 25 Hm³ à Khanguet Sidi Nadji et celle du 17 septembre 1997 qui a généré un volume de 8,7 Hm³ à El Kantara.

On peut citer aussi, la crue du 27 septembre 1969 à Reboa qui a écoulé 8,1 Hm³, la crue du 10 novembre 1982 à Chemoura (15,5 Hm³) et celle du 06 octobre 1972 à Foug El Gueiss (environ 2 Hm³).

Les valeurs des débits absolus et spécifiques, regroupées dans le tableau 33, montrent que les crues n'affectent pas les bassins avec la même puissance. Ceci est lié aux caractéristiques physico-géographiques propres à chacun des bassins et à la répartition des fortes averses.

III-1-4 La puissance des crues

Plusieurs critères peuvent caractériser la puissance d'une crue : La hauteur de l'eau dans le lit de l'oued, le débit maximal et le volume d'eau écoulé lors du passage de la crue. Cependant ces paramètres qui sont influencés par la surface du bassin et par les caractéristiques des lits des oueds, ne permettent pas une analyse comparative de crues des bassins de tailles différentes.

Le quotient (A) défini par Myer, Coutagne et Pardé (Pardé, 1962)⁽¹⁾ est un indicateur souvent utilisé, il permet d'apprécier la puissance des crues sur des bassins d'étendue diverse. Les valeurs correspondantes calculées pour les crues marquantes dans la zone d'étude, durant quelques années, permettent d'avoir une idée sur les fortes variations de la puissance de ces crues (tableau 32, annexe IV).

Il apparaît que (A) calculé pour chaque bassin lors d'une importante crue, est fortement variable. Ce quotient oscille entre 0,2 (11/10/71 à Mirebek) et 41,1 (10/02/71 à Madjez Amar II) pour la Seybouse, et entre 0,3 (15/10/74 à Khanguet Sidi Nadji) et 20,4 (27/09/69 à Reboa) pour la région des Aurès.

Pour la même crue survenue les 27-28 mars 1973 sur la Seybouse, le coefficient (A) est de 28,2 à Madjez Amar (II), 16,9 à Mirebek et 13,5 à Ain El Berda. Ce coefficient est de 10,3 à Khanguet Sidi Nadji, 2,9 à M'Chounèche, 12 à Reboa, 8,3 à Chemoura et 1,6 à El Gueiss, pour la crue du 03-04 septembre 1972, arrivée sur les Aurès.

La forte variation de (A) est liée aux conditions d'alimentation et de ruissellement, différentes d'un secteur hydrologique à l'autre et d'une saison à l'autre.

III-1-5 Le rapport d'affinité : débit de pointe/ débit moyen de la crue

Un facteur autre que la puissance maximale des débits, doit être pris en considération dans l'étude de la variabilité des crues : Le rapport du débit instantané maximal au débit moyen de la crue. En effet, le rapport peut atteindre des proportions remarquables sur les Aurès. Il s'élève à 43,3 en mai 1978 sur l'Oued El Arab, en mai 1989 à 29,6 sur l'Oued Chemoura, et en juillet 1994 à 24,9 sur l'Oued El Gueiss. La valeur moyenne oscille entre 5,9 à l'Oued El Hai et 5,3 à l'Oued El Gueiss.

Ce rapport est atténué sur la Seybouse, il est de 9,2 le 25 septembre 1971 et 8,51 le 30 avril 1977 à Madjez Ammar (II), 8,15 le 14 octobre 1969 à Ain El Berda et 6,81 le 25 décembre 1969 à Mirebek. La valeur moyenne varie entre 2,9 à Bouhamdane et 3,9 à l'Oued Ressoul.

⁽¹⁾ : $A = Q_{max} / \sqrt{S}$; Q_{max} correspond au débit maximum instantané (m³/s), S à la surface réceptrice (km²) et A : un coefficient variable régionalement selon les facteurs géophysiques, mais qu'on espère stable de l'amont à l'aval pour certains grands bassins, ou pour certains groupes de bassins dans une région homogène (Pardé, 1961).

Tableau 33 Les apports et les débits max absolus et spécifiques, des principales Crues.

Date du maximum	Qmax instantané (Qmax)		Volume total écoulé Pendant la crue en m ³ (Vcr)	Volume mensuel écoulé en m ³ (Vm)	Volume annuel écoulé en m ³ (Va)	% mensuel ($\frac{Vcr}{Vm} \cdot 100$)	% annuel ($\frac{Vcr}{Va} \cdot 100$)
	Absolu (m ³ /s)	Spécifique (l/s/km ²)					
El Kantara							
03/09/1995	218	186,3	2148840	-	-	-	-
05/09/1995	175	149,6	1747080	-	-	-	-
24/09/1995	134	114,5	4160160	-	-	-	-
06/12/1995	42,6	36,4	285120	-	-	-	-
12/06/1996	42,6	36,4	944640	-	-	-	-
17/06/1996	121	103,4	1866240	-	-	-	-
13/07/1996	574	490,6	4575600	-	-	-	-
15/09/1997	51,5	44,0	1722600	-	-	-	-
17/09/1997	320	273,5	8709120	-	-	-	-
07/11/1997	108	92,3	3718620	-	-	-	-
M'chouneche							
26/08/1978	131	141,0	1598400	2892672	7884000	55	20
03/09/1979	148	169,7	5981040	14618880	22075200	41	27
25/06/1981	178,2	188,9	1658880	1788480	18290880	93	9
11/09/1982	198,3	230,7	1291680	1373760	8514720	94	15
31/10/1982	242,2	113,0	1296000	1633824	8514720	79	15
03/11/1982	118,6	109,5	1205280	3965760	8514720	30	14
08/10/1983	115	122,9	880632	1258848	2522880	70	35
29/08/1984	129	91,9	339120	696384	2522880	49	13
30/05/1986	96,5	282,9	654480	910656	10722240	72	6
21/09/1989	297		7949160	9564480	20498400	83	39
Kh. S. Nadjj							
04/09/1972	468	224,7	23936940	33514560	87985440	71	27
07/10/1972	448,8	215,5	13658400	15507936	87985440	88	16
29/08/1973	285	136,8	5150160	7178112	87985440	72	6
22/09/1974	724	347,6	18510480	24960960	32797440	74	56
30/06/1976	374	179,5	8696376	12882240	35320320	68	25
14/05/1978	207,8	99,8	2160000	2544480	21759840	85	10
19/10/1978	215,4	103,4	4159440	4526496	23652000	92	18
22/10/1984	293,4	140,9	5787900	17489952	66225600	33	9
11/11/1984	415,4	199,4	15732000	17356032	66225600	91	24
25/05/1985	196,8	94,5	4382280	4743360	66225600	92	7
Reboa							
27-sept-69	350,4	1183,8	8091504	9953280	57080160	81	14
06-oct-69	300,2	1014,2	7038000	19605888	57080160	36	12
28-oct-69	187,6	633,8	6532200	19605888	57080160	33	11
04-sept-72	207,2	700,0	3790080	6091200	49511520	62	8
17-mai-78	235,2	794,6	1732320	2062368	5991840	84	29
18-sept-79	309,8	1046,6	8035200	9357120	12614400	86	64
10-nov-82	255	861,5	4305600	12749184	20498400	34	21
30-sept-88	187,6	633,8	2546640	2695680	11037600	94	23
04-oct-88	224	756,8	2903616	2973024	11037600	98	26
01-sept-89	297,5	1005,1	6197760	6868800	39735360	90	16
Chemoura							
04/09/1972	227,3	299,5	8096760	9253440	86724000	88	9
28/06/1976	197	259,6	6177600	6505920	55503360	95	11
03/09/1981	182,3	240,2	1581840	3317760	18290880	48	9
02/06/1982	221	291,2	2676240	4302720	18290880	62	15
14/09/1982	216,2	284,8	4233600	5132160	29959200	82	14
10/11/1982	203,3	267,9	15528240	16277760	29959200	95	52
02/10/1988	181,3	238,9	1416960	1473120	9460800	96	15
27/05/1989	239,5	315,5	2176200	2839104	9460800	77	23
31/03/1991	184,5	243,1	6264000	7847712	23967360	80	26
15/10/1995	197	259,6	7011900	-	-	-	-
F. El Gueiss							
25/09/1971	44	305,6	810000	1140480	24913440	71	3
24/05/1972	52,6	365,3	1180800	2731968	24913440	43	5
06/10/1972	65	451,4	1962720	2303424	27751680	85	7
29/06/1976	42,5	295,1	544320	1477440	13245120	37	4
15/08/1978	44,7	310,4	730800	1473120	2207520	50	33
24/08/1978	79	548,6	751680	1473120	2207520	51	34
12/05/1982	78,5	545,1	1137960	3294432	8199360	35	14
28/05/1991	103,6	719,4	1096200	3455136	15137280	32	7
30/05/1991	44,9	311,8	654840	3455136	15137280	19	4
31/07/1994	44,9	311,8	38038	107136	1261440	36	3

Tableau 33 (suite) Les apports et les débits max. absolus et spécifiques, des principales Crues

Date du maximum	Qmax instantané (Qmax)		Volume total écoulé Pendant la crue en m ³ (Vcr)	Volume mensuel écoulé en m ³ (Vm)	Volume annuel écoulé en m ³ (Va)	% mensuel ($\frac{V_{cr}}{V_m} \cdot 100$)	% annuel ($\frac{V_{cr}}{V_a} \cdot 100$)
	Absolu (m ³ /s)	Spécifique (l/s/km ²)					
Medjez A. II							
24-déc-69	865,6	783,3	32805360	49202208	108799200	67	30
24-janv-73	400	362,0	58684320	63665568	209714400	92	28
27-mars-73	935,8	846,9	95713920	104939712	209714400	91	46
18-nov-76	491,7	445,0	32205600	35944128	56134080	90	57
16-avr-79	336,4	304,4	45878400	54398304	72532800	84	63
03-févr-84	1364,5	1234,8	84394800	118760256	181962720	71	46
30-déc-84	961	869,7	143233920	151865280	248819040	94	58
06-févr-87	299	270,6	33432480	89672832	215075520	37	16
13-févr-87	230	208,1	63491040	89672832	215075520	71	30
31-déc-92	493,2	446,3	39129804	44675712	190792800	88	21
Mirebek							
25-déc-69	798,4	134,1	110637360	177551136	591300000	62	19
22-avr-70	699	117,4	76548960	137830464	591300000	56	13
21-janv-72	476	79,9	158225184	165069792	536112000	96	30
26-janv-73	746	125,3	192588192	212423904	1059924960	91	18
28-mars-73	1306,8	219,4	466297920	509163840	1059924960	92	44
18-févr-75	573,7	96,3	69620400	80680320	210660480	86	33
28-déc-86	445,4	74,8	118065960	133893216	801014400	88	15
14-févr-87	679,4	114,1	241653888	241653888	801014400	100	30
16-mars-91	681,4	114,4	141445440	152240256	542419200	93	26
A. EL Berda							
24-déc-69	115,6	1122,3	6696000	7044192	18290880	95	37
22-avr-70	98	951,5	3709440	5678208	18290880	65	20
27-mars-73	137,2	1332,0	17226000	18507744	32482080	93	53
18-nov-76	102,4	994,2	5986008	8678016	14506560	69	41
16-avr-79	93,5	907,8	6350400	7097760	9776160	89	65
03-févr-84	166	1611,7	11299680	15561504	29013120	73	39
30-déc-84	80	776,7	5834160	9401184	29328480	62	20
04-nov-92	169,6	1646,6	4158000	5919264	20498400	70	20
08-janv-95	109	1058,3	7346160	-	-	-	-
29-avr-96	146,1	1418,4	3518640	-	-	-	-

Ces résultats mettent ainsi en évidence, la forte irrégularité de l'écoulement au cours d'une journée de crue et le caractère aléatoire du régime des bassins étudiés, notamment sur la région des Aurès où les averses sont très localisées, brèves, et d'intensité très variable. Les rapports débit de pointe/débit moyen de crue ont été calculés pour tous les événements considérés (tableau 32, annexe IV).

III-1-6 La récurrence des débits de crues

L'estimation fréquentielle des débits instantanés et journaliers maximums annuels, est très importante pour le dimensionnement des ouvrages hydrotechniques qui peuvent être des ouvrages de protection, d'emménagement ou d'évacuation. En Algérie, les débits maximums annuels suivent plutôt une loi de Galton, Gumbel, Frechet ou Pearson III (Bernier 1959 in Meddi et Sadeuk Ben Abbes 2014, Dubreuil 1974, Hayane 1983, Ghachi 1986, Laborde 2000).

En chaque station étudiée, nous avons testé l'ajustement des séries de débits journaliers et instantanés annuels (Qjmax, Qmax) à trois lois de probabilité : la loi de Gumbel, la loi Log-normale et la loi de Pearson III. Le test de Khi deux a ensuite été appliqué pour vérifier la qualité des ajustements avec un seuil α de signification de 5 % (tableaux 34).

Selon ce Test (χ^2), la loi Log-normale semble la loi la plus en adéquation avec les observations. Elle est acceptée dans 92 % des cas pour (Qmax) et 100 % pour (Qjmax) contre (42 et 17 %) pour la loi de Gumbel et (33 et 50%) pour la loi de Pearson III, respectivement.

Les crues biennales exprimées en valeur spécifique (tableau 34), montrent de nettes différences dans le comportement des bassins : Les valeurs spécifiques les plus élevées sont celles de la Seybouse moyenne et maritime (Bordj Sabat : $Q_{max} = 159 \text{ l/s/km}^2$, $Q_{jmax} = 66 \text{ l/s/km}^2$; Bouchegouf : $Q_{max} = 298 \text{ l/s/km}^2$, $Q_{jmax} = 162 \text{ l/s/km}^2$; Ain El Berda : $Q_{max} = 462 \text{ l/s/km}^2$, $Q_{jmax} = 154 \text{ l/s/km}^2$). Ceci peut être expliqué par l'abondance et la continuité des précipitations, l'atténuation de l'évapotranspiration en allant vers le nord et la taille réduite de l'aire de drainage.

La faiblesse de débit biennale à Medjez Amar II ($Q_{max} = 62 \text{ l/s/km}^2$, $Q_{jmax} = 32 \text{ l/s/km}^2$) est controversée. Ceci est lié vraisemblablement aux valeurs de crues observées après décembre 1987 (date de mise en eau du barrage Hammam Debagh), qui sont discutables. Pour satisfaire cette situation imposée à l'Oued Bouhamdane, nous avons essayé de recalculer le débit biennale en tenant compte seulement, des valeurs de crues observées avant la date de décembre 1987, soit 15 valeurs annuelles. Les débits biennale à Medjez Amar (II) deviennent $Q_{max} = 120,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (109 l/s/km^2) et $Q_{jmax} = 60,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ($54,5 \text{ l/s/km}^2$).

De même, l'Oued Seybouse à Mirebek présente un débit biennale considérablement faible : $Q_{max} = 51 \text{ l/s/km}^2$ et un $Q_{jmax} = 36 \text{ l/s/km}^2$. Ceci s'explique par l'extension de l'aire drainée ; En plus ce débit est largement influencé par l'écoulement faible en provenance des bassins de la haute Seybouse.

Le nord des Aurès connaît des débits biennaux élevés pour les maximums instantané et faible pour les maximum journalier (Reboa $Q_{max} = 141 \text{ l/s/km}^2$, $Q_{jmax} = 32 \text{ l/s/km}^2$; Chemoura $Q_{max} = 138 \text{ l/s/km}^2$, $Q_{jmax} = 21 \text{ l/s/km}^2$; El Gueiss $Q_{max} = 112 \text{ l/s/km}^2$, $Q_{jmax} = 42 \text{ l/s/km}^2$), secteur à forte déclivité et soumis à des averses brutales, mais concentrées dans le temps.

Les valeurs de débit biennale les plus faibles sont observées sur l'Aurès méridional, notamment pour les maximums journaliers (El Kantara $Q_{max} = 83 \text{ l/s/km}^2$, $Q_{jmax} = 13 \text{ l/s/km}^2$; M'Chounèche $Q_{max} = 84 \text{ l/s/km}^2$, $Q_{jmax} = 10 \text{ l/s/km}^2$; Khanguet Sidi Nadji $Q_{max} = 34 \text{ l/s/km}^2$, $Q_{jmax} = 15 \text{ l/s/km}^2$; Ain Babouche $Q_{max} = 55 \text{ l/s/km}^2$, $Q_{jmax} = 7 \text{ l/s/km}^2$). Les crues sont brutales, cependant le secteur est hydrogéologiquement perméable, moins arrosé et soumis à une forte évapotranspiration.

L'accroissement relatif des débits entre la crue biennale, décennale et centennale, est très variable sur tous les oueds : Celui du maximum instantané varie considérablement de 2 à 12,4 fois pour le décennale et 3,2 à 96,1 fois pour le centennale. De même, pour le maximum journalier, il varie de 2,8 à 12,8 fois pour le décennale et 4,7 à 102 fois pour le centennale.

En conclusion on retiendra que la puissance des crues est en fonction de la taille du bassin et de son comportement hydrologique, notamment la lithologie, la déclivité et la couverture végétale, qui jouent un rôle important par leur impact sur le régime des oueds. Cet excès d'eau en période de crues, s'oppose nettement à la grande pénurie de la période d'étiage, d'où l'importance des barrages érigés dans la région qui permettent l'utilisation de ce potentiel hydraulique. Cependant, ces retenues n'échappent pas à une contrainte de taille, engendrée par les crues, à savoir l'envasement qu'entraîne l'interruption du transit des matériaux charriés par les oueds.

Tableau 34 Les débits instantanés maximums annuels, les débits journaliers maximums annuels et durée de récurrence.

Oued	Loi d'ajustement (Signification à 5%)						F	T (ans)	Qmax (m ³ /s)	q _{max} (l/s/km ²)	Qjmax (m ³ /s)	q _{jmax} (l/s/km ²)
	Gumbel		Log-Normal		Pearson III							
	Qmax	Qjmax	Qmax	Qjmax	Qmax	Qjmax						
El Kantara	✓	x	x	✓	x	✓	50	2	96,7	82,6	15,2	13,0
							90	10	240,7	205,7	62,2	53,2
							95	20	295,8	252,8	92,7	79,2
							98	50	367,0	313,7	145,0	123,9
							99	100	420,4	359,3	196,0	167,5
M'chounèche	✓	x	✓	✓	✓	✓	50	2	87,8	83,6	10,4	9,9
							90	10	231,3	220,3	62,4	59,4
							95	20	286,2	272,6	104,0	99,0
							98	50	357,2	340,2	184,0	175,2
							99	100	410,4	390,9	269,0	256,2
Kh. S. Nadjji	x	x	✓	✓	x	✓	50	2	70,7	33,9	31,1	14,9
							90	10	513,0	246,3	107,0	51,4
							95	20	900,0	432,1	152,0	73,0
							98	50	1690,0	811,3	226,0	108,5
							99	100	2580	1238,6	294,0	141,1
A. Babouche	✓	x	✓	✓	✓	x	50	2	44,5	54,9	5,3	6,5
							90	10	119,0	146,9	36,0	44,4
							95	20	148,0	182,7	62,1	76,7
							98	50	185,0	228,4	115,0	142,0
							99	100	212,0	261,7	173,0	213,6
Reboa	x	x	✓	✓	x	x	50	2	41,7	140,9	9,6	32,4
							90	10	229,0	773,6	43,6	147,3
							95	20	372,0	1256,8	66,9	226,0
							98	50	641,0	2165,5	109,0	368,2
							99	100	921,0	3111,5	150,0	506,8
Chemoura	✓	x	✓	✓	✓	x	50	2	105,0	138,3	16,1	21,2
							90	10	206,0	271,4	63,0	83,0
							95	20	244,0	321,5	92,7	122,1
							98	50	294,0	387,4	143,0	188,4
							99	100	332,0	437,4	191,0	251,6
F. El Gueiss	x	✓	✓	✓	x	✓	50	2	16,1	111,8	6,1	42,4
							90	10	63,0	437,5	16,2	112,5
							95	20	92,7	643,8	20,1	139,6
							98	50	143,0	993,1	25,1	174,3
							99	100	191,0	1326,4	28,8	200,0
Medjez A. II	x	x	✓	✓	x	x	50	2	68,5	62,0	35,3	31,9
							90	10	720,0	651,6	451,0	408,1
							95	20	1400,0	1267,0	929,0	840,7
							98	50	2970,0	2687,8	2100,0	1900,5
							99	100	4910,0	4443,4	3600,0	3257,9
Bordj Sabat	x	x	✓	✓	x	x	50	2	48,6	159,3	20,1	65,9
							90	10	601,0	1970,5	201,0	659,0
							95	20	1230,0	4032,8	387,0	1268,9
							98	50	2740,0	8983,6	806,0	2642,6
							99	100	4670,0	15311,5	1320,0	4327,9
Boucheouf	x	x	✓	✓	x	x	50	2	164,0	298,2	89,1	162,0
							90	10	678,0	1232,7	425,0	772,7
							95	20	1010,0	1836,4	662,0	1203,6
							98	50	1590,0	2890,9	1090,0	1981,8
							99	100	2160,0	3927,3	1520,0	2763,6
Mirebek	x	x	✓	✓	x	✓	50	2	301,0	50,5	215,0	36,1
							90	10	1410,0	236,8	1040,0	174,6
							95	20	2180,0	366,1	1620,0	272,0
							98	50	3560,0	597,8	2690,0	451,7
							99	100	4950,0	831,2	3750,0	629,7
A. EL Berda	✓	✓	✓	✓	✓	✓	50	2	47,6	462,1	15,9	154,4
							90	10	125,0	1213,6	44,6	433,0
							95	20	154,0	1495,1	55,6	539,8
							98	50	192,0	1864,1	69,9	678,6
							99	100	221,0	2145,6	80,5	781,6

Qmax: Débit instantané maximum annuel (m³/s), q_{max}: Débit instantané maximum annuel (l/s/km²), Qjmax: Débit journalier maximum annuel (m³/s), q_{jmax}: Débit journalier maximum annuel (l/s/km²), ✓ : ajustement accepté au niveau de signification de 5% (test de Khi carré), x : ajustement rejeté au niveau de signification de 5% (test de Khi carré), ✓ : loi adaptée pour l'estimation des débits fréquents.

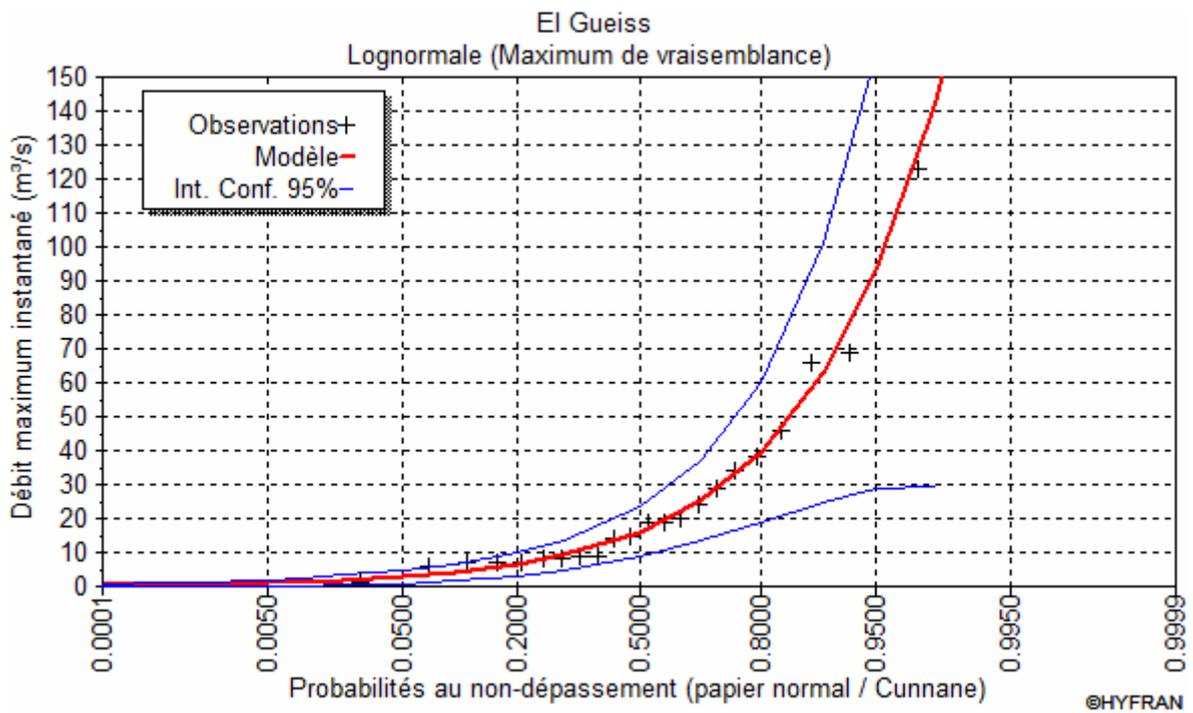
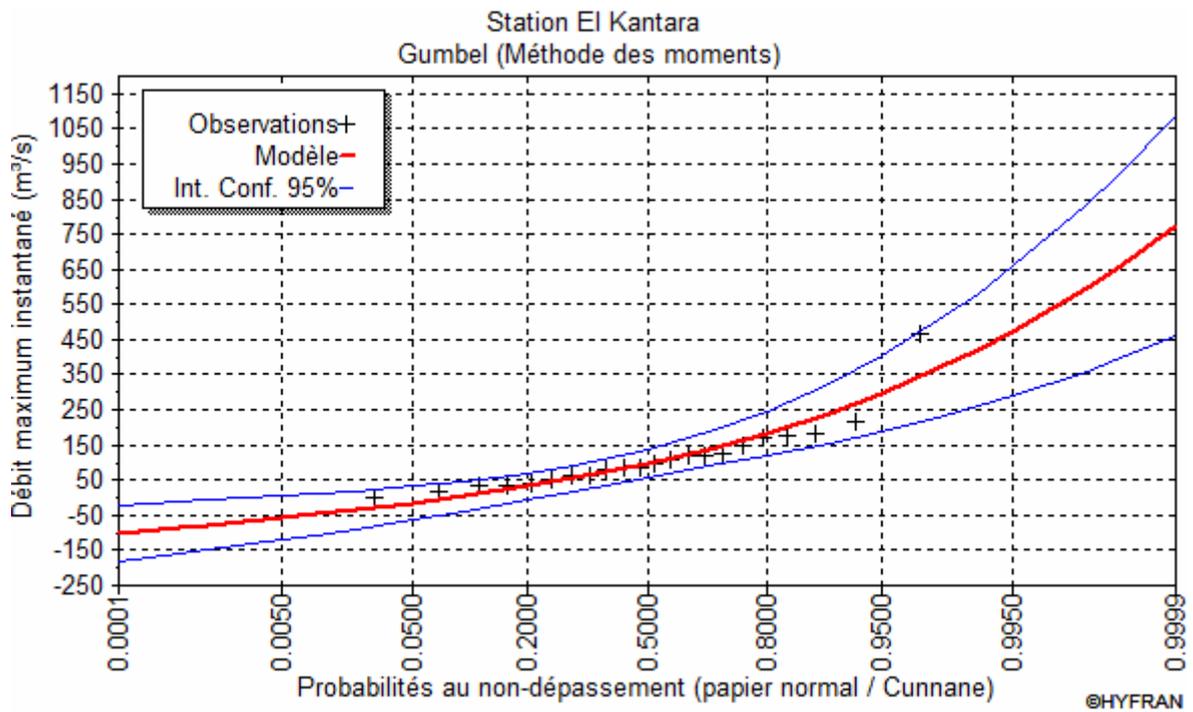


Figure 78 Exemples d'ajustement des débits maximums instantanés annuels à une loi probabiliste

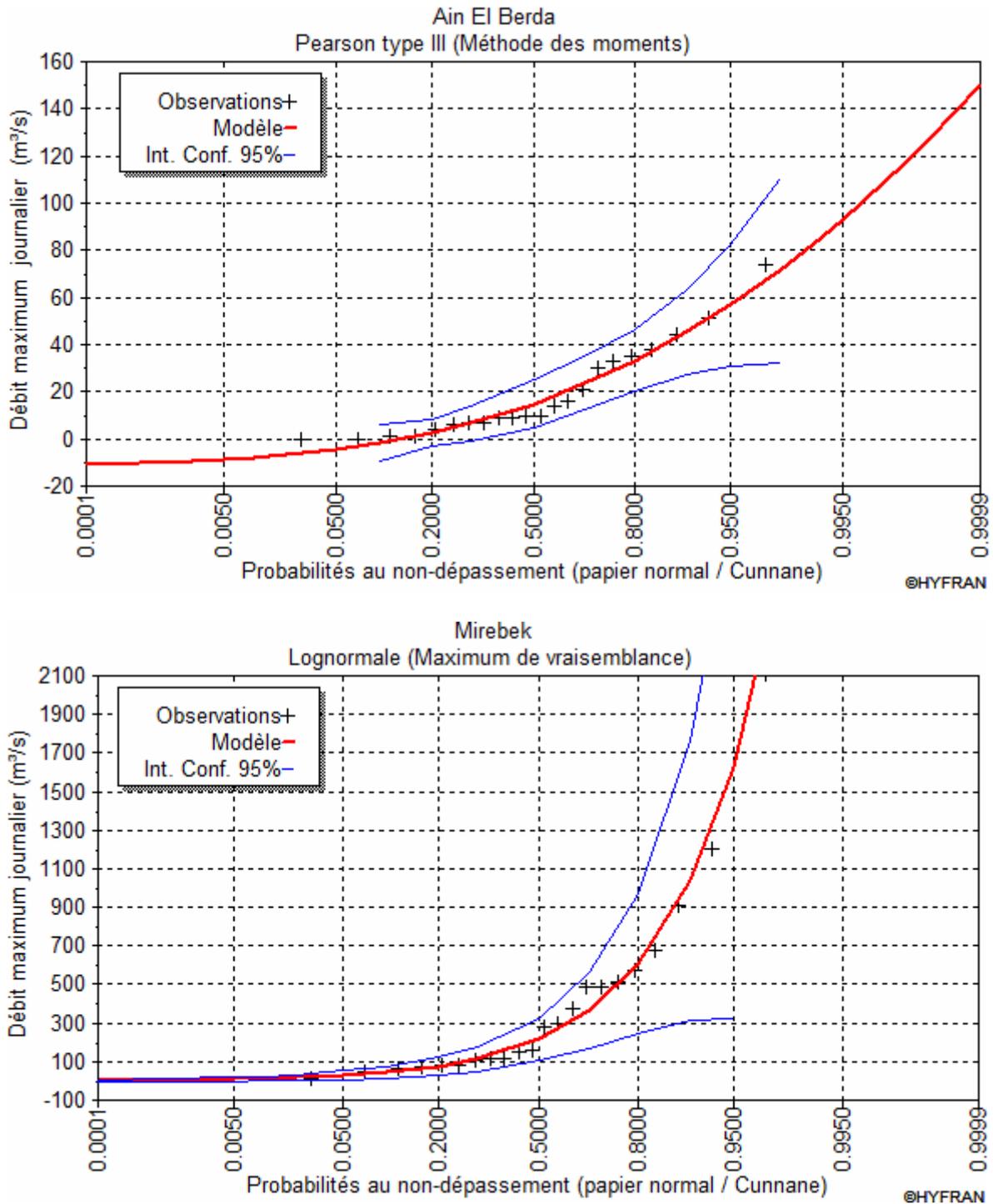


Figure 79 Exemples d'ajustement des débits maximums journaliers annuels à une loi probabiliste

III-2 Les débits annuels minimums : Les étiages

Il existe plusieurs définitions du terme « étiage ». En voici quelques-unes les plus usuelles.

Etiage :- *le plus bas niveau atteint par un cours d'eau ou un lac (Glossaire International d'Hydrologie, 1992) ; - le niveau annuel le plus bas atteint par un cours d'eau en un point donné (Roche, 1986) ; - la période pendant laquelle les débits sont très bas et peu variables parce que issus des seules nappes souterraines en voie d'épuisement, de tarissement (George et Verger, 2000) ; - une baisse de niveau plus considérable que celle qui caractérise les basses eaux moyennes (Rochefort 1969).*

En étiage, le débit des cours d'eau est déterminé par les conditions du climat, la configuration du substratum géologique, la géomorphologie et les caractéristiques du couvert végétal (Corbonnois, 2000).

L'étude des étiages et la connaissance de leur évolution constitue un enjeu majeur pour une gestion cohérente de la ressource en eau (Lang Delus, 2011). Elle se rapporte souvent à l'analyse de la baisse du débit pendant la période de basses eaux, à l'exutoire de bassins versants (Dacharry, 1975) et nous permettent d'apprécier leurs réserves hydrologiques souterraines.

Cependant elle se heurte souvent à plusieurs problèmes d'ordre technique et Chronologique : Les jaugeages en période d'étiage nécessitent une grande précision et les résultats pouvant entacher d'erreurs, en raison des faibles vitesses du courant et des variations des lits des oueds ; Le régime des oueds est souvent perturbé par les prélèvements pour l'irrigation ; Les rejets des eaux usées contribuent aussi à accentuer le caractère approximatif des résultats de mesures. Notre analyse se base sur les débits mensuels minimums et les débits minimums journaliers exprimés en (m^3/s) et en ($l/s/km^2$), relevés aux 12 stations étudiées (tableau 35).

III-2-1) La genèse des étiages, et leurs variations spatiales

La cause essentielle des étiages est une sécheresse climatique prolongée qui se traduit par une grave indigence des précipitations, et par une intense évapotranspiration en saison chaude (Frecaut 1971).

Les débits d'étiage traduisent fidèlement la capacité de rétention de tel ou tel bassin. Ses variations spatiales et temporelles sont liées à la structure hydrologique du bassin versant, notamment la nature lithologique et les conditions climatiques qui règnent dans la région. Au cours de la période estivale, les températures est à leur maximum, et l'alimentation pluviale est indigence. Ceci engendre une forte évapotranspiration qui agit non seulement sur l'écoulement de surface, mais aussi sur les réserves hydrologiques souterraines des bassins (Gachi, 1986). L'observation des débits minimums des oueds de la Seybouse-Aurès révèle des variations notables dans la répartition spatiale et temporelle des débits d'étiage (tableau 35).

Du point de vue temporel, les débits minimums sont enregistrés surtout aux mois de la saison chaude à partir de juillet à octobre (tableaux 36, 37). Cette répartition est en fonction de la répartition des précipitations, et sa plus grande fréquence se situe en été notamment en juillet et août.

Les débits d'étiage montrent aussi une diversité spatiale assez marquée à l'échelle du territoire d'étude. D'après le tableau 35, le débit d'étiage est relativement faible ($0,076 l/s/km^2$) sur le Bouhamdane, qui draine des formations telliennes imperméables et 3 années sur 22 ont connu le tarissement de l'oued. Alors qu'il est de $0,236 l/s/km^2$ sur le Melah à Bouchegouf, bassin où dominent les formations calcaires (Ghachi, 1986), avec deux années de tarissement sur 22 ans.

Le tarissement absolu sur l'Oued Sabbath a été constaté sur les 22 années d'observation, soit une fréquence de 100%, dont le débit s'annule chaque année durant plusieurs mois surtout en été. En effet, cet oued étant un affluent de Bouhamdane, des comportements semblables peuvent avoir lieu.

La Seybouse qui jouit de conditions hydrogéologiques favorables, auxquelles s'ajoute une abondante alimentation pluviométrique, maintient un débit d'étiage relativement soutenu, grâce à l'alimentation par les aquifères (Mebarki, 2000). Cet oued enregistre à Mirebek un débit moyen mensuel d'étiage de 0,720 m³/s, soit 0,121 l/s/km² contre un module de 10,75 m³/s (1,81 l/s/km²). Cependant, 6 années sur 22 ont connu le tarissement total de l'oued durant la saison estivale.

Pour le petit bassin de Ressoul à faibles réserves souterraines (Mebarki, 2005), les débits mensuels d'étiage étant trop faibles, surtout lors des périodes de sécheresse excessive. La moyenne mensuelle d'étiage est de 0,004 l/s/km².

Sur le versant nord des Aurès, Le débit moyen mensuel d'étiage observé sur l'Oued Chemoura est de 0,016 m³/s, soit 0,022 l/s/km². Ce débit relativement faible est dû aux conditions climatiques des grands étés chauds et secs et aux formations lithologiques alluvionnaires relativement perméables, mais qui n'assure pas de notables réserves souterraines. Le tarissement absolu a été constaté 16 fois sur 22 années d'observation, soit une fréquence de 73%, dont le débit s'annule chaque année durant plusieurs mois surtout en été.

Quant aux étiages de l'Oued Reboa, on relève d'abord une fréquence d'apparition de tarissement moins élevée que celles des autres oueds des Aurès (25%). Ceci s'explique par des restitutions souterraines au niveau des massifs calcaires, notamment le long de la rive droite de l'oued Taga, affluent principal de l'Oued Reboa. Le débit minimum mensuel est de 0,043 m³/s, soit 0,144 l/s/km².

Le débit moyen mensuel d'étiage sur l'Oued El Gueiss représente environ de 2 % de son module, soit 0,005 m³/s (0,038 l/s/km²) et avec 18 ans de tarissement absolu sur 22 ans, soit une fréquence de 82 %. Ceci montre bien la faible capacité de rétention du bassin.

Les stations de l'Aurès méridional où règnent des conditions climatiques très sévères, ont enregistré des faibles débits mensuels d'étiage : 0,038 m³/s (0,036 l/s/km²) à M'chouneche, 0,032 m³/s (0,016 l/s/km²) à Khanguet Sidi Nadji, 0,029 m³/s (0,025 l/s/km²) à El Kantara et seulement 0,016 m³/s (0,004 l/s/km²) à Ain Babouche. Les fréquences d'apparition de tarissement absolu sont 9%, 18%, 32% et 53%, respectivement. Ces valeurs sont significatives de la pénurie de l'écoulement dans cet espace semi-aride. A noter que l'écoulement de ces oueds se perd par endroit dans les dépôts de sable et de gravier de leurs lits pendant les périodes d'étiages. En plus ces débits d'étiage seraient plus élevés sans les incessants prélèvements le long de l'oued ainsi que le captage de nombreuses sources pour l'irrigation.

Tableau 35 Débits d'étiage observés aux différentes stations

Qued		72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	moy	
El Kantara	Qm	0,12	0,06	0,07	0,08	0,09	0,02	0,03	0,00	0,03	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,05	0,00	0,00	0,029	
	qm	0,103	0,051	0,060	0,068	0,077	0,017	0,026	0,00	0,026	0,026	0,009	0,00	0,009	0,009	0,00	0,00	0,009	0,009	0,00	0,043	0,00	0,00	0,025	
	Mois	aou	aou	oct	aou	oct	oct	aou	juil	juil	aou	aou	sept	aou	aou	aou	aou	juil	oct	oct	jui	aou	juil	-	
	Qj	0,08	0,05	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,011
	qj	0,068	0,043	0,034	0,00	0,00	0,017	0,00	0,00	0,009	0,026	0,00	0,00	0,009	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,009
	Mois	juil	aou	sept	sept	sept	oct	sept	juil	nov	aou	aou	sept	aou	aou	aou	aou	sept	avr	oct	jui	sept	juil	-	
M'chouneche	Qm	0,10	0,05	0,03	0,07	0,08	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,03	0,00	0,02	0,10	0,08	0,03	0,03	0,05	0,038	
	qm	0,095	0,048	0,029	0,067	0,076	0,029	0,019	0,038	0,019	0,019	0,010	0,010	0,00	0,010	0,029	0,00	0,019	0,095	0,076	0,029	0,029	0,048	0,036	
	Mois	juil	aou	aou	aou	oct	jui	aou	nov	aou	juil	juil	juil	sept	juil	aou	sept	mai	oct	juil	juil	avr	fév	-	
	Qj	0,01	0,05	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,01	0,00	0,008
	qj	0,010	0,048	0,010	0,019	0,00	0,00	0,010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,057	0,00	0,010	0,00	0,007
	Mois	sept	aou	aou	sept	sept	sept	aou	sept	nov	avr	sept	aou	sept	aou	aou	aou	aou	sept	juil	juil	juil	aou	-	
Kh. S. Nadji	Qm	0,10	0,00	0,03	0,03	0,01	0,00	0,04	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,10	0,04	0,03	0,10	0,05	0,01	0,01	0,07	0,05	0,032	
	qm	0,048	0,00	0,014	0,014	0,005	0,00	0,019	0,005	0,00	0,005	0,005	0,005	0,00	0,048	0,019	0,014	0,048	0,024	0,005	0,005	0,034	0,024	0,016	
	Mois	juil	aou	juil	jan	juil	juil	aou	aou	mai	nov	mai	juil	juil	déc	avr	fév	aou	déc	aou	jan	déc	oct	-	
	Qj	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,10	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,011	
	qj	0,010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,010	0,00	0,00	0,00	0,005	0,00	0,00	0,00	0,005	0,005	0,048	0,005	0,005	0,005	0,014	0,010	0,006	
	Mois	juil	aou	aou	sept	juil	juil	aou	sept	mai	oct	mai	aou	juil	juil	mai	sept	aou	déc	aou	jan	aou	sept	-	
A. Babouche	Qm	-	0,01	0,11	0,08	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,016	
	qm	-	0,012			-	-	-	-	-	-	0,012	0,012	0,012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,012	0,00	0,00	0,004	
	Mois	-	aou	juil	oct	-	-	-	-	-	-	mai	aou	jui	juil	aou	avr	avr	mar	oct	jan	jui	juil	-	
	Qj	-	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,001	
	qj	-	0,00			-	-	-	-	-	-	0,00	0,012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,001	
	Mois	-	aou	sept	sept	-	-	-	-	-	-	sept	aou	jui	juil	aou	avr	avr	mar	mar	jan	jui	juil	-	
Reboa	Qm	0,23	0,16	0,01	0,07	0,13	0,02	0,16	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,08	0,01	0,00	0,043	
	qm	0,777	0,541	0,034	0,236	0,439	0,068	0,541	0,034	0,068	0,034	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,068	0,034	0,00	0,270	0,034	0,00	0,144	
	Mois	déc	oct	aou	oct	aou	avr	aou	aou	aou	juil	aou	nov	aou	juil	aou	aou	déc	oct	aou	nov	aou	aou	-	
	Qj	0,10	0,10	0,00	0,01	0,09	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,016	
	qj	0,338	0,338	0,00	0,034	0,304	0,068	0,068	0,034	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,054	
	Mois	aou	oct	juil	sept	mai	avr	sept	aou	aou	juil	aou	nov	aou	juil	aou	aou	déc	oct	aou	sept	aou	aou	-	
Chemoura	Qm	0,19	0,00	0,00	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,05	0,00	0,00	0,016	
	qm	0,250	0,00	0,00	0,105	0,026	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,013	0,013	0,00	0,066	0,00	0,00	0,022	
	Mois	juil	aou	aou	aou	juil	juil	aou	aou	aou	juil	juil	jui	aou	juil	aou	aou	avr	nov	aou	juil	aou	jui	-	
	Qj	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,002	
	qj	0,066	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,003	
	Mois	juil	aou	aou	aou	juil	juil	aou	aou	aou	juil	juil	jui	aou	juil	aou	aou	avr	nov	aou	juil	aou	jui	-	

Qm : Débit mensuel minimal absolu (m³/s) ; qm : Débit mensuel minimal spécifique (l/s/km²) ; Qj : Débit journalier minimal absolu (m³/s) ; qj : Débit journalier minimal spécifique (l/s/km²).

Tableau 35 (suite) Débits d'étiage observés aux différentes stations

Oued		72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	moy
El Gueiss	Qm	0,08	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,005
	qm	0,556	0,00	0,00	0,139	0,069	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,069	0,00	0,00	0,00	0,038
	Mois	juil	aou	aou	oct	aou	juil	aou	aou	aou	aou	juil	aou	aou	aou	mai	aou	oct	nov	oct	aou	aou	juil	-
	Qj	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
	qj	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mois	sept	aou	aou	oct	aou	juil	aou	aou	aou	aou	juil	aou	aou	aou	mai	aou	oct	nov	oct	aou	aou	juil	-	
Medjez A. II	Qm	0,29	0,09	0,08	0,10	0,10	0,05	0,09	0,06	0,10	0,00	0,07	0,10	0,11	0,06	0,09	0,07	0,08	0,09	0,09	0,14	0,00	0,00	0,085
	qm	0,262	0,081	0,072	0,090	0,090	0,045	0,081	0,054	0,090	0,00	0,063	0,090	0,100	0,054	0,081	0,063	0,072	0,081	0,081	0,127	0,00	0,00	0,076
	Mois	aou	aou	aou	sept	aou	sept	aou	juil	aou	sept	aou	sept	sept	aou	oct	-							
	Qj	0,18	0,09	0,06	0,10	0,10	0,03	0,07	0,06	0,08	0,00	0,05	0,00	0,03	0,05	0,07	0,04	0,07	0,00	0,09	0,11	0,00	0,00	0,058
	qj	0,163	0,081	0,054	0,090	0,090	0,027	0,063	0,054	0,072	0,00	0,045	0,00	0,027	0,045	0,063	0,036	0,063	0,00	0,081	0,100	0,00	0,00	0,052
Mois	sept	aou	aou	sept	aou	aou	sept	aou	juil	aou	aou	aou	fév	aou	juil	aou	jui	juil	sept	sept	aou	oct	-	
Bordj Sabat	Qm	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
	qm	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
	Mois	-	aou																					
	Qj	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
	qj	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
Mois	-	aou																						
Boucheougouf	Qm	0,17	0,01	0,16	0,17	0,24	0,23	0,20	0,02	0,20	0,26	0,16	0,16	0,25	0,11	0,16	0,00	0,02	0,00	0,07	0,17	0,08	0,02	0,130
	qm	0,309	0,018	0,291	0,309	0,436	0,418	0,364	0,036	0,364	0,473	0,291	0,291	0,455	0,200	0,291	0,00	0,036	0,00	0,127	0,309	0,145	0,036	0,236
	Mois	aou	nov	aou	sept	sept	sept	aou	aou	aou	aou	sept	sept	aou	sept	aou	aou	sept	sept	sept	sept	aou	juil	-
	Qj	0,11	0,00	0,16	0,14	0,18	0,20	0,00	0,02	0,10	0,16	0,11	0,14	0,19	0,09	0,13	0,00	0,00	0,00	0,05	0,07	0,07	0,02	0,088
	qj	0,200	0,00	0,291	0,255	0,327	0,364	0,00	0,036	0,182	0,291	0,200	0,255	0,345	0,164	0,236	0,00	0,00	0,00	0,091	0,127	0,127	0,036	0,160
Mois	jan	nov	aou	sept	sept	sept	jan	aou	sept	sept	aou	sept	sept	aou	sept	aou	aou	sept	sept	sept	sept	aou	juil	
Mirebek	Qm	2,05	1,20	1,59	2,32	2,36	2,11	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,42	0,40	1,20	0,14	0,00	0,21	0,00	0,38	0,46	0,15	0,720
	qm	0,344	0,202	0,267	0,390	0,396	0,354	0,081	0,00	0,00	0,00	0,00	0,060	0,071	0,067	0,202	0,024	0,00	0,035	0,00	0,064	0,077	0,025	0,121
	Mois	nov	jui	jui	mar	juil	nov	aou	sept	aou	aou	juil	sept	aou	sept	juil	aou	jui	sept	sept	aou	juil	-	
	Qj	1,30	0,79	0,14	0,00	0,65	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94	0,00	0,00	0,00	0,12	0,20	0,03	0,199	
	qj	0,218	0,133	0,024	0,00	0,109	0,035	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,158	0,00	0,00	0,00	0,00	0,020	0,034	0,005	0,033
Mois	nov	jui	juil	oct	juil	déc	nov	aou	sept	aou	aou	juil	sept	sept	aou	jan	aou	jui	sept	sept	aou	juil		
A. EL Berda	Qm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,000
	qm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,097	0,00	0,00	0,004
	Mois	aou	juil	aou	oct	juil	aou																	
	Qj	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
	qj	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
Mois	aou	aou	aou	aou	aou	aou	aou	aou	aou	aou	aou	juil	aou	juil	aou									

Qm : Débit mensuel minimal absolu (m³/s) ; qm : Débit mensuel minimal spécifique (l/s/km²) ; Qj : Débit journalier minimal absolu (m³/s) ; qj : Débit journalier minimal spécifique (l/s/km²)

Tableau 36 La fréquence des débits mensuels minimums

Oued		Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aoû
El Kantara	Nb	1	5	0	0	0	0	0	0	0	1	4	11
	%	5	23	0	0	0	0	0	0	0	5	18	50
M'chouneche	Nb	2	2	1	0	0	1	0	1	1	1	7	6
	%	9	9	5	0	0	5	0	5	5	5	32	27
Kh. S. Nadji	Nb	0	1	1	3	2	1	0	1	2	0	6	5
	%	0	5	5	14	9	5	0	5	9	0	27	23
A. Babouche	Nb	0	2	0	0	1	0	1	2	1	2	3	3
	%	0	13	0	0	7	0	7	13	7	13	20	20
Reboa	Nb	0	3	2	2	0	0	0	1	0	0	2	12
	%	0	14	9	9	0	0	0	5	0	0	9	55
Chemoura	Nb	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	7	11
	%	0	0	5	0	0	0	0	5	0	9	32	50
El Gueiss	Nb	0	3	1	0	0	0	0	0	1	1	3	13
	%	0	14	5	0	0	0	0	0	5	5	14	59
Medjez A. II	Nb	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	15
	%	23	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	68
Bordj Sabat	Nb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Boucheougouf	Nb	10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	10
	%	45	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5	45
Mirebek	Nb	5	0	2	0	0	0	1	0	0	4	4	6
	%	23	0	9	0	0	0	5	0	0	18	18	27
A. EL Berda	Nb	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	19
	%	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	9	86

Tableau 37 La fréquence des Débits journaliers minimums

Oued		Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aoû
El Kantara	Nb	7	2	1	0	0	0	0	1	0	1	3	7
	%	32	9	5	0	0	0	0	5	0	5	14	32
M'chouneche	Nb	8	0	1	0	0	0	0	1	0	0	3	9
	%	36	0	5	0	0	0	0	5	0	0	14	41
Kh. S. Nadji	Nb	4	1	0	1	1	0	0	0	3	0	5	7
	%	18	5	0	5	5	0	0	0	14	0	23	32
A. Babouche	Nb	3	0	0	0	1	0	2	2	0	2	2	3
	%	20	0	0	0	7	0	13	13	0	13	13	20
Reboa	Nb	3	2	1	1	0	0	0	1	1	0	3	10
	%	14	9	5	5	0	0	0	5	5	0	14	45
Chemoura	Nb	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	7	11
	%	0	0	5	0	0	0	0	5	0	9	32	50
El Gueiss	Nb	1	3	1	0	0	0	0	0	1	1	2	13
	%	5	14	5	0	0	0	0	0	5	5	9	59
Medjez A. II	Nb	5	1	0	0	0	1	0	0	0	1	3	11
	%	23	5	0	0	0	5	0	0	0	5	14	50
Bordj Sabat	Nb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Boucheougouf	Nb	11	0	1	0	2	0	0	0	0	0	1	7
	%	50	0	5	0	9	0	0	0	0	0	5	32
Mirebek	Nb	5	1	2	1	1	0	0	0	0	3	3	6
	%	23	5	9	5	5	0	0	0	0	14	14	27
A. EL Berda	Nb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	20
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	91

III-2-2 Débits fréquentiels d'étiage

Les constatations ci-dessus sont confirmées par les estimations des débits fréquentiels d'étiage obtenues par ajustement des séries observées à une loi de probabilité (exemple : figures 80, 81).

Les séries hydrométriques de 22 ans (tableau 35), ont servi à l'analyse des débits fréquentiels d'étiage des stations de Medjez Amar II et Bouchegouf (Débits journaliers et mensuels minimums), ainsi que El Kantara, M'chouneche et Khanguet Sidi Nadji (Débits mensuels minimums). Pour le reste des stations, les valeurs étant nulles pendant plusieurs années, surtout les minimums journaliers, et ne permettent pas un ajustement valable d'un modèle fréquentiel.

Les chiffres résumés dans le tableau 38, permettent de constater que les débits d'étiage sont très faibles. L'écoulement s'annule au moins une fois tous les 10 ans sur l'Oued El Hai et l'Oued El Arab et une fois tous les 20 ans sur l'Oued El Abiod, le Bouhamdane et le Melah. Le rapport entre débits biennal et décennal varie entre 3,7 et 7,6 pour ces trois derniers oueds.

Tableau 38 Débits d'étiage (Débit mensuel minimal, Débit journalier minimal) et durée de récurrence

Station	Loi d'ajustement (Signification à 5% ou 1%)						F	T (ans)	Q _{min} (m ³ /s)	q _{min} (l/s/km ²)	Q _{jmin} (m ³ /s)	q _{jmin} (l/s/km ²)
	Gumbel		Normal		Pearson III							
	Q _{min}	Q _{jmin}	Q _{min}	Q _{jmin}	Q _{min}	Q _{jmin}						
El Kantara	x	x	x	x	✓	x	50	2	0,0213	0,0182	-	-
							90	10	0,0000	0,0000	-	-
							95	20	0,0000	0,0000	-	-
							98	50	0,0000	0,0000	-	-
							99	100	0,0000	0,0000	-	-
M'chouneche	✓	x	✓	x	✓	x	50	2	0,0327	0,0311	-	-
							90	10	0,0043	0,0041	-	-
							95	20	0,0000	0,0000	-	-
							98	50	0,0000	0,0000	-	-
							99	100	0,0000	0,0000	-	-
Kh. S. Nadji	M'chouneche	x	x	x	✓	x	50	2	0,0268	0,0129	-	-
							90	10	0,0000	0,0000	-	-
							95	20	0,0000	0,0000	-	-
							98	50	0,0000	0,0000	-	-
							99	100	0,0000	0,0000	-	-
Medjez A. II	✓	✓	x	✓	x	✓	50	2	0,0750	0,0679	0,0508	0,0460
							90	10	0,0204	0,0185	0,0084	0,0076
							95	20	0,0085	0,0077	0,000	0,0000
							98	50	0,000	0,0000	0,000	0,0000
							99	100	0,000	0,0000	0,000	0,0000
Bouchegouf	x	✓	✓	✓	✓	✓	50	2	0,1300	0,2364	0,0768	0,1396
							90	10	0,0172	0,0313	0,0122	0,0222
							95	20	0,000	0,0000	0,000	0,0000
							98	50	0,000	0,0000	0,000	0,0000
							99	100	0,000	0,0000	0,000	0,0000

Q_{min}: Débit mensuel minimal (m³/s), q_{min}: Débit mensuel minimal (l/s/km²), Q_{jmin}: Débit journalier minimal (m³/s), q_{jmin}: Débit journalier minimal (l/s/km²), ✓ : ajustement accepté au niveau de signification de 5% ou 1% (test de Khi carré), x : ajustement rejeté au niveau de signification de 5% ou 1% (test de Khi carré), ✓ : loi adaptée pour l'estimation des débits fréquentiels.

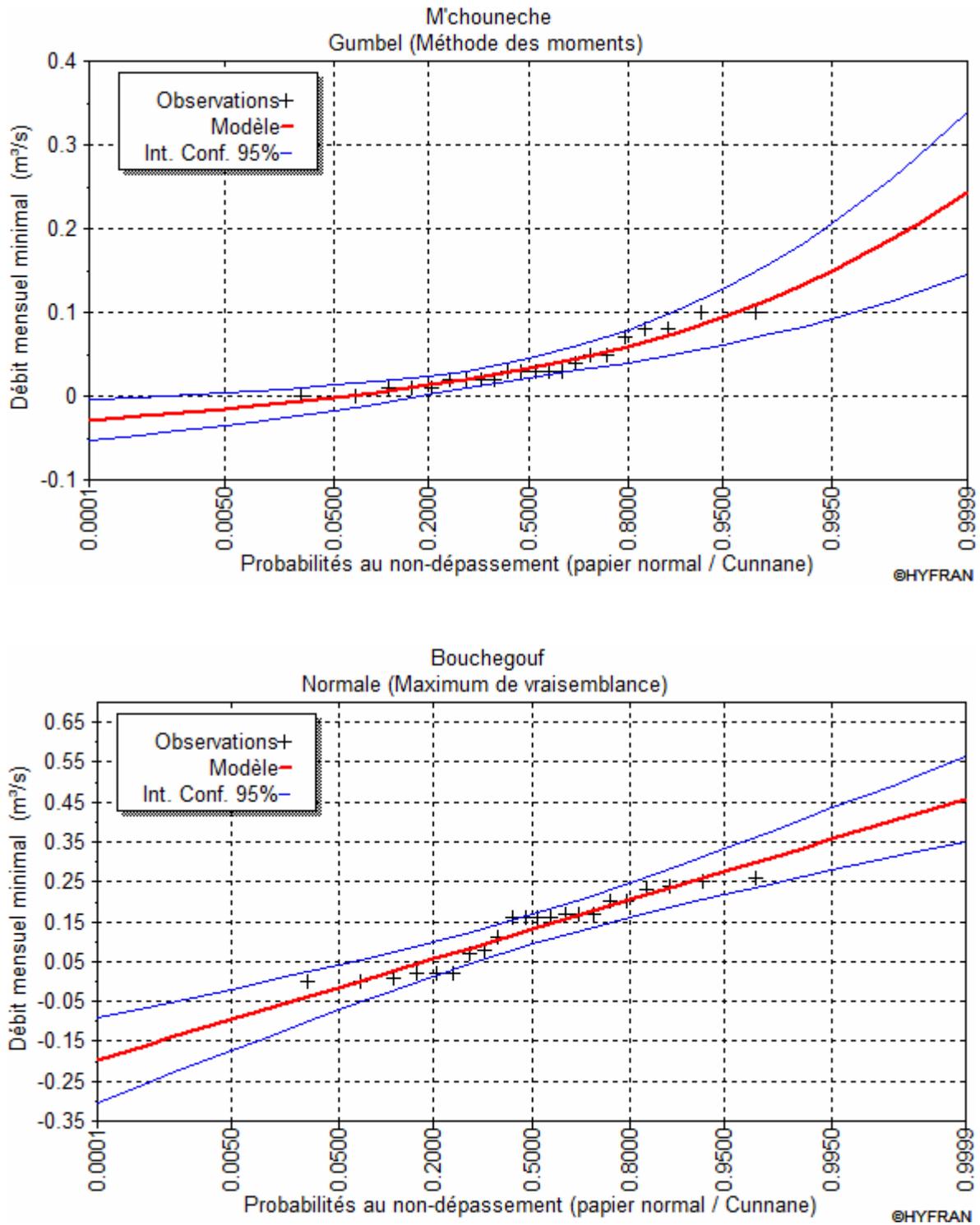


Figure 80 Exemples d'ajustement des débits mensuels minimums à une loi probabiliste

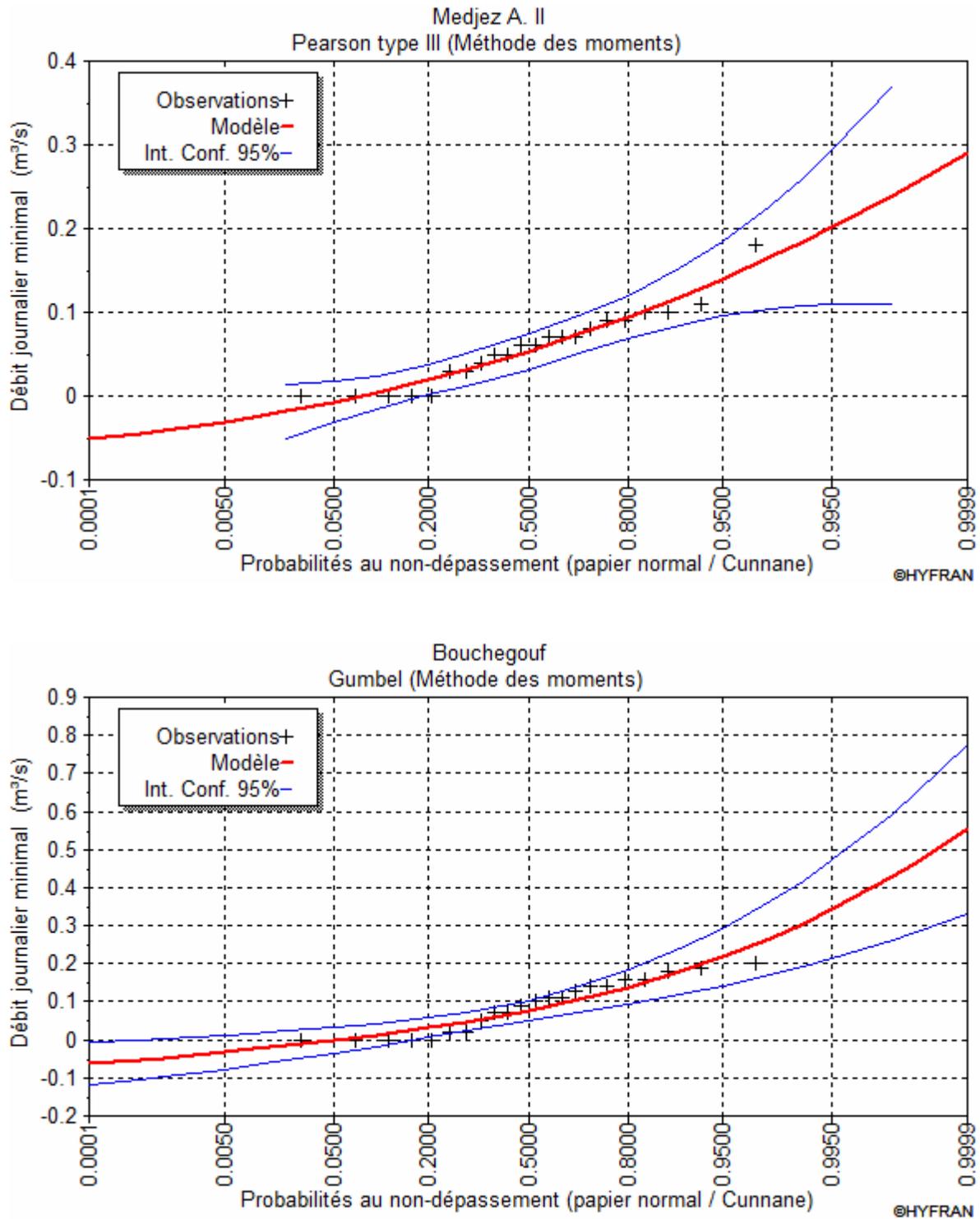


Figure 81 Exemples d'ajustement des débits journaliers minimums à une loi probabiliste

Conclusion

L'analyse des extrêmes de l'écoulement sur les différents oueds équipés de la Seybouse-Aurès, a permis de confirmer le caractère d'irrégularité et d'immodération qu'on a déduit précédemment dans l'analyse du régime. Cette analyse a mis principalement en évidence : la brutalité des crues due principalement à la forte intensité des précipitations, leur mécanisme de propagation et enfin leur répartition fréquentielle. En effet, ces crues, plus spécialement celles du début de l'année hydrologique sur l'Aurès et printanières pour la Seybouse, dont la gravité et la fréquence sont les plus fortes, présentent une ressource potentielle importante. Les barrages érigés dans la région devraient permettre de régulariser cette source. Ainsi, ces crues favorisent de loin le phénomène de transport solide, comme nous aurons occasion de le faire voir dans la troisième partie de notre étude. A l'opposé, les étiages très influencés par les prélèvements et les rejets sont très sévères, et l'écoulement de certains oueds peut s'annuler pendant plusieurs mois successifs.

Conclusion de la deuxième partie.

Le manque de données a été largement ressenti dans la compréhension de certains phénomènes hydrologiques, notamment celles liées aux formes d'écoulement extrême.

Les ressources en eau de surface de la Seybouse-Aurès sont importantes, mais leur répartition est très déséquilibrée. Les nuances morpho-climatiques, fait que l'écoulement varie considérablement. En effet, la région d'étude est partagée entre secteurs "producteurs" d'eau et autres de déperdition.

Les séries homogénéisées de débits mesurés ont permis de faire ressortir la grande étendue de la gamme des apports annuels moyens des oueds : de 3,7 Hm³ écoulés à l'Oued Chéria à 337,4 Hm³ enregistrés à la station de Mirebek contrôlant la Seybouse.

Le volume moyen annuel écoulé sur l'ensemble des oueds étudiés pour la région des Aurès est de 80,6 Hm³. L'apport moyen annuel de ces oueds varie entre 3,7 Hm³ enregistrés à Ain Babouche à 22,5 Hm³ écoulés à Oued El Arab.

Cette disparité des apports s'inscrit dans les contrastes nord-sud caractérisant le contexte physico-climatique et hydrographique variés de la zone d'étude. A ces nuances spatiales, s'ajoute celle des conjonctures de temps.

Par ailleurs, la moyenne annuelle de l'écoulement n'a guère de sens à cause de grande variabilité interannuelle. Le débit moyen subit des fluctuations remarquables, et le module de chaque année dépend du nombre et de l'ampleur des crues, car c'est la forme d'écoulement dominante dans la région.

Le régime d'écoulement est très variable et irrégulier, il est dépendant du régime des pluies et de l'état du milieu physique, qui occultent les saisons. Cependant un certain rythme d'écoulement se reproduit chaque année, plus ou moins fidèlement.

Les barrages érigés dans la région, assurent la maîtrise et la mobilisation de ces eaux de surface et permettront une exploitation optimale, en conciliant l'efficacité économique et l'utilisation rationnelle de ces ressources en eau.

Troisième partie

L'aléa érosion hydrique, les transports solides et la mobilisation des eaux de surface

Chapitre VII Processus de l'érosion hydrique des sols et du transport solide: état de l'art

Sous l'action de l'eau de pluie, de l'eau de la mer (vagues), de la glace, du vent, de l'homme ou simplement de la gravité, l'érosion contribue avec d'autres phénomènes naturels plus ou moins catastrophiques à la modification du paysage (Girard et al. 2005).

L'érosion hydrique, très répandue en Algérie septentrionale, sera plus particulièrement détaillée dans ce chapitre avec les mécanismes qui le génèrent et les facteurs qui y contribuent.

VII-1 Qu'est-ce qu'une érosion hydrique ?

L'érosion hydrique est la désagrégation, le détachement, le transport et/ou le dépôt des particules du sol sous l'action combinée des précipitations et du ruissellement (Morel 1995 in Cravo Rios 2010, Mounirou 2012). Il s'agit donc à proprement parler d'une modification de la structure du sol dans le sens d'une désagrégation.

VII-2 Mécanismes et genèse

L'érosion hydrique résulte de l'ensemble des processus de déplacement du sol sous l'action de l'eau : le détachement (humectation par l'effet de l'impact des gouttes de pluies et ruissellement), le transport (rejaillissement et ruissellement) et la sédimentation (dépôt des particules arrachées entre le lieu d'origine et l'aval en fonction de leur dimension, de leur densité et de la capacité de transport du cours d'eau), (Karambiri et al, 2004).

VII-2-1 Erosion par l'impact (splash)

Le *splash*, processus élémentaire de l'érosion pluviale, est le résultat des forces d'impact des gouttes d'eau sur la surface des versants (Borges, 1993). Cette force d'impact peut fragmenter les agrégats et surtout détacher les particules de leur surface. L'intensité de la mise en mouvement par le « splash » est fonction de la cohésion interne du matériau (Leguédois, 2010), de la vitesse de la chute des gouttes de pluie, de leur dimension, de l'intensité et de la durée de la pluie (Kayser, 1957).

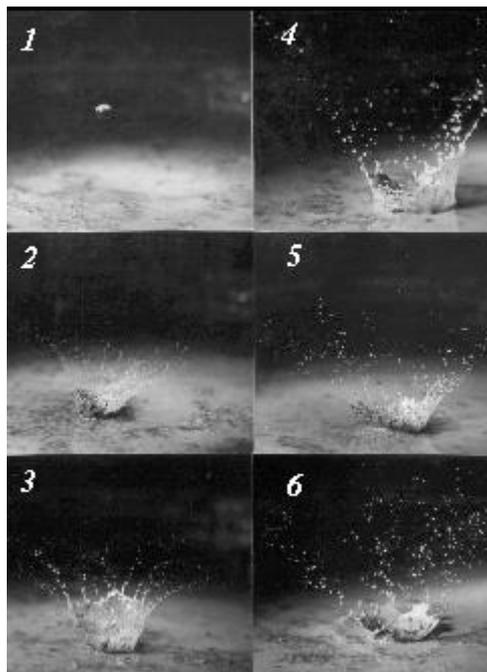


Figure 82 Séquence photographique illustrant le splash (Imam, 1995)

VII-2-2 Erosion par ruissellement

Le ruissellement est rencontré dans deux cas de figures (Ambroise, 1998) : Le premier, appelé ruissellement par dépassement de l'infiltrabilité, est celui d'un ruissellement provoqué par pluie dont l'intensité dépasse la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol (Horton 1933). Le second cas de figure, appelé ruissellement de saturation du sol, correspond à des pluies de faible intensité qui s'abattent sur un sol préalablement imbibé ou après des pluies de longue durée (Cappus 1960, Hewlett et Hibbert 1967, Dunne et Black 1970 in Mounirou 2012). Une fois le ruissellement déclenché sur la parcelle, l'érosion peut prendre différentes formes :

VII-2-2-1 L'érosion en nappe (sheet erosion)

C'est le stade initial de la dégradation des sols par érosion. Elle est liée aux mécanismes de splash et de ruissellement et provoque une usure homogène non perceptible (sans griffes ou rigoles visibles) dans la majorité des cas (Bouanani., 2005). Ce phénomène est observé sur les pentes faibles, où l'eau ne peut pas se concentrer. Il dépend de l'intensité maximale des pluies qui déclenchent le ruissellement, de l'énergie cinétique des pluies qui détachent les particules et de la durée des pluies et/ou l'humidité avant les pluies.

VII-2-2-2 L'érosion linéaire (rill erosion)

Ce type d'érosion intervient à la suite de la concentration de ruissellement permettant à l'écoulement d'acquérir une capacité érosive suffisante pour entraîner les fragments de sol (Leguédois, 2010). Il est exprimé par tous les creusements linéaires qui entaillent la surface du sol suivant diverses formes et dimensions : griffes (quelques centimètres de profondeur), rigoles (incision dans la couche labourée), ravines (incision dépassant la couche labourée), etc.

VII-3 Les principaux agents de l'érosion hydrique en milieu méditerranéen

L'érosion hydrique des sols résulte de l'interaction entre les facteurs statiques reliés à la vulnérabilité des terrains et les facteurs dynamiques qui peuvent être soit naturels (climat et couverture végétale), soit humains (Roose, 1994).

VII-3-1 La lithologie et nature du sol

La lithologie est considérée comme le facteur principal contrôlant la stabilité des versants. Des roches de natures différentes ne présentent pas les mêmes réactions face à l'érosion. Elles sont plus ou moins résistantes en fonction de leur dureté. Leurs structures donnent une indication précieuse sur leur susceptibilité à être arrachées (Bou Kheir 2002).

Selon Demmak (1982) et Heusch (1970), il existe une relation étroite entre le type d'érosion, le transport des sédiments et la lithologie : On trouve les déclivités les plus fortes, des couverts végétaux denses et des transports de sédiments faibles, là où les roches sont résistantes ; Cependant, sur les roches tendres (argile, marne), on découvre généralement, des pentes relativement modérées, des activités anthropiques intenses, une couverture végétale peu dense et des transports abondants de sédiments (Roose et Sabir, 2002).

Ainsi, la nature des sols est un paramètre majeur dans l'érosion puisque l'arrachement des particules dépend directement des propriétés du sol et du sous-sol. La structure et texture des sols, leur perméabilité, la présence de certains éléments chimiques et matières organiques conditionnent l'érodabilité des sols (Benaïcha, 2011). Selon Rayan (1982), la résistance à l'érosion hydrique est plus faible pour les sols peu épais que pour les sols profonds. Ainsi, la saturation des sols superficiels provoque un déplacement de particules (glissement de terrain) même sur pente très faible.

VII-3-2 Le climat

Les facteurs climatiques constituent la cause et la source d'énergie érosive, au sens fondamental du terme, la nature du sol, la végétation et le relief venant seulement la conditionner (Fournier, 1969). Le climat méditerranéen est caractérisé par une nette opposition entre saisons humide et sèche : Une courte période de pluie intense et abondante prépare le sol à l'érosion, et une longue période de sécheresse, l'attaque et le dégrade. En outre, les brusques variations de température (forte amplitude thermique entre les températures diurnes et nocturnes), l'évaporation de l'eau contenue dans la roche, l'action du gel et du dégel, entraînent une désagrégation mécanique des roches qui les prépare au décapage et à l'érosion.

VII-3-3 Les précipitations

Les précipitations atmosphériques constituent l'agent causal et le facteur prépondérant du phénomène d'érosion du sol. La manière dont les pluies tombent, paraît beaucoup plus importante que les quantités précipitées pour décrire l'érosivité des précipitations (Hénensa, 1987). L'érosion la plus importante est due aux averses de très forte intensité et de faible étendue, aux pluies continues de longue durée de moindre intensité et d'extension régionale, et aux périodes de réchauffement brusque accompagnées de précipitations entraînant la fonte rapide de la neige et le dégel du sol (Starkel, 1976).

VII-3-4 Le couvert végétal

La végétation protège le sol de l'impact des gouttes de pluie, elle tente à ralentir la vitesse de l'eau de ruissellement et permette une meilleure infiltration. L'efficacité du couvert végétal contre l'érosion hydrique n'est pas toujours la même (Duchaufour, 1970). Tant que le couvert végétal est continu, les phénomènes érosifs sont modestes malgré l'agressivité des pluies, la fragilité des sols et la déclivité du relief. Sous cultures, les risques d'érosion varient dans une très large mesure en fonction du type de plante, du rythme de croissance et des techniques culturales qui leur sont associées (Roose, 1984).

VII-3-5 L'effet amplificateur des actions anthropiques

L'érosion des sols est un processus naturel, mais qui peut être amplifiés par des actions anthropiques. La modification de l'usage des sols (pratiques culturales, remembrement), l'intensification de l'agriculture, le défrichement des forêts, la dégradation de la végétation par le feu, l'exploitation minière, le pâturage extensif et l'augmentation des surfaces imperméables (routes, urbanisation) sont à l'origine d'une augmentation de l'érosion (Lefrançois 2007, Roose et al. 2012).

VII-4 Le transport solide

Le transport solide est le phénomène qui permet le déplacement d'une masse solide composée d'éléments granulaires (sédiments fins, sables, galets,.....) sous l'action de l'écoulement de l'eau (Oliveros, 1996).

VII-4-1 Régime de transport

Dans une situation hydraulique donnée, le transport solide s'effectue selon trois modes (mécanismes) différents, fonction de la taille et de la densité des particules (Lienou, 2007) :

VII-4-1-1 Le charriage (bed load): c'est le transport des particules grossières qui restent en permanence au contact du fond. Leur mouvement se fait par roulement.

VII-4-1-2 La suspension (suspended load): C'est la fraction de particules qui reste en permanence en suspension dans la masse d'écoulement, sur de longues distances.

VII-4-1-3 la saltation : cette phase est constituée des particules qui, au cours du transport, passent alternativement entre la suspension et le charriage. Leur déplacement se fait par des bonds successifs.

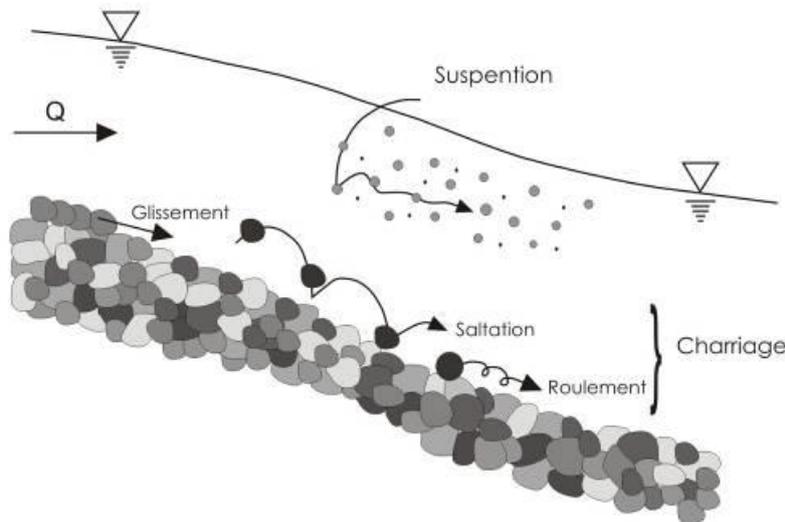


Figure 83 Modes de transport solide (Pinto Martins, 2008)

VII-5 Prédiction de l'érosion hydrique

Les phénomènes d'érosion sont le résultat d'interactions complexes variables dans le temps et l'espace (Zaher, 2010). La quantification de ce phénomène fait appel à de nombreuses méthodes mises au point à travers le monde : bathymétrie, parcelles expérimentales, étude des griffes de l'érosion, débits solides et l'étude des turbides, techniques nucléaires....etc.

En outre, le recours à la modélisation peut constituer un outil d'aide à la décision et d'évaluation des aléas érosifs ou d'élaboration de schémas d'aménagement pour la conservation des sols. L'ensemble des recherches menées sur la prédiction de l'érosion hydrique permettent de retenir deux méthodes principales: la méthodologie quantitative et la méthodologie qualitative. Ces méthodologies varient en fonction des objectifs, des moyens et des échelles de travail.

VII-5-1 Estimation des pertes en terre à l'aide du modèle de Wischmeier

La méthode la plus connue pour la détermination et la zonalité de l'aléa érosion est l'équation universelle de perte en sol «Universal Soil Loss Equation (USLE)» proposée par Wischmeier et Smith (1960,1978).

VII-5-1-1 Principe

Le principe de l'USLE est de comparer l'érosion d'un site quelconque à l'érosion d'une parcelle témoin ayant une longueur de 22 m et une pente de 9% sur jachère nue. Selon ce modèle, la perte moyenne de sol au champ, occasionnée par l'érosion de surface, est une fonction multiplicative tenant compte de l'érosivité des pluies (R) par la résistance du milieu (C : le couvert végétal, K : l'érodibilité du sol, LS : la topographie, P : les pratiques de conservation). Elle s'exprime :

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

- A est le taux annuel de perte en sol en t/ha/an ;
- R est appelé facteur pluie ou indice d'érosivité des pluies en MJ.mm/ha.h.an ; il est obtenu en sommant le produit de l'énergie totale de l'orage (E) par le maximum d'intensité de pluie en 30 minutes (I30);
- K est défini comme un taux de perte en sol par unité de R ; il est exprimé en t.ha.h/ha.MJ.mm et dépend de la granularité, de la quantité de matière organique, de la perméabilité et de la structure du sol. Ce paramètre est déterminé pour une parcelle de 22 m de long, travaillée dans le sens de la pente (9 %), sans apport de matières organiques depuis trois ans. (Roose, 1994) ;
- LS est un facteur qui représente l'inclinaison (S en %) et la longueur de pente (L en m). c'est un rapport des pertes de terre sous des conditions données, aux pertes de terre en un endroit caractérisé par une inclinaison « standard » de 9 % et une longueur de pente de 72,6 pieds. Plus la pente est forte et longue, plus élevé est le risque d'érosion (Stone et Hilborn, 2000).
- C facteur de culture, incluant la régie des cultures et des sols et les pratiques culturales;
- P est un facteur adimensionnel qui tient compte des pratiques purement antiérosives comme par exemple le labour en courbe de niveau ou le buttage, ou le billonnage en courbe de niveau (Payet et al, 2012) ; Il est égal à l'unité pour un sol cultivé dans le sens de la pente (Roose,1994).

VII-5-1-2 Intérêt et limites de l'USLE

Cette équation n'est pas applicable telle quelle dans le bassin méditerranéen (Wischmeier 1976, Cormary et Masson 1964) où l'érosion par ravinement est très répandue (Kouri et al. 1997, Chebbani et Belaidi 1997) et les sols sont riches en argiles gonflantes qui manifestent très rapidement un ravinement important (Roose, 1975). Elle a été testée et vérifiée dans des paysages de pénélaines et de collines ayant des pentes allant de 1 à 20 %. Au-delà de 20% de pente, ce modèle ne s'applique plus, car l'énergie du ruissellement devienne prépondérante (Roose, 2004). De plus, cette équation attribue une grande importance à la déclivité des versants qui n'est pas le facteur essentiel du risque érosif en région méditerranéenne (Roose et al. 1993).

L'USLE a été améliorée, révisée et modifiée sous plusieurs versions : DUSLE, MUSLE, RUSLE et RUSLE-2 (Foster et al. 2002, Renard et al. 1991). Ces dernières qui adoptent les facteurs majeurs affectant l'érosion pluviale, constituent sans conteste une référence incontournable dans le cas des milieux agricoles. Cependant, elles ont été conçues seulement pour prédire le taux moyen annuel d'érosion diffuse ou en rigoles à long terme. L'impact de la variabilité saisonnière de certains facteurs tels que la couverture au sol et l'érosivité des pluies n'est pas considéré.

VII-5-2 Cartographie de l'aléa « érosion des sols »

L'aléa érosion hydrique est la probabilité d'occurrence et d'intensité d'un phénomène naturel intervenant (e.g : les précipitations) dans les processus d'érosion des sols, qui s'ajoute à la sensibilité du territoire pour en caractériser le risque (Clus-Auby, 2003). L'évaluation de cet aléa fait intervenir un grand nombre de facteurs et de relations mathématiques. Le choix d'un modèle se fait en fonction de la problématique propre à chaque utilisateur.

VII-5-2-1 L'analyse multicritère (AMC)

Les méthodes d'analyse multicritère sont des outils d'aide à la décision développés afin de permettre aux décideurs d'effectuer un choix entre plusieurs solutions ou scénarios de gestion alternatifs (Cerdan et al.2006). Elles visent à expliquer un ensemble cohérent de critères pour permettre de comprendre, justifier et transformer les préférences au sein d'un processus de décision. Chacun de ces critères est pondéré d'un coefficient (poids relatif).

La recherche de la solution la plus adéquate possible s'effectue en cinq étapes : 1- Identification de l'objectif global de la démarche et le type de décision ; 2- Dressage de la liste des solutions envisageables ; 3- préparation de la liste des critères à prendre en considération ; 4- Jugement de chacune des solutions aux yeux de chacun des critères ; 5- Agrégation de ces jugements pour désigner la solution qui obtient les meilleures évaluations.

Une analyse multicritère des risques érosifs repose sur la combinaison de différents facteurs d'érosion, permettant de distinguer les différents niveaux d'aléa (très faible, faible, modéré, fort et très fort).

L'approche commence par l'analyse du problème et l'identification des critères à prendre en compte. Ensuite, une phase de standardisation est nécessaire, afin d'assigner une valeur à ces critères. En face de chaque critère standardisé, on affecte une pondération dans le but de hiérarchiser par ordre d'importance les facteurs. Enfin, on interprète la carte qui montre la gradation de l'aléa érosion.

Les méthodes d'analyse multicritère toutes seules sont incapables de tenir compte de tous les aspects des problèmes de décision à référence spatiale. La capacité de gestion et de cartographie des données à référence spatiale par les outils d'AMC, est limitée, (Kêdowidé, 2010). En revanche, le SIG est bien adapté pour répondre à cette lacune.

VII-5-2-2 Apport des SIG à la cartographie de l'érosion hydrique

Un système d'information géographique (SIG) est un ensemble de sous-systèmes permettant d'acquérir, de stocker, de représenter, d'analyser, d'afficher, de générer et de dialoguer avec l'utilisateur (Chakhar, 2006).

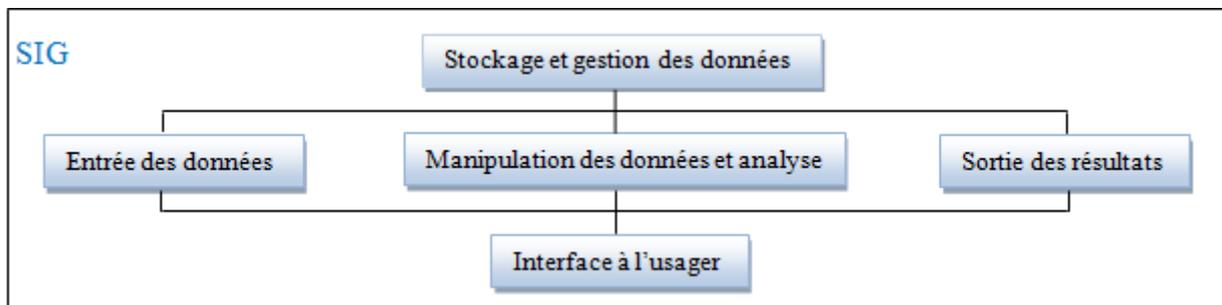


Figure 84 Structure d'un SIG (Malczewski, 1999 : in Chakhar, 2006)

Le SIG constitue à la fois le support d'une modélisation hydrologique et d'une cartographie des résultats et par conséquent il est considéré comme étant un outil de prise de décision par excellence dans le domaine de la gestion des risques liés à l'érosion. Selon Laaribi (1994), Burrough et McDonnell (1998) et Malczewski 1999 : in Chakhar (2006), la caractéristique fondamentale qui distingue les SIG des autres logiciels graphiques et notamment des logiciels de cartographie numérique, est leur capacité d'effectuer des analyses

En effet, le SIG permet de créer, structurer et codifier une base de données, géographiques interactives des facteurs érosifs, afin de localiser les zones susceptibles de produire les sédiments (Sadiki et al., 2004).

VII-5-2-3 Le système SIG-AMC intégré

La base conceptuelle d'une intégration SIG-AMC consiste à exploiter les fonctionnalités du SIG pour préparer les inputs nécessaires à l'application d'une méthode multicritère (Chakhar, 2006), (Figure 85).

Le couplage entre SIG et AMC permette de combler leurs lacunes respectives: la difficulté pour les SIG à prendre en compte la dimension multicritère inhérente des problèmes à caractère décisionnel, et les limites de l'AMC à représenter la dimension spatiale des problèmes (Balzarini et al., 2011).

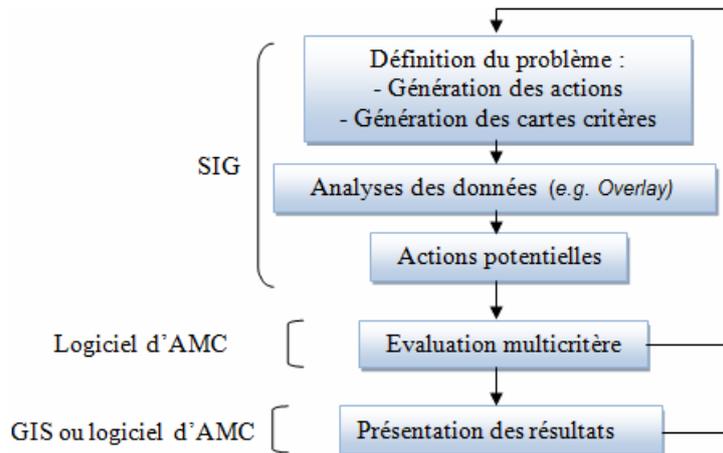


Figure 85 Schéma conceptuel d'intégration SIG-AMC (Chakhar, 2006)

L'approche SIG-AMC peut intervenir dans le domaine des risques et catastrophes liés aux aléas naturels (e.g. aléa érosion et/ou vulnérabilité).

VII-5-2-4 Les intérêts de l'imagerie pour la cartographie de l'érosion

Le mot télédétection (en anglais : remote sensing) désigne l'ensemble des techniques qui permettent d'étudier à distance des objets ou des phénomènes (Comitas, 1988).

Comparativement aux études exécutées sur le terrain, la télédétection offre l'opportunité d'évaluer des problématiques sur de grandes superficies à moindres coûts grâce à l'utilisation des images satellites et des photographies aériennes (Paul-Hus, 2011). Le captage à répétition de ces images donne aussi la possibilité de suivre le phénomène (e.g. érosion) dans le temps (Bou Kheir et al, 2001).

En plus de la détection des caractéristiques de l'érosion et ces conséquences (interprétation visuelle des photos), l'imagerie satellitaire a le potentiel de fournir des données d'entrée aux différents modèles d'érosion.

Selon Dubucq (1986), les différentes utilisations de l'imagerie satellite concernant l'érosion des sols mettent en évidence trois préoccupations majeures: la cartographie, la quantification et le suivi des zones érodées. En effet, l'imagerie satellitaire est utilisée comme sources de données de plusieurs facteurs nécessaires à l'estimation et à la cartographie de l'aléa érosion hydrique : la pente à l'aide des modèles numériques de terrain (MNT), l'occupation des sols et les pratiques antiérosifs.

En outre, la reconnaissance sur photographies aériennes de l'érosion de certains milieux peut constituer une première étape avant l'exploitation de l'imagerie satellitaire. Les manifestations de l'érosion hydrique (érosion en nappe, érosion en griffes, ravinements et dépôts) sont généralement bien décelées sur les photographies aériennes à partir du 1/50.000, (Mills, 1972).

De très nombreux exemples d'application de l'imagerie satellitaire, pour la cartographie de l'aléa érosion et l'évaluation des facteurs qui le contrôlent, ont été publiés au cours des dernières décennies. On peut faire référence aux œuvres de [Dubucq \(1986\)](#), [Toumi \(2013\)](#) et [Vrieling \(2006\)](#).

VII-5-3 Evaluation du transport solide avec les données de mesures

La mesure des transports solides qui s'opère depuis plus d'un siècle à la surface du globe a fait appel, à une panoplie de techniques dont les plus connues sont : les levées bathymétriques et les mesures turbidimétriques.

VII-5-3-1 Méthode basée sur la mesure du taux de remplissage des retenues

Le contrôle de l'envasement des retenues de barrages permet, en intégrant sur une longue période l'accumulation des sédiments, l'estimation globale des sédiments transportés par les cours d'eau, y compris le charriage de fond ([Ghorbel et Claude, 1982](#)). Les levées bathymétriques sont la base de cette estimation.

Les premières traces de tels sondages datent de l'Égypte ancienne (utilisation du plomb de sonde), ([Theberge A E, 1989](#)). Aujourd'hui les mesures sont effectuées en exploitant la réflexion d'ondes acoustiques à l'aide des sondeurs bathymétriques. Ces dispositifs utilisent la mesure du temps écoulé entre l'émission et la réception du signal acoustique et la vitesse de sa propagation, pour déterminer la distance qui sépare l'émetteur (sondeur) du fond. En Général, il existe deux types de sondeurs bathymétriques tels que les sondeurs monofaisceau et les sondeurs multifaisceaux.

Le contrôle du bilan hydraulique du barrage et la turbidité des volumes d'eau déversés ou soutirés, permette de déduire le volume de la vase déposée dans la retenue, sur une période suffisamment longue comprise entre deux relevés successifs ([Demmak, 1982](#)). Les relevés sont transformés en MNT puis exploitées à l'aide d'un SIG. La différence de profondeur pour chaque point du MNT peut ensuite être intégrée sur la surface pour obtenir l'évolution globale du volume de la retenue.

Cette méthode mesure un volume, ce qui rend difficile l'interprétation en ce qui concerne les poids des matériaux transportés dont la densité est mal connue, car difficile à mesurer. On outre, il n'est pas possible d'entreprendre une analyse de la variabilité temporelle du phénomène ([Demmak, 1982](#)).

VII -5-3-2 Méthode basée sur la mesure de la concentration en MES

Les matières en suspension correspondent à des particules de faibles taille et/ou densité, ce qui limite leur chute par gravité ([Lefrançois, 2007](#)). La mesure des matières solides en suspension s'effectue depuis plus d'un siècle à la surface du globe ([Fournier, 1965](#)). Différentes méthodes de mesure rendent compte de la concentration en matières en suspension dont les plus connues sont la mesure par prélèvement ponctuel –pesée, la mesure optique (turbidité), et la Mesure acoustique

A. Mesure par prélèvement ponctuel –pesée

Les concentrations en MES sont définies par un concept méthodologique simple, mais les résultats peuvent toutefois être différents selon l'échantillonnage, le mode opératoire (type de membrane et quantité filtrée) et la nature des matériaux. Il s'agit d'une filtration d'un échantillon d'eau, prélevé manuellement ou à l'aide d'un préleveur automatique, sur membrane filtrante de 0,45 µm de porosité puis une pesée après dessiccation à 105°C ([Dupont, 2001](#)).

Lorsque les concentrations deviennent trop importantes, il est préférable de laisser décanter les MES dans une burette graduée. Ensuite on mesure le volume d'eau de l'échantillon, puis le poids de MES après séchage (Mano, 2008).

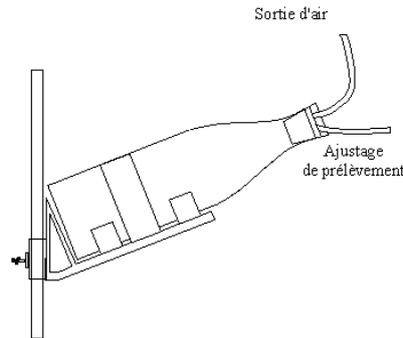


Figure 86 Bouteille de prélèvements fixée sur une perche avec système d'ajustage (Nouvelot, 1993)

La méthode la plus rigoureuse pour obtenir une estimation de la charge solide en suspension consiste à procéder à une intégration de différentes concentrations (C) et des vitesses prélevées (v) en n points de plusieurs verticales V sur la section transversale du cours d'eau (S). Chaque verticale peut être définie par son abscisse (l : distance à l'une des 2 rives), et sa profondeur totale (p). Le débit solide du cours d'eau en kg/s est déterminé comme suit :

$$Q_s = \iint_S C \cdot v \cdot dl \cdot dp$$

La concentration moyenne dans la section est définie par le rapport: $C_m = Q_s / Q_l$, Q_l étant le débit liquide total sur la section (S) : $Q_l = \iint_S v \cdot dS$

B. Mesure optique (turbidité)

La turbidité est définie comme la « réduction de la transparence d'un liquide par la présence de matières non dissoutes », (Ruban et al, 2008). Elle est causée par des matières en suspension composées d'argile, de limon, de matière organique et minérale en fines particules, de plancton et de divers autres organismes microscopiques.

Les mesures de turbidité peuvent être développées au laboratoire sur les prélèvements mais aussi au moyen de sondes qui permettent des mesures in situ. Le principe est de mesurer et interpréter en terme de concentration, la quantité de lumière transmise (transmissométrie), diffusée à 90° (turbidimétrie) et/ou rétrodiffusée par les particules en suspension selon plusieurs directions de mesure (néphélométrie), (Dupont 2001, Mano 2008). La turbidité peut s'échelonner de moins d'une UTN (unités de turbidité néphélométriques) à plus de 1000 UTN.

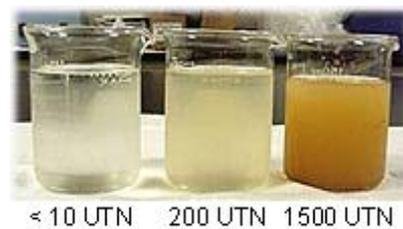


Figure 87 Exemple de turbidités croissantes (source : http://www.discip.ac-caen.fr/svt/pages/college/eau_douce/qualite_eau.php)

Une relation doit être trouvée pour permettre de lier les valeurs de turbidité aux valeurs de concentration en matières en suspension. Cette relation (courbe d'étalonnage) est réalisée en mettant en relation les concentrations en MES mesurées par prélèvement ponctuels et filtration des échantillons avec les valeurs des turbidités enregistrées.

C. Mesure acoustique

La turbidité acoustique est définie par la capacité des particules en suspension à diffuser une onde acoustique (Fischer, 2011). Un transducteur génère un train d'ondes ultrasoniques pulsées dans une eau chargée en MES. Suivant sa concentration en particules, cette eau va réfléchir et émettre des pulsations en direction du même capteur. L'intensité et le temps de retour de l'écho sont fonctions de la concentration et de la granulométrie des MES, ainsi que de la fréquence du train d'onde émis. Le signal qui contient les informations de vitesse et de concentration est conditionné, amplifié, démodulé, échantillonné et fenêtré pour obtenir un profil.

D. Limites des méthodes et incertitudes de mesures

Les incertitudes de mesure résultent de l'effet combiné de l'opérateur, de l'environnement, de l'équipement et de la technique de mesure, et des caractéristiques de la grandeur mesurée (Marechal, 2000).

La mesure par prélèvement ponctuel est une méthode relativement longue à effectuer et nécessite la présence d'un manipulateur. Elle pose de plus des problèmes de représentativité de conservation et d'homogénéisation de l'échantillon prélevé. En effet, les différentes manipulations des échantillons au cours d'une mesure par prélèvement, entraînent une accumulation d'incertitudes de mesure.

La mesure optique se libère de certaines sources d'erreurs par rapport aux méthodes de mesure traditionnelles. Cependant, elle soulève un certain nombre de difficultés quant à l'utilisation de la turbidimétrie pour mesurer le taux de MES (Mathieu, 2000). Si la mesure de turbidité ne nécessite pas de prélèvement, elle pose de nombreuses difficultés pratiques : encrassement des capteurs, dérive de l'électronique, perturbation des mesures due à la présence de bulles d'air (Hach et al. 1982, Harremöes et al. 1993 in : Marechal 2000). On outre, la calibration de la sonde reste indispensable afin de caler une relation concentration-turbidité selon les conditions d'utilisation de celle-ci (Mano, 2008).

En revanche, les systèmes de mesure acoustique est beaucoup moins sensible à l'encrassement que les capteurs optiques. Cependant, la valeur de la concentration mesurée est une valeur relative par rapport à la concentration en surface, qu'il faut connaître indépendamment. En plus des limitations inhérentes à la technique de mesure, notamment l'impossibilité de mesurer dans une zone proche du capteur et à proximité du fond, ce système nécessite une calibration très précise, souvent difficile à obtenir, même en laboratoire.

E. Extrapolation des mesures : corrélation et régression

L'insuffisance des mesures du transport solide (concentration en MES), nous amène souvent à rechercher des modèles statistiques régressifs pour remédier à ce problème. Le but d'un modèle régressif est d'expliquer le mieux possible la variabilité de la variable dépendante (y) à l'aide d'une ou plusieurs variables indépendantes (x). Dans le cas de la régression linéaire simple, le modèle ne contient qu'une seule variable indépendante. Ci-dessous, une présentation succincte des modèles les plus connus :

- Le modèle linéaire : $(y = ax + b)$

Il exprime un rapport d'évolution proportionnel entre deux variables x et y dans un rapport de 1 à a.

- Le modèle puissance : $(y = b \cdot x^a)$

Il exprime une dépendance donnant graphiquement une courbe convexe lorsque $a < 10$, concave lorsque $a > 1$ ou en i quand $a < 0$. L'exposant (a) indique de combien varie y en % lorsque x augmente de 1%.

- Le modèle exponentiel : $(y = b \cdot e^{ax}$ ou $y = b \cdot 10^{ax})$

Il s'exprime par une courbe en J ($a > 1$) ou en i ($a < 0$) et représente une évolution (croissance ou décroissance) à un taux constant ou en accélération.

- Le modèle polynomial : $(y = a_1x^n + a_2x^{n-1} + \dots + b)$

Il s'exprime par une courbe complexe avec plusieurs creux et bosses. Les plus simples étant le modèle parabolique, cubique et quadratique.

Le choix du type de courbe (modèle) doit s'appuyer sur certaines règles-étapes: la connaissance théorique préalable du phénomène étudié, la connaissance du terrain, la représentation graphique du nuage de points permettant de visualiser une distribution (indépendance, liaison fonctionnelle ou dépendance), enfin l'intensité de la corrélation (Belhedi, 2010).

Pour être significatif, le coefficient de corrélation calculé doit être supérieur ou égal au seuil indiqué par la table de Bravais Pearson. Cette table donne les valeurs théoriques à atteindre ou à dépasser en fonction du nombre d'observations (n) ou du degré de liberté (v) en ligne, le risque d'erreur α ou le seuil de probabilité $(1 - \alpha)$ en colonne. Le nombre de degré de libertés $v = n - p - 1$ où n: le nombre d'observations, p: le nombre de variables explicatives. Dans le cas de la corrélation simple on a $v = n - 2$, (Belhedi, 2010).

F. Quantification des apports solides : techniques d'interpolation et d'extrapolation

En l'absence des données détaillées sur les concentrations des sédiments en suspension, plusieurs méthodes indirectes, basées sur les techniques d'interpolation et d'extrapolation, ont été adoptées.

Selon Walling et Webb (1981), les procédures fréquemment utilisées, pour calculer la charge de sédiments en suspension, à partir des données de débits disponibles, à pas de temps fin, et pour une période de temps déterminé, sont :

- Le produit de la concentration moyenne de n échantillons et du débit moyen des mêmes échantillons multiplié par un coefficient tenant compte du temps :

$$As = k \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{n} \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{n} \right)$$

- La somme de la moyenne des produits des couples (Q, C) de chaque intervalle multipliée par un coefficient tenant compte du temps.

$$As = k \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i Q_i}{n} \right)$$

- le produit d'un facteur temps, le débit moyen et le rapport des concentrations par le nombre de mesures.

$$As = k \bar{Q}_r \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{n} \right)$$

- la combinaison entre la concentration moyenne pondérée par le débit multipliée par le débit liquide moyen.

$$As = \frac{k \sum_{i=1}^n (C_i Q_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i} \cdot \overline{Q_r}$$

- la somme des produits de la concentration d'échantillon et le débit moyen pour un intervalle.

$$As = k \sum_{i=1}^n (C_i \overline{Q_{pi}})$$

- la somme sur 12 mois des produits entre les concentrations moyennes mensuelles et les débits moyens mensuels.

$$As = k \sum_{m=1}^{12} (\overline{C_m} \cdot \overline{Q_m})$$

C_i : Concentration instantanée mesurée ; Q_i : Débit instantané mesuré ; $\overline{Q_r}$: Débit moyen durant la période de mesure ; $\overline{Q_{pi}}$: Débit moyen pour l'intervalle entre les mesures ; $\overline{C_m}$: Concentration moyenne mensuelle ; $\overline{Q_m}$: Débit moyen mensuel ; k : Facteur de conversion tenant compte la période de mesure ; n : Nombre de mesures.

La reconstitution des valeurs manquantes et l'extension des séries d'observation, s'appuie le plus souvent sur des relations statistiques entre la concentration (ou le débit solide) et le débit liquide sous la forme : $C=f(Q)$ ou $QS=f(Q)$. Ces paramètres, sont dans une grande mesure étroitement liés entre eux. Walling et al. (1981), Ferguson (1987) et Hasnain (1996) in : Achite et Ouillon (2007), ont mentionné que la concentration des sédiments en suspension (C) et le débit liquide (Q) évoluent suivant un modèle puissance ($C = aQ^b$).

Par ailleurs,, une relation a été proposée dès 1895 par Kennedy et communément appelée courbe du transport solide (Cambell et al. 1940, Crawford 1991, Restrepo et Kjerfve 2000), elle lie le débit solide au débit liquide ($Q_s = aQ^b$).

les paramètres (a) et (b), généralement estimés par régression linéaire, sont en fonction des caractéristiques physiques, climatiques et hydrologiques des bassins versants, et des conditions hydrauliques de l'écoulement dans les cours d'eau (Leopold et Maddock 1953, Dawdy 1967, Fleming 1969, Bogardi 1974, Vanoni 1977, Wood 1977, Walling et Webb 1981, Ferguson 1986, Battala et Sala 1992, Linsley et Franzini 1992 in : Benkhaled et Remini , 2003).

VII-5-3-3 La mesure des transports de fond

On trouve pour le charriage les mêmes principes de mesures que pour les suspensions : la mesure par échantillons, la mesure globale et la mesure en continu.

Le piégeage des sédiments est la manière la plus simple. Elle consiste à mesurer les dépôts sédimentaires dans une fosse à sédiments ou une plage de dépôts avec un barrage filtrant en travers du lit. La méthode permet de connaître les apports solides en un point, leur volume et leur granulométrie. Cependant elle devient plus longue et laborieuse lorsque la charge en sédiments devient plus grande (Fao, 1993).

L'évaluation du charriage au moyen de nasses est de loin l'idée la plus ancienne. Il existe différents modèles de nasses plus ou moins performants hydrauliquement. Citons à titre d'exemple la nasse Helley-Smith, USA (figure 88) et la nasse BTMA (Bed load Transport Meter Arnhem) de conception hollandaise, utilisées toutes deux pour les charriages de sables (Granier, 1983).



Figure 88 Nasse Type Helley-Smith (Camenen et al, 2012)

Le principe de mesure est simple : la nasse est immergée, laissée sur le fond du lit pendant un temps (t) très variable, puis remontée; les matériaux prélevés sont séchés et pesés (poids p). Le débit solide dans l'emprise de la nasse est donné simplement par ($Q = p/t$). La mesure peut être répétée plusieurs fois en chaque point. Mais, elle est impraticable pour des vitesses de courant supérieures à 3 ou 4 m/s.

Une autre technique basée sur l'utilisation de traceurs colorés ou radioactifs, et permette d'effectuer les mesures lors des crues violentes. Elle trouvera son application exclusivement dans l'étude du charriage des cours d'eau à fonds caillouteux ou graveleux. Avant la crue à un endroit précis du lit, des graviers ou galets marqués de diamètres différents sont injectés à espacements réguliers sur toute la largeur de la section. Leur marquage se fait soit à la peinture, soit à l'aide d'une matière fluorescente, soit par irradiation. Après le passage de la crue leur position est repérée visuellement pour les traceurs colorés et à l'aide d'une sonde de large emprise pour les traceurs radioactifs. Cependant, Cette méthode ne peut s'appliquer que sous forme de campagne et les sédiments doivent représenter les différentes classes granulométriques présentées dans le cours d'eau (Granier, 1983).

La technique la plus récente est basée sur l'enregistrement en continu par hydrophones (capteurs de pression acoustique) et l'analyse du bruit émis par les matériaux en mouvement au fond du lit (Belleudy, 2010). Elle fournit comme indications et en continu la vitesse du transport et le débit solide.

Par ailleurs, compte tenu de la complexité de la physique mise en jeu, il est courant d'étudier expérimentalement le charriage en canal et transcrire les résultats obtenus en laboratoire vers le milieu naturel. Toutefois la procédure s'avère délicate à mettre en œuvre (Demmak 1982, Mano 2008).

VII -6 Ampleur de l'érosion en zone méditerranéenne

La zone méditerranéenne a la réputation d'être sujet à des risques érosifs très élevés (Henin et Gobillot 1950, Auzet 1987, De Ploey 1989, Hudson 1987, Laouina 1998). Une superficie de 202.000 km² présente un risque élevé d'érosion dans les pays méditerranéens de l'Union européenne (Giordano et Marchisio, 1991). En Turquie, 22,3% des terres sont gravement érodées (FAO, 1990). En Syrie, les pertes en terre par érosion hydrique varient de 50 à 200 tonnes/ha/an et de 50 à 70 tonnes/ha/an dans les montagnes du Liban (Bou Kheir et al., 2001).

Dans le Maghreb, ce phénomène est caractéristique dont les potentialités en eau et en sol sont sérieusement menacées (Heusch et Millies-lacrois 1971, Demmak 1982, Megnounif et al. 2003). 40 % des terres sont menacées par l'érosion au Maroc (Chevalier et al. 1995, Boussema 1996) et 45 % en Tunisie (FAO 1990, Laajili et al. 1998).

Avec une érosion spécifique moyenne annuelle variant entre 2000 et 4000 t/km², l'Algérie se classe parmi les pays les plus érodables du monde (Demmak, 1982). On estime à plus de 20 millions d'hectares les terres touchées par l'érosion, particulièrement dans les zones montagneuses où sont implantés plus de 90% des barrages et où se concentrent environ 20 millions d'habitants (Mazour et Roose, 2002).

Dans le Nord-est algérien, notamment notre région d'étude, une partie importante des terres est affectée par l'érosion (Berkane et Yahiaou, 2007). Les sédiments transportés par les eaux des oueds ont contribué à réduire considérablement la capacité de stockage des anciens barrages Foum El Gueiss et Foum El Guerza. Ces ouvrages sont comblés à plus de 70% de leur capacité totale (Remini et Hallouche 2005). Ce phénomène érosif peut affecter significativement la durée de vie des nouveaux barrages érigés dans la région, en l'absence d'aménagement anti-érosif.

VII-7 Quelques données chiffrées sur l'érosion et le transport solide en Algérie

Les chiffres exposés ci-dessous illustrent l'ampleur du phénomène érosif en Algérie et ces conséquences :

- le taux d'érosion spécifique atteint en Algérie, les valeurs les plus élevées d'Afrique du Nord, il dépasse 2000 t/km².an sur la plupart des bassins versants de l'Atlas Télien (Rhiau, Sly, Fodda, Mazafran, Isser, Soummam...). Ce taux atteint 4000 t/km².an sur la chaîne côtière de Dahra, et 5000 t/km².an sur le bassin très dégradé de l'Oued Agrioum (Demmak 1982).
- Les concentrations des sédiments sont très élevées suivant les cours d'eau, et l'importance des crues. Elles varient de 50 à 150 g/l et peuvent atteindre ou même dépasser les 500 voire 600 g/l (Remini W., Remini B., 2003). Selon Demmak (1982), une valeur de 674 g/l a été enregistrée sur le Leham à Rocate Sud (Hodna).
- L'érosion par ravinement est la forme d'érosion la plus grave en Algérie, elle peut représenter à elle seule plus de 50 % de l'apport solide annuel (Touaibia et al., 2010).
- Plus de 20 millions d'hectares de terres sont touchés par l'érosion; particulièrement dans les zones montagneuses où sont implantés plus de 90% des barrages (Mazour. et Roose E. 2002).
- L'érosion hydrique affecte 28 % des terres de l'Algérie du Nord (Touaibia et al., 2010). La partie ouest de l'Algérie est la plus érodée, où l'érosion touche 47 % de l'ensemble des terres, suivie du Centre (27%) et de l'Est (26%), (Achite Met al., 2006).
- 85% des sols cultivables, soit 6 millions d'hectares, sont situés dans les zones les plus sensibles à l'érosion, (Chebbani et al., 1999).
- On estime que 40.000 ha de sols cultivables sont perdus chaque année (Lekfir et al., 2006)
- L'érosion touche 45% des zones telliennes soit 12 millions d'hectares (Chebbani et al., 1999). Les terres à fortes pentes sont les plus touchées (Touaibia et al., 2010).

- Une quantité moyenne de 120 millions de tonnes de sédiments, arrachée aux bassins exoréiques, est rejetée en Méditerranée chaque année. Tandis que, le réseau endoréique qui draine les hautes plaines transporte annuellement quelques 20 millions de tonnes de sédiments vers les lacs salés (Demmak 1982).

- la réduction des potentialités hydrauliques par suite de l'envasement est estimée en moyenne à près de 20 millions de m³/an (Errih et al, 1992 ; Errih et Bendahou, 1997), ce qui réduit de 0,3 % par an les capacités de stockage de l'eau estimées à 6,2 milliards de m³ (Fandi et al., 2009)

- un cumul de dépôt de vase de plus de 560. 10⁶ m³ dans plus de 110 barrages algériens en 1995, soit un taux de comblement de 12,5 % (Bouchelkia et Remini 2003). Le tableau 39 illustre quelques chiffres qui montrent clairement la gravité de la situation.

VII-8 Énoncé de quelques études faites sur l'érosion et le transport solide en Algérie

L'ampleur de l'érosion hydrique en Algérie a suscité l'intérêt d'un grand nombre de chercheurs qui ont tenté d'expliquer les mécanismes complexes de ce phénomène et de quantifier les volumes des sédiments transportés et déposés dans les retenues des barrages. Ces travaux constitués sans conteste une référence incontournable et présente des informations significatives sur l'érosion des bassins versants algériens et les flux des matières transportées par les réseaux hydrographiques drainant ces bassins.

Les premières séries de mesures de la concentration en matières en suspension (1946-1957) ont fait l'objet de traitement et de mise en forme par Medinger (1960). L'auteur a estimé les débits solides et les concentrations moyennes et maximales de 30 stations observées.

Dans cette même année et après homogénéisation, comblement des lacunes et extension des séries hydrométriques de 32 bassins d'Algérie et 9 bassins de Tunisie, Tixeront (1960) a tenté d'estimer la charge solide en mettant en évidence l'effet relatif des différents facteurs érosifs entrant en jeu.

Capolini, entre 1965 et 1969 a étudié géo-morphologiquement le processus d'érosion actuelle qui conditionne les transports solides des principaux affluents du Chelif. L'auteur a proposé une quantification des débits solides en relation avec la lithologie et a suggéré une relation statistique érosion spécifique-coefficient de torrentialité et une méthode de cartographie de la sensibilité à l'érosion en fonction de la torrentialité de l'écoulement (Demmak 1982).

L'étude de SOGETAH/SOGREAH (1969) sur « les aires d'irrigation », basée sur les données d'observation de 9 barrages et 18 stations hydrométriques, a définie l'importance des transports solides des oueds en fonction du ruissellement annuel de crue et de la perméabilité des bassins versants. Les résultats sont représentés sous forme d'abaque donnant des courbes de dégradation spécifique pour 5 catégories de bassins en fonction de la perméabilité.

Tableau 39 Mesures Bathymétrique et ensablement de quelques barrages algériens

Barrage	Oued	Année de mise en eau	Capacité initiale (Hm ³)	Mesures bathymétriques				Observations	Envas. annuel (Hm ³)	Taux de comblement estimé en 2014 (%)
				(1)		(2)				
				Cap. (Hm ³)	Année	Cap. (Hm ³)	Année			
F. El Guerza	El Abiod	1950	47	31,9	1975	26,5	1986	- Le Barrage est vidé en 1951, pour cause de fuites, puis remis en eau en 1960 - Grâce à la vanne de fond 600 000 m ³ de vase ont été évacuées de 1989 jusqu'à 1993. -La vanne de fond obturée durant la période (1981-1989) - Une opération de Dragage a commencée en 2005, volume à dévaser (10 Hm ³)	0,49	73
Fodda	Fodda	1932	228	143,9	1974	132,7	1986	- le système de soutirage des courants de densité a permis d'évacuer de 1961 jusqu'à 1993 environ 12 M de m ³ de vase. - La vanne de fond se trouve, actuellement, à 40 m de vase.	0,93	53
Ghrib	Cheliff	1939	280	177,8	1974	165,6	1986		1,02	51
Zardezas	Safsaf	1948/77	31	-	-	20,1	1985	- Surélévation de 12,5 m(1977), - La vanne de fond est obturée durant les années 90. - Une opération de dragage (8,6 Hm ³) est effectuée durant la période (1993-2005)	1,09	100
ksob	ksob	1939//77	11.6	-	-	26,4	1986	- Surélévation de 15 m (1977) - Une opération de Dragage a débutée en 2005, volume à dévaser (4 Hm ³)	0,42	53
El Hamiz	El Arbatach	1879/35	23	17,9	1972	16,4	1986	- Surélévation de 7 m (1883). - Surélévation (1935). Dragage, 26 mois durant la période (1968 - 1971), volume de vase dragée 3,77 Hm ³	0,11	42
Bouhanifia	El Hamam	1948	73	53,5	1973	51,4	1985	- Surélévation (1935)	0,18	37
Ighil Emda	Agrioun	1954	155	119,9	1974	-	-	- Près de 50 % de vases ont été soutirés grâce au système de soutirage à savoir sur 88.773.564 m ³ d'apports solides jusqu'à l'année 1984	1,76	100
F. El Gueiss	El Gueiss	1939	3,4	-	-	1,6	1986	- Surélévation (1969) - Surélévation 1,1 m (2004): hauteur nécessaire pour dévaser la retenue à l'aide d'une drague flottante.	0,04	84
Bakhadda	haute Mina	1936	56	45,4	1974	45,1	1986	- Surélévation (1958)	0,02	21
Sarno	Sarno	1953	22	21,7	1974	17,6	1986		0,34	63

Sources : Demmak (1982), Nemouchi, (1998), Lahlou (1996), Remini et Hallouche (2005)

Après avoir étudié un cas particulier (le bassin de d'Oued Allalah), [Demmak \(1982\)](#) a généralisé les résultats de l'analyse des transports solides sur 30 bassins de l'Algérie septentrionale. Le but recherché est d'élaborer des relations empiriques entre apports solides spécifiques et paramètres physico-climatiques des bassins (lithologie, pluviométrie, coefficient de torrentialité). L'étude a permis d'aborder le problème de transports solides à l'échelle de l'événement, d'étudier séparément les variables "concentration en matières solides en suspension" et "ruissellement liquide" et d'associer une étude cartographique des formes d'érosion et des facteurs géomorphologiques à l'analyse hydrologique.

L'approche adoptée par [Touaibia \(2000\)](#), pour la Mina, consiste d'une part à rechercher un modèle régressif (débit solide-débit liquide) pour les différentes formes d'érosion et d'autres part à quantifier l'érosion à plusieurs échelles spatiales, au sens de la méthode de Wischmeir, de la simulation des pluies sur 1 et 87 m², de micro-bassins expérimentaux, de retenues collinaires, de stations hydrométriques et d'un barrage en exploitation. Touaibia a conclu qu'il est impossible d'extrapoler à différentes échelles, vu la complexité des facteurs mis en jeu.

[Bouanani \(2004\)](#) a mené une analyse hydrologique et de transport des sédiments de la Tafna sur une période de 30 ans. Il a procédé à une analyse détaillée des relations entre les débits liquides et les débits solides instantanés puis saisonniers et celles des concentrations en fonction des débits de crue par l'utilisation des courbes en hystérésis, au niveau de quatre sous bassins (Oued Sebdou, Mouillah, Isser et Sikkak).

D'autres études ont été menées tout récemment par plusieurs équipes de chercheurs qui ont tenté d'améliorer la compréhension du phénomène d'érosion et des flux des matières solides transportées par les cours d'eau des bassins algériens. Ci-après à titre d'exemple, une liste de quelques travaux réalisés entre 1993 et 2014 (tableau 40).

VII-9 Conclusion et conséquences pour le choix d'une démarche

L'érosion hydrique des sols ne correspond pas à une quantité facilement mesurable. Il est a priori plus facile d'estimer cette quantité qui dépend de plusieurs facteurs intrinsèques et extrinsèques. Une approche qui considère certaines grandeurs facilement mesurables liées à ce phénomène permet une quantification des pertes en sol par l'érosion hydrique ainsi qu'une localisation spatiale des zones de grande priorité d'intervention (zone d'aléa).

Par conséquent, nous avons pensé à la manière de combiner deux aspects d'études de l'érosion hydrique, étroitement liés entre eux. Le premier vise à établir des cartes d'aléa pour les bassins de la région d'étude en utilisant le système de l'information géographique (SIG) en tant qu'outil d'analyse spatiale et d'aide à la décision (Chapitre VIII). Le second aspect s'intéresse à la quantification des sédiments transportés par les oueds qui drainent ces bassins à travers la mise en évidence de relations statistiques entre les débits liquides et solides mesurés en aval (Chapitre IX).

Tableau 40 Travaux liés à l'érosion et au transport solide en Algérie

Référence	Oued, bassin ou région	Période	Contribution
Roose et al., 1993	Ouzera/Médéa, Ain Fares/Mskara, Tlemcen, et O. Mina, (Algérie NW)	1986-1995	Synthèse des mesures de ruissellement, d'érosion en nappe et de production de biomasse sur un réseau de 50 parcelles réparties dans quatre régions algériennes montagneuses.
Bourouba 1994a	O. Reboa, O. Lougmène, O. Leham (Algérie NE)	1975-1985	Quantification et analyse des variations des écoulements solides en relation avec les débits liquides
Bourouba 1994b	O. Seybouse, O. Djendjen, (Algérie NE)	1972-1976	Analyse comparative du transport solide de deux bassins-versants présentant des comportements hydrologiques différents et des bilans d'érosion dissemblables.
Bourouba, 1997	O. Reboa, O. Boudouaou, (Algérie NE)	1972-1982	Etude comparative de transports solides en suspension, précipitations et débits
Bourouba, 1998	O. Medjerda supérieur (Algérie NE)	1975-1985	Analyse graphique des variations des transports solides et leurs relations avec les précipitations et les débits.
Remini, Avenard, 1998	F. El Guerza : O. El Abiod (Algérie NE)	1952-1986	Analyse de l'évolution de l'envasement et délimitation de zones de dépôts dans la retenue.
Chebbani et al., 1999	O. Isser (Algérie NW)	1992-1993	Analyse de l'érosion et du ruissellement à différentes échelles spatiales en reliant les données expérimentales aux caractéristiques hydro morphologiques et analytiques des sols.
Touaïbia et al. 1999	O. Mina	1989-1992	Quantification de l'érosion hydrique au sens de la méthode Wischmeier, de la simulation de pluies sur 1et 87m, de micro-bassins expérimentaux, de retenues collinaires, et d'un barrage en exploitation.
Terfous et al., 2001	O. Mouilah, (Algérie NW)	1977-1993	Evaluation de la variabilité temporelle du transport solide en suspension.
Bouraba, 2002	Algérie septentrionale	1972-1979	Etude des variations spatio-temporelles des transports solides en suspension et leurs relations avec les précipitations et l'écoulement
Talbi et al., 2002	O. Isser (Algérie NW)	-	quantification de l'érosion hydrique et cartographie de la sensibilité au sol du phénomène érosif.
Benkhaled et Remini, 2003	Wahrane (Algérie NW)	1972-1989	Analyse qualitative de la constante a et de l'exposant b de la loi puissance $Q_s=aQ^b$
Bouchelkia et Remini (2003)	O. Chellif, (Algérie NW)	1972-1996	Evaluation du transport solide en suspension à partir des débits liquides et des concentrations.
Kouidri, 2003.	Medéa	-	l'évolution du fonctionnement de ravine
Megnounif et al., 2003	Haute-Tafna (Algérie NW)	1988-1993	Analyse saisonnière de la charge solide en suspension
Achite et Meddi (2004)	O. Haddad (Algérie NW)	1973-1995	Evaluation du transport solide en suspension à partir des débits liquides et des concentrations.
Bouchetata, Bouchetata , 2006	O. Fergoug	-	localisation des zones ravinnées par croisement d'une série de cartes thématiques.
Lekfir et al., 2006	B. Beni Amrane (Algérie NW)	1972, 1986-1989	Estimation des flux de matières en suspension au niveau d'un barrage basée sur la logique floue.
Berkane, Yahiaou, 2007	Aurès : O. El Arab, EL Hai et EL AbioD (Algérie NE)	2001-2003	Etude in situ (parcelle expérimentale) et quantification de l'érosion hydrique potentielle.
Fandi et al., 2009	O. Sikkak (Algérie NW)	1972-1989	Analyse du phénomène des exportations de matières solides en suspensions et estimation de l'envasement.
Khanchoul et al. 2009	O. Mellah (Algérie NE)	1975-1999	Modélisation statistique du transport solide en suspension.
Louamri , 2010	Bouhamdane (Algérie NE)	1968-1987 1991-2005	Quantification des transports solides en suspension et de l'envasement
Touaibia B, 2010	Algérie septentrionale	-	synthèse des résultats obtenus dans le contexte algérien en zone semi-aride, sur le phénomène érosifs
Benchaïba et Gaagai, 2012	O. Bouhamdane (Algérie NE)	1970-1987	Analyse du phénomène des exportations de matières solides en suspension et quantification du flux des sédiments susceptibles de se déposer dans le barrage
Hasbaïa et al., 2012	O. Elham (Algérie Centre)	1968-1989	Evaluation du flux annuel des matières en suspension
Khanchoul et al. 2012	Cherf (Algérie NE)	1975-1994	Evaluation du transport solide en suspension en utilisant un modèle régressif de type puissance
Meddi, 2013.	(Algérie centre et NW)	1930-2007	Etude comparative de l'évolution temporelle des précipitations, de la charge solide et de l'indice d'érosivité de Fournier modifié.
Mostephaoui et al. 2013	El Hamel: Boussaâda (Algérie Centre)	-	cartographie des zones à risques d'érosion par SIG on servant du modèle USLE
Salhi et al. 2013	Algérois, Hodna, Soummam (Algérie centre)	-	Prédiction de l'érosion spécifique par les réseaux de neurones et la régression multiple
Ramoul et al., 2014	O. El Klab (Algérie NE)	-	cartographie la sensibilité multifactorielle à l'érosion hydrique en basant sur la télédétection et le SIG

Chapitre VIII Cartographie et analyse multicritère de l'aléa d'érosion hydrique

L'érosion hydrique est l'un des phénomènes de dégradation qui affecte de larges surfaces, en particulier dans les zones intertropicales et méditerranéennes (Barthès et Roose, 2001). Les pertes en terres par érosion, leur transport par les eaux courantes, puis leur sédimentation constituent des enjeux socio-économiques importants : A l'amont, la dégradation des sols et des surfaces cultivées nécessite de coûteux travaux de protection et de réhabilitation ; Dans la phase de transit, les matières en suspension sont notamment responsables du transport et de l'accumulation de nutriments et de contaminants (Walling et Kane 1982, Meade et Parker 1984, Desborbes et al. 1986) ; Dans les zones de dépôts, les accumulations de sédiments engendrent une diminution de la durée de vie des aménagements et posent le délicat problème de leur gestion (Poirel et al., 1994).

L'objectif de ce chapitre est de présenter l'ampleur de l'érosion hydrique dans une région représentative du Nord-est Algérien, et de mettre au point un outil pratique de prédiction de l'aléa érosion. L'étude permettra aussi, de définir des ordres de priorités en matière d'aménagements antiérosifs, et par conséquent la réduction du taux d'envasement des barrages et l'augmentation des potentialités de mobilisation des eaux dans la région.

VIII -1 Données utilisées

Notre approche a nécessité l'acquisition de cinquante-neuf (59) cartes topographiques au 1/50.000 avec une équidistance des courbes de niveau de 20 m, pour l'extraction du modèle numérique de terrain (MNT) des bassins.

L'information sur la lithologie est tirée de vingt-et-un (21) cartes géologiques au 1/50.000 qui couvrent partiellement la région d'étude, de la carte géologique des Aurès au 1/200.000 élaborée par Laffitte (1939) et de la 2^{ème} édition de la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000 (Laffitte et Deleau 1952).

Les données pédologiques que l'on possède sont assez maigres et résultent pour leur grande partie d'une « carte des sols de l'Algérie » au 1/500 000, élaborée il y a plus d'un demi-siècle par Durand (1954).

Pour une connaissance spatiale de l'occupation du sol, notre démarche repose sur l'utilisation d'un assemblage des images satellitaires LANDSAT TM et ETM+ de la période 1987 à 2002, des photographies aériennes au 1/20.000 (missions 2002-2004) et d'un plan de l'environnement forêts au 1/200.000 (BNEDER, 1983) couvrant la région des Aurès établi en 1983.

Ce travail s'est en outre appuyé sur les données de précipitations mensuelles relatives à la période 1970-2004 de 73 postes pluviométriques couvrant la région d'étude et sur une série d'observation de 22 ans (1972 -1994) comportant les valeurs de hauteurs d'eau, de débit liquide instantané, de débit liquide moyen journalier et de concentration en matière en suspension, enregistrées aux station hydrométriques étudiées. Ces données ont été fournies par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH).

VIII -2 Approche adoptée

Plusieurs chercheurs ont élaboré des modèles de prédilection et de zonalité d'aléa érosion intégrant des nouvelles données acquises sur ce processus (Lafren et al. 1991, Pouliot et al. 1994, Boussema et Chairat Ben Abdallah 1995, De Jong et Riezebos 1997, Quinton 1997, Ozden et Ozden 1998). Cependant, le besoin d'une grande quantité d'informations précises et de données d'entrée nécessaires à la description de l'hétérogénéité des systèmes naturels rend difficile voire impossible l'application de ces modèles en Algérie.

La méthodologie adoptée s'inspire du modèle de type système expert développé par Crepani et al. (2001) et basé principalement sur le concept de l'éco-dynamique de Tricart (1977).

Le modèle est fondé sur le bilan «pédogenèse-morphogenèse» et sur le système de l'information géographique (SIG) en tant qu'outil d'analyse spatiale et d'aide à la décision (Furlan et al. 2011). Il est qualitatif et vise à produire des scénarii de vulnérabilité à l'érosion et à établir des cartes d'aléa pour quelques bassins représentatifs de la région d'étude.

L'approche aborde l'aléa érosion à travers cinq facteurs érosifs organisés en couches thématiques. Il s'agit de la déclivité du relief, la friabilité des formations géologiques, l'occupation des sols, l'érosivité des pluies et les pratiques antiérosives. Pour chacun de ces couches, un reclassement de données a été réalisé, grâce à l'utilisation d'un SIG, sous forme d'un indicateur de l'aléa érosion ordonné dans une échelle de 1 à 5 : (1) aléa très faible, (2) faible, (3) modéré, (4) fort et (5) très fort.

La prédominance des processus de pédogenèse indique la stabilité (aléa érosion faible ou très faible). Les situations intermédiaires (aléa érosion modéré) suggèrent la balance entre la stabilité et la vulnérabilité, alors que ce qui indique la vulnérabilité (aléa érosion fort ou très fort) est associé à la prédominance des processus érosifs (processus de morphogenèse) qui modifient le relief (Furlan et al. 2011).

VIII -2-1 Réalisation des couches d'informations

Nous expliquant ci-après la façon dont les facteurs servant à calculer l'aléa érosion ont été déterminés

VIII -2-1-1 Déclivité du relief

La numérisation sous SIG Mapinfo des courbes de niveau des cartes topographiques au 1:50 000 a permis de produire un MNT avec une résolution de (40×40 m). Celui-ci a servi à produire la carte de déclivité du relief qui a été subdivisée en plusieurs classes selon le bassin étudié (figure 89, Annexe V). Les pentes ont été ensuite reclassées selon leurs degrés de contribution à l'érosion (Aboui et al. 2005, Fiandino 2007, Elbouqdaoui et al. 2005, Bouchetata et Bouchetata 2006). Pour chaque classe un indice variant entre 1 et 5 est assigné, 1 étant affecté aux pentes très faibles (< 3%) et 5 aux pentes très fortes (> 25%).

VIII -2-1-2 Friabilité de substrat

La lithologie est issue de l'harmonisation des cartes géologiques couvrant la zone d'étude (Figure 89, Annexe V). Les litho-faciès ont été ensuite classés selon leurs degrés de friabilité en cinq classes: matériaux très résistants, résistants, moyennement résistants, friables et très friables. Un indice variant de 1 à 5 est attribué à chaque classe, 1 étant affecté aux matériaux moins exposés à l'érosion et 5 aux matériaux les plus exposés à l'érosion.

Cependant la sensibilité lithologique n'a bien sûr de sens que si le substrat est affleurant. Dans la majorité des cas, celui-ci est recouvert d'un sol ou de formations superficielles. Malheureusement, les bases de données disponibles concernant les sols ne sont pas suffisamment précises et étendues pour permettre leur utilisation dans l'évaluation, la spatialisation et la cartographie de l'érodibilité des sols. Elles résultent pour leur grande partie d'une « carte des sols de l'Algérie » au 1/500.000, élaborée il y a plus d'un demi-siècle par Durand, (1954).

VIII -2-1-3 Occupation des sols et pratiques antiérosives

La couverture végétale et l'activité culturale représentent des informations importantes à prendre en compte dans l'étude des processus érosifs puisqu'elles conditionnent le degré de protection des sols, contre l'action érosive de l'eau (Cyr et al.1995).

Les cartes de l'occupation des sols pour les bassins versants étudiés ont été établies par interprétation d'un assemblage des images satellitaires Landsat ETM+ (géoréférencée et orthorectifiée) du 07 mars, 15 et 24 avril 2000 et 02 avril 2001. Une classification dirigée a été effectuée en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance (Figure 89, Annexe V).

La qualité de la classification est estimée satisfaisante après une confrontation des résultats obtenus aux observations de terrain (campagnes d'octobre 2008, janvier, avril et juin 2009), et aux documents cartographiques recueillis auprès du service de conservation des forêts et du Bureau national d'études pour le développement rural (BNEDER).

Les cultures en courbes de niveau, en bandes alternées ou en terrasses, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonnage sont les pratiques les plus efficaces de conservation des sols (Roose, 1996).

Mais, vu l'état des aménagements antiérosifs dans la région et en raison d'absence des données fiables, précises et actualisées, la valeur 5 (cas le plus défavorable) est affectée au facteur pratiques antiérosives.

VIII -2-1-4 Érosivité des pluies

La pluie est le principal facteur de l'érosion hydrique, et son érosivité dépend surtout de sa hauteur et son intensité ou de l'énergie cinétique qui en résulte directement (Stengel et Gelin, 1998). L'érosivité de la pluie est souvent quantifiée sur la base du facteur R de l'équation de Wischmeier et Smith (1978). Dans le calcul de ce paramètre, interviennent l'intensité maximale des précipitations pendant 30 minutes (I_{30}) ainsi que l'énergie cinétique de la pluie, pour toutes les averses dépassant un certain seuil pluviométrique (E_{30}).

Comme ces données ne sont généralement pas disponibles dans les stations météorologiques classiques, une méthode simplifiée a été utilisée pour estimer R.

D'après Arnoldus (1977,1980), une bonne corrélation ($r^2 = 0,95$) a été trouvée entre la moyenne des E_{30} et le produit de précipitation annuelle multipliée par les pluies tombées pendant 1 heure et 24 heures avec une période de récurrence de 2 ans. Dans ce sens, Wischmeier a proposé une autre formule (Guettouche M. S.,1988) :

$$R = K.C^n$$

avec :

$$C = h_1.h_{24}.H$$

R = érosivité potentielle annuelle (MJmm ha-1h-1an-1).

h_1 : Hauteur maximale de pluie tombée en 1 heure avec une récurrence de 2 ans (cm).

h_{24} : Hauteur maximale de pluie de 24 heures avec une récurrence de 2 ans (cm).

H : Hauteur moyenne annuelle de pluie (cm)

K, n : coefficients liés au climat (sous climat subhumide à semi-aride, $K=0,751$, $n=0,80$).

En vue de déterminer les précipitations tombées pendant des averses de différentes durées (t) et de fréquence voulue ($h_{t\%}$), la formule de type Montana (Bourrier 1991, Sarvary 1986, Achite et Meddi 2005) est appliquée. Pour cela, une série de précipitations maximales journalières sur la période 1970/2004, de 57 stations pluviométriques situées dans la région d'étude, dont 20 d'entre elles sont équipées en pluviographes, a été exploitée.

$$h_{t\%} = h_{j\%} \left(\frac{t}{24} \right)^b$$

$h_{j\%}$: hauteur de pluie maximale journalière fréquentielle, déterminée après ajustement des séries de pluies maximales journalières à la loi théorique de Gumbel.

b : exposant climatique déterminé par ajustement d'une loi de Gumbel des pluies de courte durée enregistrées dans les 20 postes équipés en pluviographe :

$$b = 1 - \left(\frac{\ln I_2 - \ln I_1}{\ln t_2 - \ln t_1} \right)$$

avec : $I_1 = 25$ (mm/h), $t_1 = 0,5$ (h), $I_2 = \frac{P_j}{24}$ (mm/h), $t_2 = 2$ (h)

Pour étendre l'exposant climatique aux autres stations, la régression multiple est entreprise entre la variable à expliquer (b) et les variables explicatives, (coordonnées Lambert X et Y, et altitude Zliss). La valeur du coefficient de corrélation multiple ($r^2=0,798$) justifie le choix du modèle après vérification de sa valeur critique sur la table de Fisher (Dagnellie, 1992).

$$b = 7.93 - 0.003X + 0.005Y + 0.004Z_{liss} - 0.549Z_{liss}/Y - 0.718Z_{liss}/X + 0.87 X/Y - 1.16 \log XYZ_{liss}$$

Il faut souligner que les valeurs moyennes d'érosivité ont été obtenues en effectuant les moyennes des R calculés pour chaque année. Les valeurs ponctuelles ont ensuite été spatialisées, à l'échelle des bassins étudiés, à partir d'une régression multiple entre l'indice d'érosivité, les coordonnées Lambert (X) et (Y) et l'altitude lissée (Zliss), en se fondant sur les données du modèle numérique du terrain.

Le choix du nombre de paramètres à considérer a été guidé par l'étude des régressions multiples linéaires en comparant, d'une part, le coefficient de corrélation r^2 et, d'autre part, la somme des résidus de régression (Touazi et al., 2004, Touaïbia et al., 2006). La meilleure corrélation de l'indice d'érosivité (R) a porté sur les paramètres (X, Y, Zliss, XY, et X/Y) donnant un coefficient de corrélation multiple égal à 0,84. L'équation de régression est de la forme suivante :

$$R = 79 - 0,227(X) - 0,111(Y) + 0,0242(Z_{liss}) + 14,1(X/Y) + 0,000453(XY)$$

La grille résultante des indices d'érosivité (points distants de 40 m) a permis de produire la carte finale d'érosivité des pluies pour chaque bassin (Figure 89, Annexe V). Nous avons distingué des classes d'érosivité des pluies, équidistantes de 5 MJ.mm/ha.h.an, et variée selon le bassin. Ensuite, ces classes sont codifiées de 1 à 5 selon le degré d'érosivité des pluies.

VIII -2-2 Pondération des facteurs

La détermination des pondérations de chaque facteur a pour objectif de hiérarchiser par ordre d'importance les cinq couches d'information, et de prendre en compte la variabilité saisonnière de l'érosivité des pluies et de l'occupation des sols, en cas d'une approche saisonnière. Pour ce faire, on s'est référé aux travaux de Luken et Krone (1989), Le Bissonnai et al. (2004), Abaoui et al. (2005), Elbouqdaoui et al. (2005) et Fiandino (2007), mettant en évidence les phénomènes érosifs en milieu méditerranéen, notamment au Maghreb. Ainsi qu'aux constats effectués sur terrain durant l'année hydrologique 2008-2009. Ceci nous a conduits à choisir une pondération équilibrée (20%) pour les cinq facteurs entrant en jeu, pour l'approche annuelle.

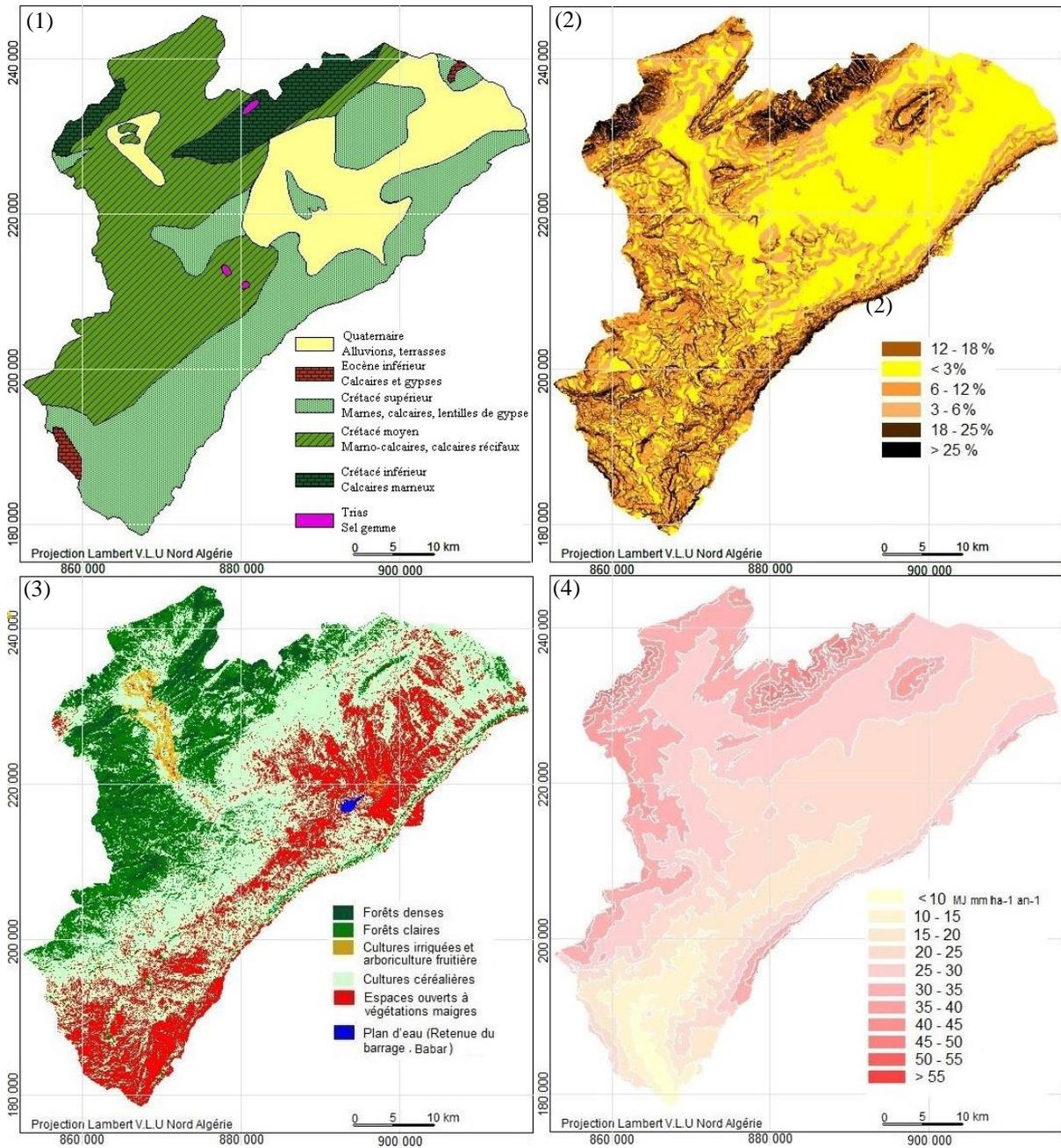


Figure 89 (c) Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif: (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité, (bassin de l'Oued El Arab)

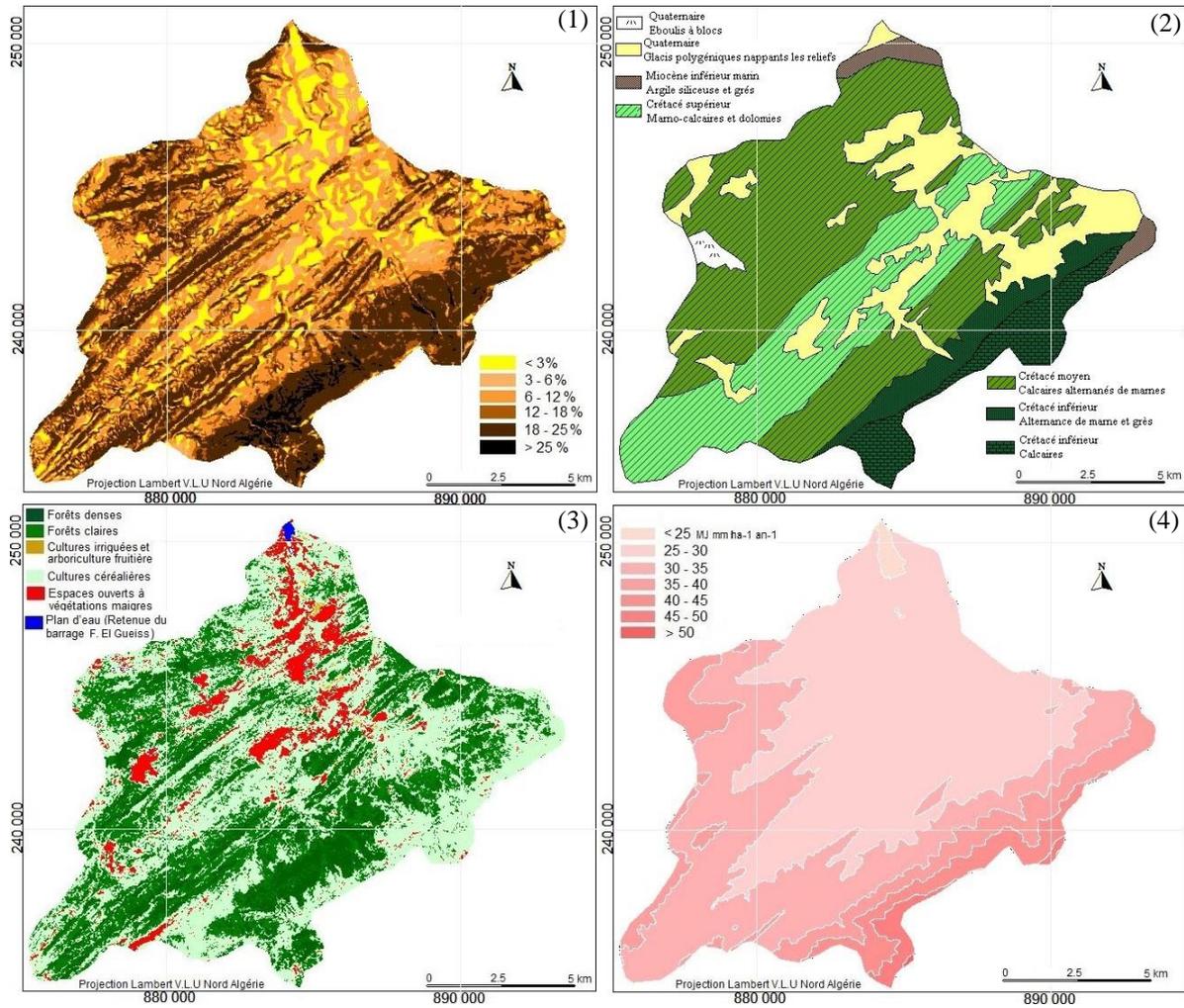


Figure 89 (b) Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif: (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité, (bassin de l'Oued El Guiss).

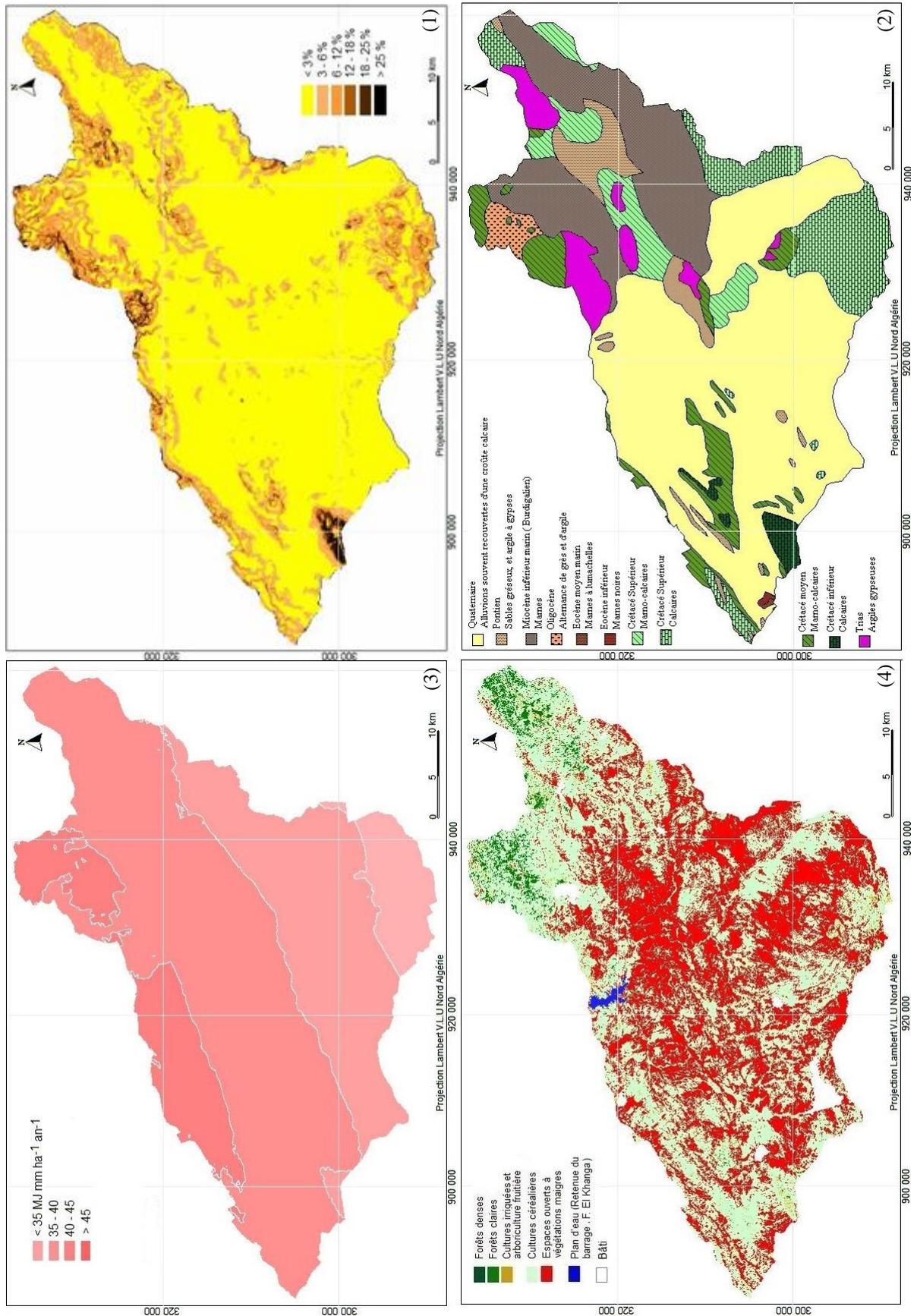


Figure 89 (c) Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif: (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité, (bassin du Chérf amont).

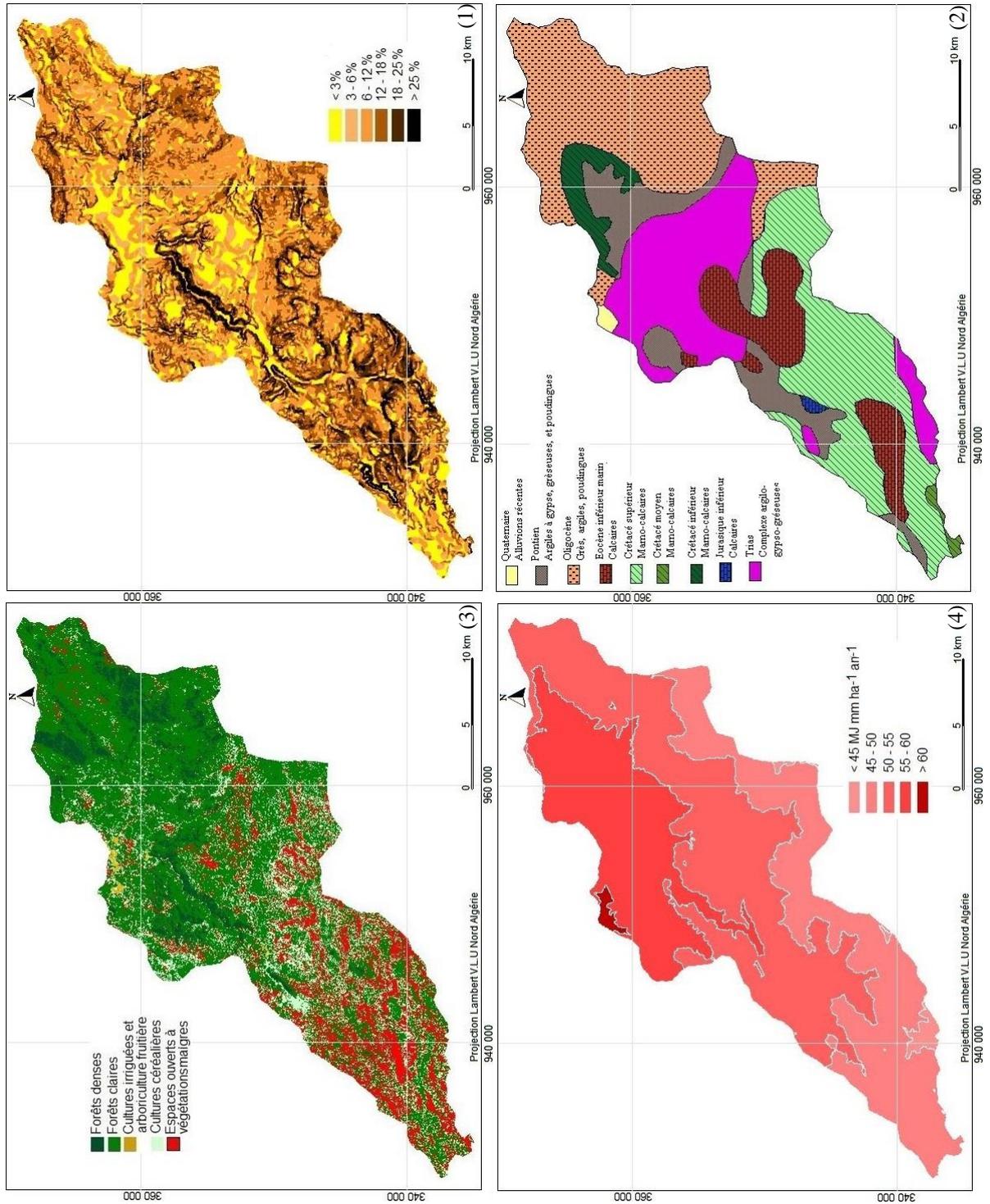


Figure 89 (d) Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif: (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité, (bassin de Melah).

VIII -2-3 Croisement des couches par évaluation Multicritère

L'approche utilisée pour le croisement des couches est celle des moyennes pondérées qui consiste à multiplier chaque facteur avec son poids puis de les additionner. La somme est divisée par le nombre de facteurs. L'équation peut être décrite de cette manière :

$$\text{Aléa.Erosion} = \frac{1}{n} [(P_1.FM) + (P_2.DR) + (P_3.PA) + (P_4.OS) + (P_5.EP)]$$

avec *FM* : friabilité des matériaux, *DR* : déclivité du relief, *PA* : pratiques antiérosives *OS* : Occupation des sols, *EP* : Érosivité des pluies, P_i : la pondération de chaque facteur ; n : nombre de paramètres érosifs.

Pour cette opération, nous avons fait appel aux fonctionnalités du SIG Mapinfo. Le résultat est une variable continue subdivisée en classes d'Aléa Érosion à l'aide de substantifs du type : très faible, faible, modéré, fort et très fort (Figure 90, annexe VI).

VIII -3 Analyse et interprétation des cartes d'aléa

L'interprétation des cartes d'aléa établies est compliquée, car la région d'étude possède une variété de régimes d'écoulement, entre lesquels les processus influençant l'érosion hydrique sont sensiblement différents. Néanmoins, une tentative a été faite pour essayer de commenter les résultats, en se référant aux cartes des différents facteurs érosifs (cartes sources entrées dans le modèle) élaborées.

Les zones d'aléa modéré sont les plus représentées et éparpillées dans l'ensemble de la zone d'étude, elles occupent plus de 54% de la superficie totale (13464 km²) : 55,6 % sur 6987 km² dans la région des Aurès et 52,6 % sur 6477 km² dans la Seybouse (Figures 91, 92, 93). En effet, la zone d'étude compte treize (13) bassins présentant tout une étendue importante des zones d'aléa modéré, notamment dans leur centre (tableau 41). Cette classe d'aléa est susceptible de s'accroître très rapidement avec la dégradation de la couverture forestière et la diminution de la productivité végétale saisonnière.

L'aléa fort correspond aux terrains sublittoraux, abondamment arrosés (la basse plaine de Annaba) et aux terrains argileux et marneux en pente, à nu et exposés (les contreforts des Aurès et du tell méridionale). Il couvre environ 17% de notre région d'étude : 16,1% et 17,5 % des terrains de l'Aurès et de la Seybouse, respectivement. Les très forts aléas sont observés sous forme de petits lambeaux dispersés sur les sommets des ensembles montagneux, au tour des zones urbanisées et le long de quelques vallées. Ils représentent environ 4% de l'ensemble de la Seybouse-Aurès : 3,4 % des Aurès et 4,5 % de la Seybouse.

Les zones à susceptibilité faible à l'aléa érosion hydrique se trouvent dans les secteurs très enherbés, où le degré de pente est faible et dans les endroits à couverture forestière dense (le versant septentrionale des Aurès, les assises gréseuses de la chaîne numidique traversant le bassin de la Seybouse). Elles dominent environ 27 % de la surface totale étudiée : 20,8 % des terrains de l'Aurès et 22,5 % de la Seybouse. Quant à l'aléa très faible, sa présence est très restreinte, il ne dépasse pas les 3 % de la surface totale de la Seybouse-Aurès : 3,7 % de l'Aurès et 2,3 % de la Seybouse.

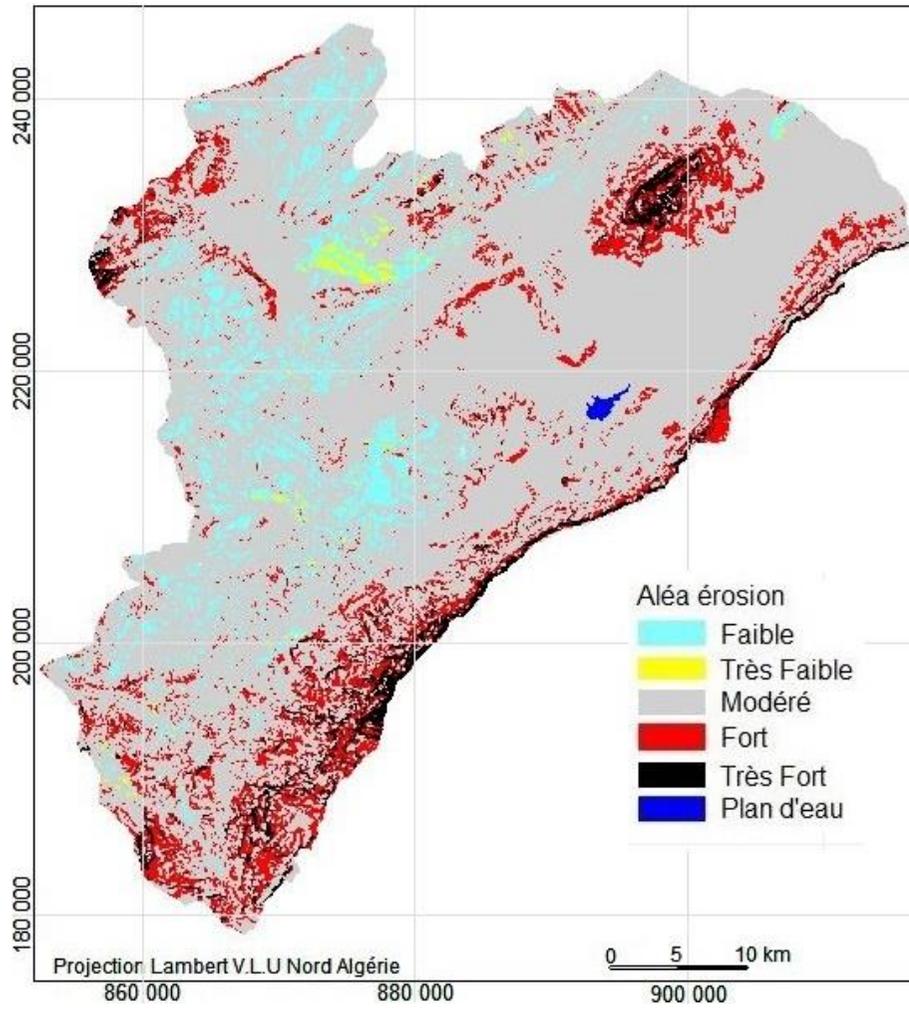


Figure 90 (a) Carte de l'aléa érosion hydrique du bassin de l'Oued El Arab

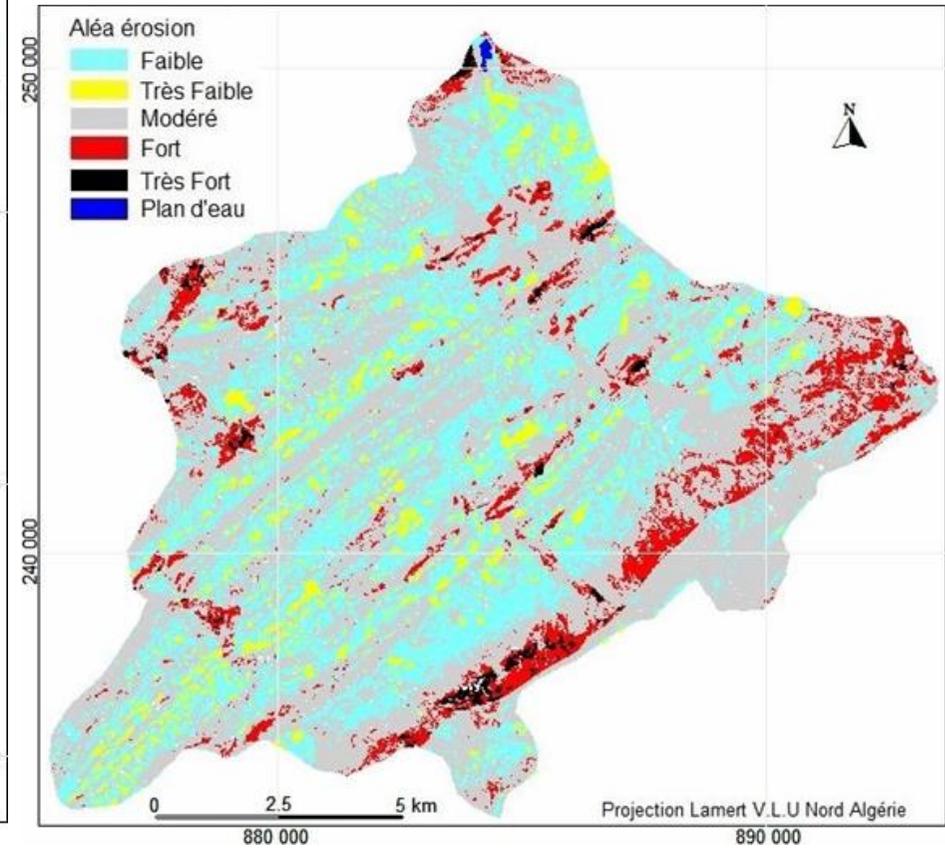


Figure 90 (b) Carte de l'aléa érosion hydrique du bassin de l'Oued El Guéiss

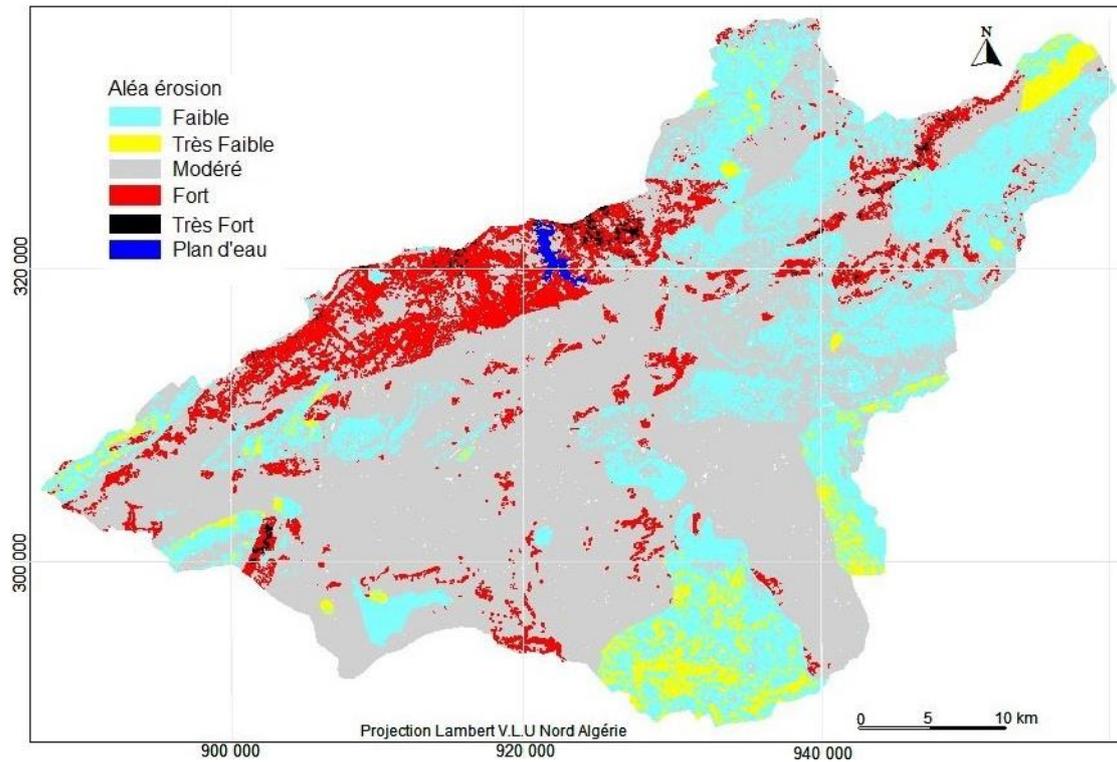


Figure 90(c) Carte de l'aléa érosion hydrique du bassin de l'Oued Cherf amont

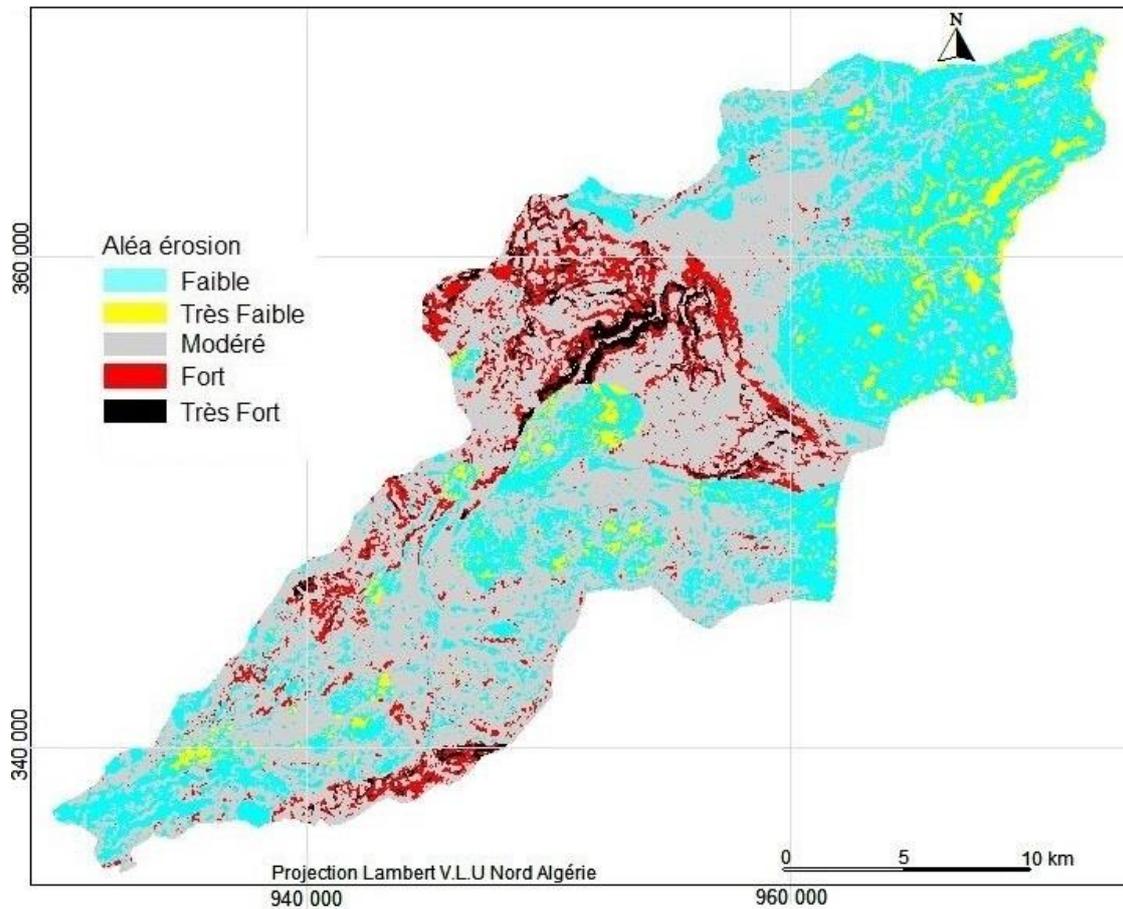


Figure 90(d) Carte de l'aléa érosion hydrique du bassin de l'Oued Melah

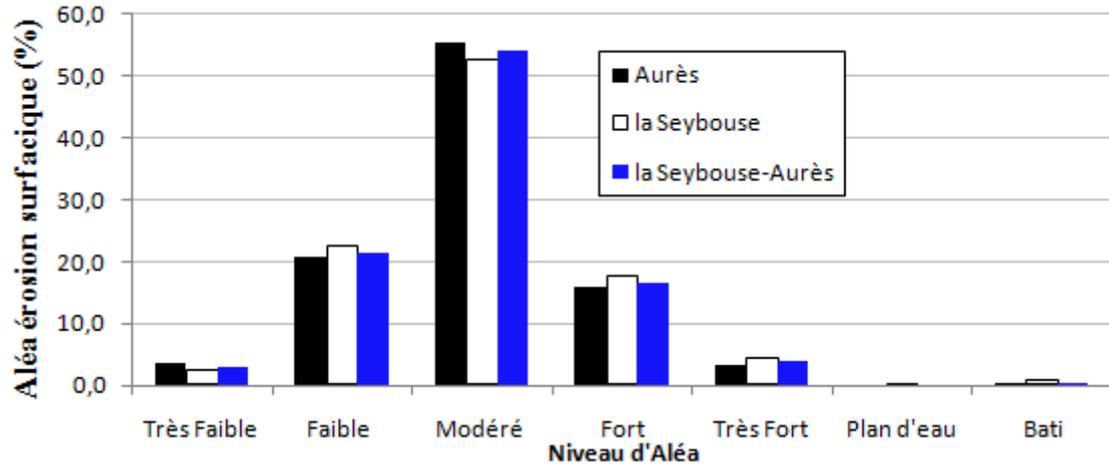


Figure 91 Répartition des niveaux d'Aléa érosion dans la Seybouse-Aurès

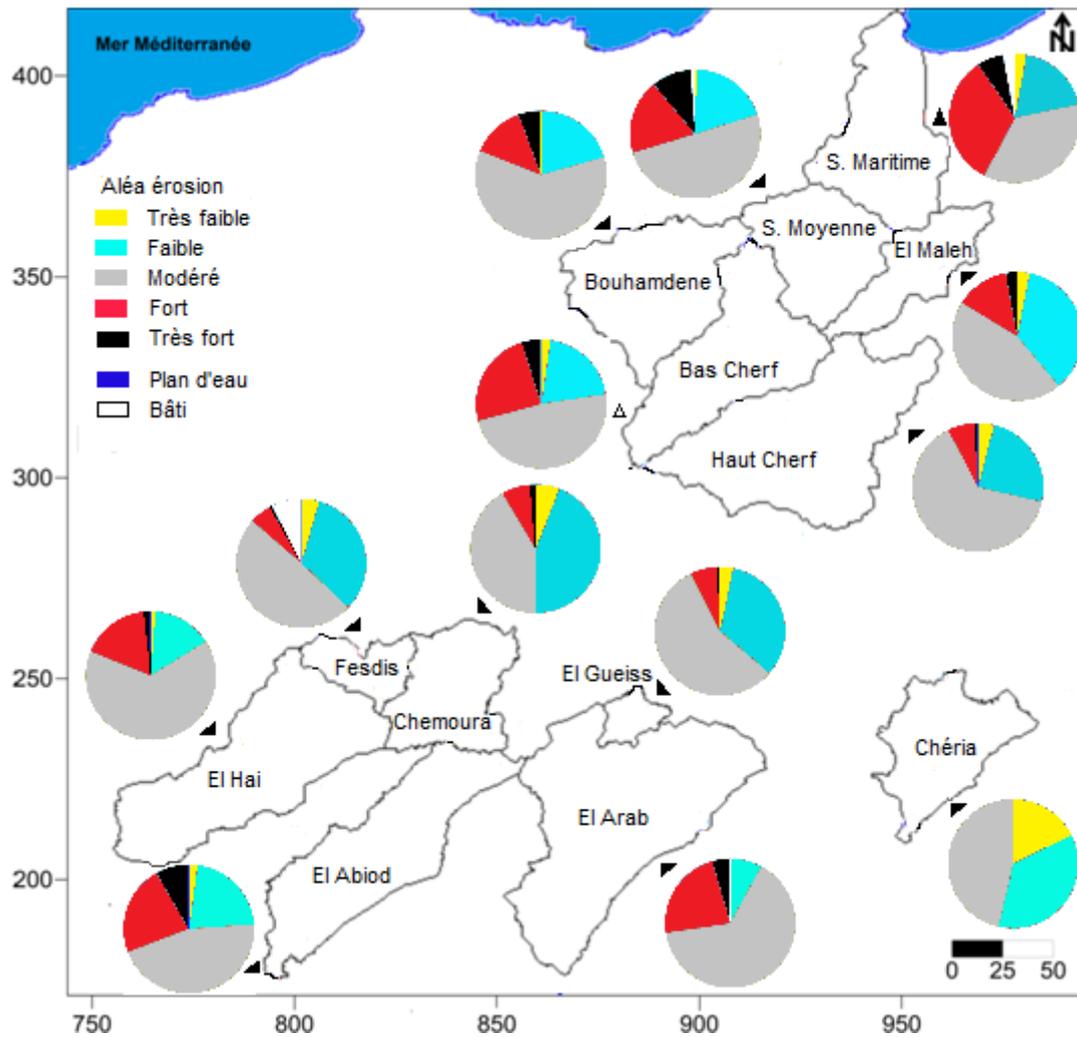


Figure 92 Répartition par secteur de l'aléa érosion hydrique dans la Seybouse-Aurès

Tableau 41 Répartition de l'aléa érosion surfacique moyen par bassin versant

Aléa		Les Aurès							La Seybouse						la Seybouse-Aurès
		El Hai	El Abiod	El Arab	Chéria	Fésdis	Chemoura	El Gueiss	Haut Cherf	Bas Cherf	Bou Hamdanne	Seybouse Moyenne	Melah	Seybouse Maritime	
Très Faible	Km ²	19,2	28,0	5,0	144,1	13,8	44,9	4,8	70,0	26,4	0,7	2,2	17,0	31,4	407,4
	%	1,2	2,1	0,2	17,8	4,5	5,9	3,2	4,0	2,2	0,1	0,3	3,1	3,0	3,0
Faible	Km ²	231,6	287,0	161,0	290,3	99,6	334,5	50,0	426,2	239,1	235,2	160,4	197,2	197,6	2909,8
	%	14,9	21,7	7,7	35,8	32,6	44,1	33,1	24,6	20,4	20,5	19,8	35,9	18,6	21,6
Modéré	Km ²	1013,0	598,0	1347,4	373,5	151,0	315,0	85,1	1106,0	566,3	696,7	406,9	246,4	382,6	7287,8
	%	65,0	45,3	64,7	46,1	49,3	41,5	56,3	63,9	48,2	60,6	50,2	44,8	36,1	54,1
Fort	Km ²	265,5	297,7	476,0	1,4	17,0	54,4	10,3	116,3	286,2	153,3	152,0	73,8	351,1	2254,9
	%	17,0	22,6	22,9	0,2	5,5	7,2	6,8	6,7	24,4	13,3	18,8	13,4	33,1	16,7
Très Fort	Km ²	25,5	108,5	90,7	0,7	1,7	10,1	0,8	8,7	56,0	61,3	80,0	15,6	67,0	526,6
	%	1,6	8,2	4,4	0,1	0,6	1,3	0,5	0,5	4,8	5,3	9,9	2,8	6,3	3,9
Plan d'eau	Km ²	0,1	0,9	2,9	0,0	0,0	0,1	0,1	4,8	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	11,7
	%	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1
Bati	Km ²	3,1	0,0	0,0	0,0	22,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0	31,2	66,2
	%	0,2	0,0	0,0	0,0	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	2,9	0,5
Surface du bassin		1558	1320	2083	810	306	759	151	1732	1174	1150	810	550	1061	13465

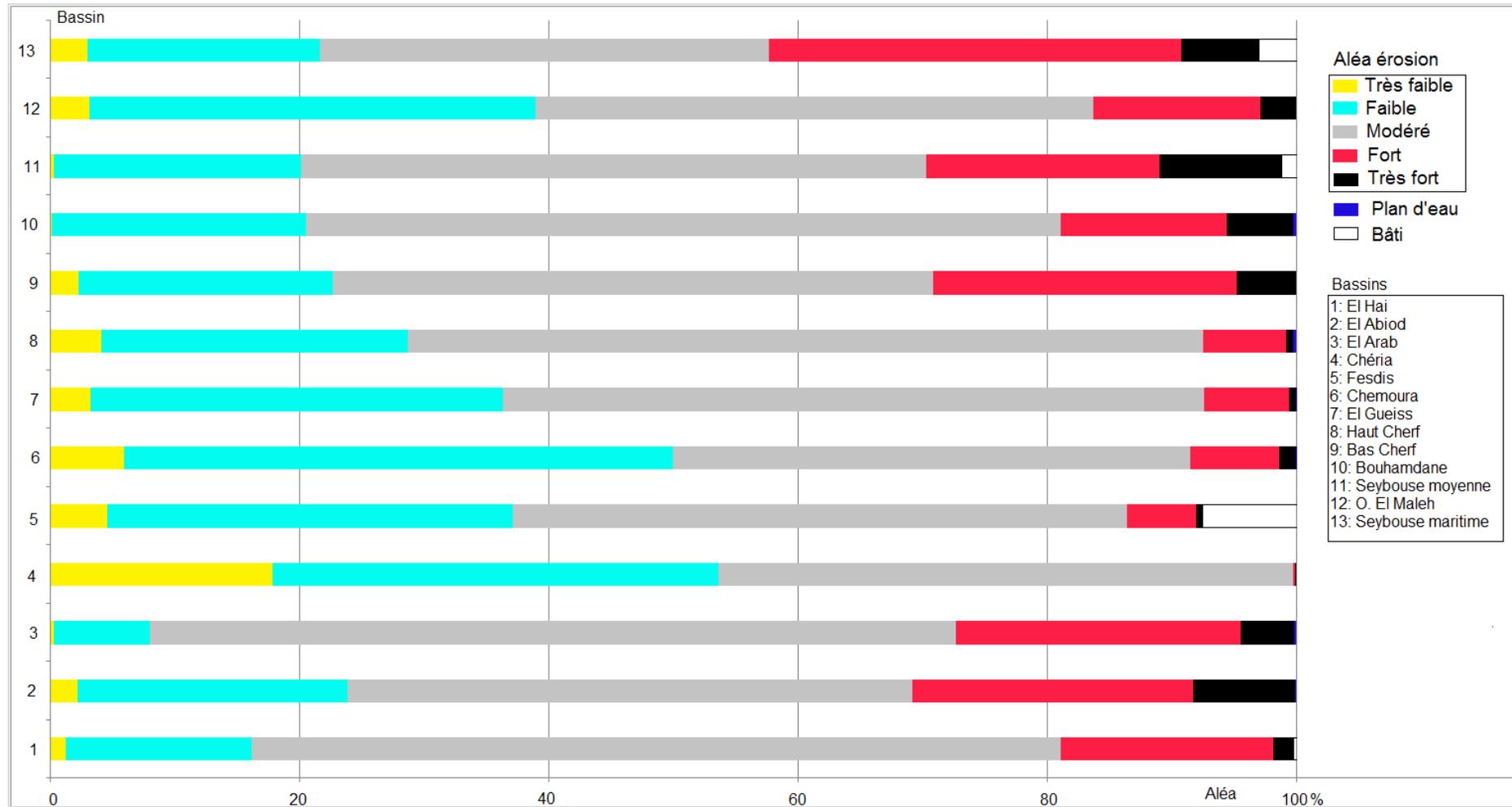


Figure 93 Représentation de l'aléa érosion surfacique moyen par bassin versant

VIII -4 Différenciation saisonnière de d'aléa érosion : étude d'un cas particulier

Un premier examen de la qualité des données collectées sur le bassin de l'Oued Chemoura, nous a incités à approfondir l'étude de son comportement vis-à-vis de l'érosion. Le bassin a été choisi pour servir de base à une autre spécificité de l'approche adoptée. Il s'agit de la différenciation saisonnière de l'aléa érosif qui permet de prendre en compte les interactions entre facteurs climatiques et occupation des sols de manière beaucoup plus précise que dans une approche annuelle. En plus, nous avons introduit l'érodibilité des sols comme sixième facteur érosif, dont les données plus ou moins récentes sont disponibles pour ce bassin.

Nous avons mis en œuvre une méthodologie basée sur une succession d'étapes permettant d'aboutir au modèle final « carte aléa d'érosion saisonnier », (Figure 94).

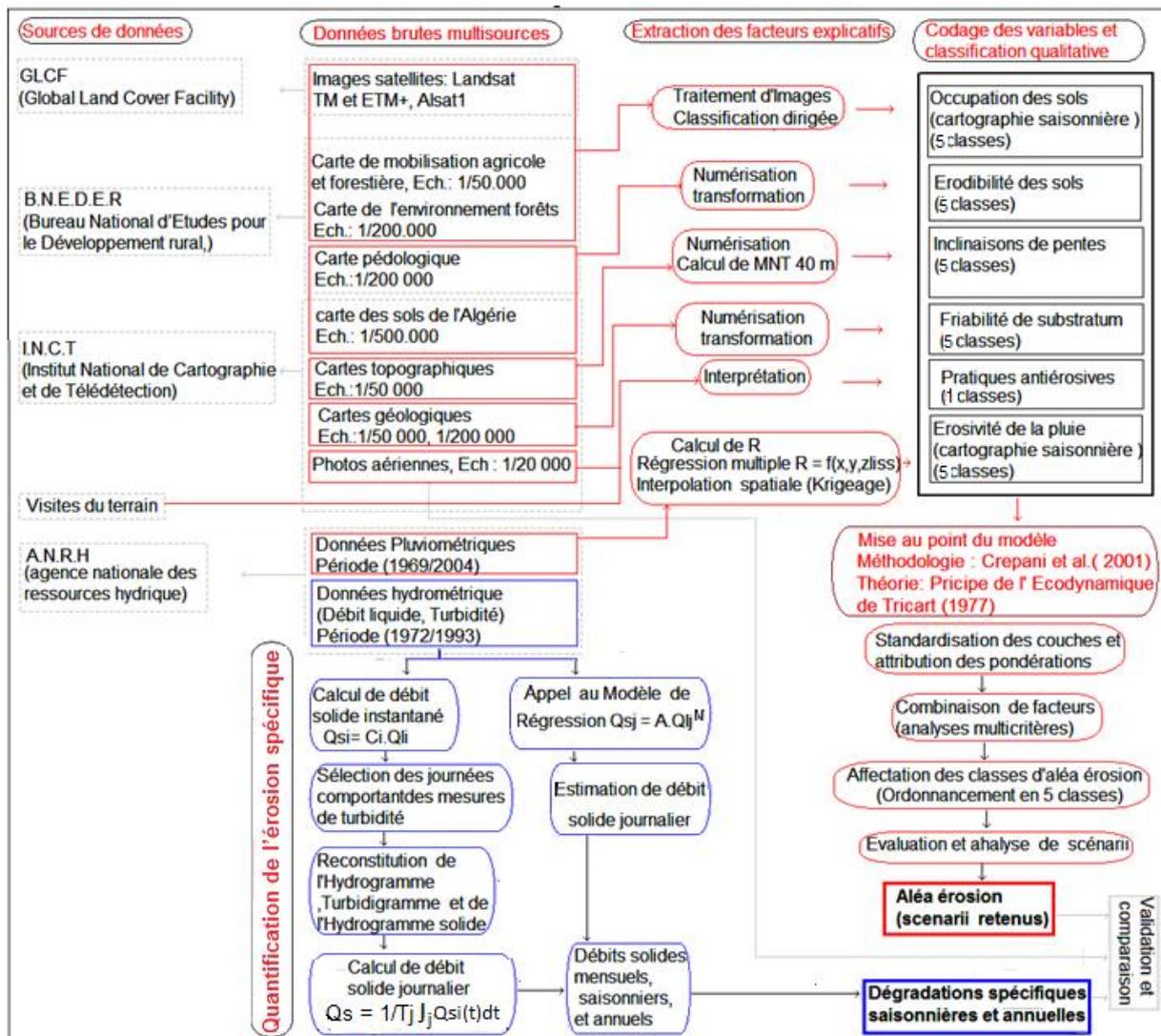


Figure 94 Schéma de la méthodologie adoptée pour un zonage saisonnier de l'aléa érosion

La carte des pentes du bassin de l'Oued Chemoura montre que dans 60 % de la surface du bassin, les pentes ont une valeur inférieure à 6 %, et correspondent aux zones de culture. Les zones de fortes pentes (>18%) restent très minoritaires, avec seulement 10 % du total, et concernent surtout les sommets des Aurès dans le sud, et de Djebels Bou Arif au nord-ouest. Enfin les pentes comprises entre 6 et 18% occupent environ 30% du bassin, et correspondent aux zones de morphologie variable.

La classification des formations lithologiques comprend cinq classes avec les pourcentages des surfaces du bassin: matériaux très résistants (5%) résistants (21%), moyennement résistants (20%), friables (40%) et très friables (14%).

Une esquisse pédologique (Figure 95) a été élaborée à l'aide de la carte des sols de l'Algérie (Durand, 1954), dont les caractéristiques sont décrites pour un certain nombre de variables (nom du sol, texture de surface, nature du substrat et pierrosité) et des données extraites d'études réalisées précédemment par Halitim (1988), Djili et Keslani (1995), et l'ANRH (2001). Les classes d'érodibilité pour chaque type de sol sont attribuées à partir des caractéristiques des sols, et de leur susceptibilité à être désagrégés et emportés (Dumas, 2004). Le résultat est donné sous la forme d'un ordonnancement en 5 classes d'érodibilité et un indice allant de 1 (très peu érodible) à 5 (très fortement érodible) a été attribué à chaque formation pédologique. Les sols très fortement et fortement érodibles représentent plus de 50 % de la surface du bassin.

L'exécution des travaux de protection et de conservation des sols dans le bassin de l'Oued Chemoura a commencé en 1975 (18 ans avant le lancement dans la construction du barrage de K. El Medouar). Des essais de réhabilitation des forêts par des reboisements sur les reliefs de Gloua-et-Trab et Tagratine dans le nord du bassin ont été mis en œuvre, mais l'inadaptation des espèces végétales pratiquées, le manque de suivi et d'entretien de ces travaux fait qu'aucun résultat perceptible n'a été marqué (Hamoudi et al. 2006). Dans ce contexte, le cas le plus défavorable et le plus général (aucun aménagement antiérosif) a été considéré sur toute la superficie du bassin

VIII -4-1 Impact du caractère saisonnier de l'occupation du sol et des précipitations

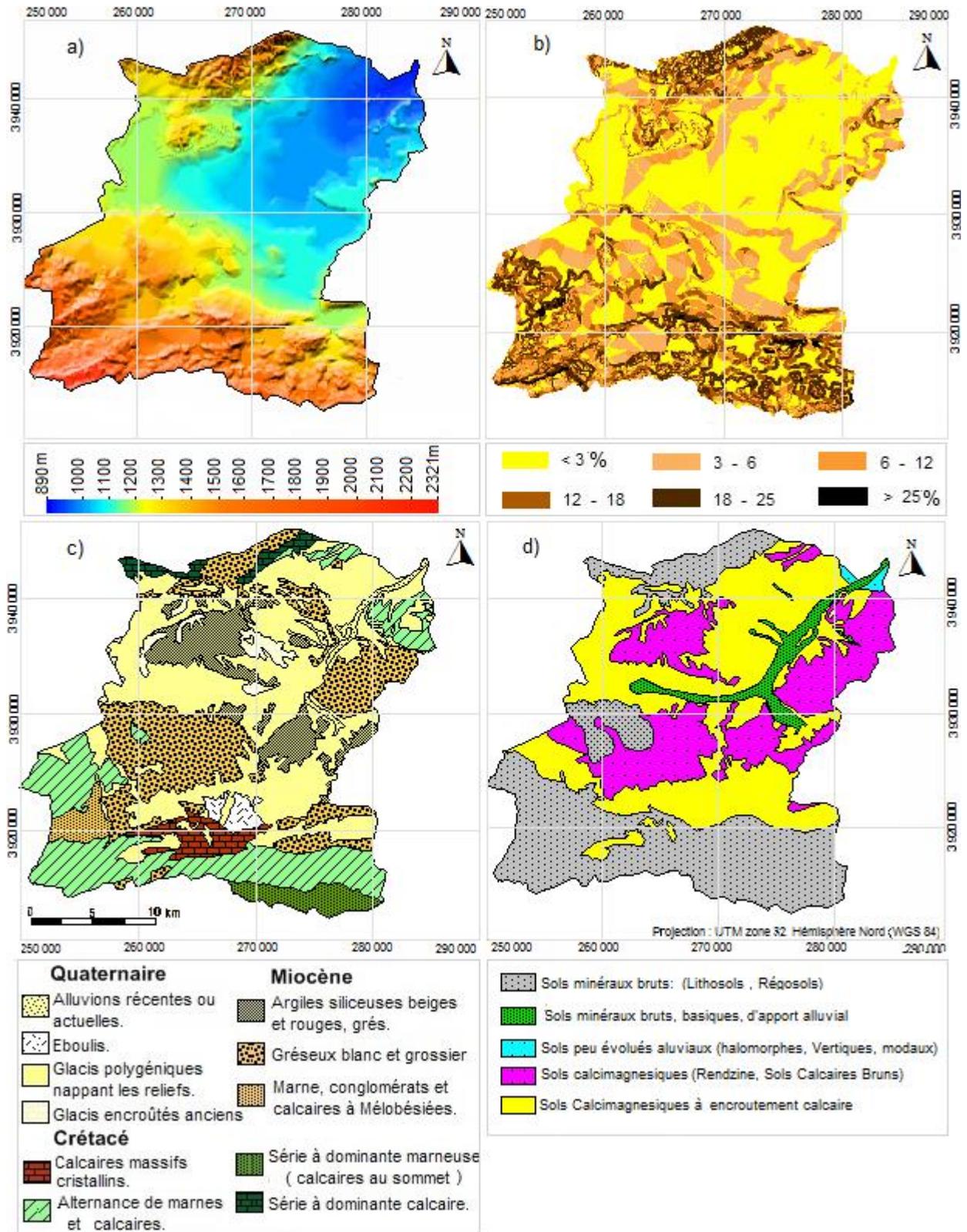
Pour un suivi saisonnier de l'occupation des sols à l'échelle du bassin versant de Chemoura, quatre images satellitaires TM et ETM+ de LANDSAT prises, le 16 juin 1987, le 24 avril 2000, le 27 janvier 2002 et le 24 octobre 2002 ont été utilisées.

Le choix des dates de prises de vue est fait en fonction du stade végétatif des principales cultures et de la disponibilité de l'image.

Les types d'occupation des sols sont codés en deux niveaux Hiérarchiques selon la saison. Le premier différencie cinq grands ensembles: forêts denses, forêts claires, terres arables, terrains incultes et parcours, et zones humides (plans d'eau). Le deuxième précise et reclasse les terres arables, qui représentent plus de 60% du secteur étudié, selon le type de culture, le calendrier et les rotations culturales : cultures irriguées et arboriculture, terres labourées, terres au repos, cultures fourragères, céréaliculture (phases de croissance de maturation et de sénescence).

La céréaliculture extensive est la culture traditionnelle la plus pratiquée dans le bassin, en rotation avec quelques jachères pâturées (figure 96). Les sols cultivés restent nus depuis la récolte (mois de juillet) et sont livrés sans protection à l'agressivité des pluies. Ce n'est qu'à partir d'octobre que les sols commencent à être labourés, les semis des céréales généralement réalisés entre octobre et novembre Roose et al. (2008). C'est en janvier seulement que certaines cultures commencent à couvrir le sol. Cette situation est déjà signalée par Roose et al. (2008) pour les milieux semi-arides de l'Ouest algérien.

Les étendues des classes d'occupation du sol révèlent la prédominance des terres considérées comme mal ou incomplètement protégées. Les agriculteurs rejettent les pratiques antiérosives et refusent de l'entretenir. Les cultures sont surtout céréalières et les labours sont rarement parallèles aux courbes de niveau.



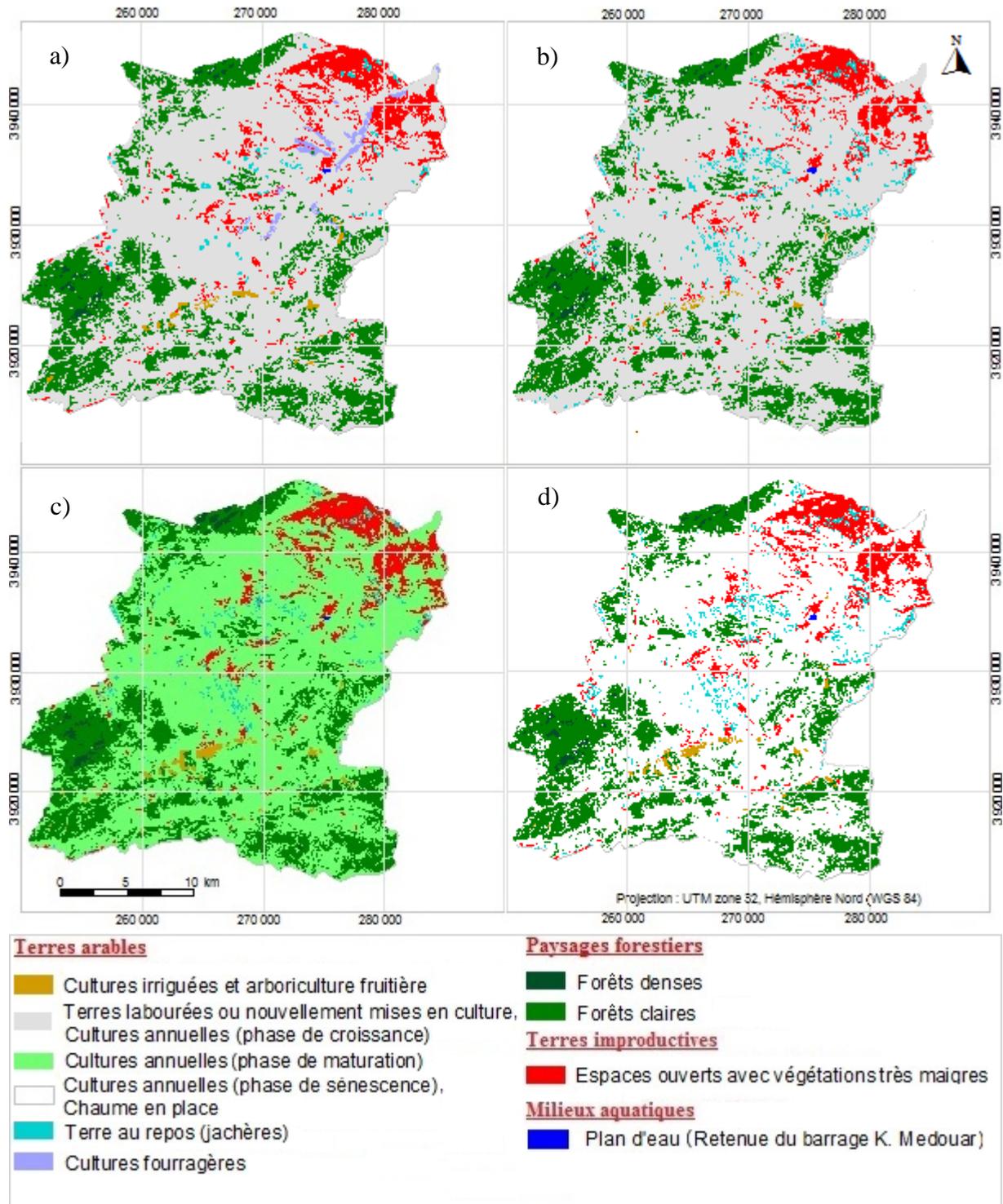


Figure 96 Cartes saisonnières d'occupation des sols du bassin versant de l'Oued Chemoura : (a) automne, (b) hiver, (c) printemps, (d) été.

La corrélation entre l'indice d'érosivité (R) est les quantités (X, Y, Zliss, XY, et X/Y) donne un coefficient de corrélation multiple (r^2) égal à 0,696 pour l'automne, 0,701 pour l'hiver, 0,735 pour le printemps et 0,694 pour l'été. Les équations de régression obtenues pour les quatre saisons sont les suivantes :

Automne: $R = -11.11 - 0.029Y - 0.0245Z_{liss} + 72.6Z_{liss}/X - 8.12Z_{liss}/Y + 3.7X/Y$

Eté: $R = 15.7 - 0.067Y + 0.0051Z_{liss} + 14.4Z_{liss}/X - 1.91Z_{liss}/Y - 1.52X/Y$

Hiver: $R = -40.3 + 0.123Y - 0.0785Z_{liss} + 70.9Z_{liss}/X + 1.81Z_{liss}/Y + 3.69X/Y$

Printemps : $R = -43.2 + 0.144Y + 0.0025Z_{liss} + 49.2Z_{liss}/X - 10.6Z_{liss}/Y + 4.1X/Y$

La grille résultante des indices d'érosivité (points distants de 40 m) a permis de produire la carte finale d'érosivité des pluies pour chaque saison (Figure 97). Nous avons distingué douze classes d'érosivité des pluies, équidistantes de 5 MJ.mm/ha.h.an, et allant de moins de 5 à plus de 55 MJ.mm/ha.h.an. Ensuite, ces classes sont codifiées de 1 à 5 selon le degré d'érosivité des pluies.

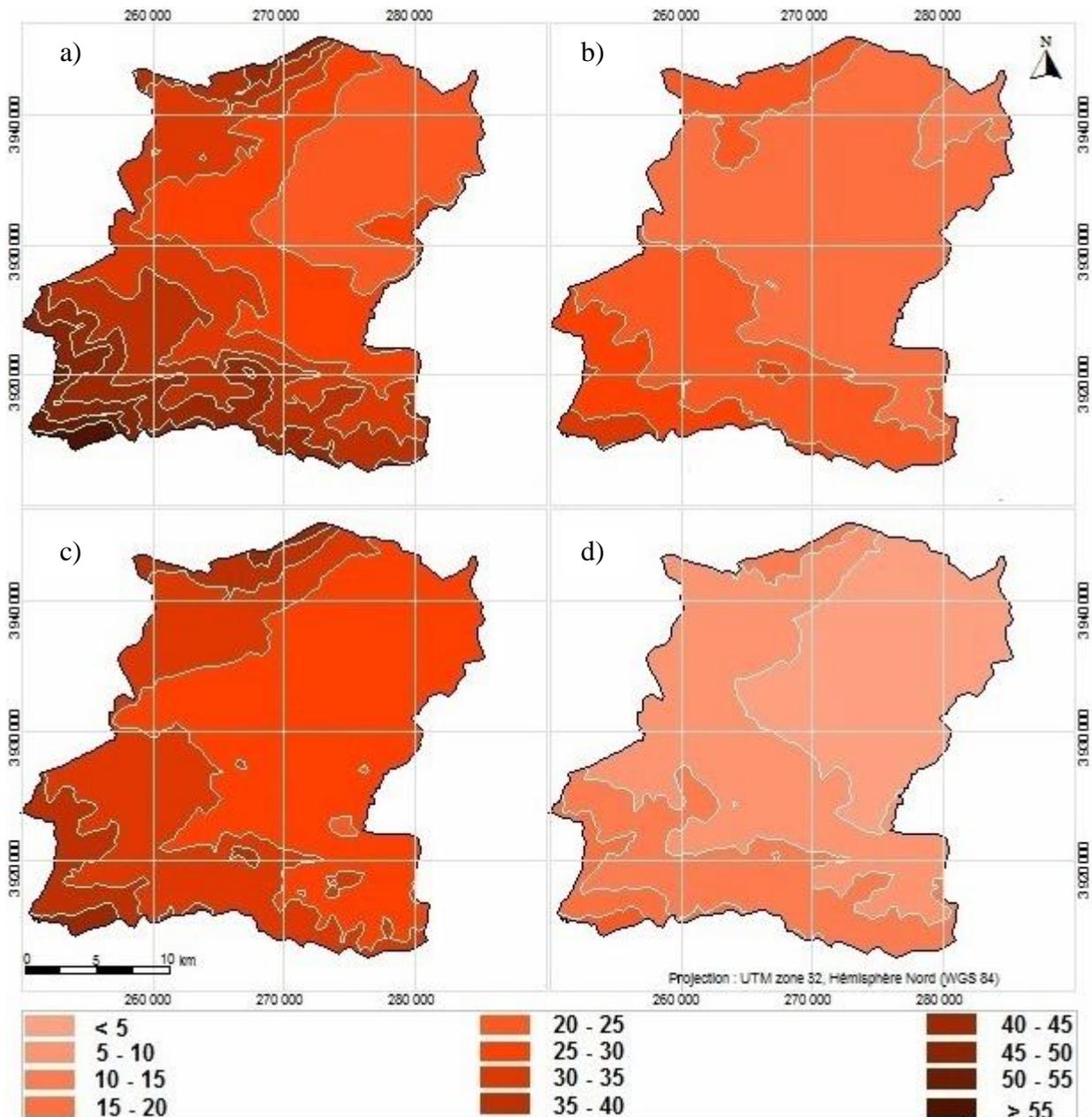


Figure 97 Cartes saisonnières d'érosivité des pluies du bassin versant de l'Oued Chemoura (1970 - 2004) : (a) automne, (b) hiver, (c) printemps, (d) été

VIII -4-2 Analyse de scénarios saisonniers

Les principes généraux utilisés pour la pondération saisonnière des paramètres sont les suivants:

En automne, la couverture végétale temporaire est absente (début de la campagne de labours), et les pluies sont intenses et fréquentes. Durant cette saison, les sols nus et les terrains de culture sont sensibles à la battance (Le Bissonais et al, 2004). Les pondérations qui maximisent l'influence de l'occupation des sols, ont été retenues.

Les pourcentages de contributions choisis pour l'hiver augmentent l'influence des précipitations en lui affectant une pondération élevée au même degré que celle de l'occupation des sols. C'est ce qui fait que, à eux seuls, les facteurs précipitations et occupation des sols représentent plus de 65 % de pondération (Tableau 42).

Au printemps, la distribution régulière des précipitations en pleine saison végétative nous a conduits à choisir une pondération équilibrée pour les six facteurs entrant en jeu. L'influence de la pente augmente quand elle est associée au facteur de friabilité des substratums. Le facteur érodibilité intervient uniquement dans le cas des pentes fortes.

La saison d'été est moins concernée par les précipitations, et la couverture végétale saisonnière continue à jouer son rôle protecteur. Cette situation s'adapte bien avec les pondérations qui minimisent l'influence de l'érosivité des pluies.

Plusieurs scénarii de pondération ont été envisagés puis comparés, aboutissant ainsi à la sélection de quatre fourchettes de possibilités pour chaque saison, dans lesquelles s'inscrit l'aléa érosion. Une carte d'aléa ainsi mise au point pour chaque fourchette. L'écart entre les résultats (obtenus par soustraction) est globalement faible sur la majeure partie du bassin. Il prend un peu d'importance sur les chaînes montagneuses.

La dernière étape a consisté à superposer chacune des quatre cartes pour réaliser une carte thématique récapitulative montrant l'aléa de l'érosion saisonnier. La méthode de superposition s'appuie sur le fait que la probabilité de simultanéité des pires cas est très forte. Elle consiste à reclasser le niveau d'aléa par maximisation (cas les plus alarmants) pour chaque taille élémentaire (pixel de 40 x 40 m) de la carte.

Tableau 42 Pondération saisonnière attribuée aux couches du modèle d'aléa érosion

Saison	Pondération en (%)					
	Friabilité Des matériaux	Érodibilité des sols	Déclivité Du relief	Occupation des sols	Érosivité Des pluies	Pratiques antiérosives
Automne	8,3	8,3	8,3	50	16,7	8,3
	8,3	16,7	8,3	41,7	16,7	8,3
	16,7	8,3	8,3	33,3	25	8,3
	8,3	8,3	8,3	33,3	25	16,7
Hiver	8,3	8,3	8,3	33,3	33,3	8,3
	4,2	4,2	8,3	33,3	33,3	16,7
	4,2	8,3	8,3	37,5	37,5	4,2
	4,2	4,2	4,2	41,7	41,7	4,2
Printemps	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7
	16,7	16,7	20,8	20,8	16,7	8,3
	16,7	25	16,7	8,3	25	8,3
	16,7	25	25	16,7	8,3	8,3
Été	33,3	8,3	33,3	16,7	4,2	4,2
	33,3	4,2	25	25	4,2	8,3
	25	4,2	25	33,3	8,3	4,2
	25	8,3	25	25	8,3	8,3

VIII -4-3 Identification des périodes érosives

Les cartes d'aléa érosion élaborées à partir de la combinaison des cartes thématiques précédentes nous ont permis de produire des documents synthétiques mettant en évidence les zones les plus sensibles à l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Chemoura (Figure 98).

La visualisation simultanée de ces cartes met bien en évidence la variabilité inter-saisonnière de l'aléa d'érosion des sols, mais aussi l'existence de régions systématiquement concernées. Trois catégories de régions ont été distinguées :

- les régions où l'aléa d'érosion est fort en toutes saisons. Il s'agit de Djebels Tagratine dans le nord-ouest, région pour laquelle la carte lithologique indique un substratum argileux siliceux et la couverture forestière est très dégradée voire absente (reboisement non réussi), ainsi que les terrains marneux à forte déclivité dans le sud-est.

- les régions concernées par un aléa faible au printemps en plein développement végétatif, et en été du fait de la faiblesse, voire de l'absence des précipitations. Cet aléa peut s'accroître rapidement avec la diminution des zones couverte par la végétale durant ces saisons. On note qu'entre le printemps et l'été, les zones à risque d'érosion modéré et fort à très fort, ont augmenté respectivement de 2% et 6 %, et les zones à risque faible à très faible ont diminué de 8% de la surface totale.

- les régions moins concernées par l'érosion des sols : Régions à faciès gréseux dans le sud-ouest ou à dominante calcaire, couvertes d'une proportion de forêts denses dans le nord-ouest (Djebels Bou Arif).

VIII -5 Validation des résultats

Etant donné la variabilité spatiale et temporelle des phénomènes d'érosion et en l'absence de travaux antérieurs et d'un programme de suivi intensif, la validation des résultats est extrêmement difficile et peu efficace à l'échelle utilisée pour des raisons de coût et de durée d'expérimentation (Morschel et Fox, 2004). Il n'est pas techniquement et économiquement réalisable de mesurer l'érosion des sols pour de grandes entités spatiales et dans toutes les situations possibles (Colmar A. et al., 2010). Néanmoins, un essai de validation a été fait en mobilisant des sources d'information différentes de celles qui ont permis la construction des modèles : l'interprétation visuelle de photographies aériennes (Dubucq M, 1986) et l'analyse des mesures de concentration en sédiments à l'exutoire du bassin.

La comparaison des résultats obtenus avec les photographies aériennes pour quelques aires particulières du bassin a été satisfaisante. Les extraits de photos au 1/20000 (Missions octobre 2002 et mars 2004), sur lesquels les zones dégradées ont été mis en évidence, illustrent la fiabilité du modèle (Figure 99).

En plus, la cartographie des zones potentiellement érodables et la quantification des flux de sédiments transportés par l'Oued Chemoura apparaissent complémentaires. De ce fait les résultats de l'approche cartographique ont été confrontés à une quantification des sédiments en suspension transportés par l'Oued Chemoura de septembre 1972 à aout 1994 (voir chapitre IX).

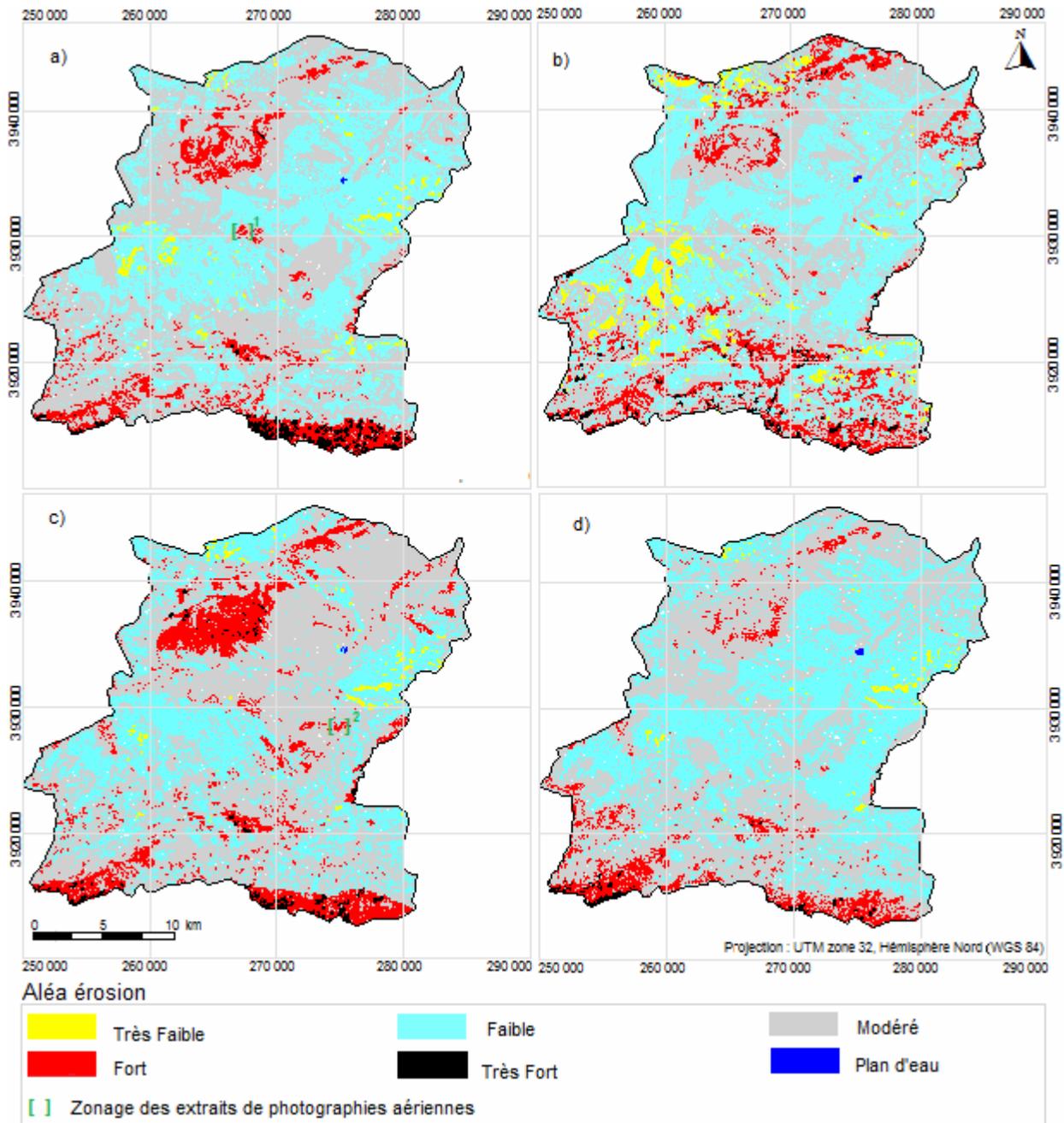


Figure 98 Cartes de l'aléa érosion saisonnier du bassin de l'Oued Chemoura : (a) automne, (b) hiver, (c) printemps, (d) été.

D'après la figure 100, on remarque que le printemps et l'automne se distinguent par leurs apports importants en sédiments et le pourcentage des terres fortement et très fortement érodées est faible par rapport aux autres catégories de terrains.

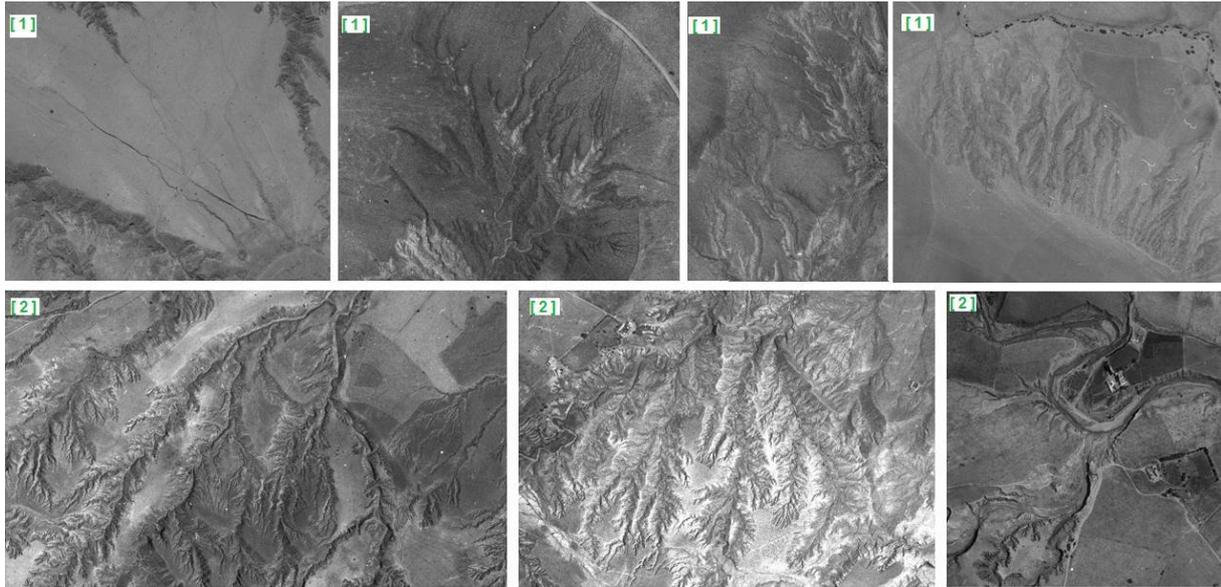


Figure 99 Extraits de photographies aériennes sur des zones de prédiction de l'Aléa érosion

Mais il est alarmant de constater que la plupart des terrains du bassin se trouvent dans la classe d'érosion modérée, car cette dernière peut s'accroître très rapidement si la couverture forestière disparaît. Il en ressort l'importance de la protection et du maintien de cette couverture, d'autant que les zones les plus touchées sont des forêts dégradées et des zones pâturées.

Tableau 43 Répartition saisonnière de l'aléa érosion et des apports liquides et solides : bassin de l'oued Chemoura

Saison		Automne	Hiver	Printemps	Été	Année
Aléa érosion	Très faible (km ²)	13,07	1,21	14,79	53,87	20,74
	(%)	1,73	0,16	1,96	7,14	2,748
	Faible (km ²)	279,80	366,00	413,10	359,10	354,5
	(%)	37,05	48,47	54,71	47,56	46,95
	Modéré (km ²)	409,80	371,50	288,86	296,20	341,6
(%)	54,27	49,20	38,26	39,23	45,24	
	Fort (km ²)	52,07	16,38	38,28	45,46	38,05
(%)	6,90	2,17	5,07	6,02	5,04	
	Très fort (km ²)	0,43	0,00	0,00	0,37	0,2
(%)	0,06	0,00	0,00	0,05	0,03	
Apport liquide moyen (1972-1993)	(Hm ³)	4,64	4,79	10,89	1,90	22,22
(%)	20,9	21,6	49,00	8,5	100	
Apport solide moyen (1972-1993)	(tonnes)	272706	37841	180987	95492	587026
(%)	46,5	6,4	30,8	16,3	100	
Dégradation spécifique moyenne (1972-1993)	(t/km ²)	359,3	49,9	238,4	125,8	773,4

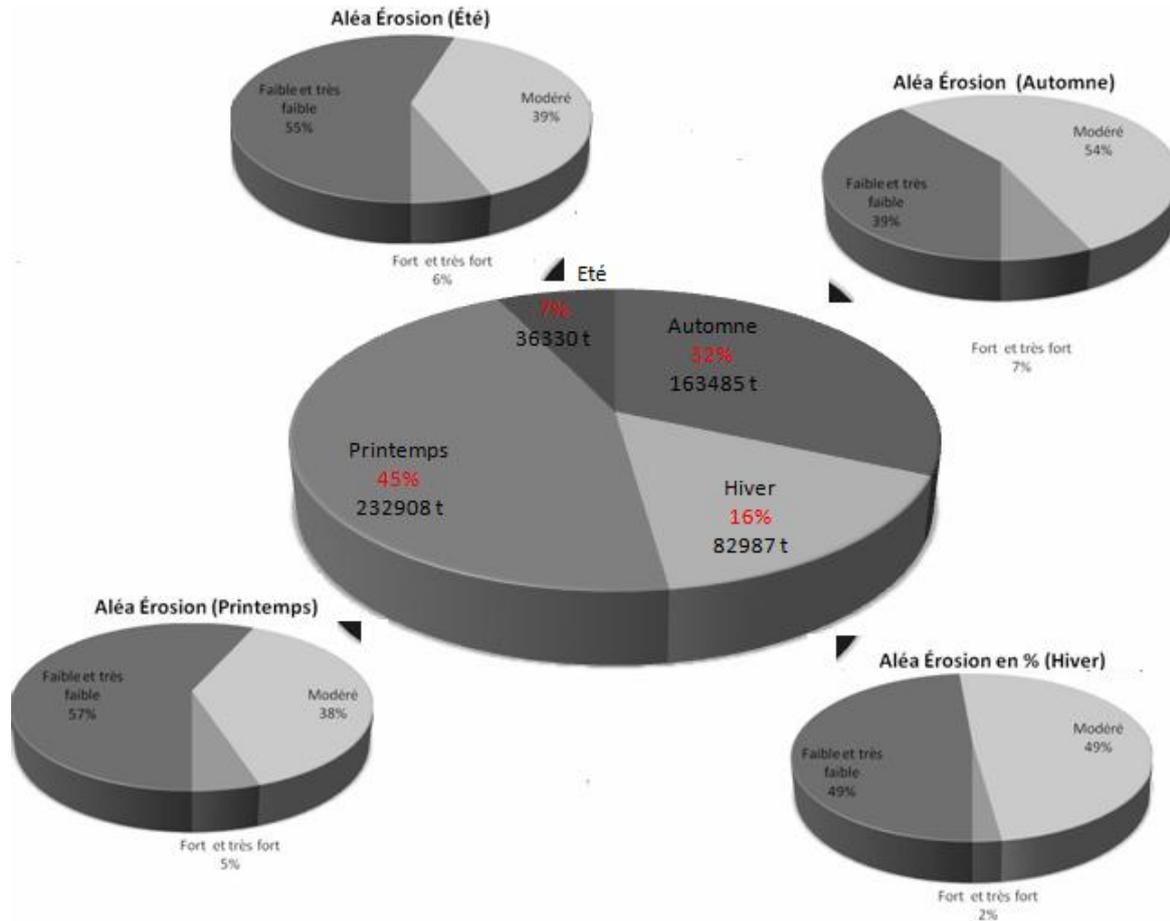


Figure 100 Contribution saisonnière de l'apport moyen en sédiments et de l'aléa érosion : bassin de l'Oued Chemoura.

Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la cartographie de l'aléa érosion hydrique des bassins étudiés. L'approche établie représente un outil efficace pour réaliser de manière simple et rapide un diagnostic général du risque d'érosion hydrique et élaborer des cartes d'aléa à l'échelle annuelle et même saisonnière.

En effet, la différenciation saisonnière de l'aléa érosif, dont le bassin de l'Oued Chemoura a été pris comme exemple d'application, a permis de prendre en compte les interactions entre facteurs climatiques et occupation des sols de manière beaucoup plus précise que dans une approche annuelle. En plus, les résultats ont été confrontés à une quantification des sédiments transportés par l'Oued Chemoura de 1972 à 1993.

L'approche saisonnière peut être généralisée sur la région d'étude, surtout pour les bassins présentant une forte similitude lithologique, morphologique et climatique. Elle mériterait d'être suivie par d'autres études susceptibles de valider les résultats du modèle et d'améliorer la prise en compte des différents paramètres érosifs.

Des séries d'observations et de mesures de concentration en sédiments sur des bassins élémentaires représentatifs seraient intéressantes pour calibrer les classes d'aléa et fournir des valeurs quantitatives indicatives de l'érosion correspondant à chacune de ces classes. Il apparaît également nécessaire de se pencher sur l'influence du couvert végétal et de l'érosivité des pluies, par une mise à jour continuelle et amélioration des données sources. En effet, les cartes élaborées ont permis de distinguer différentes zones échelonnées en aléa érosif très faible, faible, modéré, fort et très fort, et de montrer les endroits qui peuvent libérer facilement les sédiments lors des crues.

Chapitre IX Bilan et modélisation statistique du transport solide en suspension

La région d'étude offre des conditions très favorables à la mobilisation et au transport des matériaux, car des précipitations agressives s'abattent sur un ensemble morphologique très sensible à l'érosion : Collines argileuses ou marneuses aux pentes assez fortes et très peu protégées par la végétation. Ceci amène à poser le problème de l'envasement des barrages implantés dans la région, phénomène de première importance au niveau des bassins étudiés. Les conséquences sont aussi perceptibles sur le plan pédologique notamment les sols riches des piémonts qui sont lacérés par les ravins et emportés par les coulées boueuses et les glissements. De plus l'étalement considérable du matériel grossier au sein des plaines est susceptible de détruire les cultures et de modifier la texture des sols, ce qui contribue à réduire les potentialités agronomiques de la région

IX -1 Mesures des transports solides en suspension en Algérie: Dispositifs et incertitudes

La mesure du transport en suspension consiste à mesurer une concentration en matière en suspension. Cette concentration connaît une variabilité spatiale et temporelle qui rend difficile la mise au point d'une technique de mesures précises, fiable et opérationnelle.

La méthode la plus drastique pour estimer la charge solide en suspension consiste à procéder, à une intégration de différentes concentrations et de vitesses, mesurées sur plusieurs verticales (Abdelhadi, 2012). Cependant, les méthodes de prélèvements automatiques et d'enregistrement continu se sont avérées inapplicables sur les cours d'eau fortement chargés (Demmak, 1982) qui est le cas des oueds algériens.

Les premières mesures systématiques des transports solides en suspension pour l'Algérie ont débuté en 1946 à la station hydrométrique de la Traïlle qui contrôle le haut bassin de l'Oued Isser (Medinger 1960, Demmak 1982). Par la suite, ces mesures ont été étendues à d'autres bassins tels que les Côtiers constantinois, les Côtiers Algérois, le Cheliff, la Tafna, la Macta, El Hodna et la Soummam. Elles ont commencé en 1948 sur la Seybouse et en 1949 sur le Bouhamdane (Ghachi, 1986). En 1970 et après une interruption d'une dizaine d'années, ces mesures ont été reprises et étendues à l'ensemble du réseau hydrométrique national installé par l'ANRH.

Les eaux sont prélevées à la surface du plan d'eau, en un point unique soit sur bord, soit au milieu au moyen du récipient (1litre). Les prélèvements sont effectués, chaque jour (généralement à midi : 12h:00), pour les jours d'écoulement normal, avec des teneurs en boues, relativement faibles et ne variant que très lentement au cours d'une journée. En période de crues à écoulement torrentiel, l'échantillonnage est échelonné dans le temps, suivant des intervalles de temps variables en fonction de la vitesse de l'augmentation des débits liquides.

Les sédiments filtrés sur papier filtre (0,45µm) sont ensuite séchés à l'étuve à une température variant entre 105 et 110 °C. Ramenée à l'unité de volume (1litre), ce poids de la boue est attribué à la concentration en suspension⁽¹⁾ véhiculée par l'oued en g.l⁻¹. Cette mesure de concentration, une fois combiné avec le débit mesuré au même temps, donne le débit solide en suspension. En effet, cette approche ne tient pas compte du caractère variable de la concentration dans la section mouillée du cours d'eau (Touat, 1989). Pour cette raison notamment, l'estimation des flux de sédiment en suspension à partir d'un nombre réduit d'échantillons, ou d'échantillons de surface, intègre des incertitudes, mais elle doit, probablement, nous permettre d'obtenir des valeurs quantitatives de débit solide relativement près (Colombani, 1967).

⁽¹⁾ : La concentration en suspension C (g/l) = $1000 (P_2 - P_1) / V$, avec P_1 : le poids du papier-filtre sec et vide en (g), P_2 : le poids du papier-filtre avec les sédiments en suspension évalué en (g) et V : le volume de l'échantillon.

IX -2 Présentation des données

La collecte et la mise en forme des données revêt l'aspect le plus difficile est le plus délicat du traitement de l'information d'autant plus quand celle-ci constitue une masse importante. En effet, nous disposons d'une banque de données brutes remises par l'ANRH, comportant les valeurs de hauteurs d'eau, de débit liquide instantané, de débit liquide moyen journalier et de concentration en matière en suspension enregistrées aux neuf (09) stations hydrométriques contrôlant les bassins de la zone d'étude (leur identification est donnée dans le Chapitre IV/2^{ème} partie). En outre, il a été possible d'obtenir une série de crues, permettant de tracer les hydrogrammes de crues et les turbidigrammes.

IX -2-1 Statistiques générales sur les données de concentration en MES

Mise à part la station de Bordj Sabath⁽¹⁾, qui a connu quatre ans d'observation seulement, les Autres stations disposent d'une série de mesure plus ou moins longue, allant de 10 ans (station El Kantara) à 31 ans (station Medjez Amar II).

À partir de données compilées et classées par mois, un fiche unique, comprenant : date - heure - hauteur d'eau - concentration en éléments fins - débit liquide - débit solide, a été établi, pour déterminer la relation débit solide - débit liquide. Ce travail laborieux a l'avantage de fournir des résultats sur le volume des sédiments fins transporté à l'échelle mensuelle, annuelle et saisonnière. Le Tableau 44 nous renseigne sur la taille de la série de données et le nombre de prélèvements effectués au droit de chaque station.

Tableau 44 Statistiques sur les concentrations en MES (g/l) pour les bassins étudiés

	Code ANRH	Période d'observation	Nbre de valeurs observées	Concentration max				Cmin (g/l)	Cmoy (g/l)	E-Type
				C (g/l)	date	H (cm)	Ql (m ³ /s)			
El kantara	061201	1969-1993	1258	233	15-07-1969 (23:00)	128	6,50	0,01	15,22	23,66
M'Chouneche	061502	1979-1998	745	153,6	08-10-1983 (21:15)	190	58,1	0,1	32,98	30,25
Kh. Sidi Nadji	061801	1972-1990	1484	359,71	05-10-1975 (16:15)	100	42,8	0,1	23,17	32,15
Ain babouche	062308	1974-1984	489	54,42	02-09-1979 (17:30)	92	19,94	0,01	2,61	5,47
Reboa	070403	1985- 1998	404	154,92	05-07-1987 (17:15)	100	37,2	0,15	16,93	23,19
Chemoura	070501	1971-1996	1950	320,85	18-09-1979 (19:30)	150	102,45	0,2	34,88	42,74
F. El Gueiss	070702	1971-1996	1038	141,57	31-07-1994 (18:45)	221	39,11	0,01	12,78	22,19
Medjez AmarII	140301	1969-2000	2411	105,70	23-10-1969 (07:30)	128	6,50	0,01	1,47	5,67
Bordj Sabath	140302	1973-1976	361	8,00	05-04-1974 (08:00)	13	0,22	0,01	0,08	0,45
Bouchegouf	140501	1980-2000	1074	209,6	03-09-1997 (12:00)	18	-	0,01	5,55	17,20
Ain Berda	140602	1980-2000	1174	40,49	02-12-1995 (12:00)	80	2,14	0,01	2,54	4,28

IX -2-2 Evolution des concentrations observées au cours d'une crue

La figure 101 présente deux exemples sur les variations des concentrations et des débits instantanés mesurés au cours d'une crue: la crue de l'Oued El Arab à Kh. Sidi Nadji (le 04/09/1972) et la crue de l'Oued Bouhamdane à Medjez Amar II (les 23-29/01/1973). Les maximums de concentrations observées lors de ces deux crues sont peu importants vis-à-vis de ce qui a été présenté dans le tableau 44. Toutefois, le nombre important de prélèvement effectués, dont dépend la qualité de reconstitution de la courbe des concentrations, nous a conduits à les sélectionner pour une analyse d'évolution. Les deux exemples montrent qu'il n'est pas possible de considérer une relation stable entre les débits liquides et les concentrations en MES et que leur variabilité nécessite un traitement particulière de chaque crue, avec une reconstitution des turbidigrammes.

⁽¹⁾: la station de Bordj Sabath a été abandonnée lors du traitement des données vu la qualité de l'information en notre possession quant à la relation hauteur-débit.

Les pics de concentration sont, en effet, observés avant ou après le maximum de débits. A Khanget Sidi Nadji, on observe au tout début de la crue un maximum de concentration de 84 g/l pour 245 m³/s de débit, beaucoup plus important que la concentration correspondant au maximum de débit (17 g/l et 486 m³/s, respectivement). L'évolution de la crue du 23-29/01/1973 à Medjez Amar II, décrit deux pics de concentrations dont la plus forte valeur (34 g/l) succède le maximum de débit (400 m³/s). La concentration a été moins importante pour le deuxième pic (18g/l) qui précède une monte de débit de 235 m³/s.

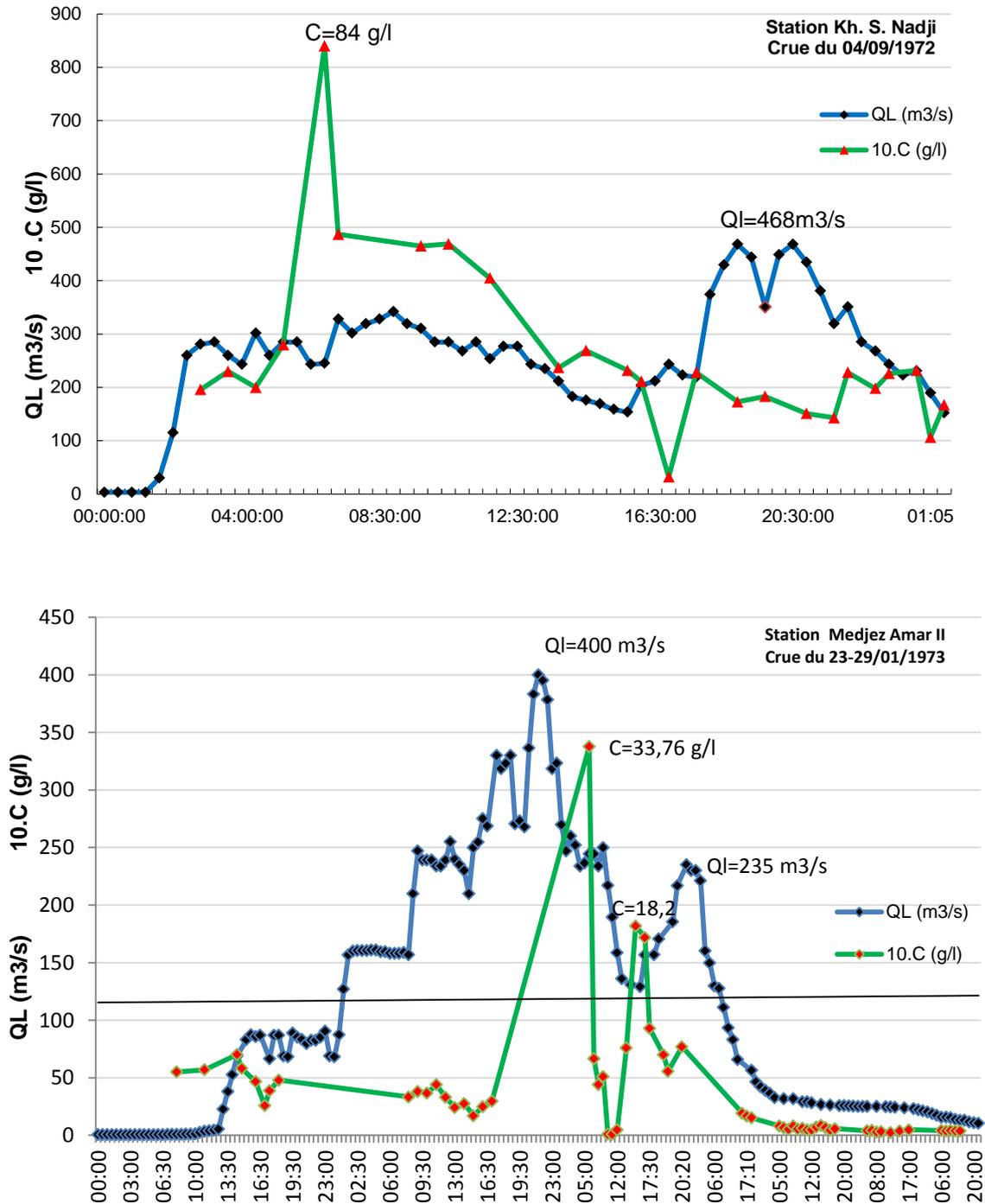


Figure 101 Exemples de variabilité des concentrations en MES à l'échelle de la crue

En effet, la relation entre les débits et les concentrations est certainement plus complexes pour d'autres crues enregistrées dans les différentes stations de la zone d'étude, où le régime d'écoulement et de transport solide est influencé par plusieurs facteurs. Il s'agit surtout des caractéristiques conditionnant l'érodabilité des bassins, l'intensité des précipitations et leur distribution spatiale, ainsi que le volume et la vitesse de ruissellement produit. Parmi d'autres facteurs à considérer, la proximité de la source des sédiments par rapport à la station, l'influence par des aménagements hydrauliques et les vents sahariens qui sont à l'origine de beaucoup de poussières qui peuvent être piégées par les eaux des oueds, notamment ceux du versant sud des Aurès.

Dans notre cas, seul le débit à l'exutoire est utilisé pour interpréter les variations de concentration. Ce paramètre intègre, en effet, de nombreux phénomènes et processus singuliers à l'intérieur du bassin versant.

IX -3 Évaluation de la charge solide (Méthode opérationnelle)

Notre démarche s'inspire de celle prônée par Demmak (1982). Elle est représentée par l'organigramme ci-dessous (figure 103), qui se présente de la manière suivante:

Pour une station donnée, on sélectionne les journées des crues pour les quelles un nombre suffisant de prélèvement a été effectué permettant une bonne reconstitution du turbidigramme⁽¹⁾. Les crues analysées représentent des épisodes caractéristiques de la période d'étude. Elles ont été choisies sur la base des critères suivants:

- la réalisation d'un hydrogramme complet et non complexe
- la prise en compte des fortes et faibles crues;
- la fréquence d'échantillonnage pour la concentration en matière solide en suspension.
- le débit maximal atteint.

Sur un limnigraphe on positionne dans le temps les valeurs des mesures chronologiques de concentration en matière solide en suspension. Le turbidigramme sera tracé en joignant les différents points et en s'inspirant du limnigraphe. Dans un souci d'illustration, nous avons représenté une crue marquante qui a été observée au début du cycle hydrologique (mois de septembre) à la station de Chemoura (Figure 102).

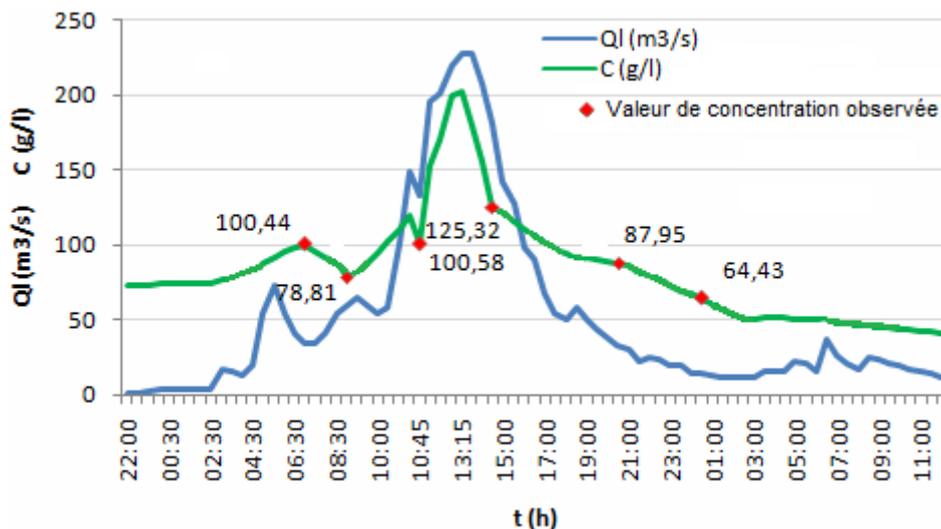


Figure 102 Reconstitution du turbidigramme correspondant à la crue du 04/09/1972 à Chemoura

⁽¹⁾ : Le turbidigramme est, par définition, la courbe d'évolution au cours du temps, de la charge solide des eaux de ruissellement (concentration) sous une averse d'intensité donnée. (Collinet et Lafforgue, 1979).

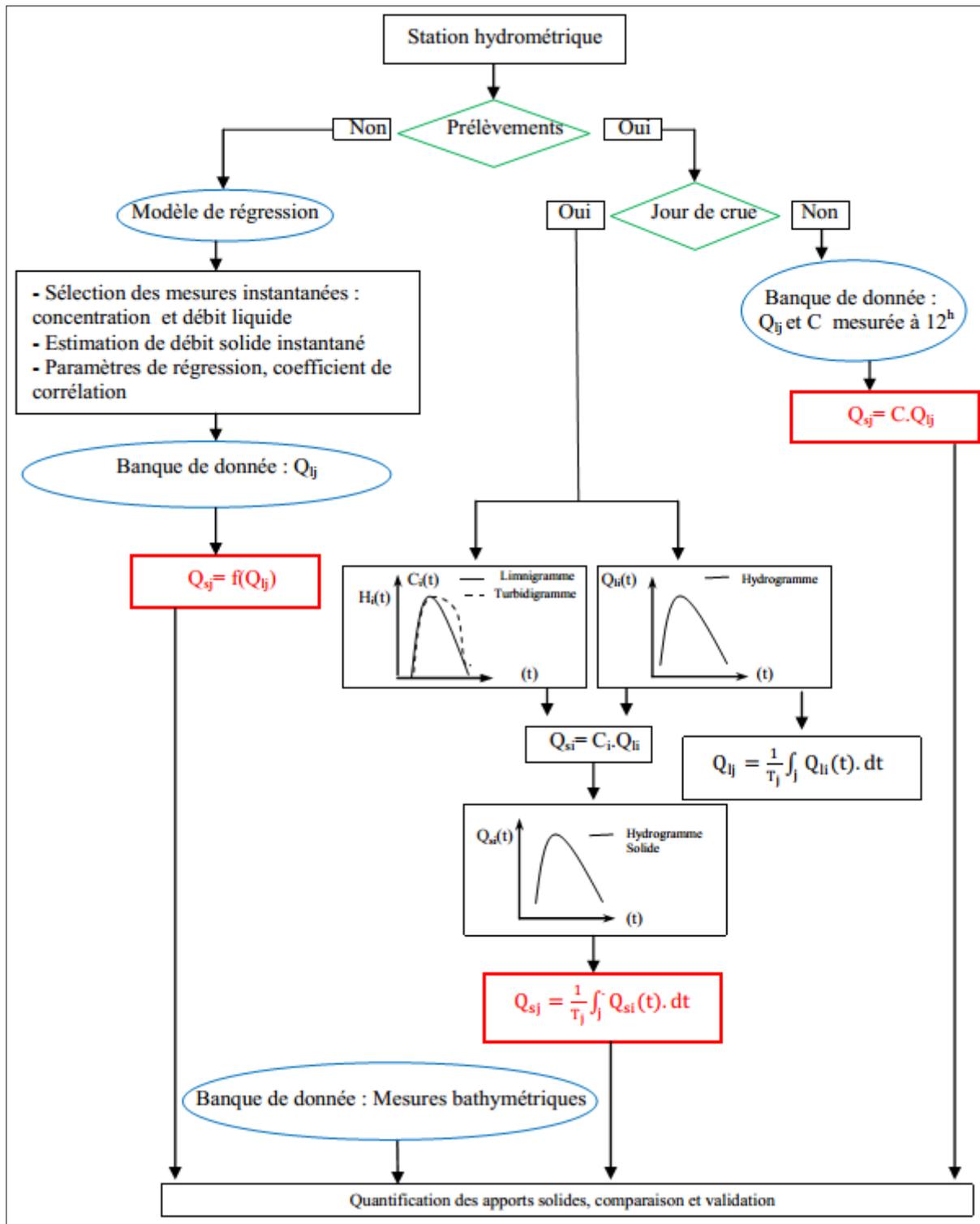


Figure 103 Méthodologie adoptée pour le calcul d'un débit solide moyen journalier (inspirée de la démarche prônée par Demmak,1982)

En adoptant le même pas de temps, les valeurs de concentration instantanées lues sur le turbidigramme sont projetées sur la courbe limnigraphique et celle de l'hydrogramme, pour noter les valeurs des hauteurs d'eau et de débits correspondantes.

La connaissance de la variation de la concentration en matière en suspension et des débits liquides en fonction du temps nous permet d'obtenir le débit solide instantané ($Q_s=C.Q_l$) pour chaque hauteur d'eau enregistrée.

Le calcul du débit solide journalier en suspension se fait par intégration⁽¹⁾ : Détermination de la surface de l'épure solidogramme : $Q_s=f(t)$.

Pour les journées où les débits sont restés constants (jours d'écoulement normal) les données instantanées sont directement applicables à l'élaboration de la courbe d'étalonnage débit liquide-débit solide.

Cependant, les données disponibles, fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques, sont insuffisantes et entachées de valeurs manquantes, notamment les hauteurs d'eau journalières instantanées lues sur les limnigrammes. Devant cette situation, nous nous sommes vus contraints de recourir aux modèles statistiques régressifs et aux débits moyens journaliers pour combler les lacunes et homogénéiser les séries de débit solide. Ceci pour l'évaluation des sédiments transportés à différents pas de temps, et par suite l'interprétation du phénomène des transports solides.

IX -4 Modélisation statistique: Évolution de la charge solide en fonction des débits instantanés

Les chroniques de débits liquides sont en effet généralement plus longues que celles concernant les concentrations. La recherche d'un modèle régressif $Q_s=f(Q_l)$ permettrait donc la reconstitution des flux de matières transporté par l'oued sur une durée plus longue que celle pour laquelle on dispose de données.

IX -4-1 Critères d'évaluation et sélection du modèle adéquat

Le transport des matériaux arrachés au versant par les cours d'eau, est un phénomène dont la complexité à l'échelle spatiale et temporelle, reste difficile à mettre en équation vu les différents facteurs mis en jeux (Touaibia, 2010).

Il est classique de chercher un modèle régressif significatif reliant le débit solide au débit liquide, pour évaluer le taux d'abrasion d'un bassin versant. Toutefois ce modèle qui s'avère plus ou moins univoque, doit traduire les variations dans la disponibilité des sédiments et nécessitent d'être validées par comparaison avec des mesures bathymétriques.

En Algérie, l'application du modèle "courbe du transport solide" proposé dès 1895 par Kenedy (Lefort, 1992) reliant l'écoulement liquide et l'écoulement ou le transport solides : $Q_s=a.Q_l^b$ a fait l'objet de nombreuses études (Elahcene et Remini 2009, Touaibia et al. 1999, Terfous et al. 2001, Benkhaled et Remini 2003, Achite et Ouillon 2007). Généralement, ces études adoptent et justifient le choix de ce type de modèle par la variance expliquée.

Cependant, et très souvent, on peut trouver un modèle voire plusieurs qui expliquent le maximum de variance, mais il faut toujours justifier le choix d'un modèle plutôt qu'un autre et adopter celui qui offre une explication raisonnable et acceptable, même si sa variance expliquée est plus réduite (Belhedi, 2010).

Notre approche consiste à quantifier les apports solides à travers la mise en évidence de relations statistiques entre les débits solides et les débits liquides mesurés au niveau des stations hydrométriques de la région d'étude.

⁽¹⁾ : $Q_{sj} = \frac{1}{T_j} \int_j Q_{si}(t). dt$ avec

Q_{si} : Débit solide instantané (kg/s) ; T_j : durée de la crue dans la journée (s) ; t : le pas du temps choisi.

Les valeurs du coefficient de corrélation (Tableaux 45, 46 et 47) pour un risque d'erreur de 5% justifient le choix du modèle (Dagnellie, 1992), sous réserve d'essayer de trouver la justification raisonnable du modèle choisi. Pour cette raison notamment, nous avons poussés plus loin le calcul, l'interprétation et la sélection des modèles adoptés. De plus, nous avons exploité les données bathymétriques disponibles sur l'envasement des barrages implantés dans la région, pour valider et justifier les relations établies.

IX -4-2 Homogénéisation et extension des données

Le traitement statistique de l'information disponible (débit liquide, concentration en MES) consiste à trouver un modèle régressif $Q_s = f(Q_l)$, en vue d'une homogénéisation satisfaisante des données et d'une quantification de la dégradation spécifique au droit des stations étudiées. Quatre modèles régressifs sont ajustés entre le débit solide et le débit liquide avec un degré de confiance de 95% à savoir: linéaire, parabolique (quadratique), polynomial (cubique) et puissance. Trois mises en forme des données sont considérées, en les regroupant, d'abord dans leur totalité, en suite à l'échelle mensuelle et saisonnière. La station de Bordj Sabath a été abandonnée lors du traitement des données vu l'insuffisance et la non fiabilité de l'information en notre possession. Aussi, nous avons écarté le modèle linéaire au vu de test de significativité des coefficients de corrélation. Devant le nombre faible de données et l'insignifiance de la corrélation pour certains regroupements par mois, notamment en saison d'été, nous avons tenu compte le regroupement par saison ou la totalité des données, pour poursuivre notre démarche.

IX -5 Bilan des exportations de matières en suspension dans les bassins versants étudiés

IX -5-1 Evaluation et validation des résultats de la modélisation statistique

Un barrage constitue une fosse à sédiments de grande taille. Si l'on contrôle le bilan hydraulique du barrage et la turbidité des volumes d'eau déversés ou soutirés, on peut déduire de l'envasement de la retenue, une valeur moyenne des transports solides sur une période allant de la date de la mise en eau du barrage à la date des mesures d'envasements ou sur une période suffisamment longue, comprise entre deux relevés successifs (Claude et Chartier 1977, Demmak 1982). En effet, le suivi de l'évolution bathymétrique des retenues intègre l'ensemble des phénomènes du processus érosion-transport solide, y compris le charriage de fond.

Les mesures bathymétriques effectuées dans les retenues de six (6) barrages érigés dans la région d'étude, sont adéquates, d'une part, pour évaluer les apports solides des oueds qui les alimentent, et d'autre part, pour valider et justifier les modèles régressifs établis.

Connaissant la valeur moyenne de la densité sèche des sédiments déposés dans la retenue, on pourra déduire l'apport en sédiments fourni par le bassin, souvent exprimé en $t/km^2/an$. Cette densité dépend des caractéristiques et des conditions d'exploitation de la retenue. Selon Demmak, 1982, on peut dire d'après les rares mesures effectuées en Algérie, que cette densité varie entre 1,2 et 1,4 t/m^3 .

Les résultats reportés ci-dessous (tableaux 45, 46, et 47) permettent d'évaluer les apports solides moyens annuels et d'aboutir au modèle régressif adéquat pour l'estimation de ces derniers, en exploitant les mesures de concentration en MES effectuées dans les stations hydrométriques.

Tableau 45 Modèle parabolique ou quadratique pour la relation débit liquide – débit solide

Station	Saison	Mois	N ^{br}	modèle parabolique ou quadratique à base logarithmique					
				Regroupement par mois		Regroupement par saison		Ensemble des données	
				R ²	Modèle	R ²	Modèle	R ²	Modèle
Chemoura	Auto	sep	326	0,864	$\log(Q_s) = 1,2513 + 1,8165\log(Q_L) - 0,2423\log(Q_L)^2$	0,855	$\log(Q_s) = 1,1939 + 1,6474 \log(Q_L) - 0,149088 \log(Q_L)^2$	0,756	$\log(Q_s) = 1,0364 + 1,4360 \log(Q_L) - 0,0142 \log(Q_L)^2$
		oct	190	0,862	$\log(Q_s) = 1,1705 + 1,5891 \log(Q_L) - 0,1339 \log(Q_L)^2$				
		nov	84	0,891	$\log(Q_s) = 0,9654 + 1,5225 \log(Q_L) - 0,0735 \log(Q_L)^2$				
	Hiver	déc	26	0,779	$\log(Q_s) = 0,8836 + 1,190 \log(Q_L) + 0,1674 \log(Q_L)^2$	0,842	$\log(Q_s) = 0,4595 + 1,2737 \log(Q_L) + 0,1909 \log(Q_L)^2$		
		jan	48	0,948	$\log(Q_s) = 0,2924 + 1,9382\log(Q_L) - 0,1615 \log(Q_L)^2$				
		fév	48	0,887	$\log(Q_s) = 0,214472 + 1,7471 \log(Q_L) - 0,0155 \log(Q_L)^2$				
	Printe	mar	141	0,817	$\log(Q_s) = 0,2392 + 1,6098 \log(Q_L) + 0,0721 \log(Q_L)^2$	0,747	$\log(Q_s) = 0,7395 + 1,4256 \log(Q_L) + 0,0618 \log(Q_L)^2$		
		avr	123	0,739	$\log(Q_s) = 0,8664 + 1,5662 \log(Q_L) - 0,0728 \log(Q_L)^2$				
		mai	28	0,771	$\log(Q_s) = 0,9317 + 1,3527 \log(Q_L) + 0,09730\log(Q_L)^2$				
	Été	jui	150	0,849	$\log(Q_s) = 1,15833 + 1,7236 \log(Q_L) - 0,1684 \log(Q_L)^2$	0,796	$\log(Q_s) = 1,3336 + 1,5866\log(Q_L) - 0,1456\log(Q_L)^2$		
		juil	66	0,813	$\log(Q_s) = 1,53772 + 1,5309 \log(Q_L) - 0,2771 \log(Q_L)^2$				
		aou	40	0,866	$\log(Q_s) = 1,45194 + 1,9651 \log(Q_L) - 0,3932 \log(Q_L)^2$				
Medjez AmarII	Auto	sep	95	0,940	$\log(Q_s) = -0,0732 + 2,0072\log(Q_L) + 0,1229\log(Q_L)^2$	0,791	$\log(Q_s) = -0,2909 + 1,6712 \log(Q_L) - 0,0883 \log(Q_L)^2$	0,837	$\log(Q_s) = -0,8330 + 1,3489 \log(Q_L) + 0,1352\log(Q_L)^2$
		oct	144	0,739	$\log(Q_s) = -0,1234 + 1,97215 \log(Q_L) - 0,0322 \log(Q_L)^2$				
		nov	139	0,839	$\log(Q_s) = -0,7241 + 1,3827 \log(Q_L) + 0,1228\log(Q_L)^2$				
	Hiver	déc	220	0,905	$\log(Q_s) = -0,6707 + 1,6568 \log(Q_L) + 0,0151\log(Q_L)^2$	0,856	$\log(Q_s) = -0,9054 + 1,4736 \log(Q_L) + 0,1065 \log(Q_L)^2$		
		jan	320	0,879	$\log(Q_s) = -0,8998 + 1,4932 \log(Q_L) + 0,0668 \log(Q_L)^2$				
		fév	449	0,802	$\log(Q_s) = -1,0321 + 1,4624\log(Q_L) + 0,1587\log(Q_L)^2$				
	Printe	mar	348	0,881	$\log(Q_s) = -1,30271 + 1,6481 \log(Q_L) + 0,1244 \log(Q_L)^2$	0,857	$\log(Q_s) = -0,9824 + 1,4326 \log(Q_L) + 0,0906\log(Q_L)^2$		
		avr	325	0,886	$\log(Q_s) = -0,967726 + 1,4800 \log(Q_L) + 0,0279 \log(Q_L)^2$				
		mai	192	0,709	$\log(Q_s) = -0,661657 + 1,5600 \log(Q_L) - 0,2342\log(Q_L)^2$				
	Été	jui	91	0,545	$\log(Q_s) = -0,947418 + 0,20441 \log(Q_L) - 0,7411\log(Q_L)^2$	0,524	$\log(Q_s) = -0,8689 + 0,6808 \log(Q_L) - 0,4052 \log(Q_L)^2$		
		juil	25*	0,524	$\log(Q_s) = -0,8689 + 0,6808 \log(Q_L) - 0,4052 \log(Q_L)^2$				
		aou	6*	0,524	$\log(Q_s) = -0,8689 + 0,6808 \log(Q_L) - 0,4052 \log(Q_L)^2$				

Tableau 46 Modèle polynomial ou cubique pour la relation débit liquide – débit solide

Station	Saison	Mois	N ^{br}	modèle polynomial ou cubique à base logarithmique					
				Regroupement par mois		Regroupement par saison		Ensemble des données	
				R ²	Modèle	R ²	Modèle	R ²	Modèle
Chemoura	Auto	sep	326	0,865	$\log(Q_s) = 1,2801 + 1,7984 \log(Q_L) - 0,3308 \log(Q_L)^2 + 0,0515 \log(Q_L)^3$	0,885	$\log(Q_s) = 1,2002 + 1,6400 \log(Q_L) - 0,163172 \log(Q_L)^2 + 0,0092 \log(Q_L)^3$	0,756	$\log(Q_s) = 1,0642 + 1,4055 \log(Q_L) - 0,0774 \log(Q_L)^2 + 0,0416 \log(Q_L)^3$
		oct	190	0,863	$\log(Q_s) = 1,2006 + 1,5400 \log(Q_L) - 0,1834 \log(Q_L)^2 + 0,0391 \log(Q_L)^3$				
		nov	84	0,892	$\log(Q_s) = 1,0048 + 1,4587 \log(Q_L) - 0,1288 \log(Q_L)^2 + 0,0400 \log(Q_L)^3$				
	Hiver	déc	26	0,784	$\log(Q_s) = 0,9708 + 1,1246 \log(Q_L) - 0,1169 \log(Q_L)^2 + 0,1945 \log(Q_L)^3$	0,857	$\log(Q_s) = 0,3388 + 1,1027 \log(Q_L) + 0,9482 \log(Q_L)^2 - 0,3578 \log(Q_L)^3$		
		jan	48	0,955	$\log(Q_s) = 0,2803 + 1,2411 \log(Q_L) + 0,9987 \log(Q_L)^2 - 0,4215 \log(Q_L)^3$				
		fév	48	0,955	$\log(Q_s) = 0,2803 + 1,2411 \log(Q_L) + 0,9987 \log(Q_L)^2 - 0,4216 \log(Q_L)^3$				
	Printe	mar	141	0,818	$\log(Q_s) = 0,2082 + 1,5810 \log(Q_L) + 0,2006 \log(Q_L)^2 - 0,0579 \log(Q_L)^3$	0,751	$\log(Q_s) = 0,8391 + 1,2918 \log(Q_L) - 0,0821 \log(Q_L)^2 + 0,1129 \log(Q_L)^3$		
		avr	123	0,747	$\log(Q_s) = 0,9546 + 1,3121 \log(Q_L) - 0,1333 \log(Q_L)^2 + 0,1632 \log(Q_L)^3$				
		mai	28	0,775	$\log(Q_s) = 1,0096 + 1,2573 \log(Q_L) - 0,0404 \log(Q_L)^2 + 0,0941 \log(Q_L)^3$				
	Été	jui	150	0,850	$\log(Q_s) = 1,1268 + 1,804 \log(Q_L) - 0,1218 \log(Q_L)^2 - 0,0494 \log(Q_L)^3$	0,797	$\log(Q_s) = 1,3121 + 1,6226 \log(Q_L) - 0,0908 \log(Q_L)^2 - 0,0417 \log(Q_L)^3$		
		juil	66	0,816	$\log(Q_s) = 1,5390 + 1,4193 \log(Q_L) - 0,2767 \log(Q_L)^2 + 0,0654 \log(Q_L)^3$				
		aoû	40	0,868	$\log(Q_s) = 1,5011 + 1,8738 \log(Q_L) - 0,5198 \log(Q_L)^2 + 0,1332 \log(Q_L)^3$				
Medjez AmarII	Auto	sep	95	0,942	$\log(Q_s) = -0,0460 + 2,2181 \log(Q_L) + 0,1531 \log(Q_L)^2 - 0,1852 \log(Q_L)^3$	0,792	$\log(Q_s) = -0,3251 + 1,7249 \log(Q_L) - 0,0009 \log(Q_L)^2 - 0,0556 \log(Q_L)^3$	0,838	$\log(Q_s) = -0,8749 + 1,3695 \log(Q_L) + 0,2385 \log(Q_L)^2 - 0,0532 \log(Q_L)^3$
		oct	144	0,775	$\log(Q_s) = -0,09069 + 2,7114 \log(Q_L) + 0,2698 \log(Q_L)^2 - 0,8654 \log(Q_L)^3$				
		nov	139	0,841	$\log(Q_s) = -0,8329 + 1,43202 \log(Q_L) + 0,3017 \log(Q_L)^2 - 0,0828 \log(Q_L)^3$				
	Hiver	déc	220	0,911	$\log(Q_s) = -0,8103 + 1,6592 \log(Q_L) + 0,4153 \log(Q_L)^2 - 0,1734 \log(Q_L)^3$	0,858	$\log(Q_s) = -0,9664 + 1,4538 \log(Q_L) + 0,2961 \log(Q_L)^2 - 0,0818 \log(Q_L)^3$		
		jan	320	0,881	$\log(Q_s) = -0,9591 + 1,4874 \log(Q_L) + 0,2393 \log(Q_L)^2 - 0,0741 \log(Q_L)^3$				
		fév	449	0,803	$\log(Q_s) = -1,0493 + 1,4095 \log(Q_L) + 0,2923 \log(Q_L)^2 - 0,0552 \log(Q_L)^3$				
	Printe	mar	348	0,881	$\log(Q_s) = -1,32075 + 1,5300 \log(Q_L) + 0,3450 \log(Q_L)^2 - 0,08067 \log(Q_L)^3$	0,857	$\log(Q_s) = -0,9829 + 1,4325 \log(Q_L) + 0,0925 \log(Q_L)^2 - 0,0009 \log(Q_L)^3$		
		avr	325	0,886	$\log(Q_s) = -0,96225 + 1,4885 \log(Q_L) - 0,00035 \log(Q_L)^2 + 0,0110 \log(Q_L)^3$				
		mai	192	0,709	$\log(Q_s) = -0,6680 + 1,6142 \log(Q_L) - 0,1967 \log(Q_L)^2 - 0,0673 \log(Q_L)^3$				
	Été	jui	91	0,545	$\log(Q_s) = -0,9390 + 0,3128 \log(Q_L) - 0,4772 \log(Q_L)^2 + 0,1661 \log(Q_L)^3$	0,542	$\log(Q_s) = -1,01655 - 1,04529 \log(Q_L) - 4,3602 \log(Q_L)^2 - 2,4051 \log(Q_L)^3$		
juil		25*	0,542	$\log(Q_s) = -1,01655 - 1,04529 \log(Q_L) - 4,3602 \log(Q_L)^2 - 2,4051 \log(Q_L)^3$					
		aoû	6*	0,542	$\log(Q_s) = -1,01655 - 1,04529 \log(Q_L) - 4,3602 \log(Q_L)^2 - 2,4051 \log(Q_L)^3$				

Tableau 47 Modèle Puissance pour la relation débit liquide – débit solide

Station	Saison	Mois	N ^{br}	modèle Puissance					
				Regroupement par mois		Regroupement par saison		Ensemble des données	
				R ²	Modèle	R ²	Modèle	R ²	Modèle
Chemoura	Auto	sep	326	0,847	$Q_s = 16,393 Q_L^{1,505}$	0,847	$Q_s = 14,271 \cdot Q_L^{1,472}$	0,756	$Q_s = 10,807 \cdot Q_L^{1,419}$
		oct	190	0,854	$Q_s = 12,980 Q_L^{1,458}$				
		nov	84	0,888	$Q_s = 8,415 Q_L^{1,452}$				
	Hiver	déc	26	0,772	$Q_s = 8,586 Q_L^{1,328}$	0,835	$Q_s = 2,675 \cdot Q_L^{1,572}$		
		jan	48	0,945	$Q_s = 2,200 Q_L^{1,634}$				
		fév	48	0,945	$Q_s = 1,662 Q_L^{1,719}$				
	Printe	mar	141	0,816	$Q_s = 1,659 Q_L^{1,724}$	0,746	$Q_s = 5,696 \cdot Q_L^{1,490}$		
		avr	123	0,737	$Q_s = 6,893 Q_L^{1,526}$				
		mai	28	0,768	$Q_s = 9,155 Q_L^{1,463}$				
	Été	jui	150	0,838	$Q_s = 11,840 Q_L^{1,580}$	0,789	$Q_s = 19,425 \cdot Q_L^{1,447}$		
		juil	66	0,783	$Q_s = 24,134 Q_L^{1,466}$				
		aou	40	0,834	$Q_s = 24,878 Q_L^{1,657}$				
Medjez AamarII	Auto	sep	95	0,938	$Q_s = 0,994 Q_L^{2,011}$	0,789	$Q_s = 0,439 \cdot Q_L^{1,620}$	0,831	$Q_s = 0,170 \cdot Q_L^{1,489}$
		oct	144	0,739	$Q_s = 0,729 Q_L^{1,966}$				
		nov	139	0,835	$Q_s = 0,246 Q_L^{1,483}$				
	Hiver	déc	220	0,904	$Q_s = 0,217 Q_L^{1,677}$	0,853	$Q_s = 0,129 \cdot Q_L^{1,620}$		
		jan	320	0,878	$Q_s = 0,131 Q_L^{1,591}$				
		fév	449	0,798	$Q_s = 0,085 Q_L^{1,708}$				
	Printe	mar	348	0,878	$Q_s = 0,046 Q_L^{1,853}$	0,855	$Q_s = 0,109 \cdot Q_L^{1,547}$		
		avr	325	0,885	$Q_s = 0,108 Q_L^{1,524}$				
		mai	192	0,700	$Q_s = 0,186 Q_L^{1,554}$				
	Été	jui	91	0,518	$Q_s = 0,157 Q_L^{0,996}$	0,518	$Q_s = 0,164 \cdot Q_L^{1,130}$		
		juil	25*	0,518	$Q_s = 0,164 \cdot Q_L^{1,130}$				
		aou	6*	0,518	$Q_s = 0,164 \cdot Q_L^{1,130}$				

Au vu des mesures bathymétriques aucun modèle régressif n'a pu être généralisé. Cependant, le modèle polynomial semble adéquat pour 4 séries sur six, soit 67% des cas étudiés, en considérant le cas le plus défavorable en terme de risque et 50% pour le modèle puissance en tenant compte de l'écart relatif minimum (tableau 48). Le résultat des deux variantes coïncide pour 50% des cas analysés dont 60% pour le modèle polynomial et 40% pour le modèle parabolique. Le regroupement des données par mois est adopté pour 67 % des séries pour les deux cas.

Dès lors, il nous semble plus adéquat, dans le cadre de cette contribution, de ne considérer que le cas le plus défavorable « le pire des cas ». Les raisons pour lesquels il nous paraît souhaitable d'adopter ce dernier cas, sont multiples :

- les séries d'observation disponibles contiennent un grand nombre de concentrations basses et insignifiantes et les concentrations élevées qui constituent la majeure partie des apports solides annuels ne sont mesurées qu'en rares occasions.
- les échantillons généralement prélevés à la surface de l'oued, auront une concentration en MES moindre que la concentration moyenne de la vertical ([Demmak, 1982](#)).
- La couverture forestière de la région d'étude, surtout celle des Aurès, subisse à diverses formes d'agressions. On peut donc s'attendre à une accélération de sa dégradation, et par conséquence, une diminution de leur rôle protecteur.
- L'accentuation de l'irrégularité pluviométrique durant ces dernières décennies (crues et sécheresses plus violentes et plus fréquentes) peut contribuer à accroître l'agressivité climatique potentielle vis-à-vis des sols.
- une politique d'aménagements et de construction hydraulique ambitieuse (barrages et transferts de grande envergure), a été menée pour les bassins de la région d'étude. Les intérêts socio-économiques de cette politique justifient une garantie de service continue de l'infrastructure actuelle et une appréciation du risque que l'érosion hydrique peut provoquer, pour les projets à venir (voir Chapitre IV /troisième partie).

A noter que l'incertitude sur la densité des dépôts et sur les volumes des sédiments déversé ou soutirés ne nous permet pas d'interpréter clairement les résultats, sur lesquels nous pourrions tirer des conclusions nettes concernant le type de modèle à adopter.

Tableaux 48 Bilan des Apports solides dans six bassins de la Seybouse-Aurès et sélection du modèle régressif adéquat

	Estimation à partir des Mesures bathymétriques					Estimation à partir des mesures de concentration en MES							
	Barrage	Capacité (Hm ³)		Envasement moyen annuel (AS_{bb})		Apport moyen annuel à la station hydrométrique (AS_{st}) en tonne		(Sst/Sb)	Apport moyen annuel au site du barrage (AS_{bc}) en tonne	Ecart relatif ⁽⁴⁾ (Er) en %	Modèle	Regroupement	
		initiale	Dernier levé (2004)	(Hm ³) ⁽¹⁾	(tonne) ⁽²⁾	En suspension	Total ⁽³⁾						
Bouhamdane	H. Debagh	200 (1987)	184,35	0,92	1196000	a	334405	401286	1,00	401286	-199	parabolique	Par mois
						b	333405	400086					
Chemoura	K. El Medouar	62 (2001)	61,32	0,23	299000	a	515660	618792	1,286	481176	23	polynomial	Totalité des données
						b	281951	338341					
El Gueiss	F. El Gueiss	3 (1944)	0,43	0,043	55900	a	37320	44784	0,954	46943	-19	polynomial	Par mois
						b	37320	44784					
El Arab	Babar	41 (1995)	38,01	0,33	429000	a	399861	479833	3,673	130638	-228	polynomial	Par mois
						b	399861	479833					
El Hai	F. Des Gazelles	55,5 (2000)	54,74	0,19	247000	a	207371	248845	0,750	331794	26	parabolique	Par saison
						b	164097	196916					
El Abiod	F. El Gherza	47 (1950)	14,89	0,59	767000	a	346020	415224	0,795	522294	20	polynomial	Par mois
						b	262394	314873					

(1) : Envasement tel qu'estimé par l'ANBT en 2004. Aucune information n'est disponible concernant les apports soutirés par les vannes de vidange et sur les volumes de sédiments déversés. Remini (2005) note que pour 50 barrages maghrébins, le "trap efficiency" est situé entre 90 -98 %, ceci représente le pourcentage de sédiments piégés dans les retenues, seule une faible partie des sédiments passe à travers la digue.

A noter que l'apport solide total entre deux mesures bathymétriques (AS_{bb}) est calculé en ajoutant au volume de vase retenu dans le barrage (V_i) et multiplié par sa densité sèche (d), la masse de terre exportée par les débits liquides déversés ou soutirés : $AS_{bb} = V_i \cdot d + \sum_{i=1}^n S_i \cdot C_i$

S_i : Volume déversé pendant la crue ou soutiré (m³) ;

C_i : Concentration moyenne en matière en suspension mesurée durant la crue i en (t/m³) ;

(2) : En considérant une densité sèche (poids sec des matériaux par unité de volume) égale à 1,2 t/m³ (Demmak, 1982) ;

(3) : Le taux de charriage a été estimé d'une façon approximative, à environ 20 % du transport solide en suspension. Selon Larfi et Remini, (2006), le charriage est estimé en Algérie entre 15% et 25% de la suspension ;

AS_{st} : Apport moyen annuel à la station hydrométrique estimé à partir de concentrations en MES

(4) : L'Ecart relatif : $Er = \frac{AS_{bc} - AS_{bb}}{AS_{bc}}$

AS_{bc} : Apport moyen annuel au site du barrage estimé à partir des mesures de concentration en MES à la station hydrométrique, en tonne ;

AS_{bb} : Envasement moyen annuel estimé à partir des mesures bathymétriques

a : le maximum des valeurs de l'apport solide estimés par les différents modèles et pour différents regroupements des données ;

b : valeurs de l'apport solide correspondant au minimum de l'écart relatif pour différents modèles et regroupement ;

Sst : superficie du bassin à la station hydrométrique ; Sb : superficie du bassin au site du barrage ;

IX -5-2 Les valeurs annuelles moyennes et leur variation spatiale

Les transports solides en suspension de la Seybouse-Aurès aux stations hydrométriques contrôlant ses oueds, présentent des variations spatiales dues essentiellement à la diversité des facteurs de pédogenèse (lithologie, relief, climat, couvert végétal, et activité anthropique). Le tableau 49 résume les caractéristiques annuelles moyennes de l'écoulement et des pertes en terre, soit la concentration moyenne en MES (g/l), le débit solide en (kg/s) et la dégradation spécifique moyenne en t/km²/an. Les valeurs moyennes annuelles des concentrations en MES sont le résultat de 22 ans d'observation pour les dix stations retenues dans l'étude.

Sur la région des Aurès, la concentration moyenne annuelle est de 0,5 g/l à Chéria (station du minimum). Elle passe à 15g/l à Chemoura (station du maximum), soit une différence de 14,5 g/l.

Ceci est probablement lié à la prédominance d'une couverture végétale saisonnière au bassin moyen et inférieur de l'Oued Chemoura, dont les terrains sont dénudés pendant les fortes crues d'automne qui sont responsables de la quasi-totalité de transport solide. Ces terrains sont le siège d'une érosion intense, surtout ceux situés aux pieds des versants de Djebels Bou Arif et Tagratine. Ajouté à cela une couverture forestière très dégradé ou pratiquement absente sur les reliefs de Tagratine et Gloua et-Trab à prédominance d'argile siliceuse très érodables.

Alors que dans le bassin de Chéria, malgré une faible érosivité des pluies et une déclivité des versants atténuée (voir chapitre III/ 3^{ème} partie), la concentration très faible en sédiments enregistrée s'explique, à notre avis, par le fait que la série de mesures est très discontinue et les concentrations élevées qui arrivent durant les crues exceptionnelles ne sont mesurées qu'en de rares occasions : Plus de 60 % des concentrations mesurées sont inférieurs à 1 g/l et moins de 8% sont supérieurs à 10 g/l. La dégradation spécifique annuelle est de 10 tonnes/km² pour l'Oued Chéria et de 679 tonnes/km² à Chemoura pour la période commune.

Le bassin de Reboa, sous bassin supérieur de l'Oued Chemoura, malgré la prédominance des fortes pentes, est soumis à une érosion moins intense, avec une concentration moyenne en MES de 5 g/l et une dégradation spécifique de 424 tonnes/km². Ceci est vraisemblablement due à la prédominance des formations moyennement érodables (marno-calcaire, calcaire, grés), labours et cultures annuelles très limités. De même pour l'Oued El Gueiss, la concentration en MES était de 5 g/l, mais avec une dégradation spécifique moins élevée (259 tonnes/km²).

Sur le versant méridional des Aurès, la concentration en sédiments est de 5 g/l à l'Oued El Hai, 15 g/l à l'Oued El Abiod et 11g/l à l'Oued El Arab. Leur dégradation spécifique est respectivement de 179 tonnes/km², 330 tonnes/km² et 192 tonnes/km². La différence qui existe entre les apports solides de ces bassins, malgré la relative semblance du contexte climatique et géologique, est probablement liée au rôle protecteur de la forêt occupant environ 13 % de l'aire du bassin de L'Oued El Hai, notamment dans sa partie nord-est.

Aussi, l'intervention de l'homme par le biais des activités agricoles, la superficie du bassin et les zones d'atterrissement intermédiaires sont des facteurs qui peuvent faire la différence. A noter que, les mesures des débits et de la concentration en MES à la station de khanguet Sidi Nadji sont effectuées avant 1995, date de la construction du barrage de Babar en amont de la station.

La concentration en MES est relativement faible sur la Seybouse et nettement inférieure à celle des bassins des Aurès.

Tableau 49 Concentration en MES, débit solide, et dégradation spécifique dans la zone d'étude

Bassins	Lithologie Dominante.	Couverture végétale Dominante.	Répartition des terrains selon leurs pentes (%)					Caractéristiques hydro-pluviométriques Pendant les observations.			Perte de Terre.									
			< 3%	3-6%	6-12%	12-18%	> 18%	P(mm)	Q _L (m3/s)	Le(mm)	Cmoy (g/l)			Q _s (kg/s)			D.S (t/km ² /an)			
											M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	
O. El Hai	Calcaires marneux et calcaires massifs, marnes, marno-calcaires,	Forêts, broussailles et cultures céréalières	35	16	29	15	5	361	0,416	11,3	R1	4,28	5,29	8,02	5,20	5,91	5,94	140,3	159,6	160,3
											R2	4,3	<u>5,3</u>	8,1	5,2	<u>6,6</u>	6,0	141,5	<u>178,9</u>	163,4
											R3	4,06	6,09	6,98	3,71	6,54	6,02	101,1	178,1	163,9
O. El Abiod	Calcaires- gypses, calcaires marneux, Marno-calcaires	Broussailles, espaces ouverts à maigres végétations	22	14	28	22	14	281	0,367	11,0	R1	9,71	11,48	<u>15,28</u>	8,32	9,96	<u>10,97</u>	249,9	299,3	<u>329,5</u>
											R2	9,61	10,37	10,39	8,08	9,49	6,77	242,8	285,3	203,6
											R3	10,60	11,25	12,51	7,43	7,41	7,67	223,4	222,6	230,4
O. El Arab	Alluvions + terrasses, marno-calcaires, marnes+ calcaires + lentilles de gypses.	Broussailles, espaces ouverts à maigres végétations, cultures céréalières	42	15	22	14	7	293	0,715	10,8	R1	6,73	9,58	<u>11,1</u>	12,26	12,50	<u>12,6</u>	185,7	189,3	<u>192,0</u>
											R2	6,56	7,26	13,25	11,75	11,99	12,37	178,0	181,6	187,4
											R3	6,44	7,14	8,46	11,11	11,51	11,84	168,4	174,4	179,3
O. Chéria	Alluvions, Calcaires à inocérames, marno-calcaires	Cultures annuelles, espaces ouverts à maigres végétations	70	15	10	4	1	261	0,119	4,6	R1	<u>0,49</u>	0,75	1,41	<u>0,25</u>	0,17	0,17	<u>9,7</u>	6,6	6,7
											R2	0,39	0,56	1,62	0,21	0,12	0,16	8,0	4,7	6,3
											R3	0,27	0,26	0,58	0,17	0,16	0,20	6,6	6,1	7,7
O. Reboa	Glacis Quaternaire, marno-calcaires.	Forêts, broussailles, terrains dénudé	29	14	21	19	15	432	0,496	52,9	R1	<u>4,82</u>	4,02	5,33	<u>3,98</u>	3,37	3,65	<u>423,9</u>	359,7	389,6
											R2	5,19	5,33	5,52	2,83	2,77	2,94	301,4	295,0	313,7
											R3	4,66	7,62	8,48	2,93	2,92	3,12	312,5	310,9	332,9
O. Chemoura	Glacis Quaternaire, Grès, marno-calcaire.	Forêts, Broussailles, cultures annuelles, terrains dénudés.	45	16	17	12	10	370	0,706	29,4	R1	11,72	15,52	18,67	15,57	14,48	13,21	647,4	601,9	549,1
											R2	6,42	8,42	8,89	8,94	8,60	8,01	371,5	357,5	333,2
											R3	10,89	14,27	15,36	16,22	16,24	16,34	674,2	675,1	679,4
O. El Gueiss	Calcaires alternés de marnes, marno-calcaires et dolomies	Forêts, cultures céréalières	16	25	21	31	7	391	0,241	52,8	R1	3,67	4,37	<u>5,12</u>	1,02	1,10	1,18	222,7	240,9	<u>259,2</u>
											R2	3,62	4,29	4,97	0,97	1,05	1,13	212,9	230,4	246,6
											R3	2,67	2,89	3,00	1,11	1,04	1,03	242,8	227,8	226,1
O. Bou-hamdane	Grès, Marno-calcaires	Broussailles, cultures céréalières, terrains dénudé	39	16	31	12	3	533	2,254	64,5	R1	0,94	<u>0,85</u>	1,04	9,65	<u>10,57</u>	10,39	276,1	<u>302,3</u>	297,1
											R2	0,36	0,55	0,56	5,38	6,98	5,55	154,0	199,8	158,5
											R3	0,44	0,46	0,47	5,51	7,26	6,75	157,8	207,7	192,6
O. El Melah	Grès, complexe argilo-gypso-gréseuse, marno-calcaires	Forêts et broussailles	17	10	35	27	12	726	3,148	180,6	R1	1,47	1,88	2,15	9,07	10,16	10,70	520,4	583,0	612,1
											R2	1,00	<u>1,23</u>	1,55	8,06	<u>12,28</u>	12,02	462,6	<u>704,4</u>	688,0
											R3	0,98	1,09	1,27	8,84	8,92	10,06	507,0	511,7	575,8
O. Ressoul	Grès, marno-calcaires	Forêts, cultures irriguées et arboriculture fruitière, céréalcultures	35	12	39	12	4	597	0,4016	123,0	R1	3,12	2,71	3,13	0,52	0,48	0,52	159,8	147,2	158,9
											R2	3,17	<u>2,97</u>	3,22	0,54	<u>0,53</u>	0,53	164,4	<u>163,1</u>	162,0
											R3	3,05	2,76	3,00	0,45	0,46	0,46	137,1	140,5	139,8

R1 : Répartition par mois, R2 : Répartition par saison, R3 : Totalité des données, M1 : Modèle puissance, M2 : Modèle parabolique ou quadratique, M3 : Modèle polynomial ou cubique

Elle est de 2,6 g/l pour le Ressoul à Ain Berda, 0,9 g/l pour le Bouhamdane à Medjez Amar II et 1,2 g/l pour le Melah à Bouchegouf. Sur le Ressoul, le taux d'abrasion est de 163 tonnes/km², 302 tonnes/km² sur le Bouhamdane et 704 tonnes/km² sur le Melah.

Bien que le taux de boisement de ce dernier bassin soit relativement élevé (44% de la surface totale), la dégradation spécifique reste la plus élevée et largement supérieur à celle du Bouhamdane. Ceci s'explique à notre avis par le fait que les mesures des débits et des concentrations en MES après 1987, date de mise en eau du barrage hammam Debagh, ne concernent que les lâchers de ce dernier, donc à transports en suspension faibles pour le Bouhamdane.

Aussi, il semble, que l'effondrement des berges est l'un des causes d'un accroissement rapide des matériaux transportés dans le Melah. Ceci est signalé par Ghachi (1986) et Khanchoul (2006) dans leurs travaux sur la Seybouse et l'extrême Nord-est algérien.

Ces écarts importants ne peuvent être expliqués que par la forte variabilité du phénomène dans l'espace et dans le temps, mais aussi par l'imprécision des techniques de mesures et d'évaluation. A cette variation spatiale des transports solides en suspension, s'ajoutent des variations interannuelles et saisonnières.

IX -5-3 Les variations interannuelles de l'apport solide en suspension

Les apports annuels en transports solides en suspension aux stations des bassins étudiés et pour les 9 variantes étudiées, sont résumés dans les tableaux 50, 51 et 52, exprimés en tonnes. Leurs variations interannuelles montrent une grande irrégularité pour les différents bassins ; Ceci est lié à l'irrégularité des précipitations et donc des apports liquides.

Les oueds étudiés ont évacué des volumes considérables de matériaux solides en suspension lors de l'année 1972/73 caractérisée par une forte hydraulité dans toutes les stations (voir Chapitre IV/2^{ème} partie). Lors de cette année, les apports solides de Chemoura et Melah sont largement supérieurs à ceux des autres oueds : L'Oued Chemoura a transporté 2445148 tonnes, soit 3222 t/km²/an, 1671748 tonnes pour le Melah, soit 3040 t/km²/an. L'année 1976/77 a été exceptionnelle sur le Melah et l'Oued El Abiod avec un apport solide de 2511321 tonnes, soit 4566 t/km²/an et 3270536, soit 3115 t/km²/an, respectivement.

Aussi, on peut voir (Figure 105) que pour les années 1983/84, 1984/85 et 1986/87, les apports solides sont plus importants sur la Seybouse que l'Aurès : le Melah et le Bouhamdane ont évacué respectivement 827558 tonnes (1505 t/km²) et 821158 tonnes (744 t/km²) en 1983/84, 940511 tonnes (1710 t/km²) et 3223379 tonnes (2922 t/km²) en 1984/85 et 495607 tonnes (901 t/km²) et 739097 tonnes (607 t/km²) en 1986/87.

La région des Aurès a connue des années remarquables par leurs apports solides : Les oueds de Chemoura et Reboa ont charrié respectivement, 1249910 tonnes (1647 t/km²) et 175434 tonnes (593 t/km²) en 1975/76, 1516710 tonnes (1998 t/km²) et 267076 tonnes (902 t/km²) en 1982/83 et 1357602 tonnes (1788 t/km²) et 478737 tonnes (1617 t/km²) en 1989/90.

En général, les variations interannuelles des apports solides suivent celles de l'hydraulité (apports liquides) avec des tonnages considérables caractérisant les années à fréquence élevée des épisodes de fortes crues (Figure 104).

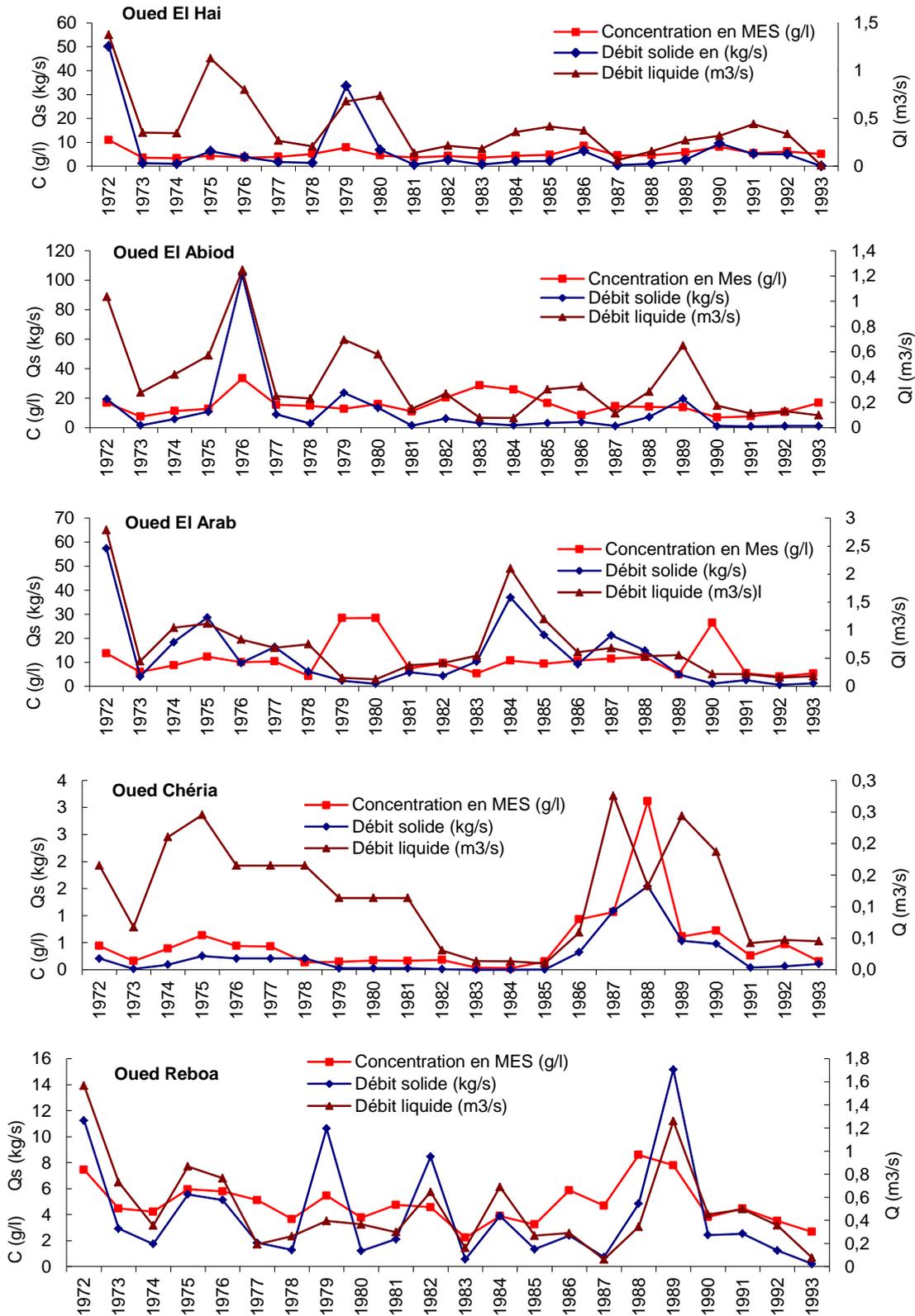


Figure 104 Variations interannuelles des débits solides, débits liquides et des concentrations en MES

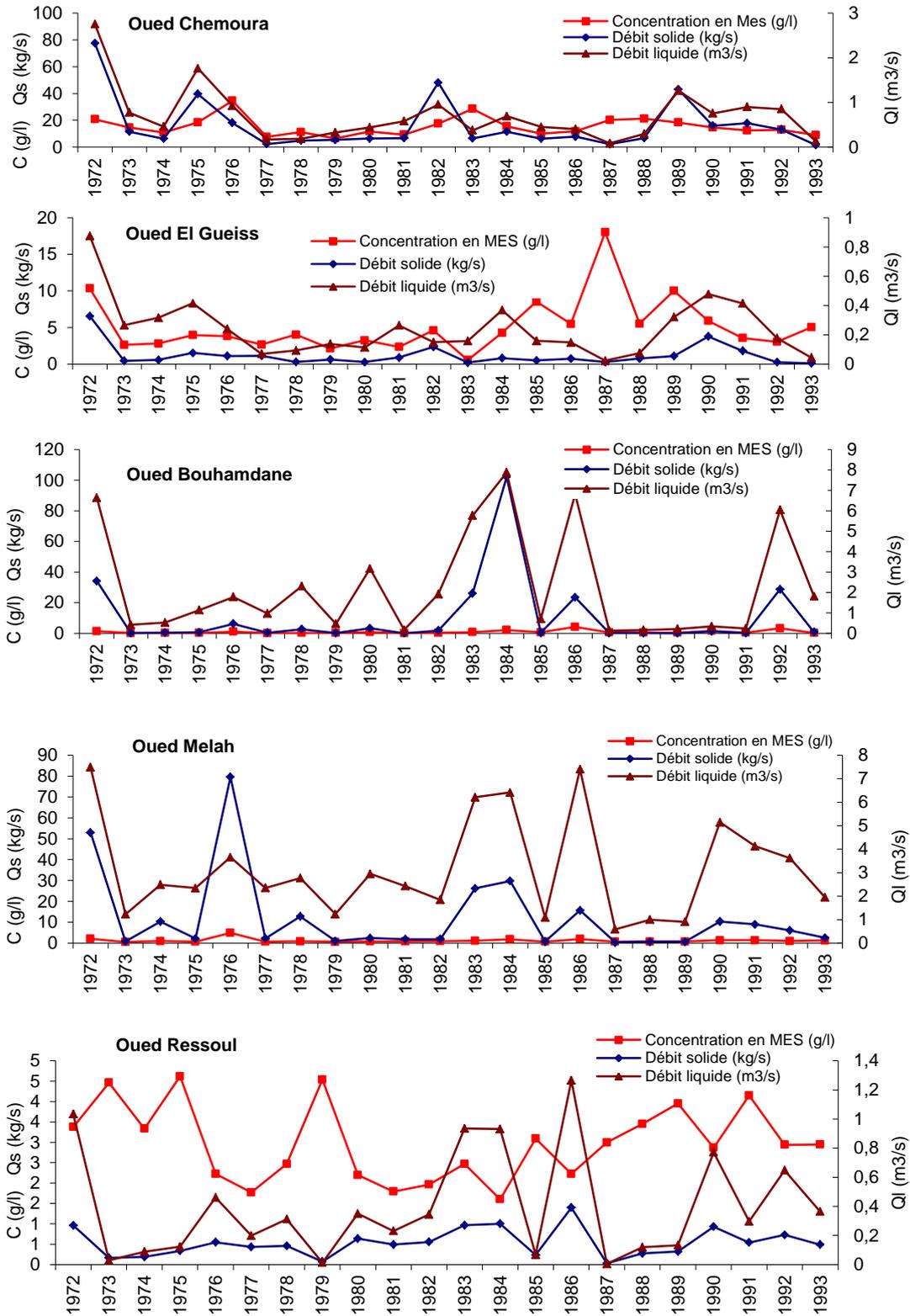


Figure 104 (suite) Variations interannuelles des débits solides, débits liquides et des concentrations en MES

Tableau 50 Apports annuels en transports solides en suspension (Regroupement par mois)

		El Hai	El Abiod	El Arab	Chéria	Reboa	Chemoura	El Gueiss	Bou hamdane	Melah	Ressoul
72-73	M1	950340	569919	1818178	6573	354959	2489811	159432	602794	1450085	29499
	M2	1125255	556599	1828108	2027	334344	2167862	188987	1078975	1528248	26371
	M3	1011033	610925	1809987	1261	333303	1598482	206919	719822	1735068	29185
73-74	M1	40532	53973	122317	455	92331	181095	15010	1849	27789	5238
	M2	38983	51431	122407	1190	72279	202482	12559	1792	28980	5227
	M3	44977	51257	128236	2955	101027	195839	13767	1683	32510	5205
74-75	M1	34370	132644	563549	2904	54935	139894	25363	9220	152282	7816
	M2	32194	140796	537848	3519	38806	145233	18082	10706	208168	7814
	M3	34636	182046	578513	3090	38722	145377	17727	10941	262354	7930
75-76	M1	240719	336439	1232107	7992	175434	1415008	58461	18000	71777	11089
	M2	196867	313426	1008162	4735	151447	1339368	45218	18582	86173	10529
	M3	319576	339631	904598	3592	154584	1266162	48052	19441	86869	10958
76-77	M1	151344	1840723	300061	6573	161954	452070	32990	109891	1128686	16928
	M2	121304	2987199	303350	2027	142400	565812	31735	193388	1312605	15445
	M3	113385	3270536	304624	1261	154515	517019	34698	164899	1265924	17100
77-78	M1	59894	272144	419481	6573	57730	93108	30943	11238	58496	14239
	M2	55325	265442	418937	2027	56851	140690	28161	10832	60159	14026
	M3	80827	283871	516353	1261	61537	154257	35812	11223	41983	14758
78-79	M1	42833	82633	213914	6573	40356	128726	8698	76972	207958	14733
	M2	44049	89027	194997	2027	24071	136184	8025	83665	266595	14278
	M3	45685	86321	193808	1261	25439	81813	9012	50784	214272	14572
79-80	M1	752034	645978	53257	901	335436	472909	19297	8761	27422	2314
	M2	1059285	642028	19025	2050	180868	634122	17872	7041	27944	2401
	M3	989765	745262	75261	1273	191292	316725	19722	10261	27171	2211
80-81	M1	249768	387522	20495	933	38109	96571	9550	649273	112378	19402
	M2	216831	367944	22918	2050	31801	119356	7223	102429	145193	17530
	M3	248063	424763	33409	1273	32689	120096	8346	130427	120633	20036
81-82	M1	21949	50015	173970	901	66789	524923	29582	1300	159238	15915
	M2	21870	47238	221703	2050	23158	295188	29478	1186	156120	15119
	M3	26830	44984	184472	1273	23721	337735	28430	1190	55170	15913
82-83	M1	86743	168549	134214	322	267076	1541594	58885	58231	58250	16203
	M2	83351	167678	136620	564	254381	1258148	73135	55964	58449	14337
	M3	101913	192940	139439	1987	274847	1273087	73868	75789	66311	16578
83-84	M1	30724	83245	304796	19	17629	76046	8887	817148	384729	29623
	M2	23939	83431	302031	492	13940	81543	6038	821158	528125	26348
	M3	28337	96843	325736	1428	14025	89440	6254	1444806	718425	30014
84-85	M1	67804	31065	794270	25	123053	139271	27838	2802805	1121380	29582
	M2	64910	33894	1009595	257	104527	164751	24320	3223379	1196889	25075
	M3	74251	50873	1167718	4934	107836	182264	25535	3205236	1205094	29641
85-86	M1	75320	86049	644717	172	42256	108707	16871	9004	17938	7726
	M2	69157	83550	812910	245	35275	119195	14910	8717	21507	7204
	M3	76981	96875	675386	529	36110	119341	15774	9231	25066	7702
86-87	M1	156764	116625	266139	10208	75524	345543	24394	648131	453847	42294
	M2	200149	113135	289368	15449	73164	350585	18910	739097	479929	39321
	M3	235184	121248	289015	7742	85400	335931	23023	720718	459515	41946
87-88	M1	14815	35743	703585	34373	23217	55344	10902	3115	5308	1077
	M2	13568	35495	660265	1906	20323	62844	6080	3090	9095	1305
	M3	31679	34886	668623	2140	24267	65408	8404	3464	17277	968
88-89	M1	38108	212246	411329	48716	152864	233472	21406	2024	14167	8442
	M2	32959	207218	467077	46161	147560	237967	19714	1821	17441	8046
	M3	48744	228467	468458	47178	163521	259122	23501	1999	25465	8629
89-90	M1	85175	554021	159803	16884	478737	1320026	27213	1741	15959	9515
	M2	83449	576889	150646	14589	467139	1092380	38139	1547	16901	7767
	M3	112818	614194	155626	16072	527858	1109268	34469	1680	19227	9760
90-91	M1	179718	39447	33214	15084	76786	296931	58918	36305	323530	28225
	M2	301470	40533	30407	5477	62940	318952	106659	39499	343235	26076
	M3	102256	36201	35514	3513	71112	297879	119435	37591	372701	28145
91-92	M1	173827	29872	79818	1235	79998	359988	46593	2354	228899	17327
	M2	162777	30403	77700	1601	69182	349006	57866	2133	269635	17006
	M3	200144	28356	81482	2303	68748	401848	56958	2283	244225	17571
92-93	M1	156666	26155	24411	2056	39148	202515	10746	803753	221991	21634
	M2	158387	36757	18133	3445	33196	218370	7409	907368	234671	18279
	M3	196178	36003	19650	5424	6436	219492	7746	525924	230721	21995
93-94	M1	680	17663	37794	3428	34810	137050	3593	24949	54393	13265
	M2	1433	43228	43596	3290	4719	49684	2752	22538	58820	13952
	M3	1812	35949	41038	7583	11658	82090	3586	60296	80281	9142
Moy	M1	164097	262394	386883	7859	126779	491391	32071	304494	286205	16458
	M2	186705	314243	394355	5326	106471	456806	34694	333405	320676	15157
	M3	187503	346020	399861	5424	114029	416758	37320	327713	332103	16362

Tableau 51 Apports annuels en transports solides en suspension (Regroupement par saison)

		El Hai	El Abiod	El Arab	Chéria	Reboa	Chemoura	El Gueiss	Bouamdane	Melah	Ressoul
72-73	M1	949034	584735	1715662	6446	283330	2079287	128582	385965	483379	29899
	M2	1582035	562522	1624808	1873	267608	2046034	155632	642125	1671748	30246
	M3	1064298	562635	1644947	1103	337734	1036833	167037	566974	705375	30723
73-74	M1	40557	60495	127611	337	86356	116381	15010	1824	25512	5084
	M2	39007	56919	125960	1040	67670	119173	12559	1873	26890	5129
	M3	45005	46377	152740	3113	61008	113247	13767	1762	30477	5317
74-75	M1	34392	145212	487178	2690	39987	104868	25363	10236	178626	7615
	M2	32214	130142	479785	3465	27030	77530	18082	11424	326016	5928
	M3	34658	121962	492076	3144	26249	87512	17727	12544	407989	5961
75-76	M1	240211	340484	1118624	7600	126830	822626	58461	17394	64533	10655
	M2	196452	321490	1152036	4471	106008	856705	45218	18269	68585	10583
	M3	318901	314099	996990	3434	109862	852183	48052	18939	78134	10779
76-77	M1	151438	1842717	345284	6446	125638	261997	32990	330252	2019979	17055
	M2	121379	2913103	352972	1873	103103	261680	31735	184761	2511321	17210
	M3	113455	979033	387392	1103	117329	271890	34698	149080	2525432	17587
77-78	M1	59931	152167	453160	6446	32593	42701	30943	13164	68559	13431
	M2	55360	148137	508962	1873	30595	65350	28161	13340	69646	13595
	M3	80878	141823	525002	1103	41851	50123	35812	14316	73143	13618
78-79	M1	42860	87807	221753	6446	42235	74171	8698	87311	155614	14637
	M2	44077	90623	221957	1873	35558	69176	8025	130288	404425	14404
	M3	45714	84564	219556	1103	33666	76023	9012	129659	289865	14598
79-80	M1	750446	601721	53951	775	156229	171682	19297	4015	30097	2249
	M2	1057049	600558	51584	1896	179869	82380	17872	3511	31067	2246
	M3	988165	662911	69517	1115	183093	236156	19722	3483	34374	2245
80-81	M1	249923	376501	19526	807	35573	89300	9550	77395	263680	28066
	M2	216966	360212	22411	1896	28124	79606	7223	79633	76059	20031
	M3	248217	399015	30632	1115	26768	92475	8346	86915	77018	19997
81-82	M1	21963	55428	149668	775	47979	246658	29582	1259	62457	15491
	M2	21884	45820	155375	1896	42248	82093	29478	1681	58109	15457
	M3	26846	40720	170985	1115	46052	75033	28430	1626	58273	15548
82-83	M1	86797	162402	136399	234	234912	484908	58885	48937	57583	16950
	M2	83403	151938	137652	475	285042	459972	73135	49406	58162	17391
	M3	101976	178656	138400	2147	292013	482701	73868	54477	68386	17547
83-84	M1	30659	60124	249505	14	12998	64691	8887	723863	460677	29841
	M2	23888	57783	236457	482	10474	69187	6038	715553	827558	30427
	M3	25918	67966	255491	1185	10934	63021	6254	716569	1166197	30263
84-85	M1	67661	32284	879427	23	71913	140155	27838	1216578	503599	30494
	M2	64951	29974	909043	246	65847	129242	24320	1736339	940511	31548
	M3	74298	33866	960844	2101	62322	116113	25535	1108588	1335256	31624
85-86	M1	75366	105615	607139	131	23432	98470	16871	4436	20697	7458
	M2	69200	101635	640541	196	21792	84469	14910	4824	23306	7378
	M3	77029	59597	690683	2994	22467	88241	15774	4615	28500	7551
86-87	M1	156862	125054	259338	8251	63746	106610	24394	321651	463399	43359
	M2	200274	115332	276747	8456	61811	117161	18910	420423	495607	44051
	M3	234602	118849	304715	16936	66079	110626	23023	394545	488983	43745
87-88	M1	14784	34493	675701	34116	17323	30748	10902	385	7357	959
	M2	13539	35214	699509	1623	15281	28812	6080	1384	11700	918
	M3	24368	33508	794811	8364	18009	273454	8404	1354	23131	921
88-89	M1	38132	219557	337800	23714	121903	110638	21406	578	17696	8346
	M2	32980	216361	419699	18534	130763	116673	19714	1847	20088	8562
	M3	48774	212873	442201	26322	139823	173905	23501	1768	23733	8783
89-90	M1	85228	503125	150447	16842	292616	397188	27213	704	17520	9684
	M2	83501	529836	146329	19543	316552	526916	38139	1263	19997	10050
	M3	112888	535120	139764	14633	326072	625654	34469	1261	24708	10260
90-91	M1	179830	43065	31272	15082	44599	253669	58918	3722	244333	28767
	M2	301658	43200	26324	5493	37285	269143	106659	4101	326592	29265
	M3	102320	35351	31504	9113	34876	268351	119435	4312	317762	29403
91-92	M1	173827	26261	63876	979	55268	294305	46593	835	204777	17160
	M2	162433	27829	62409	1420	50134	256977	57866	1406	282923	17001
	M3	199721	22681	64657	1952	48680	285642	56958	1357	301247	17430
92-93	M1	156764	29906	25459	1889	39585	171501	10746	458516	173127	22268
	M2	158486	30144	24984	2078	30948	146866	7409	798501	192477	22919
	M3	197242	32343	25273	3448	30022	149590	7746	544517	187958	23100
93-94	M1	680	18588	46088	3283	7687	40363	3593	28001	73779	13018
	M2	1434	20852	47840	2949	7037	23949	2752	25958	79895	15352
	M3	1590	18289	51367	5246	7781	35044	3586	27162	79201	10190
Moy	M1	163970	254897	370676	6515	89215	281951	30669	169865	254408	16931
	M2	207371	299528	378336	3802	87308	271322	33178	220360	387395	16804
	M3	189403	213738	390434	5086	92850	252901	35507	174810	378416	16690

Tableau 52 Apports annuels en transports solides en suspension (Totalité des données)

		El Hai	El Abiod	El Arab	Chéria	Reboa	Chemoura	El Gueiss	Bouhamdane	Melah	Ressoul
72-73	M1	592320	686355	1981443	6949	308675	2518407	150414	350139	1265408	23542
	M2	1862987	663155	2197629	6312	276746	2519558	161633	809948	1149184	24738
	M3	1562287	683206	1778515	7915	302920	2445148	159638	574668	1324406	24404
73-74	M1	59024	105251	121218	312	126297	341868	32169	1766	36427	4482
	M2	51661	97196	116958	278	98933	355977	18920	1680	34878	4263
	M3	51433	89076	120101	351	113458	364368	18716	1578	34074	4544
74-75	M1	56952	209330	601396	2038	60075	191328	40404	8757	122596	5777
	M2	48103	189159	623716	2153	44052	194487	24993	10037	350723	5908
	M3	47646	194893	665178	2141	43229	198151	24625	10600	386720	6192
75-76	M1	229420	341911	552393	6870	156304	1248115	55676	19546	81917	7850
	M2	177947	317589	556327	7033	112772	1277323	37634	20081	85773	8162
	M3	179601	344331	621642	9324	115182	1249910	36982	21509	84670	8540
76-77	M1	139838	1102621	351265	6949	136385	528691	31382	69490	769073	18192
	M2	109322	1163221	345123	6312	118888	569887	26749	137430	635419	19212
	M3	108195	1176823	399159	7915	129304	571664	26512	110056	759942	19803
77-78	M1	54996	131590	364276	6949	34003	73210	10933	13051	80406	10345
	M2	41616	124176	364105	6312	51800	73708	12516	11957	79974	10956
	M3	41874	134892	431266	7915	52017	72717	12340	12665	78776	11286
78-79	M1	40049	93657	196857	6949	41186	139936	10542	101139	137759	10763
	M2	41071	97083	186845	6312	94031	160998	6713	198233	339993	11243
	M3	41731	93857	180522	7915	107473	156350	6645	160704	363378	11411
79-80	M1	416048	611540	51848	745	87613	268754	19153	3333	34470	1714
	M2	1064486	624732	50801	735	26652	177834	16734	3027	31917	1617
	M3	976602	679516	60939	714	26758	170610	16487	3064	31484	1702
80-81	M1	182234	393313	23122	772	60404	165341	12948	647157	279362	24370
	M2	167754	373241	25740	735	48429	195595	7850	71307	83057	16486
	M3	173069	416798	24878	714	48083	202747	7809	75501	82731	16723
81-82	M1	24736	56476	133978	745	50867	366237	39109	1271	79493	11595
	M2	26179	53453	132753	735	51015	206827	32112	1111	70773	12365
	M3	26667	52181	149087	714	50280	211181	31480	1128	69826	12666
82-83	M1	56266	155644	139722	119	137283	1430330	29906	31718	62345	15452
	M2	64452	145442	136514	104	236609	1386381	58157	30631	46433	16449
	M3	66514	169651	154367	227	233171	1516710	58919	32583	54660	16790
83-84	M1	27555	53547	295105	18	26358	177207	19331	432435	894415	25365
	M2	25551	50325	305638	9	19527	203430	11403	448129	889984	26892
	M3	25408	61921	335281	127	19208	206829	11271	745772	1019834	26610
84-85	M1	72487	39291	1177349	21	126982	300103	50217	703727	1144360	25829
	M2	68768	36140	1204121	12	90928	352783	33482	1257639	1014109	27386
	M3	69856	41183	1316476	197	94295	364435	32848	1224694	1180960	27209
85-86	M1	87185	151783	561129	106	48301	177846	21789	5300	30060	5487
	M2	74299	141037	557491	118	34265	193456	17496	4542	28645	5599
	M3	75818	147283	641556	293	35412	198063	17212	4469	28213	5899
86-87	M1	106097	142626	220443	2679	51891	233115	17369	332026	391370	36057
	M2	140522	131657	230001	2889	51069	247838	11096	619814	398306	38858
	M3	142388	129630	254936	4237	51802	245501	10990	480182	475797	37942
87-88	M1	11815	34585	346273	33725	11563	47241	3173	854	12403	712
	M2	11867	34488	350471	28410	10311	69686	2568	458	13154	633
	M3	12619	30940	421807	31657	10890	70194	2499	741	13067	643
88-89	M1	32376	181855	272030	9837	73745	191548	9961	1243	26309	6483
	M2	30318	179992	284288	9428	118353	214908	8280	734	23750	6594
	M3	31284	198018	327796	13497	132874	211186	8158	1031	23760	6906
89-90	M1	68591	532022	157620	17965	259014	1351222	45187	1347	23722	7827
	M2	78000	576508	154262	16919	326124	1341960	36365	904	21278	8058
	M3	79665	555708	161308	22373	380185	1357602	35785	1135	22819	8349
90-91	M1	124043	50170	37220	11633	78394	497121	80121	3820	231174	22705
	M2	193744	50583	37009	10430	59603	501068	113296	3152	318776	24045
	M3	193680	42953	31324	13314	59355	502251	114440	3171	330375	23814
91-92	M1	91300	29086	67861	371	88358	556698	64864	1728	202306	13953
	M2	131750	30829	67082	401	77797	574906	68798	1082	296139	14309
	M3	136643	26766	76961	918	87285	564400	67987	1393	321362	14671
92-93	M1	102965	32523	25463	696	59338	380971	20288	1039124	155465	20849
	M2	129404	36617	25890	751	54196	401959	12019	1310088	194335	21813
	M3	132969	31458	24353	1776	53036	412935	11942	1136955	197251	22038
93-94	M1	608	23248	37092	1671	12164	73252	4158	59069	74461	11427
	M2	1485	25614	40079	1855	22299	51369	2835	99015	84954	12884
	M3	1999	21925	38700	3854	21720	51569	2854	69061	83313	8612
Moy	M1	117132	234598	350687	5369	92509	511752	34959	174002	278877	14126
	M2	206422	233738	363311	4920	92018	512361	32802	229136	281434	14476
	M3	189907	241955	373461	6277	98543	515660	32552	212394	316701	14398

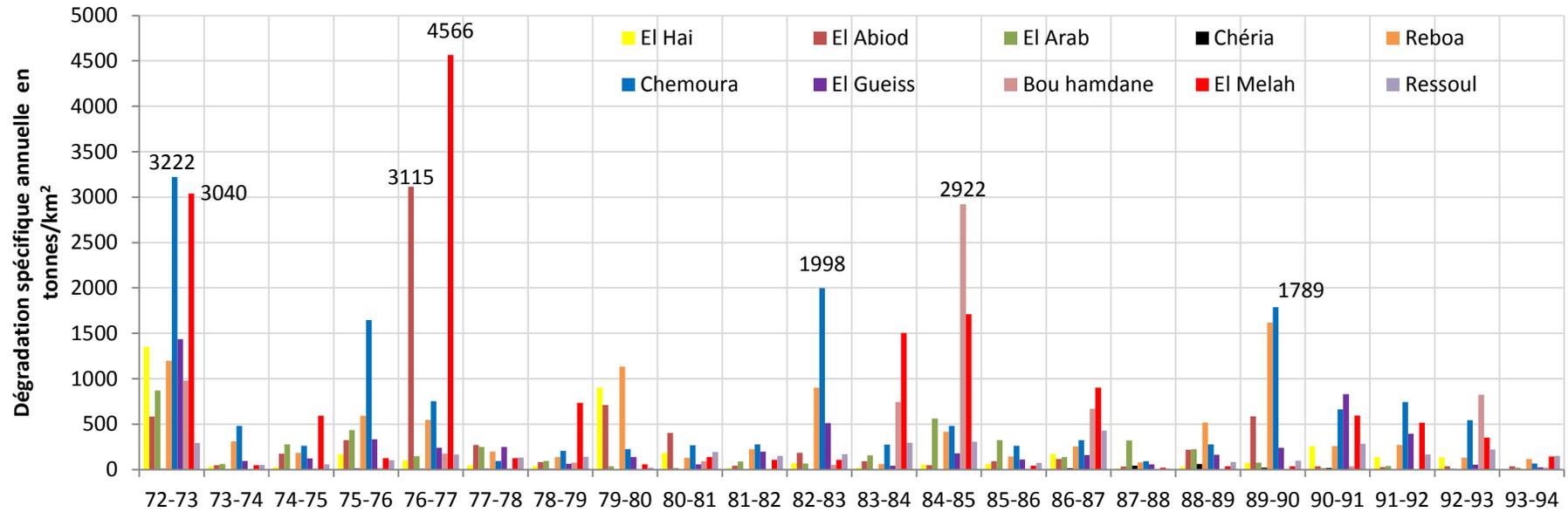


Figure 105 Dégradation spécifique moyenne annuelle en Tonnes/km²

IX -5-4 Les variations saisonnières et mensuelles

Les tableaux 53, 54 et 55 donnent en g/l, la concentration moyenne mensuelle en MES, pour les 9 variantes analysées. Les variations saisonnières des concentrations en suspension, reflètent bien la différence d'alimentation des oueds dans les différentes parties de la zone d'étude (Figure 106).

Le versant nord des Aurès se caractérise par un accroissement de la concentration en MES en Automne avec un maximum en septembre, puis une chute en hiver avec un minimum en décembre ou janvier, et une reprise en mars-avril (Figure 106). Sur l'Oued Reboa, la valeur maximale de la concentration mensuelle est observée en septembre, soit 10,5 g/l, alors que la teneur minimale moyenne est enregistrée en janvier, soit 1,9 g/l. Pour la même période d'observation (1972-1994), Chemoura a enregistré un maximum de concentration en septembre (42,6 g/l) et un minimum en décembre (7,8 g/l). La concentration mensuelle maximale sur l'Oued El Gueiss est de 13,2 g/l en novembre, elle est minimale en décembre (0,9 g/l).

La concentration moyenne mensuelle en sédiments sur le versant sud des Aurès, suit généralement, la même évolution que celle du versant nord. La valeur maximale est enregistrée en septembre sur l'Oued El Hai (15,5g/l) et en octobre sur l'Oued Chéria (1,9 g/l). Elle est de 34,3 g/l en juillet sur l'Oued El Abiod, et atteint les 56 g/l sur l'Oued El Arab en août.

Il semble que les fortes valeurs enregistrés à la fin d'été et au début de l'automne, sont le résultat d'une distribution irrégulière des pluies (averses orageuses), qui tombent sur un sol encore dénudé (début de la campagne de labours) et favorable aux fortes teneurs.

Tableau 53 Valeurs mensuelles de la concentration en g/l (Regroupement pas mois)

		Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
El Hai	M1	12,9	6,3	7,1	3,1	2,7	3,6	1,7	2,7	1,0	3,9	3,6	2,7	4,3
	M2	14,2	6,6	7,6	4,9	4,6	4,7	1,8	3,6	1,0	3,8	6,8	3,8	5,3
	M3	15,2	12,1	11,3	5,4	5,3	5,1	1,9	2,3	1,2	6,7	9,4	15,5	8,0
El Abiod	M1	22,0	10,1	9,4	2,5	5,6	3,1	3,8	5,6	9,7	13,1	9,5	22,0	9,7
	M2	22,7	10,3	9,4	2,7	9,2	3,1	4,0	6,5	11,8	15,0	18,6	24,5	11,5
	M3	26,8	10,8	11,1	2,5	9,1	3,3	10,7	14,2	10,6	22,3	34,3	24,3	15,3
El Arab	M1	14,3	9,9	5,5	1,2	2,2	1,3	5,0	1,1	14,6	11,3	3,7	10,8	6,7
	M2	14,3	9,9	5,7	0,7	2,0	1,5	29,7	1,3	15,2	11,4	3,5	19,8	9,6
	M3	14,5	10,4	4,8	0,6	2,7	4,0	2,32	4,3	15,4	11,6	3,5	55,8	11,2
Chéria	M1	1,4	1,9	0,3	0,03	0,2	0,5	0,03	0,02	0,3	0,7	0,1	0,5	0,5
	M2	1,4	2,4	0,3	0,01	1,3	2,6	0,01	0,02	0,3	0,3	0,1	0,2	0,8
	M3	2,5	4,0	0,8	0,48	0,9	2,6	0,5	0,01	1,1	1,1	0,2	0,4	1,4
Reboa	M1	10,5	7,9	7,0	2,1	1,9	2,1	2,2	5,5	6,0	5,5	3,8	3,5	4,8
	M2	8,2	6,8	6,4	2,1	1,5	1,5	2,4	4,3	4,6	4,4	3,0	3,1	4,0
	M3	8,1	7,1	6,2	7,2	1,5	1,5	2,1	4,6	4,8	7,2	6,9	5,4	5,3
Chemoura	M1	34,9	15,9	8,5	6,0	3,0	1,5	3,2	9,1	12,6	15,7	12,9	17,3	11,7
	M2	35,8	21,5	8,2	7,4	2,2	1,5	3,6	9,4	11,4	16,8	42,2	26,2	15,5
	M3	33,6	21,7	8,4	7,2	13,4	14,6	3,6	8,3	11,4	16,8	43,7	26,8	18,7
El Gueiss	M1	6,2	5,1	5,6	0,7	0,9	1,0	2,0	1,7	2,1	7,7	5,7	5,4	3,7
	M2	5,7	11,5	8,6	0,7	1,0	1,0	2,0	1,4	3,1	6,9	5,3	5,4	4,4
	M3	6,3	7,3	13,2	0,9	1,0	1,3	1,9	1,4	3,2	7,8	7,7	8,1	5,1
Bouhamdane	M1	1,2	0,8	4,1	3,0	0,5	0,6	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,9
	M2	0,7	0,8	4,3	2,0	0,6	0,7	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,9
	M3	1,4	1,1	4,1	2,5	0,6	0,9	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	1,0
Melah	M1	6,8	1,6	2,0	1,8	0,7	0,7	1,1	0,8	1,0	0,5	0,3	0,3	1,5
	M2	8,8	2,6	2,2	1,8	0,9	0,8	1,2	0,9	1,1	0,7	0,8	0,8	1,9
	M3	10,8	2,2	2,5	1,9	0,9	0,9	1,3	0,6	1,9	0,7	0,6	0,6	2,2
Ressoul	M1	0,5	0,8	1,1	1,9	3,5	4,5	3,1	5,4	5,8	6,4	3,3	1,3	3,1
	M2	0,6	0,7	0,9	1,9	1,4	4,1	3,5	3,7	5,8	5,8	2,7	1,4	2,7
	M3	0,6	0,5	1,0	1,9	3,3	4,0	3,2	3,8	5,4	6,0	2,7	1,1	3,1

Tableau 54 Valeurs mensuelles de la concentration en g/l (Regroupement pas saison)

		Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
El Hai	M1	12,9	6,3	7,0	3,3	2,9	3,7	1,7	2,8	1,0	4,0	3,2	2,7	4,3
	M2	15,5	6,7	7,5	5,0	4,8	4,8	1,7	3,6	1,0	3,8	5,0	3,7	5,3
	M3	15,5	8,7	15,2	5,5	5,2	5,2	1,9	2,3	1,2	6,6	9,0	15,6	8,1
El Abiod	M1	18,9	13,6	12,3	2,5	5,6	3,8	6,4	7,0	6,3	15,6	9,5	13,7	9,6
	M2	18,6	13,1	12,4	2,7	9,2	4,1	7,1	7,7	8,1	15,8	10,8	15,0	10,4
	M3	24,5	13,3	13,0	2,5	5,3	3,3	1,6	8,2	8,3	15,6	10,9	15,1	10,4
El Arab	M1	10,8	9,8	9,1	1,6	1,7	1,9	5,2	4,6	9,7	11,8	5,5	7,1	6,6
	M2	10,9	9,6	9,3	1,3	1,4	1,6	5,4	5,1	11,2	13,1	5,6	12,9	7,3
	M3	10,9	9,7	9,4	1,2	1,3	1,5	5,3	6,9	11,8	30,0	39,3	30,3	13,3
Chéria	M1	1,0	1,1	0,3	0,03	0,2	0,5	0,04	0,04	0,3	0,7	0,1	0,5	0,4
	M2	1,1	1,0	0,3	0,01	1,2	2,2	0,05	0,04	0,2	0,3	0,1	0,2	0,6
	M3	1,9	2,6	2,0	0,5	1,1	2,9	0,14	0,02	0,4	2,8	0,2	2,0	1,6
Reboa	M1	9,7	8,7	7,9	2,1	2,3	2,4	2,2	2,2	2,1	9,0	7,5	6,1	5,2
	M2	8,7	7,8	7,9	2,1	3,0	2,4	2,4	2,7	2,3	9,3	8,4	7,1	5,3
	M3	9,1	7,8	10,3	2,3	2,3	2,0	2,1	2,2	2,9	9,3	7,6	6,5	5,5
Chemoura	M1	13,5	9,2	7,6	1,9	2,3	2,2	7,3	7,1	7,5	9,2	4,2	5,1	6,4
	M2	11,6	11,5	7,6	1,6	2,3	1,7	6,7	6,2	6,2	8,1	19,1	18,6	8,4
	M3	9,9	10,1	7,3	19,2	9,0	1,8	6,5	10,4	6,4	10,4	7,2	6,8	8,9
El Gueiss	M1	6,0	5,0	5,8	0,7	0,9	1,0	2,0	1,7	1,7	7,9	5,6	5,3	3,6
	M2	5,4	11,4	8,8	0,7	1,0	1,0	2,1	1,4	2,6	7,0	5,3	5,0	4,3
	M3	5,8	7,3	13,4	0,9	0,9	1,3	1,9	1,4	2,8	7,9	7,7	7,0	5,0
Bouhamdane	M1	0,3	0,3	0,8	0,8	0,6	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4
	M2	2,0	0,3	0,7	1,2	0,8	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6
	M3	1,9	0,4	0,7	0,9	0,7	0,7	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6
Melah	M1	0,7	1,4	3,5	1,5	0,8	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3	0,3	1,0
	M2	0,7	1,4	3,9	1,1	0,9	1,3	1,3	1,0	1,0	0,7	0,8	0,8	1,2
	M3	1,1	1,8	4,6	1,4	0,9	1,5	1,0	1,1	1,8	0,7	0,6	0,6	1,6
Ressoul	M1	0,5	0,7	1,1	2,8	4,4	3,2	3,1	5,5	5,9	6,4	3,3	1,3	3,2
	M2	0,6	0,7	1,1	3,0	4,1	3,0	3,1	3,8	5,9	5,8	3,3	1,4	3,0
	M3	0,6	0,4	1,1	3,1	5,1	2,9	3,1	3,8	5,9	6,0	2,7	1,1	3,2

Tableau 55 Valeurs mensuelles de la concentration en g/l (Totalité des données)

		Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
El Hai	M1	8,0	4,0	4,9	3,3	2,9	3,7	4,6	5,0	3,5	3,4	2,8	2,7	4,1
	M2	14,7	5,3	6,0	4,8	4,6	4,6	4,7	5,9	4,7	5,2	6,1	6,5	6,1
	M3	14,9	5,7	6,1	5,1	4,9	4,8	4,8	6,1	5,1	5,9	7,2	8,5	7,0
El Abiod	M1	17,6	12,6	11,2	9,0	9,1	10,1	10,2	10,9	10,0	10,9	6,2	9,5	10,6
	M2	18,2	12,1	11,5	9,5	10,1	10,1	10,3	10,9	10,8	11,6	8,9	11,0	11,3
	M3	18,7	12,4	12,0	9,5	9,9	9,2	9,8	11,2	11,2	12,9	11,8	12,3	12,5
El Arab	M1	10,4	9,0	7,9	3,9	3,9	4,7	5,6	5,1	9,4	7,4	4,5	5,5	6,4
	M2	10,6	9,2	8,4	4,2	4,3	4,9	5,7	5,2	9,5	8,5	4,8	10,3	7,1
	M3	11,7	10,3	9,4	4,6	5,0	4,7	5,7	5,7	11,4	10,3	7,5	10,8	8,5
Chéria	M1	0,4	0,4	0,1	0,1	0,3	0,5	0,1	0,1	0,2	0,7	0,1	0,5	0,3
	M2	0,4	0,3	0,1	0,05	0,2	0,5	0,1	0,05	0,1	0,6	0,1	0,5	0,3
	M3	0,7	0,8	0,4	0,3	0,8	0,7	0,3	0,2	0,3	0,8	0,2	0,8	0,6
Reboa	M1	5,3	5,0	4,6	4,1	4,5	4,8	5,3	5,2	5,2	4,7	4,0	3,2	4,7
	M2	10,3	9,5	7,2	5,5	5,7	3,6	11,6	7,0	6,8	7,0	10,0	7,3	7,6
	M3	10,2	9,4	6,9	5,3	5,7	3,5	11,5	6,9	6,8	6,9	9,3	16,0	8,5
Chemoura	M1	18,7	12,7	10,5	7,4	9,6	9,1	13,3	12,8	14,0	11,5	5,7	5,5	10,9
	M2	41,1	15,8	10,3	7,7	9,4	9,1	15,4	13,0	13,4	11,5	14,7	9,8	14,3
	M3	42,6	15,9	10,7	7,8	9,7	9,3	15,6	13,1	13,4	11,5	15,3	10,2	14,4
El Gueiss	M1	2,7	2,2	2,6	2,3	2,7	3,0	3,9	3,4	3,2	2,6	1,9	1,7	2,7
	M2	2,4	2,9	3,4	2,0	2,2	2,40	4,0	2,7	4,1	2,9	2,7	3,0	2,9
	M3	2,4	2,9	3,4	2,0	2,2	2,4	3,8	2,7	4,1	2,7	2,5	2,8	3,0
Bouhamdane	M1	0,1	0,1	0,2	1,8	1,6	0,5	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4
	M2	0,1	0,1	0,3	1,0	2,2	0,5	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5
	M3	0,1	0,1	0,3	0,9	1,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,5
Melah	M1	0,4	1,2	1,7	2,1	1,0	1,3	1,4	1,0	0,8	0,5	0,3	0,3	1,0
	M2	0,9	0,9	2,0	1,4	1,1	1,5	1,3	1,1	0,8	0,7	0,8	0,8	1,1
	M3	0,8	1,6	1,9	1,5	1,1	1,5	1,4	1,1	0,8	0,7	0,6	0,6	1,3
Ressoul	M1	1,7	2,3	3,2	2,4	3,6	2,6	2,2	3,7	4,0	6,4	3,3	1,3	3,1
	M2	1,6	2,1	2,9	2,1	3,4	2,5	2,2	2,7	3,9	5,8	2,7	1,4	2,8
	M3	1,7	1,6	3,1	2,2	3,4	2,5	2,3	2,8	4,1	6,0	2,7	1,1	3,0

Les valeurs mensuelles de la concentration en MES pour les oueds de la Seybouse, sont relativement faibles et révèlent une certaine régularité mensuelle. Ceci est dû principalement à la répartition saisonnière des précipitations qui sont plus régulières et présentant des intensités moyennes ou faibles peu agressives et dû aussi à l'état de saturation des sols⁽¹⁾.

La concentration atteint son maximum en Automne (Novembre) pour le Bouhamdane (4,3 g/l) et le Melah (3,9g/l), alors que le minimum est enregistré en juillet pour le Bouhamdane (0,1 g/l) et en septembre pour le Melah (0,7 g/l). Le Ressoul fait l'exception avec son maximum de concentration en printemps (5,9 g/l en mai). A notre avis, ceci tient surtout à l'état de la couverture végétale saisonnière. Le minimum (0,6 g/l) est enregistré en septembre pour cet oued.

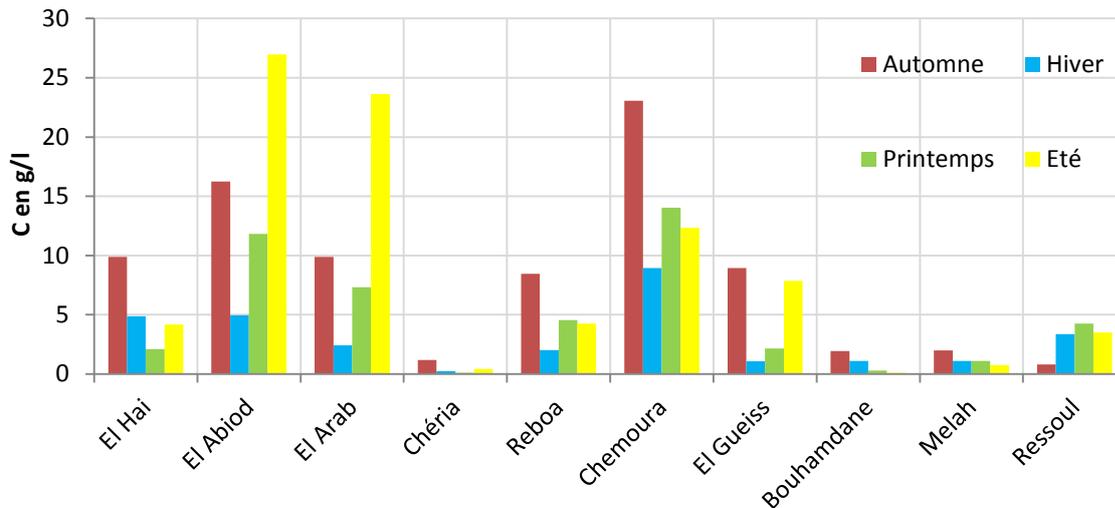


Figure 106 Valeurs saisonnières de la Concentration en MES (g/l)

Enfin, nous avons tracés des graphiques à secteurs (Figure 107) mettant en évidence les variations mensuelles des apports solides (le pourcentage de contribution de chaque mois) pour les dix stations étudiées.

L'apport moyen mensuel en sédiment atteint son maximum en septembre pour l'Oued El Hai (69 % de l'apport moyen annuel), 31% pour l'Oued El Abiod, 26% pour l'Oued Reboa, et 25% pour l'Oued El Arab. Il représente 31% de l'apport annuel pour l'Oued Chéria en octobre, 18% pour l'Oued Chemoura en avril, 23% pour l'Oued El Gueïss en mai, 55% pour le Bouhamdane en décembre, 32% pour le Melah en novembre et 23 % pour le Ressoul en mars.

A noter que la contribution de la période juin-octobre en matière d'apports solides ne dépasse pas les 2 % du total annuel sur la Seybouse. Alors que seulement le mois d'août peut contribuer par un apport solide représentant 8 à 10 % du total annuel sur les bassins des Aurès.

⁽¹⁾ : les terrains humidifiés se comportent comme un milieu imperméable et cohérent résistant mieux à l'érosion. (Demmak, 1982).

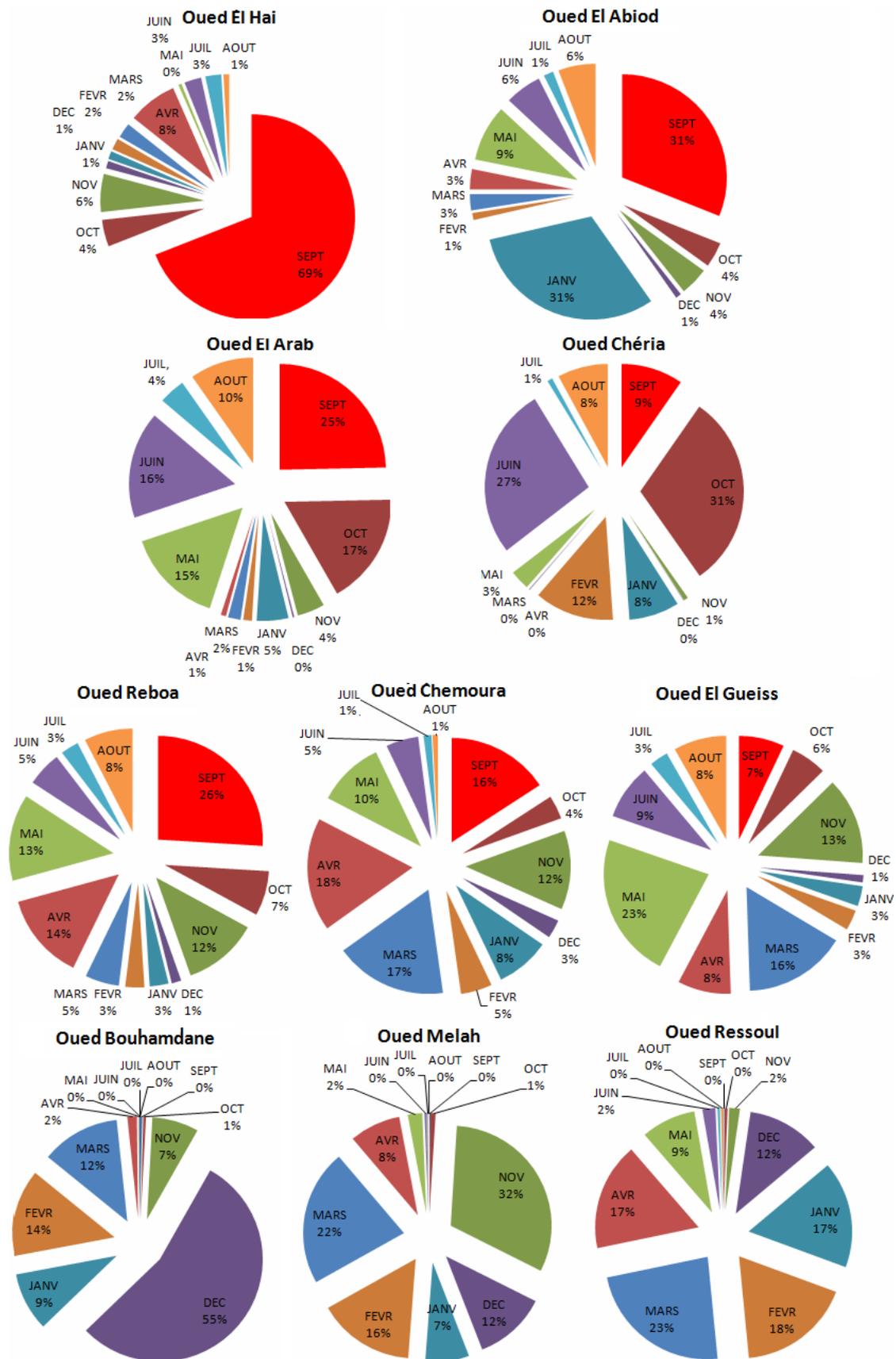


Figure 107 Répartition mensuelle des Apports solides en %

IX -5-5 La relation saisonnière entre le débit liquide et le débit solide

Afin de mieux saisir l'évolution de la charge en suspension, nous avons tracé des graphiques mettant en relation la concentration en MES et le débit liquide, et leurs variations saisonnières, pour les stations de Chemoura, M'Chouneche et Medjez Amar II (figures 108, 109 et 110).

Dans l'ensemble, les variations saisonnières et mensuelles des concentrations en MES suivent assez fidèlement celles des débits liquides sans qu'il y ait une véritable proportionnalité entre ces deux paramètres. Ceci permet de constater que ce sont les crues exceptionnelles qui sont responsables de l'essentiel des transports solides.

L'Oued El Abiod à M'Chouneche a écoulé en avril 1972 un débit mensuel de $3,2 \text{ m}^3/\text{s}$, pour $11,2 \text{ g/l}$ de teneur en MES. Les valeurs maximales de concentration sont observées en janvier 1976 ($165,4 \text{ g/l}$ pour $5,3 \text{ m}^3/\text{s}$ de débit liquide) et en juillet 1993 ($136,3 \text{ g/l}$ pour un débit moyen mensuel de $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$). Des valeurs élevées de concentration ont été également observées en mars 1983 ($85,7 \text{ g/l}$), avril 1984 ($109,1 \text{ g/l}$), juillet 1985 ($114,8 \text{ g/l}$) et septembre 1987 ($85,4 \text{ g/l}$). Les débits liquides correspondants ont été de $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,005 \text{ m}^3/\text{s}$ et $0,003 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivement.

Au mois d'avril 1973 la concentration en MES à Chemoura a été de $30,5 \text{ g/l}$ et le débit liquide atteint son maximum ($12,3 \text{ m}^3/\text{s}$). Alors que, cet Oued a écoulé en juillet 1976 un débit moyen mensuel de $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ pour 191 g/l de concentration. En septembre 1983 dans la même station, la teneur en matériaux solides a été de 237 g/l correspond à un débit liquide de $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$. La concentration en MES a été de $111,7 \text{ g/l}$ en septembre 1988 pour un débit liquide de $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$.

A Medjez Amar II sur le Bouhamdane, la valeur maximal du débit ($56,7 \text{ m}^3/\text{s}$) a été observée en décembre 1984, pour $20,8 \text{ g/l}$. Alors qu'en novembre 1986, la concertation moyenne mensuelle en MES atteint son maximum de $26,7 \text{ g/l}$, largement avant le pic de débit $33,5 \text{ m}^3/\text{s}$ en février. La situation est semblable en 1992, le pic de la concentration ($23,5 \text{ g/l}$) a été observé en novembre pour $1,98 \text{ m}^3/\text{s}$ et celui de débit liquide a été de $37,2 \text{ m}^3/\text{s}$ pour $2,6 \text{ g/l}$ en janvier. En 1972, le maximum de la teneur en MES ($8,3 \text{ g/l}$) coïncide avec celui du débit liquide ($39,2 \text{ m}^3/\text{s}$) en mars.

En somme, La concordance entre les apports solides et liquides, permet de constater que ce sont les crues exceptionnelles qui sont responsables de l'essentiel des transports solides. Aussi, il est à remarquer que les mois septembre pour les Aurès et mars pour la Seybouse sont sujets à une activité érosive intense et d'un apport solide important. Ceci est lié à l'état de saturation et d'occupation des sols et au degré d'agressivité des pluies.

IX -5-6 Les variations journalières de la concentration en MES et contribution des crues dans le bilan annuel des apports

Le phénomène de la concentration en MES semble prendre tout son ampleur lors du déclenchement de crues brutales, à la suite d'averse intense. Signalons toutefois que l'interprétation de la relation de la concentration en MES-débit liquide à l'échelle de la crue, est rendu difficile par le fait que les débits sont mesurés de façon continue (limnigraphes), alors que la charge en suspension est mesurée ponctuellement. Le tableau 56 présente quelques valeurs extrêmes de la concentration journalière est instantanée dans quatre (4) stations représentative de la Seybouse-Aurès : M'Chouneche, Reboa, Chemoura et Medjez Amar II.

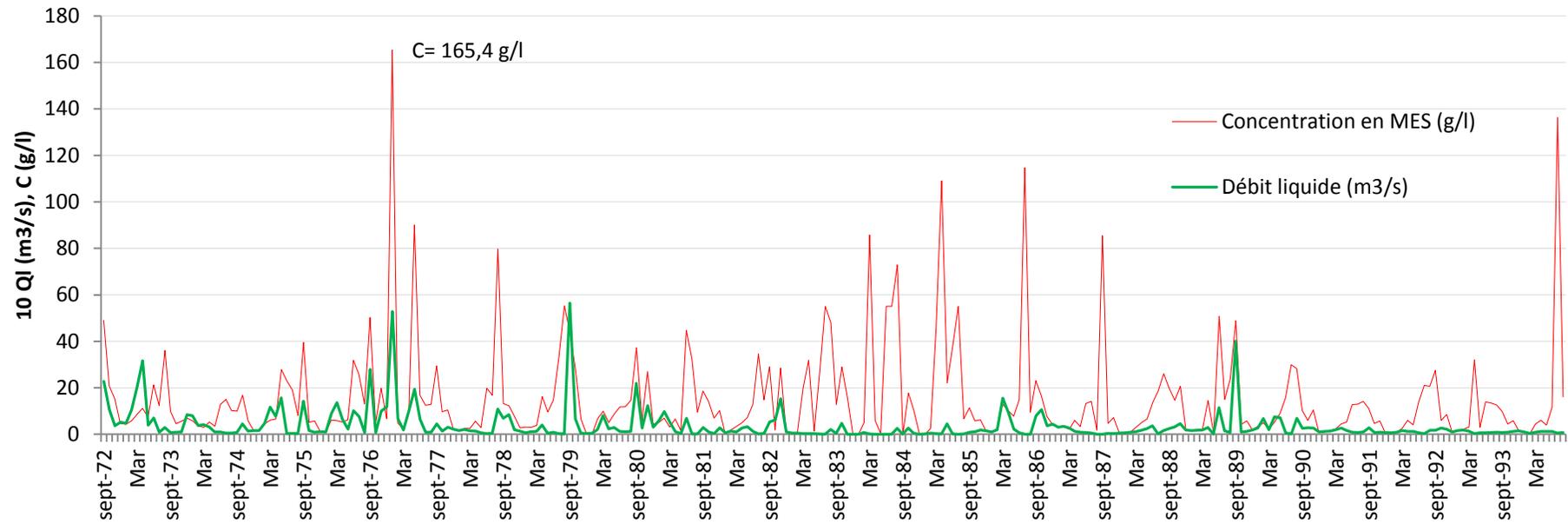


Figure 108 Relation concentration-débit liquide et leurs variations saisonnières (Oued El Abiod à M'Chounèche)

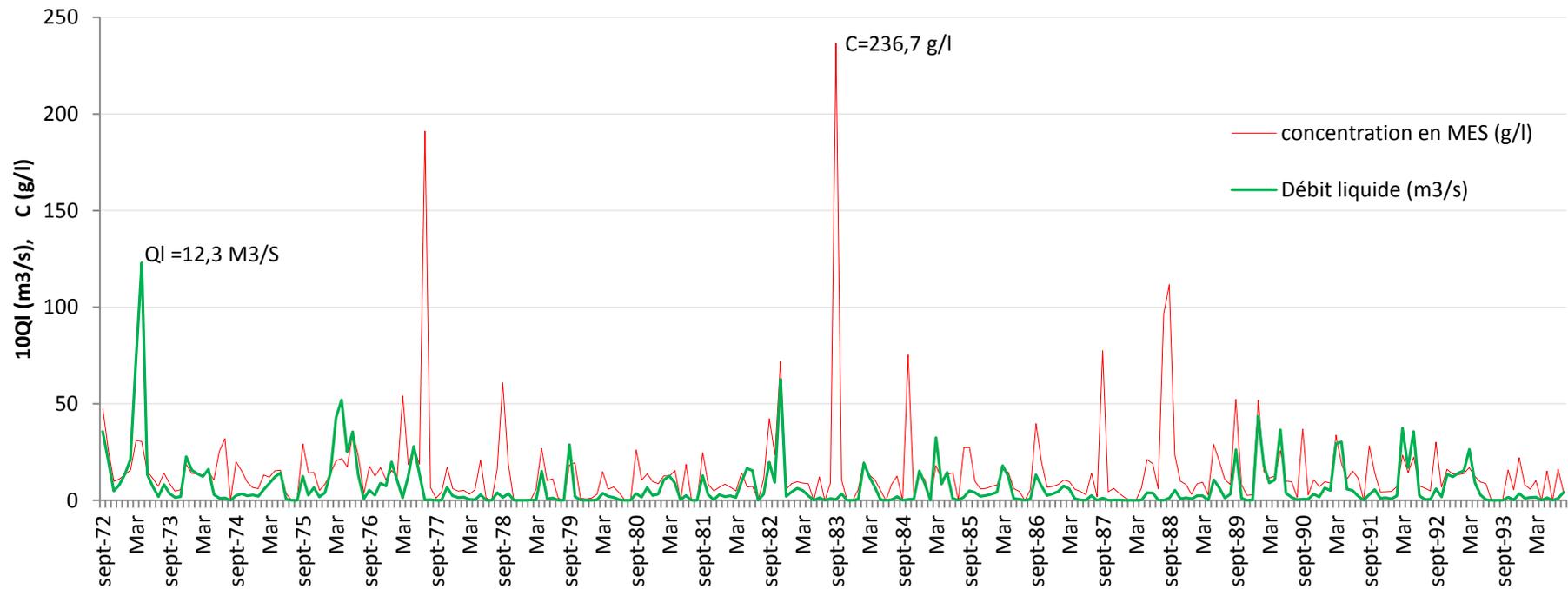


Figure 109 Relation concentration-débit liquide et leurs variations saisonnières (Oued Chemoura à Chemoura)

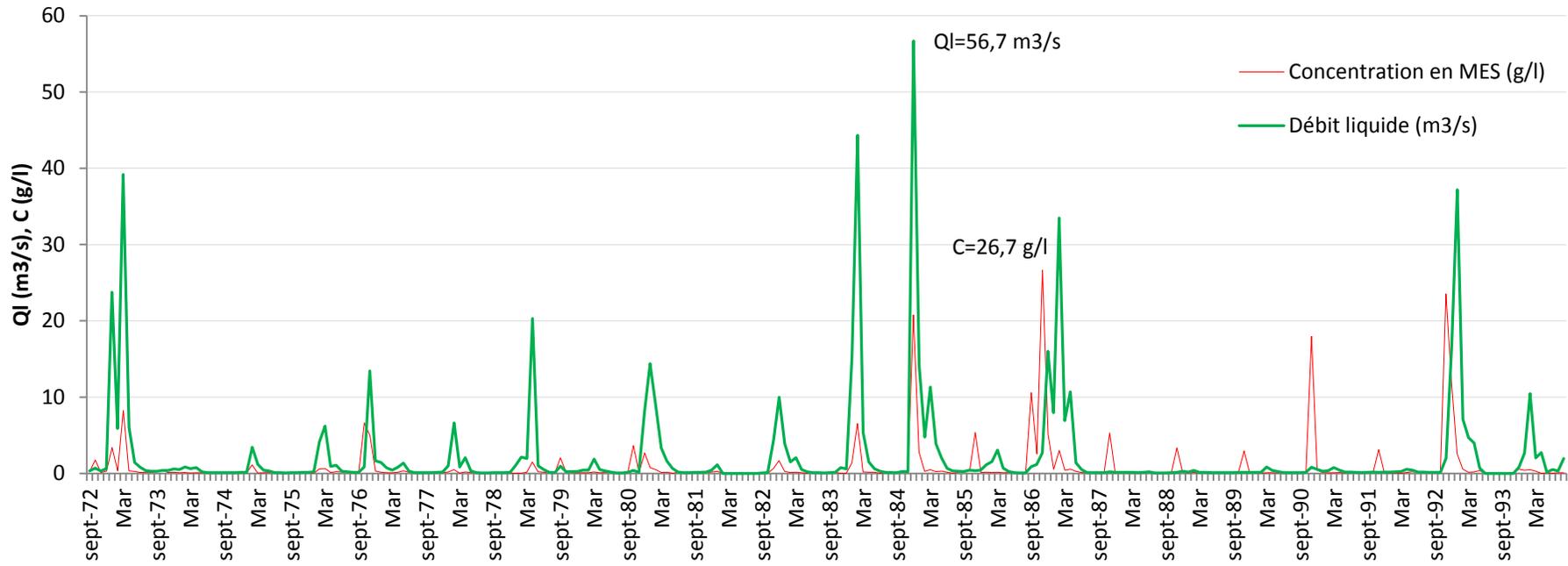


Figure 110 Relation concentration-débit liquide et leurs variations saisonnières (Oued Bouhamdane à Medjez Amar II)

C'est l'Oued Chemoura qui connaît les concentrations en suspension, journalières les plus élevées. La teneur en MES a été de 175,7 g/l, le 02/10/1988, soit une charge de 103220 tonnes, qui représente 56% de la charge moyenne mensuelle ou 9% de la charge annuelle. Le maximum atteint 274,9 g/l à 22^h15. A Reboa, la concentration journalière est de 60,5 g/l, le 18/05/1988, soit une charge de 9770 tonnes, ce qui correspond à 77% de la charge mensuelle ou 14 % de la charge annuelle. La maximale était de 71 g/l à 17^h 35.

L'Oued El Abiod à M'Chounèche connaît une concentration en MES, journalière de 79,3 g/l, le 24/09/1980, soit un apport de 67650 tonnes représentant 32 % de l'apport mensuel et 16% de l'apport annuel. Les teneurs en MES, journalières sont les plus faibles sur le Bouhamdane : Le 25/11/1986, la concentration est de 13,6 g/l, le maximum était de 17,8 g/l, vers 14^h40. Ceci correspond à un apport journalier de 30610 tonnes, qui présente 16% de la charge moyenne mensuelle ou 4 % de la charge annuelle.

Tableau 56 Potentialité de la turbidité journalière et instantanée (Oueds : Chemoura et Bouhamdane)

	Date	N ^o de Prél.	C moyj (g/l)	Q moyj (m ³ /s)	C max. (g/l)	Q _c max. (m ³ /s)	Heures	A _{sj} . 10 ³ (tonnes)	A _{sj} /A _{sm} (%)	A _{sj} /A _{sa} (%)
Oued Chemoura	04/09/72	7	89,84	66,04	202,67	227,33	15 :30	324,19	74	13
	10/09/74	2	128,55	4,81	139,20	20,7	21 :00	11,01	82	6
	18/05/77	12	79,04	34,11	111,71	73,8	03 :30	166,78	81	29
	18/05/78	11	52,65	6,64	146,43	12,58	01 :30	14,93	90	21
	11/04/79	8	70,56	8,41	131,66	20,7	17 :45	44,12	42	28
	18/09/79	8	125,17	20,75	320,85	102,45	19 :30	46,56	34	27
	02/06/82	3	50,50	24,98	71,42	94,6	21 :45	11,80	41	6
	03/06/82	5	62,81	17,75	93,27	22,0	01 :45	10,36	36	5
	10/11/82	4	84,68	50,51	108,0	122,0	20 :30	421,18	36	28
	30/09/86	4	84,08	29,24	152,84	63,63	06 :28	116,23	85	47
	02/10/88	4	175,68	6,80	274,93	29,31	22 :15	18,66	56	9
	28/05/89	5	113,78	19,67	154,61	63,0	02 :00	59,40	72	28
	01/09/89	6	56,75	61,25	105,0	170,10	06 :30	309,72	87	23
	22/01/90	7	33,03	44,51	39,30	77,4	18 :00	291,56	48	21
	28/05/90	5	110,92	25,42	127,78	75,00	17 :15	174,16	69	13
24/05/92	5	75,36	15,73	162,47	91,80	21 :15	105,12	49	19	
02/08/94	3	115,94	8,19	151,84	46,95	21 :15	3,56	71	7	
Oued Bouhamdane	31/12/1972	7	0,80	6,30	6,96	11,70	12:00	0,44	90	0,04
	23/01/1973	8	5,00	38,51	7,07	69,00	14 :30	16,64	8	2
	25/01/1973	14	8,80	225,42	33,76	244,40	6 :00	171,39	80	16
	17/02/1975	3	5,72	16,91	8,82	0,52	8 :00	8,36	90	78
	08/02/1976	4	1,39	39,24	6,56	34,58	7 :30	4,71	77	25
	04/05/1976	2	2,37	1,80	28,42	2,00	06:20	0,37	53	2
	19/05/1976	3	3,96	0,74	26,64	1,80	16 :05	0,25	36	1
	18/11/1976	6	6,32	233,76	10,38	296,00	12:15	127,64	74	66
	19/11/1976	3	1,99	67,10	2,78	57,00	12 :00	11,54	7	6
	06/03/1980	3	0,81	13,60	15,94	5,60	15 :45	0,95	86	14
	29/12/1984	10	4,55	200,30	6,65	157,50	17 :30	78,74	2	2
	31/12/1984	2	7,38	624,10	7,45	489,06	15 :30	397,95	13	12
	30/09/1986	5	5,65	23,27	29,66	18,50	08 :00	11,36	48	2
	25/11/1986	6	13,55	26,15	17,76	50,30	14 :40	30,61	16	4
	11/01/1987	8	2,90	13,98	5,85	38,00	06:00	3,50	30	0,5
05/02/1987	7	2,90	36,56	7,31	50,30	10 :15	9,16	4	1	
06/02/1987	6	6,09	167,10	8,91	246,25	12:00	87,92	36	12	
15/11/1990	2	10,55	2,02	10,99	2,45	12:00	1,84	5	5	

C moyj : concentration moyenne journalière ; Q moyj : débit liquide moyen journalier.
 C max. : concentration maximale journalière ; Q_c max. : débit liquide correspondant à la concentration maximale journalière.
 A_{sj} : Apport solide moyen journalier ; A_{sm} : Apport solide moyen mensuel ; A_{sa} : Apport solide moyen annuel.

Tableau 56 (suite) Potentialité de la turbidité journalière et instantanée (Oueds : El Abiod et Reboa)

	Date	N ^o de Prél.	C moyj (g/l)	Q moyj (m ³ /s)	C max. (g/l)	Q _c max. (m ³ /s)	Heures	A _{sj} . 10 ³ (tonnes)	A _{sj} /A _{sm} (%)	A _{sj} /A _{sa} (%)
Oued El Abiod	02/09/1979	10	63,15	35,20	139,40	78,00	20:30	192,06	30	26
	03/09/1979	9	51,79	58,50	132,90	78,00	19:00	261,76	41	35
	04/09/1979	14	55,18	27,74	75,60	161,00	01:00	132,25	21	18
	05/09/1979	6	49,27	2,91	62,30	0,85	06:00	12,39	2	2
	12/09/1979	8	38,09	3,61	68,80	11,24	01:30	11,88	2	2
	11/10/1979	8	29,56	16,37	61,50	27,80	01:00	41,81	85	6
	11/02/1980	6	8,93	3,74	90,60	9,60	06:00	2,89	83	0,4
	18/09/1980	6	52,83	6,86	72,40	29,14	01:00	31,31	15	7
	24/09/1980	4	79,33	9,87	94,20	43,66	03:30	67,65	32	16
	25/10/1980	6	57,52	0,25	150,10	30,30	23:30	1,24	29	0,3
	26/10/1980	6	69,90	0,25	98,90	82,00	20:00	1,51	35	0,4
	05/11/1980	16	31,85	23,18	126,60	15,52	03:45	63,79	74	15
	14/11/1980	4	42,05	4,26	57,20	4,80	20:15	15,48	18	4
	25/06/1981	16	36,25	20,01	134,90	41,10	02:35	62,67	79	15
	19/09/1981	5	33,54	3,72	91,90	9,70	04:00	10,78	76	24
	14/04/1982	5	32,42	1,12	49,10	6,10	20:15	3,14	92	7
	11/09/1982	11	34,35	10,28	54,50	64,30	18:30	30,51	76	16
	31/10/1982	12	2,01	15,63	25,80	240,20	11:30	2,71	85	1
	03/11/1982	16	16,72	12,17	29,80	113,20	12:45	17,58	16	9
	11/11/1982	9	21,86	19,69	33,90	52,70	20:30	37,18	33	19
	08/10/1983	13	28,81	13,59	153,60	58,10	21:15	33,83	92	35
	10/10/1984	3	23,30	5,15	31,70	7,40	06:30	10,37	80	20
	05/05/1985	11	23,30	2,27	43,70	17,16	09:45	4,57	17	9
	06/03/1986	4	18,65	17,60	24,90	52,10	07:00	28,36	52	29
	04/04/1986	4	24,55	9,15	30,50	24,75	06:15	19,41	78	20
	30/09/1986	7	64,04	6,47	86,90	3,36	10:00	35,80	75	30
	08/10/1986	5	12,70	3,61	19,00	26,06	18:00	3,96	8	3
	14/10/1986	6	14,28	10,90	29,30	52,22	09:10	13,45	29	11
	06/06/1988	6	17,67	0,35	32,50	5,29	10:00	0,53	12	2
	08/06/1988	4	27,58	0,66	41,20	14,35	12:30	1,58	37	5
09/09/1988	7	25,21	4,51	35,60	36,00	17:00	9,83	78	4	
13/11/1988	10	25,71	9,19	36,10	26,10	08:15	20,41	83	9	
03/04/1989	7	14,69	5,62	48,40	33,50	10:15	7,13	64	3	
20/06/1989	14	31,49	31,20	44,30	91,00	18:00	84,88	56	37	
01/09/1989	16	44,76	28,71	80,00	139,00	05:30	111,04	22	18	
05/11/1992	5	17,64	0,82	24,80	1,70	08:30	1,25	26	3	
Oued Reboa	07/10/85	6	42,88	1,99	49,97	6,43	07 :40	2,48	73	6
	05/07/87	6	55,55	11,48	154,92	37,20	17 :15	26,70	99	35
	18/05/88	6	60,49	1,87	71,07	2,27	17 :35	3,16	77	14
	08/06/88	6	24,99	7,31	26,20	13,92	09 :50	11,88	76	51
	04/10/88	7	10,39	31,01	14,98	196,0	17 :25	40,87	81	27
	13/11/88	9	50,49	1,24	79,98	1,54	09 :40	1,00	95	1
	20/06/89	10	18,20	11,62	48,09	3,24	11 :30	26,72	96	17
	21/09/89	4	41,61	1,63	41,91	5,37	9 :25	5,46	4	1
	23/01/90	7	11,36	32,11	17,62	54,20	11 :55	21,78	80	5
08/04/90	8	31,28	7,40	41,70	16,48	12 :00	18,65	66	4	

C moyj : concentration moyenne journalière ; Q moyj : débit liquide moyen journalier.
 C max. : concentration maximale journalière ; Q_c max. : débit liquide correspondant à la concentration maximale journalière.
 A_{sj} : Apport solide moyen journalier ; A_{sm} : Apport solide moyen mensuel ; A_{sa} : Apport solide moyen annuel.

Par ailleurs, les plus fortes concentrations en MES ne correspondent pas toujours aux plus grands débits liquides. A titre d'exemple, le 04/09/72 à 7^h00, la concentration à la station de Chemoura a été de 100 g/l, le débit de l'Oued était de 33,58 m³/s, vers 9^h : 00, elle a baissée à 79 g/l pour un débit liquide de 64,8 m³/s, puis une teneur de 125 g/l a été enregistrée pour 180 m³/s à 14^h30.

Le 18/09/79 à 19^h30, le débit de 102 m³/s a été enregistré dans la même station pour une teneur de en suspension de 321 g/l ; alors que le débit de 136 m³/s a été enregistré seulement pour une valeur de concentration égale à 88 g/l, le 01/09/89 à 11^h00.

L'examen des valeurs de transport solide de quelques évènements de crues (tableau 56), montre que les fortes concentrations ne sont pas obligatoirement le signe d'un apport quantitatif élevé de sédiments, celui-ci étant conditionné par l'importance du débit liquide : L'Oued El Abiod a évacué, le 03/09/1979, 261760 tonnes de matériaux en suspension avec une teneur moyenne de 52 g/l. Dans la journée du 24/09/1980, Cet Oued n'a transporté que 67650 tonnes avec une concentration de 79 g/l.

A Chemoura, la crue du 04/09/72 a transporté 324190 tonnes de sédiments avec une concentration moyenne de 89,8 g/l ; alors que la crue du 02/10/1988, pour une concentration de 176 g/l n'a apporté que 18660 tonne. Durant la journée du 05/07/1987, l'Oued Reboa a charrié un volume de terre de 26700 tonnes avec une concentration de 56 g/l. Le 04/10/1988, cet Oued a évacué 40870 tonnes avec une teneur moins élevée (10,4 g/l).

Ainsi, sur le Bouhamdane, le volume 397950 tonnes de sédiment a été évacué seulement pour une concentration de 7,4 g/l, le 31/12/1984 ; alors qu'un volume moins important (30610 tonnes) a été transporté par le même Oued avec 13,6 g/l de concentration, le 25/11/1986.

Pour mettre en évidence la contribution de ces crues aux apports solides annuels, nous avons calculé le pourcentage des apports solides des crues sélectionnés aux apports solides moyens mensuels et annuels. Nous voyons à l'examen de ces résultats que :

- 49% des apports solides transportés en 10 mois durant la période 1985-1990 à la station de Reboa sont dus à la contribution des 10 crues représentées dans le tableau 56. 21% des sédiments transportés durant 5 ans d'observation (1985-1990) sont dus à la contribution des 10 crues consignées dans le même tableau. 6 % des terres charriées durant 22 ans (1972-1994) sont dus aux 10 crues sélectionnées.

- A Chemoura, 56% des apports en suspension durant 16 mois (période 1972-1994) sont dus à la contribution des 17 crues représentées dans le tableau 56. 27% des matériaux transportés durant 13 années de la période (1972-1994) sont le résultat de 17 crues sélectionnées. 19% des apports en MES durant 22 ans (1972-1994) sont dus aux 17 crues sélectionnées

- L'Oued El Abiod a transporté 64 % des matériaux solides de la période (1979-1992) en 25 mois par la contribution des 36 crues consignées dans le tableau 56. Ces crues ont évacuées 52 % du tonnage transporté en 12 ans durant la période (1979-1992) et 18 % des matériaux charriés en 22 ans (1972-1994).

- Sur le Bouhamdane, l'apport solide transporté par les 18 crues sélectionnées (tableau 56) représente 24 % du volume qui a été charriés durant 24 mois (période 1972-1990), 18% du volume transporté durant 8 ans pour la même période, et 13% de ce qui a été évacué durant 22 ans entre 1972 et 1994.

Aussi, On peut citer quelques chiffres remarquables :

- Sur l'Oued Chemoura, le transport solide est de 324190 tonnes le 04/09/72, soit 13% de l'apport solide annuel et 421180 tonnes le 10/11/82, soit 28 % du total annuel.

- L'Oued Reboa a transporté 26700 tonnes le 05/07/87, soit 35% de la moyenne annuelle et 40870 tonnes le 04/10/88, soit 27% de l'apport solide annuel.

- l'Oued El Abiod a évacué 192060 et 261760 tonnes le 02 et le 03 septembre 1979, soit 26% et 35% du volume annuel, respectivement.

- Sur le Bouhamdane, l'apport solide du 25/01/1973 a été de 171390 tonnes, soit 16% de la moyenne annuelle et le 31/12/1984 a été de 397950 tonnes, soit 12% du total annuel.

Conclusion

Les écoulements solides dans la Seybouse-Aurès, constituent un phénomène irrégulier, complexe et aléatoire. Les facteurs mis en jeu sont nombreux et interdépendants. En se basant sur les données disponibles observées aux stations hydrométriques, nous avons essayé d'apporter une contribution à l'étude de transport solide en suspension dans dix bassins représentatifs de la zone d'étude.

Des modèles régressifs entre les débits solides et liquides, de types puissance, parabolique ou polynomial, sont mis au point, pour permettre de reconstituer les lacunes et d'homogénéiser les séries. Trois mises en forme des données sont considérées, en les regroupant, d'abord dans leur totalité, en suite à l'échelle mensuelle et saisonnière.

La comparaison des résultats de l'analyse statistique aux mesures bathymétriques disponibles, permet de conclure qu'aucun modèle régressif n'a pu être généralisé sur les bassins étudiés et que le regroupement des données par mois est adapté pour 67% des cas. Au final, le cas le plus défavorable en terme de risque a été choisi.

Les variations saisonnières et mensuelles des concentrations en MES suivent celles des débits liquides sans qu'il y ait une fidèle concordance entre ces deux paramètres. La moyenne annuelle en suspension est plus importante sur les bassins des Aurès que sur la Seybouse. Elle passe de 0,9 g/l sur le Bouhamdane à 15,3 g/l sur l'Oued El Abiod.

A ces variations spatiales de la concentration en MES, s'ajoutent des variations temporelles. En effet les transports solides en suspension varient d'une année à l'autre. Ils mettent en évidence l'irrégularité des précipitations et de l'hydraulicité.

Les bassins versants des Aurès se caractérisent par un accroissement de la concentration en MES en automne, puis une chute en hiver, et une reprise en mars-avril. Alors que les teneurs mensuelles en suspension sur la Seybouse sont relativement faibles et révèlent une certaine régularité mensuelle. Ceci est principalement dû à la répartition des précipitations.

Les valeurs de dégradation spécifique passent de 10 tonnes/km²/an sur l'Oued Chéria à 704 tonnes/km²/an à Bouchegouf sur le Melah, pour la période (1972-1994).

Les crues représentent de loin la part la plus importante, des débits solides globaux dans la Seybouse-Aurès. Leur contribution dans la production annuelle des sédiments transportés en suspension peut atteindre des pourcentages remarquables.

Les apports de matières en suspension sont considérables en moyenne annuelle, mensuelle et journalière. Ce ci donnent une idée sur l'ampleur du phénomène de transport solide dans la Seybouse-Aurès et la gravité des problèmes qui en déclenchent, notamment l'envasement des barrages réservoirs érigés dans la région qui sera sans nul doute la conséquence la plus dangereuse du phénomène.

Chapitre X Impact et efficacité des ouvrages de mobilisation des eaux de surface

Les ressources en eau sont indispensables au développement économique et social d'une région. Sans un approvisionnement en eau, sans gestion saine de cette ressource, le développement socio-économique peut être tout simplement remis en cause et l'on peut affirmer que le défi de l'eau sera crucial pour les années d'avenir.

La région d'étude, de part sa situation géographique et climatique, est marquée par le paradoxe de sa richesse en eau que nul ne peut contester, et par un déficit hydrique qui fait qu'aucune culture ne peut se développer sans apport d'eau. Toutes les eaux des bassins qui échappent au contrôle et à l'utilisation se déversent dans la mer méditerranéenne ou dans les lacs salés pour s'évaporer. Le stockage, la gestion et l'utilisation de ces ressources en eau, comportent des défis nouveaux nécessitant d'y adapter les stratégies les plus efficaces afin d'assurer les conditions d'un développement économique et social.

Dans cette optique, il importe de présenter les différentes techniques de mobilisation utilisées, leur adaptation au milieu, et leur impact sur la gestion des ressources en eau dans la région. Nous étudierons dans ce chapitre : - La petite hydraulique et ses limites, notamment les retenues collinaires et les barrages de dérivation, l'adaptation de ces ouvrages au milieu, leur efficacité, et leur impact sur le régime d'écoulement.- La grande hydraulique : les barrages réservoirs et les transferts qui constituent des aménagements de grande envergure dans la région, leur impact attendu sur le développement socioéconomique et les contraintes auxquelles ils sont confrontés.

X-1 Potentialités en eau de surface

Les apports superficiels de la Seybouse-Aurès ne sont pas entièrement exploitables et leur mobilisation reste liée à l'existence de sites de barrages et aux coûts d'aménagement, cependant ils présentent un intérêt majeur pour l'alimentation des nappes phréatiques de la région. Ces potentialités, intimement liées à la pluviométrie, sont estimées à 337,4 m³/an⁽¹⁾ pour la Seybouse et 90,7 m³/an⁽²⁾ pour les Aurès (tableau 58).

X-2 Le potentiel de mobilisation des eaux de surface et bilan prospectif

Depuis longtemps, une grande importance est accordée à la mobilisation des eaux de surface dans la région de la Seybouse-Aurès, comme toute l'Algérie, malgré les dures contraintes du milieu et le régime souvent capricieux de l'écoulement.

Très diversifiée sur le plan hydrologique, la Seybouse-Aurès bénéficie actuellement d'un important potentiel de mobilisation des eaux de surface qui a facilité l'essor de l'activité socio-économique dans un milieu marqué par une progression démographique, agricole et industrielle importante.

En effet, les infrastructures de mobilisation de ces ressources se présentent en trois types, à savoir :

- les ouvrages traditionnels de dérivation des eaux
- les retenues collinaires
- les grands barrages

⁽¹⁾ : Apport mesuré à la station de Mirbek (1972/94)

⁽²⁾ : Somme qui tient seulement en compte les apports des bassins mentionnés dans le tableau 58

Tableau 58 Apport moyen annuel des oueds de la Seybouse-Aurès (période : 1972/94)

	station	S (km ²)	Apport moyen (Hm ³ /an)	Observations	
Aurès (90,7 Hm ³)	El Kantara	1170	13,1	- Le barrage de F.D. Gazelles est situé en aval de la station hydrométrique	- L'apport moyen annuel de l'Aurès est estimé par l'INRH (1986) à 160 Hm ³
	M'chouneche	1050	11,5	- Le barrage de F. El Gharza est situé en aval de la station hydrométrique	
	Kh. S. Nadji	2083	22,5	-Le barrage de F.D. Gazelles est situé en amont de la station hydrométrique	
	A. Babouche	810	3,7		
	Fesdis	305	10,1	- série incomplète (70/71-78/79 ; 80/81), source : Mebarki, (2005) - D'après l'ABH-CSM (2000) l'apport annuel est de 5,70 Hm ³ (Période : 1984/94)	- D'après l'INRH (1986), l'apport moyen annuel du bassin des hauts Plateaux constantinois (9572 km ²) est de 135 Hm ³
	Reboa	296	15,6	- Reboa est un sous bassin du bassin de Chemoura	
	Chemoura	759	22,2	-Le barrage de K. Medouar est situé en amont de la station hydrométrique	
	Timgad	194	6,08	- Sous bassin du Chemoura - D'après l'ABH-CSM (2000) l'apport annuel est de 5,70 Hm ³ (Période : 1984/94)	
F. El Gueiss	144	7,6	-Le barrage de F.El Gueiss est situé en aval de la station hydrométrique		
Seybouse (337,4 Hm ³)	M. Rechefort	1732	41,6	-Source de données : Mebarki, (2005) ; - Sous bassin de l'ensemble du Cherf -Le barrage de F. EL Khanga est situé en au site de la station hydrométrique de Moulin Rechefort qui a été définitivement abandonnée en1994.	- L'apport annuel des bassins emboîtés du Cherf, Bouhamdane, Melah et Ressoul est de 318,3 Hm ³ . - D'après l'INRH (1986), l'apport moyen annuel de la Seybouse (6477 km ²) est de 450 Hm ³
	Medjaz A. II	1105	70,6	-Le barrage de H. Debagh est situé en amont de la station hydrométrique qui est utilisé pour mesurer le débit sortant de ce dernier après décembre 1987	
	Bordj Sabat	305	26,0	- Sous bassin du Bouhamdane. -Le barrage de H. Debagh est situé en aval de la station hydrométrique	
	Bouchegouf	550	98,5		
	Medjaz A. I	1174	136,6	- Station abandonnée - Sous bassin de l'ensemble du Cherf - Apport estimé par corrélation (Q1972/94=-0,494+1.27 Q1968/76) avec r=0,998 - Source des données des débits de la période (1948/56) : Ghachi (1986).	
	A. EL Berda	103	12,6	- Ressoul est un petit sous bassin de la basse-Seybouse	
	Mirebek	5955	337,4	- station hydrométrique arrêtée depuis 1995 et remplacée par la station de Dréan en 2004	

X-2-1 La petite hydraulique et ses limites

La mobilisation des eaux superficielles par la petite hydraulique est assurée essentiellement par des ouvrages de dérivation qui sont très réponsus dans la région, notamment dans les hautes plaines et l'Aurès. Ces aménagements élémentaires facilement maîtrisables à l'échelle locale, nécessitent de faibles investissements.

X-2-1-1 Les ouvrages traditionnels de dérivation des eaux (Ceds)

A. Les barrages de dérivation des eaux pérennes

Ces ouvrages apportent un appoint pour l'irrigation des petits jardins qui sont réparties sur les rives des oueds et pratiquant de l'arboriculture et de cultures maraîchères (Nemouchi, 2001).

Ils sont constitués par une digue installée sur les oueds principaux à écoulement pérenne, leur réalisation ne pose pas en général des difficultés techniques particulières : C'est une digue construite avec de la terre, retenue par des branches d'arbre et soutenue par des piquets enfoncés verticalement dans le lit de l'oued.

Cette digue relève le plan d'eau de l'oued, ce qui permet l'irrigation gravitaire d'une surface plus étendue. En effet, l'eau est dérivée par canal oblique par rapport au lit de l'oued, puis vers les rigoles de distribution qui amènent l'eau aux parcelles à irriguer.

B. Les barrages de dérivation des eaux de crue

C'est une technique particulière de mobilisation et d'utilisation des eaux de ruissellement, notamment dans les zones arides et semi-arides. Les dérivations consistent en des élévations de terre, renforcées par des branchages. Ces ouvrages sont construits sur les oueds dont l'écoulement est spasmodique, se faisant généralement sous formes de crues brutales et de courte durée. Leur rôle est de diriger les crues vers les champs pour provoquer leur submersion.

L'étendue de secteur inondé dépend de la puissance des crues : toutes les parcelles sont inondées en même temps si le débit de la crue est élevé et ne peut être maîtrisé, ou à tour de rôle si le débit est faible (Nemouchi, 2001). Seules les cultures annuelles sont irriguées par ce système, les rendements obtenus sont très faibles et aléatoires, car dépendant de la puissance des crues et leur emplacement dans le calendrier.

Ces ouvrages de dérivation qui occasionnent des pertes d'eau importantes, sont fragiles et peu résistants aux crues brutales et imprévisibles qui n'entraînent pas que la destruction de l'ouvrage, mais aussi des conséquences perceptibles sur le plan pédologique : L'alluvionnement des terres, la modification de leur texture et les pertes de cultures quand elles surviennent au mauvais moment. Selon Drouhin (1960), il arrive trop souvent que l'ouvrage surmonté était détruit avant la pointe de la crue.

La plupart des ouvrages de dérivation aménagés aussi bien dans la Seybouse, que dans la région des Aurès⁽¹⁾, sont dans un mauvais état ou complètement détruits, et par conséquent les eaux de crues passent sans tirer profit de son potentiel hydrique.

Une autre technique de mobilisation des eaux de surface est connue dans la Seybouse-Aurès, il s'agit de pompes directes des oueds pérennes par des motopompes pour l'irrigation des petites parcelles qui s'étendent le long de ces oueds. Ces derniers lors de certains étés sont complètement secs en étiage, et l'on procède alors à des creusements de trous dans le lit de l'oued pour pomper l'eau.

⁽¹⁾ : Selon la direction des services agricoles (DSA), plus de 60 barrages de dérivation, ont été implantés seulement dans la Wilaya de Batna.

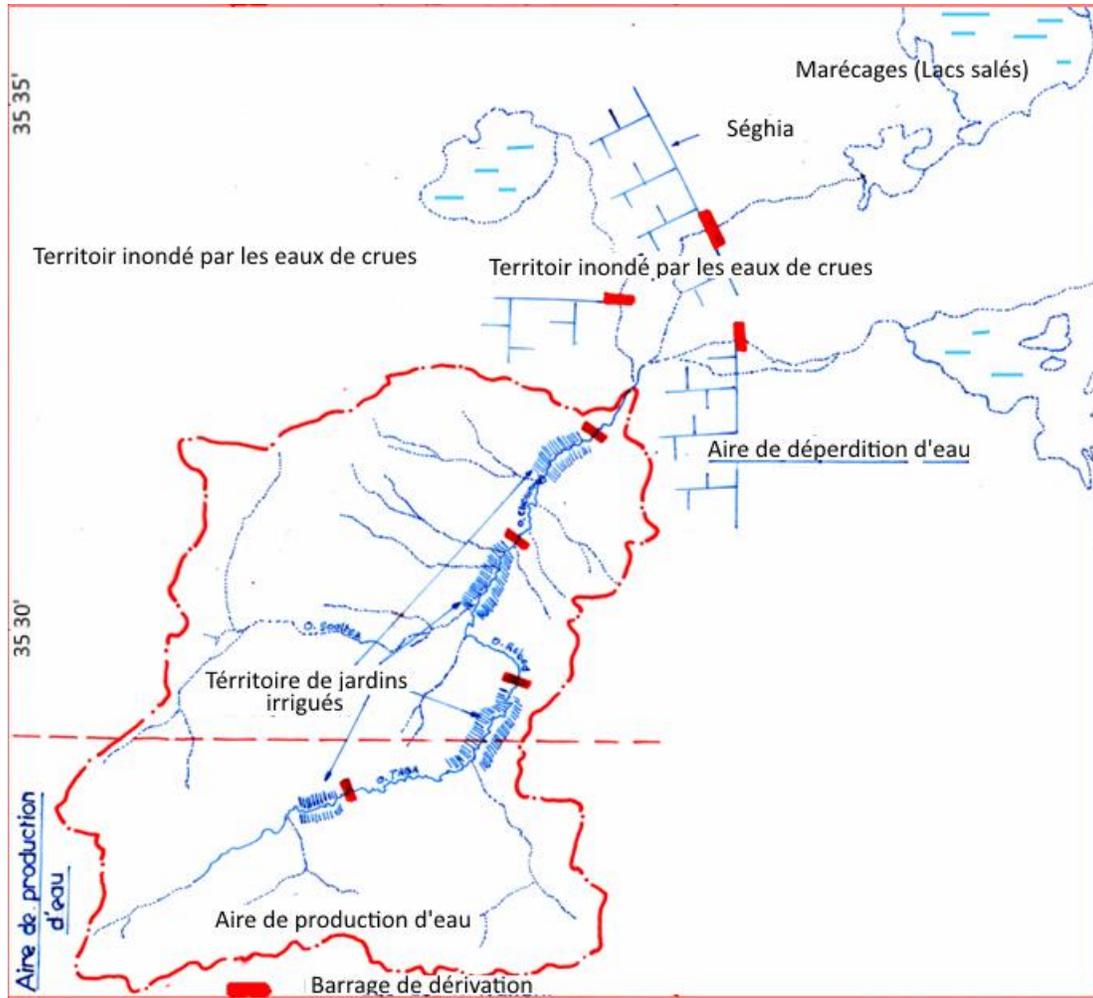


Figure 111 Exemple de schéma d'un système traditionnel de dérivation des eaux (Guidoum, 2004)



Figure 112 Pompage direct à partir d'un Oued (Touati, 2010)

X-2-1-2 Les retenues collinaires

Ce type d'ouvrages convient aussi bien aux régions arides ou semi arides caractérisées par des ruissellements à régime torrentiel, qu'aux régions humides. Il s'agit d'une technique qui a été mise au point en Italie du Nord : Des levées de terre et enrochement (6000 à 100000 m³) sommairement compactées permettent de retenir quelques dizaines de milliers de m³ et d'irriguer à l'aval des superficies allant de 10 à 40 ha. Le bassin versant peut atteindre la vingtaine de kilomètre carrés (Kouti et al. 1991, Pérennes 1992). L'efficacité et la durabilité de l'ouvrage, cependant, fonction de nombreuses conditions qui vont du choix du site à la participation des acteurs locaux. Comme nous allons le voir, notre analyse a été établie sur la base des statistiques relatives au bassin, parties du bassin, wilaya ou parties de wilaya inclus dans le bassin, obtenues auprès de différents organismes concernés. Cependant, étant donné la dispersion et la disparité de ces données, il y a une différence entre les chiffres, ce qui peut influencer la représentativité et la fiabilité des données illustrés ci-dessous. Les informations récoltées donnent les chiffres suivants :

- Soixante quatre (64) retenues collinaires, essentiellement destinées à satisfaire les besoins d'irrigation, ont été érigées dans la Seybouse (ABH-CSM, 2002). Ces ouvrages ont une capacité totale de 7,5 hm³ et se répartissent comme indiqué au tableau 59.
- Le bassin des hauts plateaux constantinois rassemble sur toute sa superficie douze (12) retenues collinaires destinées à l'irrigation et à l'abreuvement (ABH-CSM, 2000). La capacité totale de ces retenues est de 1,25 Hm³ (tableau 59).



Figure 113 Retenue collinaire Oued Taga (Aurès) : bienfaits indéniables (Source : Google Maps)

- Soixante sept (67) retenues collinaires d'une capacité totale de 6,26 Hm³ sont inventoriées à travers toute la wilaya d'Annaba (Chaffai et al.2005).
- la wilaya de Guelma recense vingt-et-une (21) retenues collinaires d'une capacité totale de 0,65 Hm³ (Boussis, 2009).
- La wilaya de Batna compte douze (12) retenues collinaires d'une capacité de stockage cumulée de 5,83 Hm³. La plus grande (3 Hm³) se trouve à Seggana (DSA de Batna) ⁽¹⁾.
- Les retenues collinaires recensées dans la wilaya de Tébessa sont au nombre de quatre (4) retenues mobilisant un volume de 2,7 Hm³.

⁽¹⁾ : site internet : <http://www.wilaya-batna.gov.dz/fr/content/la-direction-des-services-agricoles>

Tableau 59 Retenues collinaires recensées dans la Seybouse et les H. P. Constantinois (ABH-CSM, 2000, 2002)

	Sous bassin	Wilaya	Commune	Dénomination	Capacité (m ³)	Etat des ouvrages	Destination	
Hauts Plateaux Constantinois (1.249 Hm ³)	07 01	19	Ouled Saber	Mehari	360000	Bon	Irrigation	
	07 01	19	El Eulma	Medjes	100000	/	/	
	07 03	04	Ain Kercha	Bouselaa	60000	/	/	
	07 03	04	Ouled Zouai	Bir Sidi El Hadi	450000	/	/	
	07 03	05	El Madher	El Ma Lakhel	23000	Bon	Abreuvement	
	07 03	05	Ain Yagout	Chorfa	21000	Bon	Abreuvement	
	07 06	40	Taouzianet	Boukhacha	60000	/	/	
	07 07	05	Tazoult	Tazoult	20000	Mauvais	/	
	07 07	40	Baghai	Hammam Knif	50000	Envasé	/	
	07 07	40	Taouzianet	Igouben	15000	Envasé	/	
	07 07	40	Taouzianet	Taouzianet	70000	Envasé	/	
	07 07	40	El Hamma	El Manzel	20000	Envasé	/	
	La Seybouse (7.5 Hm ³)	14 01	41	Tiffech	Ain Sabah	110000	Bon	Irrigation
		14 01	41	Sedrata	Chaabet Melah	38000	Moyen	Irrigation
14 01		41	Oum El Adhaim	Oum El Adhaim	100000	/	Irrigation	
14 01		41	Oum El Adhaim	Chaabet Nakess	48800	/	Irrigation	
14 01		41	Sedrata	Essour	53000	/	Irrigation	
14 01		41	Sedrata	Hamimine	230000	/	Irrigation	
14 01		41	Bir Bouhouche	Bir Bouhouche	192000	Envasé	Irrigation	
14 01		41	Ragouba	Sidi Makhlouf	144000	Envasé	Irrigation	
14 01		41	Ragouba	El Habil	50000	Envasé	Irrigation	
14 01		41	Ragouba	Ros El Diss	87475	Envasé	Irrigation	
14 01		04	Berriche	El Ouessa	70000	Moyen	Irrigation	
14 01		04	Berriche	Ouden Djedj	50000	Bon	Irrigation	
14 01		04	Zorg	Zorg	283000	Envasé	Irrigation	
14 01		04	Ksar Sbihi	Goum	40000	Précaire	Irrigation	
14 01		04	Ksar Sbihi	N'Goussa	20000	Précaire	Irrigation	
14 02		04	Ain diss	Chaabet El Merra	423000	/	Irrigation	
14 02		04	Ain diss	Bir Ammar	20000	Moyen	Irrigation	
14 02		04	Ain diss	Morhat	78220	Moyen	Irrigation	
14 03		24	Ras El Agba	Oued Eddefla	40000	Moyen	Irrigation	
14 03		24	Ras El Agba	Boutouilla	30000	Moyen	Irrigation	
14 03		24	Oued Zenati	El Aleg	100000	Précaire	Irrigation	
14 03		24	Oued Zenati	Ben Rabeh	100000	Précaire	Irrigation	
14 03		24	Medjez Ammar	Medjez Ammar	70000	Précaire	Irrigation	
14 03		24	Khezara	Ben Mabrouk	25000	Bon	Irrigation	
14 03		25	Ain Abid	Touifza	675000	Assez Bon	Irrigation	
14 03		25	Ben Badis	Oued Magroune	320000	Mauvais	Irrigation	
14 03		25	Ben Badis	Oued Tassenga	170000	Assez Bon	Irrigation	
14 03		24	Boumahra Ahmed	Chebket Laba	30000	Précaire	Irrigation	
14 04		24	Belkheir	Besbessa	50000	Précaire	Irrigation	
14 04		24	Belkheir	Medraoua	80000	Bon	Irrigation	
14 04		24	Heliopolis	Goutrate	28000	Bon	Irrigation	
14 04		24	Boucheougouf	Bir El Aneb	100000	Précaire	Irrigation	
14 04		24	Medjez SFA	Medjez SFA	20000	Moyen	Irrigation	
14 05		24	Oued Cheham	Bouquetaya	10000	Bon	Irrigation	
14 05		24	Oued Cheham	Koudiat Rim	30000	Moyen	Irrigation	
14 05		24	Ain Berda	Medjez 1	90000	Précaire	Irrigation	
14 06		23	Ain Berda	Medjez 2	45000	Précaire	Irrigation	
14 06		23	Ain Berda	Diaf Abdallah 1	70000	Bon	Irrigation	
14 06		23	Ain Berda	Diaf Abdallah 2	140000	Moyen	Irrigation	
14 06		23	Ain Berda	Diaf Abdallah 3	290000	Bon	Irrigation	
14 06		23	Ain Berda	Toumi Lakrim	60000	Bon	Irrigation	
14 06		23	Ain Berda	Bendjemaa	300000	Moyen	Irrigation	
14 06		23	Ain Berda	Amrani Slimane	70000	Précaire	Irrigation	
14 06		23	Ain Berda	Kadri 1	150000	Bon	Irrigation	
14 06		23	Ain Berda	Kadri 2	220000	Pollué	Irrigation	
14 06		23	Ain Berda	Toumi Ali	70000	Bon	Irrigation	
14 06		23	Ain Berda	Hemil Boubakeur 1	80000	Pollué	Irrigation	
14 06		23	Ain Berda	Hemil Boubakeur 2	80000	Précaire	Irrigation	
14 06		23	Ain Berda	Selmoune	50000	Bon	Irrigation	
14 06		23	Ain Berda	Diaf Hmada	30000	Moyen	Irrigation	
14 06	23	Ain Berda	Stah	70000	Moyen	Irrigation		
14 06	23	Ain Berda	Djeraya	70000	Précaire	Irrigation		
14 06	23	Ain Berda	Medjez 3	60000	Bon	Irrigation		
14 06	23	Ain Berda	Nedjai	90000	Moyen	Irrigation		
14 06	24	Ain Berda	Ladraoua	30000	Bon	Irrigation		
14 06	24	Ain Ben Beida	Sidi Mansour	20000	Emporté	Irrigation		
14 06	24	Ain Ben Beida	Bir Chegrane	100000	Bon	Irrigation		
14 06	24	Oued Fragha	Quarante cinq	20000	Précaire	Irrigation		
14 06	24	Oued Fragha	Saidia	50000	Précaire	Irrigation		
14 06	24	Oued Fragha	Noumena	20000	Bon	Irrigation		
14 06	24	Nechmaya	Oued Nekla	120000	Moyen	Irrigation		
14 06	36	Nechmaya	Hadjar Guefta	440000	Bon	Irrigation		
14 06	36	Drean	Boufara 1	500000	Moyen	Irrigation		
14 06	36	Drean	Boufara 2	250000	Bon	Irrigation		

- La wilaya d'Oum El Bouaghi dispose actuellement de 11 retenues collinaires servant à l'irrigation de 700 hectares, dont sept (7) sont réservées à l'irrigation d'appoint et quatre (4) pour la protection des villes contre les inondations.
- La wilaya de Khenchela compte vingt (20) retenues collinaires offrant des capacités de stockage variant entre 60 000 et 150 000 m³.

Par ailleurs, l'extension limitée de ce type d'ouvrage sur le versant méridional des Aurès est due à certaines contraintes naturelles, notamment la perméabilité des formations géologiques, la faible résistance à la force des crues, la forte évaporation, et l'importance de la charge solide des oueds.

X-2-1-3 La localisation géographique et les impacts de ces aménagements élémentaires

Les zones potentiellement favorables à la réalisation de ces aménagements sont des zones où la présence d'un rétrécissement des deux rives de l'oued, de la terre arable pentée et perméable située à proximité du site, et d'une population pour effectuer les travaux.

De nos analyses précédentes, le dispositif physique de la Seybouse-Aurès offre les conditions requises pour le développement de l'irrigation permanente des fonds de vallées et la culture par épandage des crues sur les plaines riches et fertiles.

Les zones irriguées par dérivation pérennes sont localisées sur les fonds de vallées. Alors que les surfaces irriguées par épandages des crues s'étendent surtout sur les plaines alluviales entre les piémonts des Aurès jusqu'à Chott Melrhir au sud et les lacs salés du constantinois au nord. Les surfaces irriguées peuvent atteindre plusieurs milliers d'hectares pour certaines années excédentaires.

Les bienfaits de la petite hydraulique pour la mobilisation des eaux de surface sont indéniables : intensification agricole, la réalimentation rapide de la nappe superficielle par la technique de diversion des eaux de crues et leur étalement sur l'étendue de la plaine, la fixation de la population rurale et des revenus financières importantes.

Cependant, l'impact de ces aménagements élémentaires sur la mobilisation des eaux de surface reste très limité : un volume important de l'eau échappe au contrôle et à l'utilisation et se perd dans les lacs salés, les irrigations par ces systèmes sont modulées en fonction des caprices des oueds, et le partage des eaux mobilisées a été l'origine de nombreuses rivalités entre les différents utilisateurs (rive droite-rive gauche, amont-aval, et même au sein d'un seul groupe).

Actuellement l'eau est détournée par les utilisateurs à tour de rôle, mais la concurrence pour l'eau reste cruciale, et le conflit sur cette ressource devient criant, surtout en années déficitaires lors de l'assèchement presque total des oueds pendant les périodes d'étiage sévères.

Le volume d'eau mobilisé n'est pas réellement stocké pour raison d'envasement de certaines retenues collinaires et la destruction d'autres. Certaines retenues ne sont pas exploitées pour des raisons diverses, notamment l'absence d'exploitants, de structure de gestion, de matériel d'irrigation ou de disponibilité de terres à proximité. Les programmes d'aménagement et de développement qui ont été initiés pour leur préservation et leur valorisation, à quelques exceptions, n'ont pas réellement atteint leurs objectifs.

De ce fait, le développement de l'infrastructure hydraulique, pour mobiliser toutes les potentialités en eau de surface, pourrait constituer la solution la plus efficace et la plus durable pour l'approvisionnement en eau de la région d'étude. Les barrages-réservoirs de grande capacité, récemment érigés dans la région, permettront de mobiliser les ressources en eau de surface qui seront progressivement mises à la disposition des différents secteurs d'utilisation.

X-2-2 La grandes hydrauliques, contraintes d'aménagement et de gestion

Les barrages sont d'une importance stratégique pour l'Algérie, car ils constituent des réserves d'eau, dont la maîtrise de la gestion constitue un enjeu capital pour assurer une distribution régulière et planifiée de la ressource.

Les barrages-réservoirs de grande capacité, construits sur la Seybouse-Aurès constituent des réserves d'eau d'un enjeu capital pour son utilisation.

X-2-2-1 Bilan actuel des usages des eaux mobilisées par les barrages

La construction des barrages dans la région d'étude a débuté depuis 1939 avec la mise en service de petit barrage de Foum El Gueiss sur le versant nord des Aurès. Actuellement, La Seybouse-Aurès comporte huit grands barrages ayant des capacités variant entre 3 et 220 Hm³.

A. Le barrage de Hammam Debagh

Le barrage en terre de Hammam Debagh, est érigé sur l'Oued Bouhamdanne, d'une capacité de 200 Hm³ et permettant une régularisation de plus de 55 Hm³. Le barrage qui tire son nom de la zone des sources thermales vives, est situé dans la wilaya de Guelma à 20 Kilomètres à l'ouest de la ville de Guelma.

Cet ouvrage réceptionné en décembre 1987, a pour objectif essentiellement la régularisation des apports en vue de satisfaire les besoins pour l'irrigation des deux périmètres Guelma-Boucheougouf (plus de 10000 Ha) et Dréan-Besbès-Ben M'hidi (3300 ha) et de combler le déficit en eau potable et industrielle des organismes urbains de Roknia, Hammam Debagh et Guelma. La station de traitement des eaux du barrage, mise en service en 2003, assure un débit de 38000 m³/jour d'eau potable.

B. Le barrage Foum El Khangua

Le barrage en enrochement de Foum El Khangua est érigé sur l'Oued Cherf, ayant une capacité initiale de 157 hm³, régularise un volume de 30 hm³/an et mise en eau en novembre 1995. Il fait partie de la commune de Zouabi (Wilaya de Oum El Baouaghi, Bassin de la Seybouse) à 20 km de l'agglomération de Sedrata. Le barrage est destiné à l'alimentation en eau potable et industrielle d'Ain Beida et Oum El Bouaghi, ainsi qu'à l'irrigation de plus de 7400 hectares de terres agricoles à Sedrata/Zouabi et Ksar Sbahi.

C. Le barrage d'Ourkiss (Talizardane)

Cet ouvrage, maillon du système de transferts Beni-Haroun-Ourkiss-Koudiat Medouar, via la station de pompage d'Ain Kercha, a pour objectif le renforcement de l'alimentation en eau potable des grandes villes de la wilaya d'Oum El Bouaghi dont Ain Beida et Ain Fakroun. ce barrage en terre permette aussi l'irrigation de quelque 5000 hectares de terres agricoles de Teleghma (wilaya de Mila), Boughrara et Ain Kerch (wilaya d'Oum El Bouaghi) et plus de 17000 hectares du périmètre agricole de Chemoura dans la wilaya de Batna.

Doté d'une capacité de 65 Hm^3 , le barrage d'Ourkiss, achevé en 2014, est situé à 25 km au sud-est de la ville d'Aïn-Fakroun (wilaya d'Oum El-Bouaghi). Il sera alimenté à partir du barrage géant de Beni-Haroun via le barrage réservoir de l'Oued Athmania (Wilaya de Mila).

D. Le barrage de Koudiat El Medaour

Situé dans la wilaya de Batna, sur l'Oued Chemoura, le barrage de Koudiat Medouar, d'une capacité de 62 hm^3 avec une source régularisée de 18 Hm^3 chaque année, a été mis en eau en décembre 2001. Cet ouvrage, recevra dans le cadre du système de transfert Béni Haroun-Ourkiss-Kouidiat Medouar, plus de 1,7 million de m^3 par mois. Il a pour objectif de combler le déficit en eau potable et industrielle des grands organismes urbains des wilayas de Batna et Khenchela, et d'assurer une mise en valeur de 24000 ha de terres agricoles dont 16.000 à Chemoura, 6000 sur l'axe Batna-Ain Touta et 2000 à Ouled Fadhel(Toufana).

E. Le barrage de Foum El Gueiss

C'est un petit barrage en enrochement de 3 Hm^3 de capacité qui est construit en 1910 et mis en eau en 1939. Il est situé à 19 km à l'ouest de Khenchela, entre les communes d'El Hamma et de Kaïs et destiné à l'alimentation en eau potable de la commune de Kais et à l'irrigation des terres agricoles dans la plaine de Remila. Après la première en 1969, le barrage a bénéficié d'une seconde surélévation en 2004, qui a permis d'accroître sa capacité de stockage de près de 500000 m^3 tout en augmentant le niveau de l'eau d'un mètre, hauteur nécessaire pour le dévasement de la retenue à l'aide d'une barge flottante (opération qui s'est étalée sur plusieurs années). Ces faits sont pour objet de réapprovisionner la population locale et d'irriguer 6000 Ha de terres agricoles (périmètre de Remila).

F. Le barrage des fontaines de gazelles

Le barrage en terre des fontaines de gazelles est construit sur l'Oued El Hai, d'une capacité de $55,5 \text{ Hm}^3$ (potentiel régularisable de 14 Hm^3) et mise en eau au cours de l'année 2000. Le barrage, situé sur le territoire de la commune de Loutaya, à 35 km au nord-ouest de la ville de Biskra, est destiné principalement à l'irrigation du périmètre de l'Outaya (1137 Ha) distant de 26 km. Le barrage opérait son premier déversement en mai et juin 2004. Il n'a irrigué son périmètre qu'en 2006.

G. Le barrage de Foum El Guerza

Le barrage de Foum El Guerza situé à 18 km à l'Est de la ville de Biskra sur l'Oued El Abiod, est une voûte mince en béton qui est mis en eau en 1950, vidé en 1951 pour cause de fuites, puis remis en eau en 1960. Il permet, en principe, l'irrigation de 1200 ha correspondant à l'implantation de plus de 300.000 palmiers dattiers à Sidi Okba, Garta, Seriana et Thouda. Le barrage d'une capacité initiale de 47 hm^3 , régularise 13 Hm^3 par an des apports du bassin de l'Oued El Abiod (1300 Km^2) et reçoit en moyenne un volume de 22 Hm^3 par an.

H. Le barrage de Babar

Le barrage de Babar construit sur l'Oued El Arab a été mis en eau en 1995 et régularise un volume de 12 Hm^3 par an. Le volume mobilisé (41 hm^3) est destiné initialement à l'irrigation des exploitations des Zibans orientales (périmètre de Kheirane et les terres aménagée en amont).

Récemment une partie de cette eau est détournée au profit des agglomérations de la région sud de la wilaya de Khenchela (en principe les travaux de concrétisation sont démarrés en avril 2008, selon l'ANRH.)

En effet, La région d'étude compte aussi trois petits barrages destinés à l'irrigation. Il s'agit des barrages de Tiffech (capacité 5,8 Hm³, volume régularisé 2,76 Hm³/an), Medjez El Bgare (capacité 2,76 Hm³, volume régularisé 2,00 Hm³/an) sur le Cherf et El Haria (capacité 1,8 Hm³, volume régularisé 0,32 Hm³/an) sur le Bouhamdane.

Tableau 60 Barrages en exploitation dans la Seybouse-Aurès

B.V	Wilaya	Barrage	Oued	Capacité théorique (Hm ³)	Volume régularisé (Hm ³ /an)	Autres Caractéristiques
14	Guelma	Hammam Debagh	Bouhamdane	220	55	- Type : Terre -Destination : AEP-IRR - Année de mise en eau : 1987 - Capacité après levés bathymétrique en 2004 : 184,35hm ³ - Superficie du b.versant : 1070 Km ²
	SoukAhras	Foum El Khangua	Cherf	157	30	- Type : Enrochement -Destination : AEP-IRR - Année de mise en eau : 1995 - Capacité après levés bathymétrique en 2004 : 152,65 hm ³ - Superficie du b.versant : 1732 Km ²
	SoukAhras	Tiffech	Tiffech	5,8	2,76	-Destination : IRR Superficie du b.versant : 41,5 Km ²
	Guelma	Medjez El Bgare	Medjez El Bgare	2,76	2	-Destination : IRR
	Constantine	El Haria	El Haria	1,8	0,32	-Destination : IRR
07	Oum El ouaghi	Ourkiss (Talizardane)	Talizerdane	65		- Type : Terre -Destination : AEP-IRR - Année de mise en eau : 2014 - Superficie du b.versant : 62 Km ²
	Batna	El Medaour	Chemoura	62	18	- Type : Terre -Destination : AEP-IRR-(réservoir -tampon) - Année de mise en eau : 2003 - Superficie du b.versant : 590 Km ²
	Khenchela	Foum El Gueiss	El Gueiss	3	3,2	- Type : Enrochement -Destination : IRR - Année de mise en eau : 1939 - Surélévation en 1996 et 2004 (Gain de capacité 0,5 et 1 hm ³) - Capacité après levés bathymétrique en 2004 :1,6 hm ³ - Superficie du b.versant : 151 Km ²
06	Biskra	Fontaines de gazelles	El Haï	55,5	14	- Type : Terre -Destination : IRR - Année de mise en eau : 2004 - Capacité après levés bathymétrique en 2004 :54,74 hm ³ - Superficie du b.versant : 1558 Km ²
	Biskra	Foum El Guerza	El Abiod	47	13	- Type : Poids Voûte -Destination : IRR - Année de mise en eau : 1950 - Capacité après levés bathymétrique en 2004 :14,89 hm ³ - Superficie du b.versant : 1300 Km ²
	Khenchela	Babar	El Arab	41	12	- Type : Terre -Destination : IRR - Année de mise en eau : 1995 - Capacité après levés bathymétrique en 2004 : 38,01 hm ³ - Superficie du b.versant : 567 Km ²

X-2-2-2 Les barrages en projet

A l'exception du barrage Koudiat Haricha sur le Cherf (80 hm³ de capacité), les barrages en projet sont la plupart de taille relativement modeste : Koudiat Mahcha (16,8 hm³), Taghrist (5 Hm³), Mellagou (32 Hm³), Bouzina (22 hm³), Dermoun (7,35hm³), Oueldja (12 hm³), El Hakika (17,8 hm³). La concrétisation de ce programme de mobilisation va augmentée la capacité théorique mobilisée par les barrages installés à l'échelle de la Seybouse-Aurès à plus de 852 hm³, soit une augmentation de 29 %.

Tableau 61 Barrages en projet dans la Seybouse-Aurès

B.V	Wilaya	Barrage	Oued	Capacité (hm ³)	Volume régularisé (hm ³ /an)	Destination
14	Guelma	Koudiat Haricha	Cherf	80	36,6	AEP-IRR
	Annaba	Koudiat Mahcha	Khanga	16,8	13	IRR
07	Khenchela	Taghrist	Taghrist	5	9,7	AEP-IRR
	Batna	Dermoun	Dermoun	7,35	23,6	IRR
06	Khenchela	Mellagou	Mellagou	32	15	IRR
	Khenchela	Oueldja	El Arab	12	9,15	AEP-IRR
	Batna	Bouzina	Bouzina	22	12	IRR
	Tebassa	El Hakika	El Hakika	17,8	6	IRR

X-2-2-3 Le schéma de transfert régional des eaux superficielles

Le stockage des eaux par les barrages-réservoir dans les régions où des ressources en eau superficielle sont abondantes, pour les transféré aux zones où les besoins s'affirment, semble l'aménagement indispensable à mettre en œuvre, au profit des hautes plaines et l'Aurès en particulier.

Le plus important accélérateur de développement socio-économique dans la région est le système de mobilisation et de transfert Beni Haroun. Ce dernier vise le renforcement de l'alimentation en eau potable et industrielle de plusieurs agglomérations dans les wilayas de Constantine, Mila, Jijel, Oum El Bouaghi, Khenchela, et Batna, et l'irrigation des terres agricoles dans les plaines de Teleghma, Chemoura, Toufana et Batna-Ain Touta.

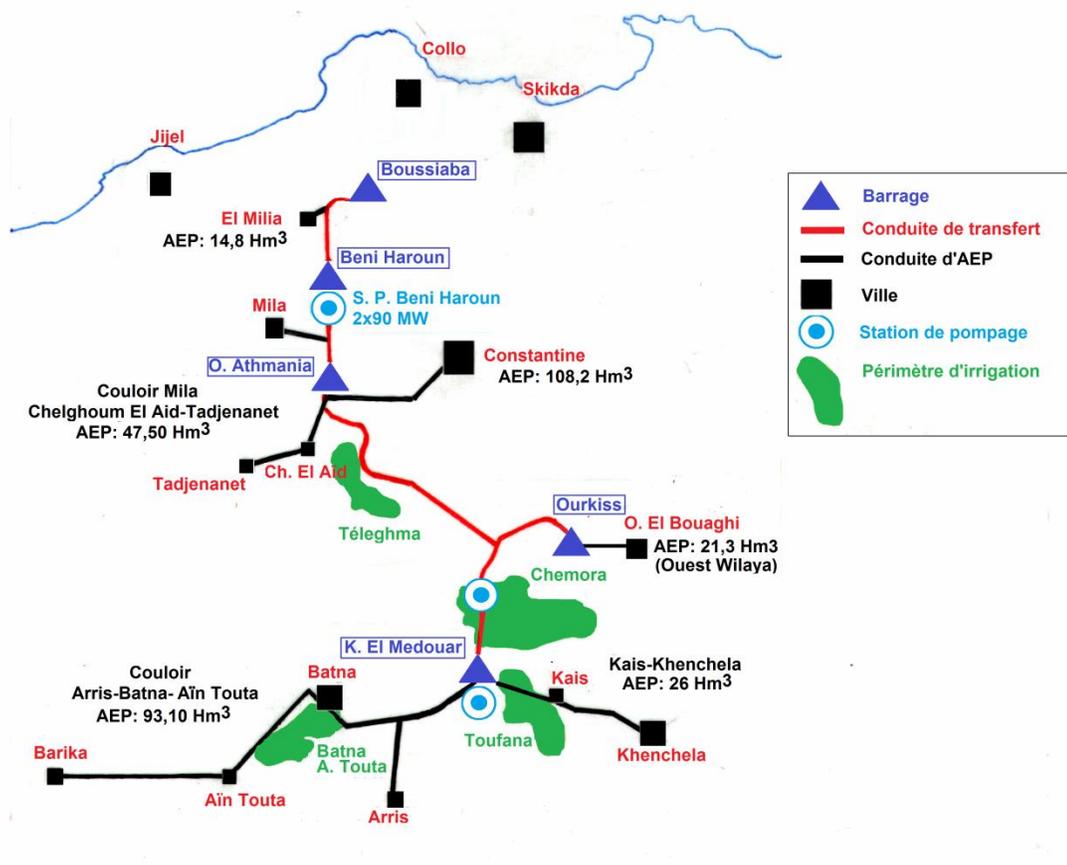
L'aménagement Beni Haroun est constitué d'un réseau de 5 barrages en interconnexion (Beni Haroun 960 hm³, Oued El Athmania 35 hm³, Ourkis 65 hm³, Boussiaba 35 hm³, Koudiat El Medouar 62 hm³). Il englobe en outre trois stations de pompage d'eau brute dont la plus importante est d'une puissance de 180 mégawats, 3 stations de traitement, 600 kilomètres de conduites de gros diamètres, 6 couloirs d'alimentation en eau potable et 4 périmètres d'irrigation d'une superficie totale de 40000 hectares (Figure 114).

L'eau du barrage de Beni Haroun est pompée jusqu'au bassin d'expansion d'Aïn Tinn, point haut du tronçon conduisant au réservoir intermédiaire d'Oued Athmania. De ce barrage réservoir qui se situe sur l'Oued Kaïm, partiront les conduites d'adductions vers quinze (15) agglomérations dans la wilaya de Mila (Ferdjioua, Oued Enja, Rouached, Zeghaïa, S.Merouane, Grarem Goua, Tiberguent, Ahmed Rachedi, Yahya Benguecha, Chelghoum el Aïd, Oued Athmania, Teleghma, Oued Seguin, et Tadjenanet) et trois (3) dans la wilaya de constantine (Ain Smara, el Khroub, et Constantine-chef lieu).

Dans sa partie sud, le tracé du transfert est commun jusqu'aux environs d'Ain Kercha. La conduite de transfert dessert le périmètre d'irrigation de Teleghma et les centres urbains d'Ain Kercha et d'Ain M'lila, puis se divisera en deux branches, vers les deux réservoirs d'extrémité à savoir le barrage de Koudiat El Medouar et celui d'Ourkiss :

- Du barrage de Koudiat Medouar, partiront les conduites d'adductions vers les agglomérations de Batna- chef lieu, Tazoult, Arris, Ain Touta, et Barika dans la wilaya de Batna, et celle de Kaïs, Khenchela- chef lieu, El Mahmel, Rechach dans la wilaya de Khenchela. Il est également envisagé de fournir à partir de la retenue de Koudiat Medaour l'eau d'irrigation nécessaire aux périmètres Chemoura, Touffana-Remila et de Batna-Ain Touta.

- les conduites qui formeront la ligne dite Ourkiss (du nom d'un barrage situé dans la wilaya d'Oum El Bouaghi), alimentent les villes d'Ain Fakroun, Oum El Bouaghi et Ain Beida, et desservent, également, le périmètre d'irrigation de Chemoura situé au coeur des Hauts plateaux.



A noter également, les deux transferts d'eau qui sollicitent les bassins limitrophes à la Seybouse :

-Le transfert à partir des ouvrages des Côtiers Constantinois, dont l'eau est pompée des trois barrages implantés dans la wilaya d'El Tarf (Mexa, Bougous et Cheffia) vers la ville d'Annaba, la sidérurgie d'El Hadjar et le périmètre irrigable de Bounamoussa. Un système hydraulique interconnecté entre Mexa et Bougous, est en projet (ANB, 2005 in Mebarki, 2005).

- Le transfert prélevé à partir du barrage d'Ain Dalia sur l'Oued Medjerda et alimentant à la fois les centres urbains du haut Cherf, les villes d'Oum El Bouagui et Ain Beida et vers les centres urbains du bassin de l'Oued Melah. En outre, un projet d'interconnexion des Barrages de Foum-El-Khenga sur le Haut Cherf et Aïn-Dalia a été lancé en vue d'un renforcement de l'AEP et AEI de ce dernier.

X-3 Les contraintes liées à la mobilisation des eaux de surface

Les ouvrages de mobilisation des eaux de surface, dès leur mise en eau, sont confrontés à plusieurs contraintes liées aux conditions naturelles du milieu et aux actions anthropiques notamment la pollution de l'eau des retenues.

X-3-1 Un climat peu favorable

La mobilisation des ressources en eau est très dépendante du contexte climatique de la région considérée. Soumis à des contraintes climatiques peu favorables, la région d'étude, notamment les hauts plateaux et les Aurès, a enregistré un déficit pluviométrique ces dernières décennies. Ceci a engendré la faible recharge des retenues des barrages et un tarissement de certaines sources qui contribuaient à l'irrigation des petits jardins réparties sur les rives des oueds.

Le régime des oueds, conséquence directe du régime pluviométrique, est caractérisé par l'alternance de crues courtes et brutales et d'étiages sévères. Cette irrégularité rend difficile la maîtrise des eaux par des aménagements de régularisation, de plus en plus coûteux.

L'évaporation est une contrainte majeure pour les barrages en milieu aride et semi-aride. Elle contribue à réduire la réserve de la retenue. Selon Remini (2005), les volumes d'eau perdus par évaporation dans les lacs des barrages sont beaucoup plus supérieurs à ceux perdus par l'envasement.

Ces volumes évaporés sont soumis à des variations annuelles et interannuelles considérables, car ils dépendent des facteurs climatiques, mais aussi des variations de surface du plan d'eau. A titre indicatif, l'évaporation maximale de 350 Hm³ a été enregistrée dans les 39 barrages exploités par l'ANBT durant l'année hydrologique 1992/93 et la minimale de 100 Hm³ durant l'année 2001/02. La moyenne annuelle sur la période de 10 ans (1992/02) est de 250 Hm³, ce qui représente 6,5 % de la capacité totale (Remini 2005, IME 2010).

En outre, nous présentons ci-dessous quelques chiffres concernant l'évaporation des lacs des barrages irrigés dans la région d'étude :

- Le stock du barrage de Fontaine des Gazelles souffre d'une grande perte par évaporation, qui dépasse les 6 hm³/an, le volume évaporé dépasse même la quantité d'eau destinée en principe à l'irrigation (Sedrati, 2011). Quant au barrage de Foum El Guerza, le volume annuel perdu par évaporation du lac est de 5 Hm³ (2482 mm sur un plan d'eau évaporable de 2,58 km²). Ainsi, la retenue du barrage de Babar évapore en année moyenne de la période 1994/2004, 1454 mm (Aouachria, 2008), sur 2,91 km², soit 3,3 Hm³.

- L'évaporation moyenne annuelle atteint, selon l'agence nationale d'aménagement du territoire (ANAT), 1860 mm au niveau du barrage de Foum El Gueiss (Touati, 2010). Ce qui représente une perte de volume de 94708 m³ sur une surface évaporable de 6,53 hectares. Les mesures s'effectuent quotidiennement à 8h tout au long de l'année à partir d'un « bac colorado »⁽¹⁾. Pour le barrage de Koudiat Medaour, les pertes par évaporation sont estimées à 2353 mm. Ce qui fait perdre à ce dernier un volume annuel de 6,6 Hm³ (si l'on prend 3,6 km² comme surface moyenne évaporable).

- L'évaporation épuise une lame d'eau de 1458 mm dans la retenue du barrage Hammam degagh, sur une surface moyenne évaporable de 4,9 km², soit un volume évaporé de 5,56 Hm³ (Benchaïba, 2006). Quant au barrage de l'Oued Cherf, le total annuel évaporé, estimé à partir d'une lame d'eau évaporée de 1634 mm mesurée à la station d'Ain M'lila (Ghachi, 1986), est de 6,63 Hm³ pour une surface évaporable de 5,2 km².

Par ailleurs, l'évaporation intense contribue à accentuer la salinité des eaux des barrages, tout en réduisant leurs stocks et y créent une véritable ascension du sel des profondeurs vers la surface et un gradient de concentration de l'amont vers l'aval. Ceci augmente la proportion des eaux salées dans les réserves particulièrement dans les bassins endoreïques.

X-3-2 Environnement érodable et envasement alarmant

La région d'étude, comme nous avons déjà précédemment parlé (chap II et III/ Troisième partie), offre des conditions très favorables à une érosion hydrique intense. Par ailleurs, à cause de l'intervention de l'homme, par le déboisement, le surpâturage et les façons culturales, le processus d'érosion hydrique se trouve accélérer.

L'intensité du phénomène se manifeste essentiellement en période de crues. En conséquence, les concentrations en matière en suspension supérieures à 200 g/l sont fréquemment observées lors des crues orageuses d'été et d'automne, notamment dans les bassins des Aurès (Demmak, 1982).

Ceci amène à poser le problème de l'envasement des retenues des barrages réservoirs érigés dans la région, qui constitue sans nul doute la conséquence la plus dramatique du phénomène érosif. L'état actuel de l'envasement des anciens barrages de Foum El Gueiss et Foum El Guerza, donne une idée sur l'ampleur du phénomène et la gravité des problèmes qui en découlent.

X-3-3 Réduction de la capacité des retenues

La réduction de la capacité de la retenue est une menace qui pèse lourdement sur la rentabilité des infrastructures hydraulique. En Algérie, à l'instar des pays du bassin méditerranéen, l'envasement des retenues de barrages provoque une réduction importante de leurs capacités de stockage.

⁽¹⁾ : Généralement, on admet que l'évaporation sur un lac du barrage sera celle mesurée sur un bac placé dans les mêmes conditions climatiques, multipliée par «un coefficient de bac». Ce dernier varie entre 0,6 et 0,8 pour un bac classe « A » et entre 0,6 et 0,9 pour un bac ORSTOM, version à peine modifiée du Colorado (Laborde, 2009). Le coefficient de passage choisi pour notre région est de 0,78

Le volume d'eau évaporé est calculé comme suit : $V_{\text{évap}} = (0,78 \cdot S_{\text{p.d.e}} \cdot L_{\text{évap}}) / 1000$, avec $V_{\text{évap}}$: Volume d'eau évaporé (Hm³) ; $S_{\text{p.d.e}}$: Surface du plan d'eau (km²) ; $L_{\text{évap}}$: Lame d'eau évaporée (mm).

L'expression simplifiée du bilan d'un bac pourra se traduire comme suit : $E = \Delta H \pm P$, avec E : Évaporation (mm) ; P : Pluie tombant sur le bac (mm) ; ΔH : Différence de cote du plan d'eau entre deux mesures, en mm (Boutoutou, 1995).

L'analyse des chiffres présentés par la suite (tableau 62), montre que la capacité de stockage des barrages érigés dans la Seybouse-Aurès est sujette à une réduction progressive par envasement au cours du temps.

Tableau 62 Dépôts dans les barrages de la Seybouse-Aurès

Bassin	Sous bassin	Barrage	Capacité (Hm ³) ⁽³⁾		Envasement moyen annuel (Hm ³)	Volume envasé (Hm ³)	Taux d'envasement (%) en 2004	Taux d'envasement (%) en 2014 obtenue par extrapolation
			initiale	Dernier levé (2004)				
14	Bouhamdanne	H. Debagh	200 (1987)	184,35	0,92	15,65	7,80	12,43
	Haut Cherf	F. El Khanga	157 (1995)	152,65	0,48	4,35	2,77	5,83
07	Chemoura	K. El Medouar	62 (2001)	61,32	0,23	0,68	1,10	4,81
	G. A Djamel	Ourkiss	65	-	-	-	-	-
	El Gueiss	F. El Gueiss ⁽¹⁾	3 (1944)	0,43	0,043	2,57	85,67	100
06	El Arab	Babar	41 (1995)	38,01	0,33	2,99	7,29	15,34
	El Hai	F. Des Gazelles	55,5 (2000)	54,74	0,19	0,76	1,37	4,79
	El Abiod	F. El Gherza ⁽²⁾	47 (1950)	14,89	0,59	32,11	68,32	80,87

Le volume totale des sédiments piégés (pertes de capacité) dans les barrages en exploitation jusqu'à 2004 (année de dernier levé bathymétrique) est de l'ordre de 59 Hm³, représentant 10,5 % de la capacité totale de stockage. A titre approximatif, ce cumul des pertes atteint 87 Hm³ en 2014, soit 15,4 % du volume total : valeur obtenue par extrapolation à partir de mesures bathymétrique de 2004.

La retenue de Foum El Guerza, vieux de plus de 60 ans, est soumise à une forte sédimentation. Ceci a été évident dès le début de la construction de l'ouvrage : En deux ans (1948-1950), le batardeau amont ayant été complètement comblé (Remini, 2000).

Le volume de vase déposé dans la retenue, réduit sa capacité à l'environ de 32% (Taux d'envasement de 68% en 2004), soit un comblement annuel de 0,59 hm³. Vu son importance économique pour la région sud des Aurès et afin de prolonger sa durée de vie, le dragage de la retenue est devenu une nécessité ⁽⁴⁾.

Les travaux de désenvasement en 2005, ont permis d'enlever 2,7 Hm³ de vase accumulée dans cet ouvrage, soit un taux d'environ 67% du volume à enlever (4 Hm³). Avec ce programme (2002-2009) est celui en cours (lancé en 2010), le dévasement par dragage permettra, en supposant que ces projets ont été et seront réalisés, un gain de capacité de 20 Hm³ (IME 2010, Touati 2010), soit un taux de dévasement voisine les 4 Hm³ en 18 mois. La boue diluée est déversée, en amont du barrage, du côté de la sortie nord du village de Droh dans des périmètres de lagunage où l'eau, une fois débarrassée des sédiments, retourna à la retenue.

Du fait de l'apport solide important et malgré la surélévation de sa digue en 1969, la retenue du petit barrage de Foum El Gueiss d'une capacité initiale de 3 Hm³ s'est réduite à une capacité d'environ 0,43 Hm³ en 2004, soit un volume de vase de 2,57 Hm³. En conséquence, le dragage de la retenue est devenu une nécessité. En 2004, le barrage a bénéficié d'une opération de dragage étalée sur plusieurs années. Ceci a nécessité la rehausse du niveau de retenue normale de 1 m, afin de permettre l'utilisation d'une barge suceuse exigeant un minimum de tirant d'eau (mebarki, 2005).

⁽¹⁾ : Surélévation en 1969 et 2004 (Gain de capacité 0,5 et 1,1 hm³ respectivement)

⁽²⁾ : Le Barrage est vidé en 1951, pour cause de fuites, puis remis en eau en 1960. Grâce à la vanne de fond 600 000 m³ de vase ont été évacuées de 1989 jusqu'à 1993. Cette vanne de fond est obturée durant la période (1981-1989). Des opérations de dragage ont commencées en 2005, volume à dévaser (20 Hm³).

⁽³⁾ : D'après ANB, 2004.

⁽⁴⁾ : le barrage ne pouvait être élevé (Remmini et Avenard J M, 1998)



**Figure 115 : a) Rejet de la vase de la retenue de Foum El Gherza (Photo. ANBT de Biskra, le 19/03/2006) ;
b) Dragage suceuse/refouleuse en activité dans la retenue du barrage Foum-El-Gherza (IME ,2010)**

Moins exposé mais néanmoins concerné par l'envasement, le barrage de Foum El Khangua, sur l'Oued Cherf, a connu un apport solide de $4,35 \text{ Hm}^3$ pendant la période (1995 à 2004) soit un apport annuel de $0,48 \text{ Hm}^3$.

L'état d'envasement des barrages en exploitation, énoncé ci-dessus, peut nous donner une idée sur la vitesse de sédimentation, afin d'en tenir compte pour les nouveaux barrages.

Il faut noter aussi, qu'une fraction considérable de sédiments commence à se déposer dans les retenues des autres barrages en exploitation : le barrage de Babar a perdu 3 Hm^3 durant 9 ans (1995/2004), celui de Hammam Debagh à recueillait plus de 15 Hm^3 de vase, dès sa mise eau au cours de l'année 1987 jusqu'à 2004. Le taux de comblement a été de $0,33$ et $0,92 \text{ hm}^3/\text{an}$, respectivement.

X-3-4 Sécurité des ouvrages menacée

Outre le problème de la diminution de la capacité du barrage, l'envasement pose le problème de la sécurité des ouvrages. L'eau chargée de vase et même que la vase déjà déposée, exercent des poussées (force hydrostatique) plus fortes que l'eau claire (Benblidia et al., 2001). Ce qui peut accroître la menace à la stabilité des barrages.

Nous citons, à titre d'exemple, le barrage-poids de Fergoug, lequel a été détruit en 1927 lors d'une crue de $2300 \text{ m}^3/\text{s}$ avec pointe de plus de $5000 \text{ m}^3/\text{s}$. L'eau de cette crue avait probablement atteint une densité de $1,3$ (Benblidia et al., 2001). A cause de l'insuffisance du déversoir, la crue a entaillé dans l'ouvrage une brèche de 155 m (Bouhlali, 2006). Ainsi, en 1990, les services d'hydraulique ont diminué le volume de l'eau claire de 9 Hm^3 uniquement pour assurer la sécurité de l'ouvrage (Remini, 2000).

C'est pourquoi il faut prendre au sérieux le cas du barrage de Foum El Gherza qui se trouve actuellement envasé à plus de 68% de sa capacité initiale. La sédimentation accélérée de la retenue a provoqué une montée rapide du toit de vase, soit plus de 35 mètres en 40 ans (Remini, 2000). En conséquence, La sécurité de cet ouvrage est menacée chaque année si aucune disposition n'est prise. A noter que la vanne de fond a été bloquée de 1982 à 1989, suite à la consolidation rapide de la vase.



Figure 116 Barrage de Fergoug après la rupture en 1927 (Comite technique permanent des Barrages, 1998, in : Bouhlali, 2006)

Un autre impact sur la sécurité des barrages, il s'agit de problème des fuites d'eau à travers les rives et les fondations. Ce qui peut mettre en péril la sécurité de ces ouvrages. Le barrage de Foug El Gherza qui a fait l'objet des mesures périodiques de fuites, enregistre une perte annuelle avoisinant 5 millions de m³, soit plus de 10% de sa capacité initiale. (Toumi et Remini, 2004). En effet, en plus de ces pertes en eau précieuse, la stabilité de la digue est menacée et le risque de déstabilisation augmente avec le vieillissement de ce barrage.

X-3-5 Exploitation et gestion inadéquates

Il ne suffit pas d'accumuler l'eau derrière les barrages : L'efficacité de l'opération, de l'entretien et de la surveillance est essentielle pour assurer la viabilité soutenue et la sécurité de ces ouvrages. L'objectif est de protéger les personnes, la propriété et l'environnement contre les effets nocifs du dysfonctionnement ou la rupture de ces derniers.

Les nouveaux barrages construits dans la région des Aurès, sont mis en eau, mais loin d'être complètement en service. L'eau accumulée dans les retenues n'a pas trouvé d'utilisateurs plusieurs années successives. Alors que le captage des eaux souterraines a donné un essor rapide au point de provoquer une surexploitation des nappes, notamment à Tolga où on enregistre une forte pression sur les ressources en eau avec des prélèvements dix fois supérieurs à la recharge.

Les barrages de Babar et Fontaine des Gazelles souffrent d'une insuffisance dans leur exploitation. Ils sont encore dépourvus des réseaux de distribution capables d'atteindre toutes les surfaces irrigables, et certains travaux de transfert d'eau et d'équipement des périmètres ne sont même pas encore commencés. Au rebours et selon l'ABHS ⁽¹⁾, le rabattement de la nappe du Continental Intercalaire a déjà dépassé les 80 m et qui risque de s'amplifier si l'on envisage de l'exploiter encore plus intensément.

Le barrage de Koudiat Medouar est mis en eau, mais loin d'être complètement en service. L'eau accumulée dans la retenue n'a pas trouvé d'utilisateurs 5 ans successifs (2002/07). Ainsi, il est important de souligner que les travaux de construction du barrage d'Ourkiss ont accusés un important ajournement (le barrage est achevé seulement en septembre 2014 après 7 ans de retard). En plus, la situation des travaux de transfert et d'équipement des périmètres semblent au point mort jusqu'à présent (fin 2014).

⁽¹⁾ : Source : <http://www.abhs.dz/php/fr/chottmelghir.html>

Un retard manifeste (16 ans) a été enregistré dans l'édification de la station de traitement des eaux du barrage Hammam Debagh fonctionnel depuis 1987, pour le renforcement de l'alimentation en eau potable des petites localités proches du barrage et de la ville de Guelma. Le périmètre d'irrigation Guelma-Boucheouf a lui aussi connu un retard dans sa réalisation (Côte, 1996). Il a été mis en exploitation au fur et à mesure de l'équipement des parcelles selon l'AGID (agence nationale d'irrigation et de drainage).

De même, pour le périmètre de Sedrata/Zouabi/ Bir Bouhouche, les débuts effectifs de l'irrigation à partir du barrage de Foug El Khanga opérationnel depuis 1995, se sont effectués au mois de mai 2010.

Le soutirage des courants de densité est une technique efficace de lutte contre l'envasement des barrages en Algérie, compte tenu du faible coût et surtout la présence des conditions favorables à l'apparition des courants de densité dans la majorité des retenues en Algérie : forte concentration en sédiments en période de crues et une configuration géométrique des retenues de type canal (Remini et Remini, 2003).

Cependant, la non maîtrise de ce mécanisme peut avoir un effet néfaste sur les vannes de fond. L'on peut citer, à titre d'exemple, le barrage de Foug El Guerza dont la vanne de fond s'est obturée durant la période 1981-1989 suite à la consolidation rapide de la vase. Ceci a aggravé le processus d'envasement de sa retenue. A noter également que l'ouverture de la vanne de fond à ce barrage de 1989 à 1993 a permis d'évacuer environ 0,6 millions de vase.

En outre, afin de freiner la torrencialité de l'écoulement, de restreindre le transport solide et par conséquent, limiter un éventuel envasement du barrage de Koudiat El Medaouar, un programme d'intervention a été engagé antérieurement à la construction de cet ouvrage. Ce programme consiste à traiter plus de 34000 ha : reboisement, correction torrentielle, amélioration pastorale, ..., etc. L'exécution des travaux de protection a commencé en 1975 (18 ans avant le lancement dans la construction du barrage). Cependant le manque de suivi et d'entretien de ces travaux et la non réussite de reboisement, notamment sur les reliefs de Gloua-et-Trab et Tagratine, en raison de l'inadaptation des espèces végétales pratiquées, fait qu'aucun résultat perceptible n'a été enregistré. Cette situation, décrite pour le bassin de l'Oued Chemoura, n'est pas différente au niveau des autres bassins étudiés.

X-3-6 Conséquences en aval

Le barrage perturbe le débit naturel des oueds, affecte ainsi le niveau des nappes et le transport des sédiments. En plus, la retenue des eaux modifie leur qualité et influe l'écosystème originel. Après la construction du barrage de Babar, le maigre débit de l'Oued El Arab en aval est loin de satisfaire les besoins en eau des 30 000 dattiers que compte la commune de Khanguet Sidi Nadji. Par ailleurs, les 3000 ha de terres fertiles de Djenah Lakhdar, situés au sud de la commune, de part et d'autre, jadis irrigués à partir de l'Oued El Arab par un réseau de seguia long de 14 km, sont en jachère.

De même, le débit de l'Oued Chemoura en aval du barrage de Koudiat Medaour est loin de satisfaire les besoins en eau des terres fertiles, autrefois irrigués par épandage des crues de l'oued.

L'implantation du barrage de Hammam Debagh a envoyé fond de vallée, route, habitat et 150 familles de fellahs ont été relogées ailleurs sans ressources (Touati, 2010). Ces familles, ont

commencé à se disperser, bien peu se retrouveront sur les périmètres prévus dans la région (Côte, 1996 in Touati, 2010), (Guelma-Boucheougouf et Dréan-Besbès-Ben M'hidi). Ceci est le résultat du grand retard enregistré dans la concrétisation de ces périmètres.

Par ailleurs, Les bienfaits des eaux déversées et des lâchers ponctuels sont indéniables. Les eaux déversées à partir du barrage de Foum El Gherza, vont irriguer les plaines céréalières situées en aval, en direction des localités de Sidi Okba, Sériana et Guarta.

En plus des lâchers ponctuels, le barrage de Fontaine des Gazelles déverse lui aussi son trop-plein dans l'Oued Haï, et ce, à la grande satisfaction des cultures céréalières de la région.

X-4 Synthèse, stratégie et plan d'action

L'infrastructure de mobilisation des eaux superficielles construites dans la Seybouse-Aurès est aujourd'hui loin d'être complètement en service. L'analyse a montré beaucoup de lacunes et d'échecs et a permis de tirer certaines conclusions :

- Potentiel en eau de surface limité et fortement sollicité.
- Envasement critique résulte d'un manque d'entretien et de protection ; le cas le plus alarmant concerne les barrages de Foum El Gueiss et Foum El Gherza.
- Exploitation inadéquate des ouvrages de mobilisation : les nouveaux barrages sont restés inexploités pendant plusieurs années depuis leur mise en eau, en l'absence des réseaux d'adduction et d'irrigation.
- Les travaux de construction du barrage d'Ourkiss ont enregistré un retard important.
- Un coût d'investissement onéreux pour la réhabilitation du barrage de Foum El Gueiss d'une capacité ne dépasse pas les 3 Hm³
- Un volume considérable d'eau évaporée, qui est beaucoup plus supérieur au volume perdu par l'envasement.
- Des retenues collinaires envasées, détruites, ou non exploitées pour des raisons diverses.
- Situation inquiétante en l'aval des barrages de Koudiat Medaouar et de Babar (des terres fertiles sont en jachère et des palmiers ont péri après la construction des barrages).
- Une superficie totale irriguée relativement faible

Une vision durable de la ressource en eau dans la Seybouse-Aurès doit être reposée sur les recommandations suivantes :

- L'aménagement des bassins versants de la région devient une nécessité pour lutter contre l'érosion : reboisement, restauration des sols, formation des banquettes, réalisation des retenues de décantation.
- Parallèlement à la politique de la mobilisation des ressources en eau par le moyen de lourdes infrastructures (barrages, grands transferts), il vaut mieux investir dans la petite et la moyenne hydraulique, dont les bienfaits sont indéniables.
- L'eau mobilisée doit servir efficacement à l'objectif réel de l'aménagement.
- L'entretien, la maintenance et le contrôle de stabilité, sont nécessaires, afin de garantir le bon fonctionnement des barrages et leurs équipements, et d'assurer leur pérennité.
- La technique du soutirage peut réduire la vitesse de sédimentation dans les retenues des nouveaux barrages compte tenu du faible coût et surtout de la présence des courants de densité dans les retenues. Mais il est indispensable qu'elle soit pratiquée avec rigueur.
- Le système d'information géographique et le système d'aide à la décision devraient être utilisés pour localiser les zones d'intervention en matière d'aménagement anti-érosif.

- L'utilisation de la vase draguée des barrages de Foum El Gueiss et Foum El Gueiss, comme matière première pour la fabrication de brique, peut donner des résultats encourageants.
- le renforcement de la coordination entre les différents partenaires du secteur de l'eau est indispensable.
- Dans l'avenir, avec le développement et la concentration des populations, et l'augmentation des activités industrielles, les rejets domestiques et industriels peuvent créer des situations de pollution dangereuses, dans les oueds et aussi dans les retenues des barrages.

De ce fait, il semble indispensable d'effectuer le traitement des effluents urbains et industriels, surtout ceux qui proviennent des grandes agglomérations, ce qui permettra une réduction importante de la pollution des oueds et des barrages. En plus cette opération permettra de récupérer une bonne partie des ressources en eau habituellement rejetées.

- Les zones limitrophes des retenues des barrages doivent être protégées pour préserver la qualité des eaux de ces retenues contre les rejets et les contaminations possibles. Ceci par la création des périmètres de protection interdits à toutes activités.

Toutes ces actions permettront de valoriser les ressources hydriques existantes, d'améliorer la couverture des besoins en eau potable et d'étendre les terres irriguées à partir des eaux de surface.

Conclusion

La technique de dérivation des eaux par des aménagements élémentaires, et plus particulièrement celle de dérivation des eaux de crues, occupe de larges espaces dans la région d'étude. Cependant, malgré les multiples avantages socio-économiques que ces aménagements emportent, ils sont très vulnérables et engendrent des pertes en eau énormes, en raison de leurs matériaux de construction. En conséquence, ils ne peuvent pas constituer des réserves qui puissent garantir un approvisionnement régulier, notamment en cas de sécheresse.

Les nouveaux barrages érigés sur les oueds de la Seybouse-Aurès sont des accélérateurs de progrès et de développement de la région. Malheureusement si les barrages sont achevés, l'exécution des travaux d'adduction et d'équipement des périmètres d'irrigation, a accusé un retard manifeste et, pire encore, certains travaux de transfert ne sont pas entrepris jusqu'à présent et la situation est au point mort.

La mauvaise protection biologique et technique de leurs bassins versants, et le retard enregistré dans les travaux d'aménagements antiérosifs, augmentent la possibilité d'un envasement rapide de ces barrages.

L'évaporation est, aussi, une contrainte majeure pour les barrages de la région, notamment ceux qui sont situés sur le versant sud des Aurès. Elle contribue à réduire la réserve des retenues et à accentuer la salinité des eaux stockées.

En plus les barrages sont menacés à l'avenir par une progression éventuelle de risque de pollution de leurs eaux, parallèlement au développement de la population et des activités industrielles. D'où l'urgence de la protection de ces ouvrages contre cette contrainte, par l'élaboration d'un schéma de collecte et de traitement des eaux résiduaires pour les grands centres urbains.

Conclusion de la troisième partie

Cette partie de l'étude a été consacré d'une part à la cartographie de l'aléa érosion hydrique des bassins de la Seybouse-Aurès, et d'autre part, à la quantification des apports solides transportés par leurs réseaux hydrographiques. En outre, une description des différentes techniques de mobilisation utilisées, leur adaptation au milieu, et leur impact sur la gestion des ressources en eau dans la région a été présentée.

Après avoir présenté, un « état de l'art » sur les processus de l'érosion hydrique et de transport solide, deux aspects d'études de ces phénomènes, étroitement liés entre eux, ont été analysés.

Le premier a permis d'établir des cartes d'aléa pour les bassins représentatifs de la Seybouse-Aurès, à l'aide d'un modèle de type système expert, fondé sur le bilan «pédogenèse-morphogenèse» et sur le système de l'information géographique (SIG) en tant qu'outil d'analyse spatiale et d'aide à la décision.

Une approche plus fine et détaillée à l'échelle de la saison sur le bassin versant de l'Oued Chemoura qui a été prise comme exemple d'application, a permis de prendre en compte les interactions entre facteurs climatiques et occupation des sols de manière beaucoup plus précise que dans une approche annuelle.

Par ailleurs, nous avons procédé à une approche statistique pour quantifier les flux en sédiments solides transportés par les différents oueds étudiés, à travers la mise en évidence de relations statistiques entre les débits liquides et solides mesurés dans les stations hydrométriques à leurs exutoires.

Ceci pourrait constituer le point de départ à la mise en œuvre d'une gestion coordonnée des actions de lutte contre l'érosion des sols, et contre l'envasement des barrages érigés dans la région. Dans cette optique, et pour servir à la protection des infrastructures de mobilisation des eaux de surface, nous avons exposé l'efficacité de ces dernières, leur impact attendu sur le développement socio-économique de la région, et les contraintes auxquelles sont confrontées.

Conclusion générale

La Seybouse-Aurès regroupe des ensembles morpho-structuraux bien tranchés et très divers, avec des caractéristiques variées quant aux substrats, aux déclivités et aux climats. La combinaison de ces facteurs naturels a déterminé un régime d'écoulement à potentialité variée, que l'intervention de l'homme a fortement modifiée au cours des dernières décennies, en édifiant de nombreux barrages et transferts sur les oueds drainant les bassins étudiés.

Une première partie de cette étude est consacrée à l'analyse du complexe physique des bassins versants sélectionnés, notamment, la géomorphométrie, la lithologie, l'occupation du sol et la couverture végétale, ainsi que la climatologie.

En raison de l'étendue de la région d'étude, nous avons focalisé nos efforts sur un certain nombre de bassins qui nous ont apparus comme représentatifs de la variété hydrologique de l'ensemble de la zone d'étude. Appartenant à trois ensembles hydrographiques distincts, la Seybouse, les hauts plateaux constantinois et Chott Melrhir, les bassins étudiés s'étalent sur des superficies variant entre 103 et 2083 km², depuis la basse plaine côtière du tell jusqu'à la dépression du Sahara septentrionale.

L'organisation morpho-structural de ces bassins est très compliquée. Elle est marquée par une dissymétrie dans la répartition altimétrique et hydrographique, entraînant des conséquences sur la stabilité du régime d'écoulement et explique les nuances spatiales des potentialités des eaux de surface

Les secteurs montagneux du Tell (la chaîne numidienne) et de l'atlas saharien (l'Aurès) présentent des caractéristiques morphométriques favorables à la genèse et à la propagation des écoulements. Les secteurs de piémonts ont un degré moindre. Alors que les hauts plateaux et les zones sub-sahariennes, à nuances continentales et sahariennes très accusées, présentent des conditions défavorables à l'écoulement. Ces secteurs sont caractérisés par le développement de l'endoréisme et ne fournissent pratiquement aucun débit en dehors des périodes de crue.

Cette dissymétrie reflète bien la disposition de réseau hydrographique. Ce dernier est très dense dans les zones à formation lithologique tendre notamment dans les zones de marne ou d'argile silteuses, associées souvent à des fortes pentes. Alors qu'il est moins dense sur les formations perméables et organisées en pentes douces. En outre, les paramètres morphométriques et hydrographiques calculés nous ont servis à comparer les bassins étudiés entre eux et à donner des indications sur leur comportement hydrologique et sur leur système de drainage.

Une description des formations lithologiques rencontrées au niveau des treize bassins étudiés a été établie, pour mettre en relief leur impact sur l'hydrologie de surface et plus particulièrement sur l'érosion hydrique des sols et le transport solide. Les formations végétales qui assurent une protection seulement partielle à médiocre, sont les plus représentées. Ceci présage d'un écoulement irrégulier et torrentiel et d'une érosion très développée dans le terrain d'étude. La couverture forestière qui peut avoir un impact positif sur le ruissellement et la régularisation de l'écoulement, occupe une place minoritaire. Les incendies, la forte pression anthropique et la sécheresse prolongée, ont été les principales causes de sa dégradation et de son rétrécissement en surface.

La diversité topographique de la région d'étude a un impact évident sur le climat et sur l'écoulement. En effet, les facteurs climatiques notamment, les précipitations, les températures et l'évaporation, sont très nuancés sur le plan spatial. Ils varient avec l'orographie, la position géographique (latitude et longitude) et présentent aussi, une irrégularité d'une année à l'autre et d'une saison à l'autre.

Sur la base des séries d'observations pluviométriques qui s'étalent sur trente-quatre ans, une étude du régime de pluies a été réalisée, prenant en considération un nombre important (73) de stations pluviométriques. Ceci a permis une compréhension du régime pluviométrique et de ressortir les éventuels changements de ce dernier.

Par ailleurs, et avant leur utilisation, un contrôle de la fiabilité des séries d'observation récoltées auprès de L'ANRH, a été effectué à l'aide de la méthode des cumulés des résidus de régressions. L'analyse en composantes principales des racines carrées des valeurs de pluies mensuelles observées sous « hydrolab » nous a permis de restituer les données manquantes.

Les précipitations annuelles de la Seybouse-Aurès sont très variables, avec de fortes amplitudes d'une année sur l'autre et une succession aléatoire des années très contrastées. Des blocs de quelques années excédentaires ou déficitaires ont été observés pour certaines stations. Cette irrégularité interannuelle a été bien mise en évidence en se fondant sur le coefficient de variation, le rapport min/max, l'écart à la moyenne et le coefficient de précipitations standardisé.

Les courbes d'évolution des séries chronologiques des précipitations, doublées de la courbe de tendance linéaire et celle de la moyenne mobile calculée sur 5 ans, nous ont permis de détecter des tendances à l'échelle de la région d'étude.

Une évolution générale à la baisse est circonscrite au massif des Aurès, dont le poids très fort de la décroissance marquée et continue de la dernière décennie des séries pluviométriques a influencé considérablement la tendance produite sur la période (1970/2004). Par ailleurs, la quasi-totalité des stations de la Seybouse, ont enregistré une tendance à la hausse des précipitations. En effet, il nous a paru qu'il s'agit là, non d'un caractère d'exception, mais plutôt d'une évolution qui s'inscrit dans la chronologie des variations normales des précipitations dans la région d'étude.

Les valeurs extrêmes de la pluviométrie interannuelle obtenues vont de 50 mm à Khangat Sidi Nadji sur le versant sud des Aurès, à 993 mm à Mechroha au cœur des monts de la Medjerda. Alors que, la pluie annuelle moyenne ramenée à la surface des bassins et pour la période (1970-2004), oscille entre 232 mm dans le bassin de l'Oued El Abiod au barrage de Foug El Gherza et 731 mm dans le Melah à Bouchegouf. Cette moyenne est extraite de la carte pluviométrique établie pour la région d'étude et qui a fait, par ailleurs, l'objet d'une analyse détaillée. Elle subit les influences de l'orographie, la continentalité, et l'éloignement à la mer.

L'analyse des valeurs mensuelles, sur les 34 années d'observation (1970-2004), a montré que les mois de décembre et janvier pour la Seybouse, mars et mai pour les hauts plateaux et l'Aurès septentrional et la saison automnale (septembre-novembre) pour le revers méridional des Aurès sont les mois les plus humides. Par ailleurs, le mois de juillet est le mois le plus sec dans la quasi-totalité des stations retenues dans l'étude. Les amplitudes interannuelles entre les mêmes mois, les plus élevées sont celles des mois d'été, avec un maximum en juillet ou en août. Les minima sont observés dans tous les mois à l'exception de juin et juillet, avec une fréquence élevée en mars et avril.

Sur le plan spatial, la variabilité des précipitations mensuelles pour les stations du littoral et celles du revers septentrional de l'Atlas tellien, affiche le même profil, avec une augmentation rapide de la pluviosité à partir d'octobre, jusqu'en décembre-janvier puis, une décroissance assez singulière jusqu'en juillet. Elle est plus accentuée dans les hauts plateaux, l'Aurès et la zone présaharienne avec une relative concentration des précipitations au cours des périodes printanières et automnales.

Les hauteurs d'eau journalières maximales décroissent du littoral vers l'intérieur suivant un gradient latitudinal altéré néanmoins par l'effet orographique des monts de Tell et ceux des Aurès. La fréquence la plus forte de ces maxima a été observée dans les secteurs les plus arrosés et la hauteur la plus forte coïncide avec les mois les plus pluvieux de l'année.

L'analyse de la variabilité des précipitations annuelles, mensuelles et journalières maximales a été constamment complétée par une étude fréquentielle, afin d'estimer les quantiles de précipitations pour différentes périodes de retour.

En ce qui concerne le régime thermique, les températures moyennes annuelles de la région d'étude varient entre 14,6°C à Batna et 22,3°C à Biskra. Les variations interannuelles sont faibles dont le coefficient de variation ne dépasse pas le 1%. Quant à la différence entre la température moyenne du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid, elle varie entre 7,4°C à Skikda et 13,5°C à Guelma.

La combinaison des deux principaux facteurs climatiques, températures et précipitations, traduite en diagrammes ombrothermiques à l'altitude moyenne du bassin, nous a permis de déterminer le régime climatique saisonnier moyen. Ce dernier est caractérisé par une saison sèche qui s'étend sur 4 à 8 mois en allant vers le sud, alors que cette période est mobile et sa durée est très variable d'une année à l'autre.

De façon plus large et plus concrète, la classification des sécheresses élaborée par R. Lambert nous a permis d'isoler et de dénombrer les mois secs gaussien enregistrés en 34 ans (1970-2004).

Les zones d'écoulement potentiel de la Seybouse-Aurès ont été esquissées, en calculant le déficit d'écoulement potentiel avec la formule de Turc : la lame d'eau écoulee potentielle excède 40 mm sur la plaine côtière et le bourrelet montagneux tellien, elle peut atteindre plus de 200 mm sur les monts de la Medjerda. L'excédent d'écoulement est relativement faible (0 à 25 mm) sur les hauts plateaux en raison de l'augmentation des températures et par conséquent l'accentuation de l'évaporation. Sur le Massif montagneux des Aurès, l'écoulement potentiel varie entre 30 et 50 mm, voire plus sur les versants nord exposés aux vents humides. Enfin, le Piémont sub-saharien présente une lame écoulee potentielle inférieure à 10 mm, voire nulle en allant vers le sud.

Une bonne correspondance a été décelée entre le zonage d'écoulement potentiel selon Turc et l'indice d'aridité de De Martonne, car effectivement les bassins à climat sub-humide et humide présentent un excédent variant entre 60 et 200 mm, alors que les bassins à climat semi-aride et aride, ont un écoulement inférieure à 40 mm.

Quant à l'évapotranspiration, elle évolue suivant les deux saisons pluvio-thermiques, c'est-à-dire quelle est très élevée en saison chaude sèche, ce qui accentue le déficit d'écoulement, et faible en saison froide humide où la pluviométrie est abondante.

Partant de la connaissance des précipitations, de l'évapotranspiration potentielle évaluée à l'aide des formules de Thornthwaite, Blaney-Criddle et de Turc et d'une valeur maximale standard de la réserve facilement utilisable du sol, la méthode de Thornthwaite a été adoptée pour quantifier, à l'échelle mensuelle, les différentes composantes du bilan hydrique sous l'aspect agronomique.

Les résultats ont montrés que le déficit hydrique annuel est presque partout supérieur à 500 mm, dépasse 700 mm dès la limite méridionale du Tell et atteint 1500 mm aux piémonts sud des Aurès. L'excédent enregistré, varié entre 14 et 135 mm et apparaisse pendant les mois de janvier, février et mars sur la plaine côtière et le tell septentrional. En revanche, le bilan hydrique est déficitaire, les réserves du sol sont totalement à sec et l'écoulement est nul durant toute l'année sur les hauts plateaux et les Aurès. En effet, seule une analyse au pas journalier permet de caractériser un bilan hydrique assez précis et de dégager l'excédent réel, en évitant l'effet de compensation annuelle et mensuelle.

Une attention particulière a été portée à la cartographie de la distribution spatiale des précipitations pour la période (1970-2004). Néanmoins, Notre méthodologie pourrait s'appliquer à d'autres paramètres climatiques, comme la température et l'évapotranspiration, par exemple.

Dans un premier temps, nous avons procédé à une modélisation statistique permettant d'estimer les précipitations annuelles, mensuelles et journalières max de fréquence décennale, en fonction du paramètre topographie et de l'éloignement de la mer. Ensuite, l'analyse variographique sous Surfer nous a montré que la structure des résidus pluviométriques à différents pas de temps suit généralement une fonction de type exponentiel. Au final, la superposition des couches d'informations des résidus de régression obtenues grâce à l'interpolation spatiale par le krigeage et celles des pluies estimées, nous a permis de tracer les différentes cartes pluviométriques pour la période (1970-2004).

La comparaison entre la carte des pluies moyennes annuelles obtenue et celles de l'ANRH (1922/60-1969/89), de Chaumont et Paquin (1913-1963) et de Seltzer (1913-1938) a permis de déceler une tendance à la baisse pour les dernières décennies qui aurait, par conséquence, un effet important sur l'écoulement de surface et donc sur le volume d'eau mobilisé.

Notre travail a permis de montrer que les résultats obtenus à l'échelle de la Seybouse-Aurès sont relativement cohérents avec ceux obtenus pour le nord de l'Algérie avec, cependant, une tendance à la baisse pour les dernières décennies. Il reste à rappeler que, quel que soit la performance des modèles utilisés, la validité de la cartographie des éléments du climat est subordonnée à la qualité des mesures sur le terrain, à leur continuité dans le temps et également à leur plus grande représentativité géographique.

Dans **la deuxième partie** de ce travail et sur la base des données de mesures hydrométriques récoltées, nous avons essayé de cerner le maximum de détails concernant l'étude hydrologique proprement dite. Cette analyse met en lumière les aspects fondamentaux de l'écoulement et ces nuances temporelles et spatiales.

L'analyse du complexe physique de la région d'étude, a permis de montrer que les caractéristiques physico-géographiques sont très nuancées et par conséquent déterminent des différences sensibles dans l'aptitude des terrains à l'écoulement. Ce dernier - comme les précipitations- se caractérise par son irrégularité aussi bien annuelle que saisonnière.

L'écoulement est modeste sur les Aurès où les conditions d'écoulement sont très astreignantes. En effet, le module absolu augmente progressivement avec l'aire drainée, dont les plus importants sont ceux de l'Oued El Arab ($0,72 \text{ m}^3/\text{s}$) et l'Oued Chemoura ($0,71 \text{ m}^3/\text{s}$).

La Seybouse qui débite $10,75 \text{ m}^3/\text{s}$ est alimenté principalement par les oueds qui proviennent des parties montagneuses de Tell. Il s'agit du Bouhamdane ($2,25 \text{ m}^3/\text{s}$) et du Melah ($3,15 \text{ m}^3/\text{s}$), ces deux affluents sont considérés comme le principal château d'eau de la Seybouse.

Le débit spécifique varie de $0,15 \text{ l/s/km}^2$ à $0,36 \text{ l/s/km}^2$ sur le versant sud d'Aurès, de $0,76 \text{ l/s/km}^2$ à $1,68 \text{ l/s/km}^2$ mm sur l'Aurès septentrional et les Hauts plateaux et de $1,81 \text{ l/s/km}^2$ à $5,72 \text{ l/s/km}^2$ sur le Tell et la zone côtière.

Cette variabilité spatiale est liée à l'augmentation sensible de l'évaporation et la diminution des précipitations en allant vers le sud. Elle traduit aussi le caractère « déperditif de l'écoulement » des bassins endoréiques des Aurès en allant vers les zones de dépression présahariennes ou des Haut plateaux.

Une relation de dépendance existe entre la lame d'eau précipitée et lame d'eau écoulée, qui se manifeste par une variation spatiale presque synchronique. L'écoulement moyen annuel et le déficit d'écoulement pour la période (1972/73-1993/94) ont été esquissés à partir de la relation corrélative, précipitations-écoulement. En effet, plusieurs dégradés sont observés et les iso-écoulement ainsi que les lignes d'égal déficit, traduisent fidèlement l'effet orographique, l'exposition aux vents humides et l'effet de la continentalité.

Quant à la variabilité interannuelle de l'écoulement, elle est étroitement liée aux fluctuations des précipitations. Cette irrégularité a été approchée et discutée en détail, en analysant les variations du rapport des extrêmes, de coefficient d'hydraulicité et de coefficient de variation. Des fortes fluctuations des débits d'une année à l'autre ont été observées, ceci est lié à l'alimentation essentiellement pluviale des oueds. Une discordance a été remarquée entre les courbes d'hydraulicité pour les différents affluents, que nous avons expliqué par une variation de l'apport des réserves en eau souterraines, surtout s'il s'agit d'une période climatique sèche.

Le régime d'écoulement saisonnier de la région d'étude est variable et irrégulier, qui se fait sous forme de crues et dépendant du régime des pluies et de la réponse du milieu physique des bassins. Cependant un certain rythme d'écoulement se reproduit chaque année plus ou moins fidèlement.

Ce régime est bien exprimé par la méthode géographique qui analyse l'évolution de débit journalier d'une année hydrologique réelle, et tient compte des données pluviométriques de la même année. Alors que l'étude du régime des oueds, basée sur les débits moyens qui est une donnée abstraite (méthode de C.M.D), occulte la réalité de l'écoulement dans les oueds, car ces valeurs moyennes laminent les fluctuations des débits.

Par ailleurs, l'étude des formes extrêmes a permis de mieux saisir les caractères du régime d'écoulement. Aux périodes d'excès qui se manifestent par les crues de fréquence importante et d'intensité élevée, succèdent des périodes d'étiage, qui se traduisent par des pénuries d'eau. Ce qui montre l'importance des barrages érigés dans la région. Cependant, ces retenues n'échappent pas à une contrainte de taille, engendrée par les crues, à savoir l'envasement qu'entraîne l'interruption du transit des matériaux charriés par les oueds.

L'analyse de quelques crues enregistrées dans les stations de la région d'étude, nous a permis d'avoir une idée sur l'évolution de ces crues, et sur la réaction de la structure hydrologique des bassins à ces dernières.

Sur les Aurès et les hauts plateaux, les crues sont fréquentes en saison d'automne et coïncident avec les averses fréquentes et intenses enregistrées pendant cette saison. Par contre, la Seybouse connaît des crues généralement en saison froide (novembre- avril) avec une fréquence élevée au mois de décembre, février et mars. Ces crues n'affectent pas les bassins avec la même puissance. Ceci est lié à la distribution spatiale des fortes averses et aux caractéristiques physico-géographiques propres à chacun des bassins.

L'analyse a mis ainsi en évidence, la forte irrégularité de l'écoulement au cours d'une journée de crue et le caractère aléatoire du régime des bassins étudiés, notamment sur les hauts plateaux et l'Aurès où les averses sont très localisées, brèves, et d'intensité très variable.

Quant aux étiages, ils sont très sévères, montrent une diversité spatiale assez marquée à l'échelle du territoire d'étude et l'écoulement de certains oueds peut s'annuler pendant plusieurs mois successifs. Ils sont aussi très influencés par les prélèvements et les rejets.

La **troisième partie** est consacrée d'une part à la cartographie de l'aléa érosion hydrique des bassins de la Seybouse-Aurès, et d'autre part à la quantification des apports solides transportés par leurs réseaux hydrographiques. Une description des différentes techniques de mobilisation des eaux de surface utilisées, leur efficacité, leur adaptation au milieu et leur impact sur la gestion des ressources en eau dans la région, a été également présentée.

Nous avons commencé cette partie par une présentation de l'état de l'art et de connaissances en matière d'érosion hydrique et de transport solide. Ensuite, deux aspects d'études de ces phénomènes, étroitement liés entre eux, ont été exposés.

Le premier a permis de diagnostiquer le risque d'érosion hydrique et de cartographier l'aléa érosif au niveau des bassins représentatifs de la Seybouse-Aurès. Le modèle fait appel à un système d'information géographique (SIG) et intègre cinq facteurs contrôlant l'érosion: la déclivité, la friabilité de substrat, l'occupation des sols, l'érosivité des pluies et les pratiques antiérosives.

La détermination des pondérations de chaque facteur a pour objectif de hiérarchiser par ordre d'importance les cinq couches d'information et de prendre en compte la variabilité saisonnière de l'érosivité des pluies et de l'occupation des sols, en cas d'une approche saisonnière. L'approche utilisée pour le croisement des couches est celle des moyennes pondérées. Pour la pondération de différents facteurs érosifs, on s'est référé aux travaux déjà réalisés mettant en évidence les phénomènes d'érosion hydrique en milieu méditerranéen, notamment au Maghreb, ainsi qu'aux constats effectués sur terrain.

Le résultat est présenté sous forme de cartes synthétiques de l'aléa érosion des sols qui localisent les zones les plus menacées et prioritaires pour d'éventuelles interventions d'aménagement.

Les zones d'aléa modéré sont les plus représentées et éparpillées dans l'ensemble de la zone d'étude, elles occupent plus de 54% de la superficie totale. Cette classe d'aléa peut s'accroître très rapidement avec la dégradation de la couverture forestière et la diminution de la productivité végétale saisonnière. L'aléa fort couvre environ 17% de notre région d'étude et correspond aux terrains sublittoraux et abondamment arrosés ou aux terrains argileux et marneux en pente, à nu et exposée au vent humide.

Quant aux aléas très forts, ils se manifestent sous forme de petits lambeaux dispersés sur les sommets des ensembles montagneux, au tour des zones urbanisées et le long de quelques vallées. Ce type d'aléa ne représente que 4% de la surface de l'ensemble Seybouse-Aurès. Enfin, Les zones à aléa faible et très faible dominant environ 30 % de la surface totale étudiée.

Les cartes d'aléa proposées sont reproductibles au sein d'un système d'information géographique. Elles contribuent, en plus, à connaître l'origine des sédiments déposés en aval, et de localiser les secteurs prioritaires pour intervention en matière d'aménagements anti-érosifs

En outre, une différenciation saisonnière de l'aléa érosif, dont le bassin de l'Oued Chemoura a été pris comme exemple d'application, nous a permis de prendre en compte les interactions entre facteurs érosivité des pluies et occupation des sols de manière beaucoup plus précise que dans une approche annuelle. En plus, les résultats ont été confrontés à une quantification des sédiments transportés par l'Oued Chemoura de 1972 à 1994.

Par ailleurs, nous avons procédé à une approche statistique pour quantifier les flux en sédiments solides transportés par les différents oueds étudiés, à travers la mise en évidence de relations statistiques entre les débits liquides et solides mesurés dans les stations hydrométriques à leurs exutoires. Pour cela, des mesures des concentrations en MES effectuées sur la période 1972-1994 au niveau des stations hydrométriques contrôlant les bassins de la région d'étude, ont été exploitées.

Sur la base de mesures bathymétriques réalisées dans certaines retenues des barrages érigés dans la région, nous avons conclu qu'aucun modèle régressif n'a pu être généralisé sur l'ensemble des bassins étudiés. En outre, le regroupement des données par mois et le plus adapté pour 67% des cas. De ce fait nous avons privilégié le cas le plus défavorable en terme de risque pour continuer notre analyse.

Les résultats ont permis de mettre en évidence une dégradation spécifique importante variant entre 10 t/km²/an sur le bassin de l'Oued Chéria et 704 t/ km²/an sur le Melah pour la période (1972-1994). A ces variations spatiales, s'ajoutent des variations temporelles. En effet les transports solides en suspension varient d'une année à l'autre ; Ils mettent en évidence l'irrégularité des précipitations et de l'hydraulicité.

La concentration maximale a été enregistrée en automne et au printemps, lors des violentes crues. Elle est minimale en année de faible hydraulicité, en saison sèche, et en hiver en absence des crues brutales.

Cette analyse nous a donné une idée sur l'ampleur du phénomène de l'érosion hydrique dans la Seybouse-Aurès, et la gravité de ces conséquences socioéconomiques, notamment l'envasement des barrages réservoirs et l'alluvionnement des terres agricoles.

Enfin, nous avons recensé les aménagements hydrauliques et les techniques de mobilisation des eaux de surface dans la région d'étude, leurs impacts et leurs efficacités. Ceci nous a permis de montrer beaucoup de lacunes et d'échecs et conclure que l'infrastructure de mobilisation des eaux superficielles construite sur la Seybouse-Aurès est aujourd'hui loin d'être complètement en service :- Potentialité de mobilisation des eaux de surface limitée et fortement sollicitée ; - Envasement alarmant résulte d'un manque d'entretien et de protection ; - exploitation inadéquate des ouvrages de mobilisation ; - Fuites à travers les rives du barrage Foum El Gherza, qui risque une destruction de l'ouvrage au cours du temps ; - Volume considérable d'eau évaporée, notamment pour les barrages érigés sur le versant sud des Aurès ; - Des retenues collinaires envasées, détruites, ou non exploitées pour des raisons diverses.

Ajouté à cela, la mauvaise protection biologique et technique des bassins versants, et le retard enregistré dans les travaux d'aménagement antiérosifs.

Une vision globale pour une gestion adéquate et un usage durable de la ressource en eau dans la Seybouse-Aurès a été proposée. Elle va nous permettre de valoriser les ressources hydriques existantes, d'améliorer la couverture des besoins en eau potable et d'étendre les terres irriguées à partir des eaux de surface. Ainsi, avec la concrétisation des projets de mobilisation et de transferts programmés, la Seybouse-Aurès constituera un des facteurs de la prospérité des importantes villes de l'Est Algérien.

Références bibliographiques

- Abdelhadi A (2012)** Vulnérabilité à l'Envasement des Barrages (cas du bassin Hydrographique des Côtiers Algérois). Thèse de Doctorat en sciences en : Hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra, 172 p.
- ABH-CSM (Agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue) (2000)** Les cahiers de l'agence : bassin des Hauts Plateaux Constantinois, cahier 5, 29 p.
- ABH-CSM (Agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue) (2002)** Les cahiers de l'agence : bassin de la Seybouse, cahier 7, 31p.
- Aboui J, El Ghmari A, El Harti A, Bachaoui EM, Bannari A, El Bouadili A (2005)** Cartographie de l'érosion hydrique en zone montagneuse: cas du bassin versant des Ait Bou Goumez, Haut Atlas, Maroc. *Estud Geol* 61: 33–39.
- 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.
- Achite M, Meddi M (2005)** Contribution à l'étude des courbes IDF dans la région de Chlef. In: *Proceeding de la conférence nationale sur l'eau et environnement (12–13 novembre)*. Biskra, Algérie.
- Achite M, Touaibia B, Ouillon S (2006)** Erosion hydrique en Algérie du Nord : Ampleur, Conséquences et Perspectives. 14th International Soil Conservation Organization Conference. *Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments*, May 14-19, Marrakech, Morocco, 6 p.
- Achite M, Ouillon S (2007)** Suspended sediment transport in a semiarid watershed, Wadi Abd, Algeria (1973–1975). *J Hydrol* 343: 187-202.
- Adjeb S (1984)** Les inondations de décembre 1984. Institut national des ressources hydrauliques INRH, Annaba.
- Aidaoui S (1994)** Ressource en eau et aménagement hydro-agricole dans la région de Biskra "Ziban" (Algérie). Thèse de doctorat, Université Nancy II, 353 p.
- Aissani B, Laborde J P (1983)** Les pluies extrêmes et leur cartographie automatique dans la région algéroise. Document préliminaire. Conférence sur le climat méditerranéen et les ressources en eau, Eau verte – Eau bleue, Marseille, 8 p.
- Ambroise B (1998)** Genèse des débits dans les petits bassins versants ruraux en milieu tempéré : Processus et facteurs. *Revue des Sciences de l'Eau*, 11 : 471-785.
- ANB (2005)** Barrages-réservoirs et grands transferts hydrauliques de l'Est algérien. Carte Shématique.
- ANRH (1993)** Carte pluviométrique de l'Algérie à l'échelle du 1/500.00 + notice explicative, Alger.
- ANRH (2001)** Inventaire des ressources en sols d'Algérie 1963 - 2001, Atlas cartographique, Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Alger.
- ANRH (2005)** Carte du réseau hydro-climatologique et de la surveillance de la qualité des eaux, Ech : 1/500 000, Département des eaux superficielles. Rédaction et cartographie : institut national de la cartographie et de télédétection, Alger.
- Anser A (1998)** La pluviométrie en Algérie du Nord : évolution et variabilité (1931-1995). Thèse de doctorat d'état, Université de Constantine, Institut des Sciences de la terre, 260 p.
- Aouachria M (2008)** Analyses morphodynamique et hydropluviométrique de la Vallée de Oued El Arab et leurs Impacts Sur la pérennité Du Barrage de Babar. Mémoire de Magister en aménagement du territoire Option: Dynamique des milieux physiques et risques naturels, Université El Hadj Lakhdar – Batna, 106 p.

- Arnoldus H MJ (1977)** Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO Soils Bull.*, 34: 39-51.
- Arnoldus H MJ (1980)** An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In: De Boedt and Gabriels: Assessment of erosion. *FAO Land and Water Development Division, Wiley & Sons, England*: 127-132.
- ARFA A M T (2008)** Les incendies de forêt en Algérie : Stratégies de prévention et plans de gestion. Mémoire de Magistère en Ecologie et Environnement, option Ecologie végétale, université Mentouri Constantine, 115 p.
- Auzet AV (1987)** L'érosion des sols cultivés en France sous l'action du ruissellement. *Annales de Géographie*, 537 : 529-556.
- Baali F (2007)** Contribution à l'étude hydrogéologique, hydrochimique et Vulnérabilité d'un système aquifère karstique en zone semi aride, Cas du plateau de Chéria N, E, Algérien, Thèse de doctorat en Sciences : Hydrogéologie Département de Géologie, Université Badji Mokhtar-Annaba, 152 p.
- Baazi H (2002)** Etude de faisabilité d'un ouvrage de substitution dans la vallée de l'Oued El Abiod, Mémoire de Magister : Génie Civil, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Hadj Lakhdar- Batna, 79 p.
- Bacchi B, Kottegoda N (1995)** Identification and calibration of spatial correlation patterns of rainfall, *Journal of Hydrology*, 165 : 311-348.
- Balzarini R, Davoine P A, Ney M, (2011)** Evolution et développement des méthodes d'Analyse spatiale multicritère pour des modèles d'aptitude : l'exemple des applications en Géosciences. *Proceeding of the Conférence Francophone ESRI, 5-6 octobre 2011, Versailles, France*, 25 p.
- Barthès B, Roose E (2001)** La stabilité de l'agrégation, un indicateur de la sensibilité des sols au ruissellement et à l'érosion: validation à plusieurs échelles. *Les Cahiers d'études et de recherche francophones l'Agricultures* 10/3:185–193.
- Battala R, Sala M (1992)** Temporal variability of suspended sediment in a Mediterranean river. *International conference Canberra, Australia, IAHS Publication 224* : 229-305.
- Belhedi A (2010)** Statistique et Analyse des données. Centre de Publication Universitaire, Tunis, 377 p.
- Belleudy P, Valette A, Graff B (2010)** Passive hydrophone monitoring of bedload in River beds: first trials of Signal Spectral Analyses *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5091*.
- Belloum A (1993)** Hydrologie agricole en Algérie – une double problématique. *Hydrological Sciences Journal- Journal des Sciences Hydrologiques*, 38/6 :479-495.
- Beloulou L, Khafallah F, Guechi S, Djorfi S, Saihia A (2008)** Le réseau hydrométrique dans la région de Annaba: Entre automatisme et négligence. Colloque international « Terre et Eau », 17-19 novembre, 2008, Université Badji Mokhtar, Annaba.
- Benabbas C (2006)** Evolution Moi-Plio-Quaternaire des bassins continentaux de l'Algérie nord oriental : Apport de la photogéologie et analyse morphostructurale, Doctorat d'Etat, Université de Constantine, Algérie, 256 p.
- Benaicha, 2011** Etude des processus des transports solide et leur impact sur l'alluvionnement des barrages. Mémoire de Magister en Hydraulique. Université Hadj Lakhdar Batna, 146p.
- Benblidia M, Salem A, Demmak A (2001)** Extraction des sédiments dans les retenues. *La Houille Blanche*, 6/7 : 76-78.
- Benchaiba L (2006)** Condition d'écoulement et impact sur la mobilisation des ressources en eau bassin versant de Bouhamdane. Mémoire de magistère en Hydraulique, Université El Hadj Lakhdar Batna, 213 p.
- Benchaiba L, Gaagai A (2012)** Contribution à la modélisation de la relation des débits liquides et solides au niveau du barrage hammam Debagh à l'est algérien. *ScienceLib Editions*, 4 : 1-10.

- Benkhaled A, Remini B (2003)** Analyse de la relation de puissance : débit solide-débit liquide à l'échelle du bassin versant de l'Oued Wahrane (Algérie). *Revue des Sciences de l'eau*, 16/3 : 333-356.
- Berkane A, Yahiaou A (2007)** L'érosion dans les Aurès. *Sécheresse*, 18/3: 213-216.
- Bernier J (1959)** Comparaison des lois de Gumbel et de Fréchet sur l'estimation des débits maxima de crue. Réunion partielle de la Société Hydrotechnique de France (Section Hydrotechnique de France (Commission pour l'étude des débits de crue), Paris le 12 septembre 1957. *La Houille Blanche*, 1 : 47-56.
- Berolo W, Laborde J P (2003)** Statistiques des précipitations journalières extrêmes sur les Alpes-Maritimes : Notice explicative de la carte au 1/200 000 et de ses annexes. Centre national de la recherche scientifique, Université de Nice Sophia Antipolis, Conseils Générales des Alpes-Maritimes, 8p.
- BNEDER, Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural (1980)** Inventaire des terres et forêts de l'Algérie du Nord, Rapport final, BNEDER, Alger, 263 p.
- BNEDER (1983)** Le plan de l'environnement forêts couvrant la région des Aurès. Le Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural. Une carte au 1/200.000.
- Body K (1985)** Analyse fréquentielle des pluies de l'Algérie « Synthèse Régionale : détermination des paramètres principaux par station et leur répartition spatiale. Institut National des Ressources Hydrauliques (INRH), Constantine 2^{ème} impression, 46p.
- Bogardi J L (1974)** Sediment transport in Hydrology. International courses in Hydrology. Budapest, Academiai Kiado Press, 812 p.
- Borges A L O (1993)** Modélisation de l'érosion sur deux bassins versants expérimentaux des Alpes du sud. Thèse de doctorat : Mécanique, Université Joseph Fourier Grenoble I, Thesis, 205 p.
- Bouabid A (2013)** Étude hydrogéologique du bassin de Droh à partir de la bordure maastrichtienne de Tighanimine (bassin versant de Oued labiod aval -région des Aurès). Mémoire de Magister en géologie, Université Hadj Lakhdar- BATNA, 138 p.
- Bouedja F (2010)** Tectonique actuelle et récente et risque sismique de la région de Constantine, Mémoire de Magister Sismologie, université Ferhat Abbas-Setif, Algérie, 136 p.
- Bouanani A (2004)** Hydrologie, Transport Solide et Modélisation : Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie). Thèse de d'état en géologie appliquée : Option hydrogéologie, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 250 p.
- Bouchelkia H, Remini B (2003)** Quantification of sediment transport in the Algerian Chellif watershed. *Engineering*, 33: 45-56.
- Bouchetata A, Bouchetata T, (2006)** Propositions d'aménagement du sous-bassin versant de l'Oued Fergoug (Algérie) fragilisé par des épisodes de sécheresse et soumis à l'érosion hydrique. *Secheresse*. 17/3: 415–424.
- Bouguerra M L (2003)** Les batailles de l'eau : pour un bien commun de l'humanité. Éditions Écosociété, Collection Enjeux planète, 239 p.
- Bouhlali M (2006)** Les risques associant du barrage. Mémoire magistère en Génie civil option : Mécanique des Sols et Géotechnique. Université Abou Baker belkaide, 174 p.
- Bou Kheir R, Girard M-Cl, Khawlie M, Abadallah C (2001)** Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens: une revue bibliographique. *Étud Gest Sols* 8(4):231–245
- Bou Khier R (2002)** Etude des risques d'érosion hydrique des sols par Télédétection et SIG. Application a une région représentative du Liban. Thèse de doctorat : Dynamique des milieux et organisations spatiales, Département Agronomie-Environnement, Institut national agronomique Paris-Grignon. 261p.

- Bourouba M, (1994a)** Les variations de la turbidité et leurs relations avec les précipitations et les débits des oueds semi arides de l'Algérie orientale. Bulletin de l'ORSTOM, 17 : 345-360.
- Bourouba M. (1994b)** Bilan comparatif de l'érosion actuelle dans deux bassins-versants de l'Algérie orientale: le Seybouse et le Djendjen. Géographie physique de l'Algérie orientale, Méditerranée, 80: 31-39.
- Bourouba M (1997)** Les variations de la turbidité et leurs relations avec le débit et les précipitations dans les bassins-versants des Oueds Reboa et Boudouaou (Algérie orientale), revue MEDIT, 3, Bologne (Italie) : 52- 58.
- Bourouba M (1998)** Contribution a l'étude de l'érosion et des transports solides de l'Oued Medjerda supérieur, (Algérie orientale). Bulletin de l'ORSTOM, 18: 76-97.
- Bouraba M (2002)** Comparaison de la charge solide en suspension dans les oueds Algériens : Essai de synthèse. IRD Montpellier (France), Bulletin Réseau Erosion 21 : 358 – 374.
- Bourrier R (1991)** Les réseaux d'assainissement, 3ème édition, Tec et Doc, 220 p.
- Boussema M R, Chairat Ben Abdallah S (1995)** Modélisation hydrologique et de l'érosion à l'aide d'un SIG. Systèmes d'information géographique utilisant les données de télédétection. Actes du colloque scientifique international, Hammamet, Tunisie, 1–2 novembre: 64–70
- Boussis A (2009)** Développement durable: une approche intégrée pour la gestion des ressources en eau dans la wilaya de Guelma. Mémoire de Magister, option Hydrogéologie, université Badji Mokhtar-Annaba, 126 p.
- Boutoutaou Dj (1995)** Evaporation des surfaces des plans d'eau des retenues et barrages en Algérie. Thèse de Doctorat Ph.D en Sciences Techniques. Institut d'Hydraulique, Moscou, 200 p.
- Brochet P, Gerbier N (1975)** L'évapotranspiration, aspect agrométéorologique. Évaluation pratique de l'ETP. Monographie, 65, Météorologie Nationale, Paris, 1100 p.
- Brunet-Moret Y (1971)** Etude de l'homogénéité des séries chronologiques de précipitations annuelles par la méthode des doubles masse. Cah. ORSTOM., série Hydrologie, 8/4 : 3-31.
- Brutsaert W (1982)** Evaporation into the atmosphere: Theory, history, and applications. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 299 p
- Burrough P A, McDonnell R A (1998)** Principles of geographical information systems. Oxford: Oxford University Press, 333 p.
- Camenen B, Jaballah M, Geay T, Belleudy P, Laronne J B, Courtel M, Peteuil C, Laskowski J P (2012)** Mesures de transport solide par charriage dans les rivières de Piémont. Séminaire "Morphodynamique et transport solide en rivière", Tours, France, 21 p.
- Campbell F B, Bauder H A (1940)** A rating-curve method for determining silt-discharge of streams, EOS Transactions American Geophysical Union, 21 : 603-607.
- Capot-Rey R (1946)** Études récentes sur le climat de l'Afrique du nord et du Sahara. Annales de Géographie, 55/297 : 39-48.
- Cappus C (1960)** Bassin expérimental d'Alrance. Etude des lois de l'écoulement. Application au calcul et à la prévision des débits. La Houille Blanche, A : 493-520.
- CEMAGREF (1989)** Hydrologie appliquée aux petits bassins, Antony, Division Hydrologie, Hydraulique fluviale et souterraine, 528 p.
- Cerdan O, Le Bissonnais Y, Souchère V, King C, Antoni V, Surdyk N, Dubus I, Arrouays D, Desprats JF (2006)** Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sol. Rapport no3, synthèse et recommandations générales, BRGM/RP-55104-FR, 85 p.

- Chabour N, (2006) Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie. Thèse de Doctorat d'Etat en géologie, Université Mentouri Constantine, 176 p.
- Chaffai H, Djabri L, Lamrous S (2005) Réserves hydriques de la Wilaya d'Annaba. Inventaire, évaluation et besoins futurs en ressources en eau. Larhyss Journal, 04 : 31-36.
- Chakhar S (2006) Cartographie décisionnelle multicritère : formalisation et implémentation informatique. Thèse de doctorat en informatique, université Paris Dauphine, D. F. R. Sciences des organisations, 288p.
- Chaumont M et Paquin C (1971) Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, échelle 1/500.000 (4 feuilles et notice), Société de l'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, Alger, 24 p.
- Chebbani R, Belaidi S (1997) Étude de la dynamique du ravinement sur deux couples de ravines expérimentales près de Tlemcen. Bulletin Réseau Erosion, 17 : 152-160.
- Chebbani R, Djilli K, Roose E (1999) Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser. Bulletin ORSTOM, réseau érosion, 19 : 85-95.
- Chevalier J J, Pouliot J, Thomson K, Boussema M R (1995) Systèmes d'aide à la planification pour la conservation des eaux et des sols (Tunisie). Colloque scientifique international sur les systèmes d'information géographique utilisant les données de télédétection, 1- 2 novembre, Hammamet, Tunisie : 4-12.
- Chilès J P, Delfiner P (1999) Geostatistics: modeling spatial uncertainty, Wiley series in probability and statistics, Wiley, 695 p.
- Claude J, Chartier R, (1977) Mesure de l'envasement dans les retenues de six barrages en Tunisie : campagne de 1975. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., 14 /1 : 3-35.
- Clus-Auby C (2003) La gestion de l'érosion des côtes: l'exemple aquitain. Presses Univ de Bordeaux, 256 p.
- Collinet J, Lafforgue A (1979) Mesures de ruissellement et de l'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute-Volta. ORSTOM Abidjan, 129 p.
- Colmar A, Walter C, Le Bissonnais Y, Daroussin J (2010) Démarche de validation régionale par avis d'experts du modèle MESALES d'estimation de l'aléa érosif. Etude et Gestion des Sols 17/1: 19–32.
- Colombani J (1967) Contribution à la méthodologie des mesures systématiques des débits solides en suspension. Cahiers Orstom, série hydrologie, 4 : 27-36.
- Comitas (1988) Glossaires des termes officiels de télédétection aérospatiale. Commission ministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale, Paris. Bulletin de la Société française de photogrammétrie et de télédétection, 112, 61 p.
- Corbonnois J (2000) Les facteurs de l'organisation spatiale des écoulements en étiage. Exemple du bassin versant du Mouzon (Lorraine). Revue Géographique de l'Est, 40, 1-2 :1-14.
- Cormary Y, Masson J (1964) Etude de conservation des eaux et du sol au Centre de Recherche du Génie Rural de Tunisie. Application à un projet type de la formule de perte de sols de Wischmeier, Cahiers ORSTOM, Série Pédologie, 2 /3 : 3-26.
- Côte M 979 Mutations rurales en Algérie. Le cas des Haute Plaines de l'Est algérien. OPU-CNRS., Alger, 163 p.
- Côte M (1996) Paysages et patrimoines. Guide de l'Algérie. Ed. Média plus Algérie, 319 p
- Cravos Rios M (2010) Cartographie des zones sensibles à l'érosion sur le bassin versant de la Vie, du Ligneron et du Jaunay. Mémoire d'ingénieur : l'Institut Polytechnique LaSalle Beauvais, 49 p.
- Crawford CG (1991) Estimation of suspended-sediment rating curves and mean suspended-sediment loads. J Hydrol 129: 331–348.

Crepani E, Medeiros JS, Hernandez Filho P, Florenzano TG, Duarte V, Barbosa CCF (2001) Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 124 p

Cyr L, Bonn F, Pesant A (1995) Vegetation indices derived from remote sensing for an estimation of soil protection against water erosion. *Ecol Model* 79: 277-285.

Dacharry M (1975) Sur les fléchissements des débits estivaux de deux rivières du Massif Central français, la Senouire et l'llanche, affluent et sous-affluent de l'Ilier. *RGE*, 1-2 : 89-99.

Dagnellie P (1992) Théorie et méthodes statistiques : applications agronomiques. Gembloux, Belgique, 463 p.

Davtian G (1998) Analyse des données et cartographie automatique : application aux principales variables climatiques du versant méditerranée du Maghreb, Thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, 328 p.

Dawdy R D (1967) A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams, Teknisk Forlag, Copenhagen : 1-62.

Deguen S, (1998) Méthodes multivariées (1) : la régression linéaire multiple : Note méthodologie. *Sang Thrombose Vaisseaux*, 10 : 9, 586-90.

De Jong SM, Riezebos HT (1997) SEMMED: a distributed approach to soil erosion modeling. *Remote Sensing '96*. In: Spiteri A (ed) *RemoteSensing '96: integrated applications for risk assessment and disaster prevention for the Mediterranean*. Balkema, Rotterdam : 199-204

Demmak A (1982) Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de docteur-ingénieur, Université de Paris VI, 323 p.

De Martonne E (1926) L'indice d'aridité. *Bull. Assoc. Geogr. Fr.* 9: 3-5.

De Martonne E (1935) Problèmes des régions arides sud-américaines. *Annales de Géographie*, 247: 1-27.

De Martonne E (1948) *Traité de géographie physique*. 3 tomes. Editions Armand Colin, Paris, 917 p.

De Ploey J (1989) Soil erosion map of western Europe. *Catena Verlag* 37/ (3-4) : 291-308.

Desbordes M, Deutsch J C, SERYAT E (1986) Approche modélisatrice de l'accumulation du transport des MES à la surface des bassins versants urbains. Société hydrotechnique de France, 19^{ème} journées de l'hydraulique, 9-11 septembre, Paris, 8 p.

Dion J (1972) Etude fréquentielle des précipitations mensuelles du Nord-Est de la France. *Revue Géographique de l'Est*, 12, (2-3). *Climatologie : mémoires, notes et comptes-rendus* : 175-223.

Djellouli Y (1990) Flore et climat en Algérie septentrionale : Déterminismes climatiques de la répartition des plantes, Thèse de doctorat, université des sciences et de la technologie Houari Boumédiène, Alger, 210 p.

Djili K, Keslani R (1995) Banque de données et contrôle de l'information pédologique. Un exemple d'application aux sols d'Algérie du Nord. *Annales de l'Institut national agronomique*, 16 : 97-112.

Drouhin G (1960) Possibilité d'utilisation de ressources hydrauliques limitées en Algérie. UNESCO/NS/AZ/527, Colloqur général sur les problèmes de la zone aride, Paris, 11-18 mai 1960, 17 p.

Dubief J (1953) Ruissellement superficiel au Sahara. 25^{ème} Colloque CNRS, Alger, 1951 : 303-315.

Dubreuil, P (1974) *Initiation à l'analyse hydrologique*. Ed. Masson et Cie. 216 p., 35 figures.

Dubucq M, (1986) Télédétection spatiale et Erosion des sols Etude bibliographique. *Cah. ORSTOM*, sér. Pédol, vol. 24, 2 : 247-258.

Duchaufour P (1970) *Précis de pédologie*. Paris: Masson, 481 p.

- Dumas P (2004)** Caractérisation des littoraux insulaires: approche géographique par télédétection et SIG pour une gestion intégrée, Application en Nouvelle Calédonie. Thèse de doctorat, Orléans, 402 p
- Dunne T, Black R, (1970)** An experimental investigation of runoff production in permeable soils. *Water Resources Research*, 6 : 478-490.
- Dupont J P, Guézennec L, Lafite R, Le Hir P, Lesueur p (2001)** Le cheminement des matériaux en suspension. IFREMER, 40 p.
- Durand JH, (1954)** Carte des sols de l'Algérie au 1/500 000, 1ère éd. Inspection Générale de l'Agriculture, Alger.
- Elahcene O, Remini B (2009)** Corrélation entre la concentration en matières en suspension et le débit liquide dans le bassin versant d'Oued Bellah (Algérie). *EJSR*, 2009, 26/1 : 139-146.
- Elbouqdaoui K, Ezzine H, Badrahoui M, Rouchdi M, Zahraoui M, Ozer A (2005)** Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation du risque potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Srou (Moyen Atlas, Maroc). *Geo-Eco-Trop* 29:25-36.
- Eldin M (1984)** Relations hydriques entre Sol-Plante-Atmosphère : Caractérisation de la sécheresse in Cirad-Gerdat, ISRA (1984) La sécheresse en zone intertropicale pour une lutte intégrée. Colloque Résistance à la sécheresse en milieu intertropical, quelles recherches pour le moyen terme, 591 p : 13-20.
- Emberger L (1942)** Un projet de classification des climats du point de vue phyto-géographique. *Bull. Sci. Hist. Nat. Toulouse*, 77: 97-124.
- Errih M, Bendahou H (1997)** Desilting of water resources in algeria by dredging, study case: The Fergoug reservoir. *In Energy and Water: Sustainable Development, Proceedings of Theme D, 27th Congress of the IAHR, Am. Soc. of Civ. Eng., New York*, 6 p : 132-137.
- Errih, M, Bekhti B, Yebdri D (1992)** Problem of siltation of small reservoirs in Algeria. 7th International Conference in Transport and Sedimentation of Solid Particles. 9th-11th June, Wroclaw, Poland, *Inzynieria Srodowiska I*, 224:173-179.
- Estorge, J L, Laborde J-P, Zumstein, J F (1980)** Mise en évidence des relations entre le gradex des pluies journalières et les gradex des pluies de durées inférieures à 24h en Lorraine. *La Météorologie* : 6 (20-21): 139-149.
- FAO (1990)** Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-arides. *Bulletin pédologique* 57: 182 p.
- FAO (1993)** Field Measurement of Soil Erosion and Runoff. N.W. Hudson. *FAO Soils Bulletin*, 68, Rome.
- FAO (2000)** AQUASAT: Système d'information de la FAO sur l'eau et l'agriculture
<http://www.fao.org/ag/agl/aglw/dbase/indexfra.stm>.
- Fandi O, Bouanani A, Baba-Hamed K, Bekkouche A (2009)** Modélisation du Transport des Particules du Sol en suspension dans l'Oued Sikkak (Nord Ouest Algérien). Colloque International Sols Non Saturés et Environnement « UNSATlemcen09 » Tlemcen, 27 et 28 Octobre, 10 p.
- Ferguson R I (1986)** River loads underes-timated by rating curves. *Water Ressources Research*, 22/1 : 74-76.
- Ferguson, R.I. (1987)** Accuracy and precision of methods for estimating river loads. *Earth Surf. Process. Landforms* 12 : 95-104.
- Fiandino M (2007)** Cartographies des zones potentiellement érodables dans trois bassins versants méditerranéens (Étang de Berre, Bouches-Du-Rhône, France). *Physio-Géo* 34:15-26.
- Fischer S (2011)** Evaluation d'un profileur acoustique haute résolution pour l'étude du transport solide en rivière. ECOTECHS'2011 : Capteurs et Systèmes de Mesures pour les applications environnementales, CEMAGREF, Montoldre , France, 4p.
- Fleming G (1969)** Desigh curves for suspended load estimation. *Proc. Inst. Civ. Eng.*, 43: 1-9.

- Foster G R, Yoder D C, Weesies G A, Mccool D K, Mcgregor K C, Bingner R L (2002) User's guide-Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE 2). USDA-Agricultural Research Service, Washington, 163 p.
- Fournier F (1969) L'érosion hydrique et le climat. Bulletin Technique d'information, Météorologie et Agriculture, Orstom, 237 : 111-115.
- Frecaut R (1971) La Moselle et son bassin : Contribution à l'hydrologie et la dynamique fluviales en milieu tempéré océanique. Thèse de doctorat d'Etat Université de Lille III, 840 p.
- Frécaut R (1974) La variabilité de l'écoulement fluvial en milieu tropical humide. Annales de Géographie, 83/457 :241-259.
- Furlan A, Bonotto DM, Gumiere SJ (2011) Development of environmental and natural vulnerability maps for Brazilian coastal at Saõ Sebastiaõ in Saõ Paulo State. Environ Earth Sci, 64: 659-669.
- Galevski M (1955) La corrélation entre les pluies torrentielles et l'intensité de l'érosion. Annales de l'Ec. Nat. des Eaux et Forêts, p 382-427
- Gaussen H (1948) Carte des précipitations de l'Algérie (moyenne 1913-47), échelle 1/500. 000. I.G.N., Paris.
- Gaussen H, Bagnouls F (1952) L'Indice xéothermique. B. de l'Association des Géographes français, 222 et 223
- Jensen M E, Burman R D, Allen R G (1990) Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, 70, ASCE, NY, USA, 332 p.
- George P, Verger F (2000) Dictionnaire de la géographie, Editions PUF, 500 p.
- Ghachi A (1986) Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie. Thèse. Doctorat, OPU. 508 p.
- Ghorbel A, Claude J (1982) Mesure de l'envasement dans les retenues de sept barrages en Tunisie: Estimation des transports solides. Institut de recherche pour le développement en coopération (ORSTOM), 14 : 219-232.
- Giordano A, Marchisio C (1991) Analysis and Correlation of Soil Erosion Maps in the, Mediterranean Basin. Quad Sci Suolo 3: 97-132.
- Girard M C, Walter C, Remy J C, Berthelin J, Morel J L (2005) Sols et Environnement. Dunod, Paris, 816 p.
- Glossaire International d'Hydrologie (1992) <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/HINDFR.HTM>
- Guettouche M S (1988) Perspective de l'application de l'équation dite "Universelle" de perte de sol Wischmeier en Algérie. Analyse théorique. Université Des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. USTHB, Alger, 49 P.
- Granier J P (1983) La mesure in situ du débit solide des cours d'eau. Mémoire d'ingénieur diplômé ESGT, ORSTOM, 115 p.
- Gratton Y (2002) Le krigeage : la méthode optimale d'interpolation spatiale. Les articles de l'Institut d'Analyse Géographique. Canada, 4 p.
- Grisollet H, Guilmet B, Arlery R (1962) Climatologie. Méthodes et pratiques. Gauthier-Villars, Paris, 401 p.
- Guidoum A (2004) Etude hydrologique du bassin versant de l'Oued Chemorah à la station de Chemorah (W. de Batna, Est Algerien). Mémoire de Magister en Hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, 259 p.
- Gumbel E J (1958) Statistics of Extremes, Columbia Press, New York, 375 p.
- Habibi B, Meddi M, Boucefiane A (2013) Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales, Cas du Bassin Chott-Chergui, Nature et Technologie, 08 : 41 – 48.

- Hach CC, Vanous RD, and Heer JM (1982) Understanding turbidity measurement. Technical Information Series, Booklet, 11, Hach Chemical Company, 11 p.
- Halitim A (1988) Sols des régions arides. OPU, Alger, 384 p.
- Hamoudi A, Morsli B, ROOSE E (2006) Caractérisation et analyse des aménagements de DRS en zones Est de l'Algérie. 4ème Conférence de l'Organisation Internationale de Conservation du Sol, 14-19 mai, Marrakech.
- Harremoes P, Capodaglio A G, Hellström B G Henze M, Jensen K N, Lynggaard-Jensen A, Otterpohl R, Soeberg H (1993) Wastewater treatment plants under transient loading-performance, modelling and control, Wat. Sci. Tech., 27/12 : 71-115.
- Hasbaia M, Hedjazi A, Benayada L (2012) Variabilité de l'érosion hydrique dans le bassin du Hodna: cas du sous-bassin versant de l'Oued elham. Rev. Mar. Sci. Agron. Vét., 1 : 28-32.
- Hasnain S I (1996) Factors controlling suspended sediment transport in Himalaya glacier meltwaters. J. Hydrol. 181 : 49-62.
- Hayane S M (1983) Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Sikkak (région de Tlemcen). Thèse Doctorat 3e cycle, Université Oran. 236 p, 91 figures.
- Hénensa P (1987) Le risque d'érosion hydrique des sols. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, 150-151 : 117-129.
- Hénin S, Gobillot T (1950) L'érosion en France. Bulletin Technique d'information, 50 : 431- 433.
- Heusch, B (1970) Estimation et contrôle de l'érosion hydrique. Soc. Sc. Nat. Phys. Maroc, special : 41-54.
- Heusch B, Millies-lacrois A (1971) Une méthode pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin : application au Maghreb. Mines et géologie, 33 : 21-39.
- Hewlett J D and Hibbert A R (1967) Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas, Forest Hydrology, edited by Sopper W. E. and Lull H. W., New York: Pergamon Press: 275-290.
- Holder R L, (1985) Multiple regression in Hydrology. Institute of Hydrology, Walling-ford, England, 147 p.
- Horton R E (1933) The role of infiltration in the hydrologic cycle. Trans. Am. Geophys. Union, 14: 446-460.
- Hudson N W (1987) Soil and water conservation in semi-arid areas. FAO soils bulletin, 57, 172 p.
- Humbert J, Perrin J L (1993) Précipitations et relief. Le cas du versant oriental des Hautes-Vosges. L'Eau, la Terre et les Hommes, Presses Universitaires de Nancy, 147-154.
- Humbert J, Perron L, Perrin J L (1997) Precipitation mapping in mountainous area. Comparison of two statistical models. Proceedings of International Conference « Developments in Hydrology of Mountainous areas ». FRIEND-AMHY- IHP V, High Tatras, Slovakia, Technical Documents in Hydrology, UNESCO, 8 :70-75.
- Imam B (1995) MEMP (Malawi Environmental Monitoring Programme) Phase I Final Report, Annex 4: Report and Field Guidelines: Rainfall, Runoff, Sediment Transport, and Water Quality Monitoring Activities in Chilindamaji Catchment, (P.I. C. Hutchinson), (Oline) : ag.arizona.edu/oals/malawi/Reports/REP_FULL.html
- IME (Institut Méditerranéen de l'Eau) (2010) Rapport régional sur la gestion des sédiments dans les barrages en méditerranée : Rapport national, Algérie (Agence Nationale des Barrages et Transferts ANBT, Ministère des Ressources en eau), Atelier Régional : Conception et gestion durable des barrages en méditerranée, les 13- 14 décembre 2010 - Marseille (France).
- Inegliz, (2002) Contribution à l'étude de la répartition spatiale de la précipitation dans la région centre de l'Algérie du Nord. Thèse de maîtrise en aménagement hydraulique. École Nationale Supérieure de l'Hydraulique. Blida, Algérie. 120 p.

INRH (1986) INRH, Ressources en eau et en sols de l'Algérie, Alger, 23 p.

Jedidi K, Bargaoui Z, Benzarti Z, (2009) Identification de zones pluviométriques homogènes d'un bassin versant à partir de l'information topographique. *Revue des sciences de l'eau*, 22/ 3 : 383-395.

Jensen M E, Burman, R D, Allen R G (1990) Evapotranspiration and irrigation requirements. *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice* 70, ASCE, Am. Soc. Civil Engrs., New York, NY, 360 p.

Joliveau T (2004) Géomatique et gestion environnementale du territoire. Recherches sur un usage géographique des SIG, Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches en Sciences Humaines, Université de Rouen, 504 p.

Jouilil I, Bitar K, Salama H, Amraoui, Mokssit A, Tahiri M (2013) Sécheresse météorologique au bassin hydraulique Oum Er Rbia durant les dernières décennies. *Larhyss Journal*, 12 : 109-127.

Karambiri H, Hamma Y, Touré M (2004) CES : Conservation des eaux et des sols : Cours sur l'érosion des sols. École d'ingénieurs de l'équipement rural (EIER), Ouagadougou, Burkina Faso, édit : Agence Universitaire de la Francophonie (AUF), Campus numérique francophone (CNF) de Ouagadougou : <http://www.bf.refer.org/toure/>

Kayser B (1957) Problèmes de l'érosion du sol. *Annales de Géographie*, 66, 355 : 255-257.

Kêdowidé C M G (2010) Modélisation géomatique par évaluation multicritères pour la prospection des sites d'agriculture urbaine à Ouagadougou. *VertigO*, 10/2 : 1-20.

Kettab A (2001) Les ressources en Algérie: stratégies, enjeux et vision Desalination, 136: 25-33.

Kettab A, Ait Mouhoub D, Ouarda T, Bobée B (2004) Contribution à l'étude du phénomène de la sécheresse sur les régions littorales de l'Algérie. *Ecole Nationale Polytechnique (E.N.P.) Alger*, 12p.

Khalidi A (2005) Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida". Thèse de doctorat, option: Hydrogéologie, Université d'Oran, 229 p.

Khanchoul K, Altschul R, Assassi F (2009) Estimating suspended sediment yield, sedimentation controls and impacts in the Mellah Catchment of Northern Algeria. *Arab J Geosci*, 2 : 257-271

Khanchoul K, Boukhrissa Z E, Majour H (2012) Statistical modelling of suspended sediment transport in the Cherf drainage basin, Algeria. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 1 : 13-17.

Kieffer Weisse A, Bois Ph (2002) A comparison of methods for mapping statistical characteristics of heavy rainfall in the French Alps: the use of daily information. *Hydrological Sciences-Journal*, 47(5): 739-752.

Klemes V (1975) Applications de l'hydrologie à la gestion des ressources en eau (au niveau de la planification et de la conception). *OMM*, 356, Genève, 121 p.

Koudri R (2003) L'érosion ravinante sur terre agricole Medéa/ Algérie. *Bulletin des Sciences Géographiques*, 11 : 53-56.

Kouri L, Vogt H, Gomer D (1997) Analyse des processus d'érosion linéaire en terrain marneux, bassin de l'Oued Mina, Tell oranais, Algérie. *Bull Réseau Erosion* 17:64-73

Kouti A, Taabni M, Tihay J P (1991) Aspects de l'inventaire, l'aménagement et la gestion des ouvrages de petite hydraulique dans le Tell Occidental algérien. *Bulletin - Réseau Erosion*, 1 : 157-163.

Koutsoyiannis D (2003) On the appropriateness of the Gumbel distribution for modelling extreme rainfall, *Proceedings of the ESF LESC Exploratory Workshop, Hydrological Risk, University of Bologna*: 303-319.

Koutsoyiannis D (2004) Exploration of long records of extremes rainfall and design rainfall inferences, *Proceedings of the International conference of British Hydrological Society, London, Imperial College*: 148-157.

- Laajili Ghezal L, Aloui T, BejiMA, Zekri S (1998)** Optimization of soil and water conservation techniques in watershed of Tunisian semi-arid region. *Advance in GeoEcology*, 31, 341–354, CATENAVERLAG Laffitte R (1939) Etude géologique de l'Aurès. Thèse Sci. Paris. Bull. Serv. Géol. Alger, 484 p.
- Laaribi A (1994)** Systèmes d'information géographique et analyse multicritère: Intégration pour l'aide à la décision à référence spatiale. Thèse PHD, Université Laval, Québec, 418 p.
- Laborde, J P (1995)** Les différentes étapes d'une cartographie automatique : exemple de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord. *Association Internationale de Climatologie*, 8 : 37-46.
- Laborde J P, Mouhous N, Ould Amara A (1993)** Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle 1/500.000. Note explicative. Agence Nationale des Ressources en Eau. Projet PNUD/ALG/88/021. Alger.
- Laborde J P, Mouhous M (1998)** Logiciel Hydrolab, version 98.2, équipe Gestion et valorisation de l'environnement de l'UMR 5651 « Espace » du CNRS, 43 p.
- Laborde J P (2000)** Hydrologie de surface, Cours Université de Nice-Sophia Antipolis, 191 p.
- Laborde J P, Assaba M, Belhouli L, (2003)** Les chroniques mensuelles de pluies de bassin : un préalable à l'étude des écoulements en Algérie. Colloque SHF, Gestion du risque en eau en pays semi-arides, Tunis, 21-22 mai 2003, 10 p.
- Laborde J P (2004)** Exemple de cartographie d'une variable continue connue de façon discrète mais également liée à des champs de variables connues de façon continue : cas de la cartographie des pluies médianes de décembre sur l'Algérie du nord. *Journées de climatologie, CNFG, Nancy, France* :13-30.
- Laborde J P (2009)** Elements d'hydrologie de surface. Ecole Polytechnique de l'université de Nice - Sophia Antipolis, Département Hydroinformatique et Ingénierie de l'Eau, 202 p.
- Lacombe G (2007)** Evolution et usages de la ressource en eau dans un bassin versant aménagé semi-aride. Thèse de Doctorat, Discipline : Eaux continentales et Société, Université Montpellier II, 305 p.
- Ladlani I (2007)** Contribution à la gestion optimale de la ressource en eau mobilisée : choix de formule empirique pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle "ETP" dans les régions de Tébessa et Annaba. Mémoire de Magister : Mobilisation des ressources hydriques, Université El Hadj Lakhdar, Batna, 174 p
- Laffitte R (1939)** Etude géologique de l'Aurès, Thèse Sci, Paris, Bull. Serv. Géol. Alg. 484 p.
- Laffitte R Deleau P (1952)** Carte géologique de l'Algérie au 1/500.000 (2^{ème} édition, feuille de Constantine).
- Laflen J-M, Leonard J-L, Foster G-R (1991)** A new generation of erosion predicting technology. *J Soil Water Conserv* 46/1: 8–34.
- Lahlou A (1996)** Environmental and socio-economic impacts of erosion and sedimentation in north Africa. *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives (Proceedings of the Exeter Symposium)*. IAHS, 236 : 491-500.
- Lang Delus C (2011)** Les étiages : définitions hydrologique, statistique et seuils réglementaires. *Cybergeo : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, article 571, (en ligne).
- Laouina A (1998)** Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb. *Bulletin Réseau Erosion*, 18 : 33-53.
- Larfi B, Remini B. (2006)** Le transport solide dans le bassin versant de l'Oued Isser, impact sur l'envasement du barrage de Béni Amrane (Algérie). *Larhyss journal*, 5: 63-73.
- Lebel T, Laborde J P (1988)** A Geostatistical approach for areal rainfall statistics assessment. *Stochastic Hydrology and Hydraulics* 2/4 : 245-261.

- Le Bissonnais Y, Dubreuil N, Daroussin J, Gorce M (2004)** Modélisation et cartographie de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle régionale : exemple du département de l'Aisne. *Etud Gest Sols* 11/3: 307–321.
- Lefort P (1992)** Cours de transport solide dans le lit des cours deau. Grenoble : Institut national polytechnique de Grenoble (INP), 225 p.
- Lefrançois J (2007)** Dynamiques et origines des matières en suspension sur de petits bassins versants agricoles sur schiste. Thèse de Doctorat, Sciences de la Terre, Université de Rennes I, 261 p.
- Leguédois S (2010)** Mécanismes de l'érosion diffuse des sols Modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés. Thèse de doctorat, Sciences Agronomiques : Science du Sol, Université d'Orléans, France, 137p.
- Lekfir A, Benkaci Ali T, Dechemi N (2006)** Quantification du transport solide par la technique floue, application au barrage de beni amrane (Algerie). *Rev. Sci. Eau* 19/3: 247-257.
- Leopold L B, Maddock T G (1953)** The Hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. Washinhton D. C. U. S. Geological. Survey. Professionale Paper, 252 p.
- Lienou G (2007)** Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les transports de matières en suspension de quelques bassins versants représentatifs au Cameroun. Thèse de doctorat : sciences de l'eau, Université de Yaoundé I, 169 p.
- Linsley K R, Franzini J B (1992)** Sediment transport by streams. *Water resources engineering*, Mc Graw Hill (ed) : 196-199.
- Louamri A (2009)** Cartographie des pluies annuelles dans le bassin-versant de l'Oued Seybouse (nord-est algérien). *Sciences & Technologie D*, 30 : 43-52.
- Louamri A (2010)** Contribution à l'évaluation des Transports Solides de L'Oued Bouhamdane à la Station de Medjez Ammar II et a Barrage de Hammam Debag. *International Network Environmental Management Conflicts, Santa Catarina- Brasil*, 1/1 : 23-29.
- Luken H, Krone F (1989)** Calcareous soils of Cyprus: five years erosion measurements (1981-1986). *Pedology, hydrochemistry and non metallic mineral resources*, 5, 17 p.
- Malczewski, J. (1999)** GIS and multicriteria decision analysis, John Wiley et Sons, New York, 392 p.
- Mano V (2008)** Processus conditionnant les apports de sédiments fins dans les retenues : optimisation des méthodes de mesure et modélisation statistique. Thèse de doctorat : Océan Atmosphère et Hydrologie, Université Joseph Fourier Grenoble I, 341 p.
- Marechal A (2000)** Relations entre caractéristiques de la pollution particulaire et paramètres optiques dans les eaux résiduaires urbaines. Thèse de doctorat : Génie des procédés. Institut national polytechnique de Lorraine, France, 284p.
- Mathieu J (2000)** Contribution à la réalisation d'un appareil de mesure en continu et in-situ du taux de matière en suspension dans les systèmes d'eaux et d'assainissement. Thèse de doctorat : Instrument et Micro-Electronique. Université Henrie Poincaré, Nancy I, France, 123 p.
- Mazour M, Roose E (2002)** Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur parcelles d'érosion dans des bassins versants du Nord –Ouest de l'Algérie. *Bulletin Réseau Erosion* 21, IRD, Montpellier (France) : 320- 330.
- Mckee T B, Doesken N J, Kleist J (1993)** The relationship of drought frequency and duration times scales. *American Meteorological Society. 8th conference on Applied Climatology*, 17-22 Janv, Anaheim, CA : 179- 184.
- Mckee T B, Doesken N J, Kleist J (1995)** Drought monitoring with multiple times scales. *American Meteorological Society.9th conference on Applied Climatology*, 15-22 Janvier, Dallas, TX : 233-236

- Meade RH, Parker RS (1984) Sediment in Rivers of the United States, in National Water Survey 1984 Hydrologic events, selected waterquality trends, and ground-water resources: U.S Geological Survey. Water Supply Pap, 2275:49–60.
- Mebarki A (2000) Etiages, rejets et protection des ressources en eau des bassins méditerranéens de l'Algérie orientale. Géocarrefour, 75/4, l'interface nature-sociétés dans les hydrosystèmes fluviaux : 399-416.
- Mebarki A (2005) Hydrologie des bassins de l'est algérien: ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Mentouri, Constantine, Algérie, 360 p.
- Meddi M, Humbert J (2000) Variabilité pluviométrique dans l'Ouest algérien durant les cinq dernières décennies. Association Internationale de Climatologie, 13 : 266- 274.
- Meddi M, Hubert P, Bendjoudi H (2002) Évolution du régime pluviométrique du nord-ouest de l'Algérie. Colloque International Sur l'eau dans le Bassin Méditerranéen : WATMED « ressources et développement durable », 10-13 octobre, Monastir, Tunisie.
- Meddi M (2013) Sediment transport and rainfall erosivity evolution in twelve basins in central and western algeria. Journal of Urban and Environmental Engineering, 7/2 : 253-263.
- Meddi M, Sadeuk Ben Abbes A (2014) Analyse statistique et prévision des débits de crues dans le bassin versant de l'Oued Mekerra (Ouest de l'Algérie). Nature et Technologie : C- Sciences de l'Environnement, 10 : 21 -31.
- Medinger J M (1960) Transport solide des oueds algériens. Annuaire hydrologique de l'Algérie 1958/59, Direction de l'Hydraulique et de l'équipement rural de l'Algérie, Alger : 5-31.
- Megnounif A, Terfous A, Bouanani A (2003) Production et transport des matières solides en suspension dans le bassin versant de la Haute-Tafna (nord-ouest algérien). Revue des Sciences de l'eau, 16/3 : 369-380.
- Meharzi, M K E (1994) Le rôle de l'orographie dans la répartition spatiale des précipitations dans le massif de l'Aurès. Méditerranée, 3-4: 73-78.
- Mekaoussi H (2003) Etude hydrochimique du bassin versant du barrage de Fontaine des Gazelles, Mémoire de Magister: construction hydraulique, Département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar- Batna, 95 p.
- Menani M-R (1991) Etude hydrogéologique de la plaine d'El-Madher (Algérie orientale) : Géologie, climatologie, hydrogéologie et modélisation des écoulements souterrains de l'aquifère Moi-Plio-Quaternaire : Thèse de doctorat, univ de Nancy I G.E.S, 409 p.
- Meylan P (1986) Régionalisation de données entachées d'erreurs de mesure par krigeage : Application à la pluviométrie. hydrol. continent.,1 : 25-34.
- Mietton M (1988) Dynamique de l'interface lithosphère-atmosphère au Burkina Faso: l'érosion en zone de savane. Thèse d'Etat Géographie, Université de Grenoble I, Editée, Caen, 551 p.
- Mills G F, (1972) The application of multispectral remote sensing to the study of soil properties affecting erosion. 1st Canadian Symposium on Remote Sensing : 731-743.
- Mkhandi S H, Kachroo R K, Gunasekara T A G (2000) Flood frequency analysis of southern Africa: II. Identification of regional distributions. Hydrol, Sci, J, 45/3: 449–464.
- Mohymont B, Demarée G R, Faka D N (2004), Establishment of IDF-curves for precipitation in the tropical area of central Africa – Comparison of techniques and results. Natural Hazards and System Sciences, European Geosciences Union, 4: 375-387.
- Morel G, Koffi Koffi P (1995) Implementation of an environmental monitoring network and a pollution combating unit in Côte d'Ivoire. Water Science and Technology, 32, 9- 10 : 141-150.
- Morschel J, Fox D (2004) Une méthode de cartographie du risque érosif : application aux collines du Terrefort lauragais. Mappemonde 76: 11 p.

- [Mostephaoui T, Merdas S, Sakaa B, Hanafi M, Benazzouz M T \(2013\)](#) Cartographie des risques d'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'information géographique dans le bassin versant d'El Hamel (Boussaâda) Algérie. CRSTRA, spécial : 131-147.
- [Mouhouche B \(2012\)](#) Les problèmes du manque d'eau et l'agriculture algérienne .1er colloque international : Ressources en eau dans les zones arides et semi-arides : enjeux et perspectives, Cas du continent africain (REZAS'12), le 14-16 novembre 2012, Beni Mellal, Maroc. J. hydrocarb. Mines environ. res. (Online), 3/2.
- [Mouhous N \(1997\)](#) Etude des précipitations extrêmes journalières en Algérie du Nord. Mémoire de D.E.A. « Milieux physiques méditerranéens », Université de Nice-Sophia Antipolis, 100 p.
- [Mounirou L A \(2012\)](#) Etude du ruissellement et de l'érosion à différentes échelles spatiales sur le bassin versant de Tougou en zone sahélienne du Burkina Faso : Quantification et transposition des données. Thèse de doctorat : Hydrologie appliquée, Université Montpellier II, 245 p.
- [Nedjraoui D, Bédrani S \(2008\)](#) La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, 8 /1, DOI : 10.4000/vertigo.5375.
- [Mutua, F.M., \(1994\)](#) The use of the Akaike Information Criterion in the identification of an optimum flood frequency model. Hydrol. Sci. J. 39/3 :235-244.
- [Mozas M, Ghosn A \(2013\)](#) État des lieux du secteur de l'eau en Algérie : Études et analyses. L'Institut de prospective économique du monde méditerranéen, IPEMED, Paris, France, 25 p.
- [Musset R \(1935\)](#) Les calculs relatifs au régime pluviométrique : fraction pluviométrique, écart pluviométrique relatif, coefficient pluviométrique relatif. Etudes Rhodaniennes, 11 : 75-85.
- [Nahal I \(1981\)](#) The Mediterranean climate from a biological viewpoint. In Di Castri F, Goodall D W and Specht R L (eds) Mediterranean type-shrublands, Ecosystems of the World, Elsevier Scientifics Publishing Company, Amsterdam: 63-86.
- [Nemouchi A \(2001\)](#) Géographie hydrologique du bassin versant endoréique du Chott el Hodna. Thèse de doctorat d'état, option: géographie physique, université Mentouri, Constantine 295 p.
- [Nouvelot J F \(1993\)](#) Guide des pratiques hydrologiques sur les petits bassins versant ruraux en Afrique tropicale et équatoriale. CIEH ; ORSTOM, 545 p.
- [Oliveros C \(1996\)](#) Transport solides : modèle et conditions d'application en région PACA. Rapport BRGM/R39474, 38 p.
- [Onibon H, Ouarda T, Barbet M, St-Hilaire A, Bobee B, Bruneau P \(2004\)](#) Analyse fréquentielle régionale des précipitations journalières maximales annuelles au quebec, canada. Hydrological Sciences Journal, 49/4 : 1-735.
- [Ozden S, Ozden D M \(1998\)](#) Turkey erosion estimation model-Turtem. International symposium on arid region soils: share our experiences to conserve the land, 21-24 September, Izmir, Turkey.
- [Pardé M \(1961\)](#) Sur la puissance des crues en divers parties du monde. Geographica, Saragosse, 293 p.
- [Pardé M \(1962\)](#) Sur les crues exorbitantes qu'éprouvent certaines rivières des Etats-Unis, notamment au Texas. International Association of Scientific Hydrology, Bulletin 7 : 17-33
- [Pardé M \(1968\)](#) Fleuves et rivières. Armand colin, 5ème éd, 243 p.
- [Paul-Hus C \(2011\)](#) Méthodes d'étude de l'érosion et gestion des sites dégradés en nouvelle-calédonie. Centre universitaire de formation en environnement université de sherbrooke, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 115 p.
- [Payet E, Dumas P, Pennober G \(2012\)](#) Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana. Vertigo, 11/ 3, 10.4000/vertigo.12591.

- Pérennes J J (1992)** Un aspect de la question hydraulique au Maghreb : la politique des barrages. *Egypte Monde Arabe*, 10 : 37-50.
- Pinto Martins D (2008)** Aménagements hydroélectriques et impacts sur la dynamique des flux d'eau et de sédiments. Le cas du haut Paraná, Brésil. Thèse de doctorat de Géographie, Aménagement et Urbanisme, Université Lumière Lyon 2, 243p.
- Pouliot J, Thomson K-P-B, Chevallier J-J, Boussema R-M (1994)** Integrated application of geomatic techniques in the context of agricultural anti-erosion management. *Can J Remote Sens* 20/4: 419–425.
- Quinton J (1997)** Reducing predictive uncertainty in model simulations: a comparison of two methods using the European Soil Erosion Model (EUROSEM). *Catena* 30:101–117.
- Perrin C (2000)** Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. Thèse de Doctorat, INPG (Grenoble) / Cemagref (Antony), 530 p.
- PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement (2009)**. Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie, 19 p.
- Poirel A, Vindimian E, Garric J (1994)** Gestion et vidange de réservoirs. Mesures prises pour préserver l'environnement et retour d'expérience d'une soixantaine de vidanges. Commission Internationale des Grands Barrages, 18^{ème} Congrès des Grands Barrages, Durban : 321–349.
- Rakotomalala R (2008)** Analyse de la corrélation. Etudes des dépendances – variables quantitatives, , version 1. Université Lumière Lyon 2, Lyon, 83 p.
- Ramoul S, Cemali N, makkoui Z, Righi, Sengouga (2014)** La cartographie multifactorielle de la dégradation de sol dans le bassin versant de l'Oued El Klab, Haute Plaine d'Est Algerien. *International Journal of Environment and Water*, 3/1 : 108-115.
- Réménéieras G. (1965)** L'hydrologie de l'ingénieur, 2^{ème} édition, Eyrolles, Paris 456 p.
- Réménéieras G. (1980)**, L'hydrologie de l'ingénieur, Paris, Eyrolles, 456 p.
- Remini B, Avenard J M (1998)** Evolution de l'envasement dans le barrage de Foug El Gharza (Algérie). *Bulletin réseau érosion : l'eau et la fertilité des sols*, 18 : 105-112.
- Remini B (2000)** L'envasement des barrages : quelques exemples algériens. *Bulletin du réseau Erosion (France)*, 20/2 :165- 171.
- Remini W, Remini B (2003)** La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du nord. *Larhyss Journal*, 02, ,45-54.
- Remini B, Hallouche W (2005)** La sédimentation dans les barrages algériens. *Houil Blanc* 1: 60–64.
- Remini, B (2005)** La problématique de l'eau en Algérie. Alger: OPU ,162 p.
- Remini, B (2005)** l'évaporation des lacs de barrages dans les régions arides et semi arides : exemples algériens. *Larhyss Journal*, 04 : 81-89.
- Remini B (2010)** La problématique de l'eau en Algérie du nord. *Larhyss Journal*, 08 : 27-46.
- Renard K G, Foster G R, Weesies G A, Porter J P (1991)** RUSLE-revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46/ 1,30-33.
- Restrepo J D, Kjerfve B (2000)** Magdalena river: interannual variability (1975-1995) and revised water discharge and sedi-ment load estimates. *J. Hydrol.* 235 : 137–149.
- Roche M (1986)** Dictionnaire français d'hydrologie de surface avec équivalents en anglais, espagnol, allemand, Masson Editeur, 288 p.
- Rochefort M (1969)** Les fleuves, coll. Que sais-je ?, 1077, 125 p.

Roose E (1975) Application de l'équation de prévision de l'érosion de Wischmeier et Smith en Afrique de l'Ouest. Colloque sur la conservation et l'aménagement du sol dans les tropiques humides, I.I.T.A., Ibadan. ORSTOM, Abidjan, 30 Juin au 4 juillet, Cote d'Ivoire, 22 p

Roose E (1984) Causes et facteurs de l'érosion hydrique sous climat tropical conséquences sur les méthodes antiérosives. L'érosion en zone tropicale, *Machinisme Agricole Tropical* 87, Fonds documentaire : ORSTOM : 4-18.

Roose E, Arabi M, Brahamia K, Chebbani R, Mazour M, Morsli B (1993) Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. *Cah. ORSTOM Pédol* 28/2:289–308

Roose E (1994) Introduction a la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologique de la FAO*, 420 p.

Roose E (1996) Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes. *Bull Réseau Erosion* 16: 87-97.

Roose E, Sabir M (2002) Stratégies traditionnelles de conservation de l'eau et des sols dans le bassin méditerranéen : classification en vue d'un usage renouvelé. *Bulletin Réseau Érosion*, 21 : 33-44.

Roose E, Albergel J, De Noni G, Laouina A, Sabir M (2008) Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides. Agence universitaire de la francophonie (AUF), éditions des archives contemporaines (EAC) et IRD éditeurs, Paris: 278-279

Roose E., Sabir M, Arabi M, Morsli B, Mazour M (2012) Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb. *Géographie Physique et Environnement*, 6 : 43-59.

Ruban G, Joannis C, Gromaire M C, Bertrand-Krajewski J L, Chebbo G (2008) Mesurage de la turbidité sur échantillons : application aux eaux résiduaires urbaines. *Techniques - Sciences - Méthodes (TSM)*, 103/4 : 61-74.

Ryan J (1982) A perspective on soil erosion and conservation in Lebanon. *Publication de l'Université Américaine de Beyrouth*, 69 : 15-38.

Sabir Ahmed S (2013) Les versets de l'eau dans le Coran. Le Ministère égyptien des ressources hydriques et de l'irrigation, 19 p.

Sadiki A, Bouhlassa S, Auajjar J, Faleh A, Macaire J J (2004) Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'Oued Boussouab. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, 26 : 69-79.

Salhi Ch, Touaibia B, Zeroual A (2013) Les réseaux de neurones et la régression multiple en prédiction de l'érosion spécifique: cas du bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam (Algérie). *Hydrological Sciences Journal*, 58/7 : 1383–1399.

Sarvary I (1986) Optimisation du réseau hydrométrique. Application au bassin 10. Rapport interne, Institut National des Ressources Hydrauliques (I.N.R.H), Constantine, 42 p.

Schiffler M, Rijsberman F R, Albernethy L, Meinzein-Dick R, Shild T, Lang H, Iskandarani M, (2002) Le partage des ressources en eau. *Agriculture et développement rural*, 9/2, Frankfurt, Allemagne : 25-50

Sedrati N (2011) Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra-Sud Est Algerien-. Thèse de Doctorat en sciences, option Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar-Annaba, 252 p.

Seltzer P (1946) Le climat de l'Algérie, Alger, Institut de Météorologie et de Physique du Globe, Carbonnel, 219 p, 2 cartes hors-texte.

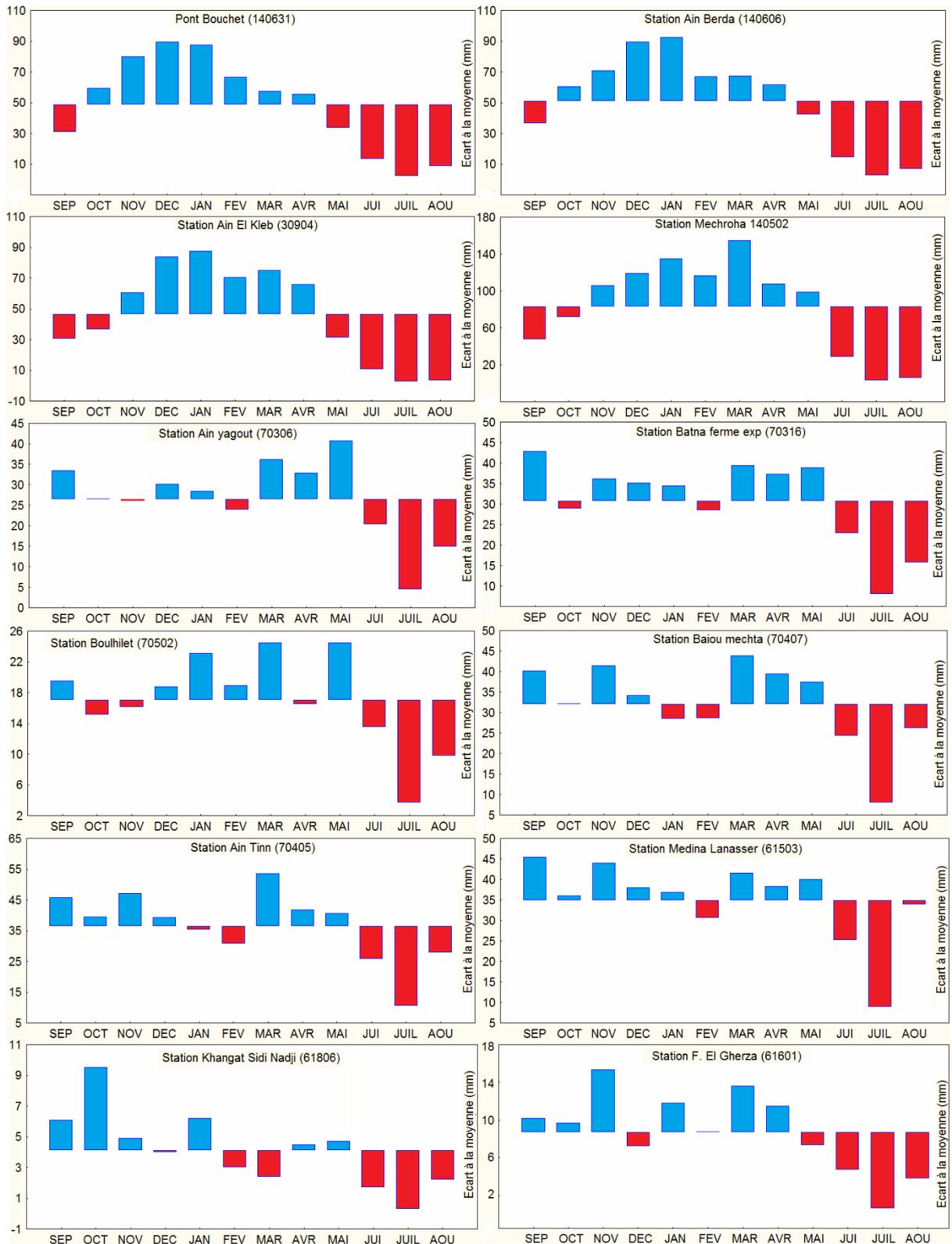
- Serra L (1954) Le contrôle hydrologique d'un bassin versant. A.I.H.S., A.G., Rome, t.3, 38, p349-357.
- SOGETHA-SOGREAH (1969) Etude générale des aires d'irrigation et d'assainissement agricole en Algérie, dossier de synthèse, 164p.
- Starkel L (1976) The role of extreme (catastrophic) meteorological events in contemporary evolution of slopes, Chapter7 of Geomorphology and Climate, éd. John Wiley, London : 203-246.
- Stengel P, Gelin S (1998) Sol: Interface fragile. Paris, INRA éditions, 213 p.
- Stewart P (1975) Un nouveau climagramme pour l'Algérie et son application au barrage vert. Bull. Soc. Hist. Afr. Nord, 65/1,2 : 239-252.
- Stone RP et Hillborn D (2000) Universal Soil Loss Equation, Ontario, Canada, Ontario Ministry of agriculture and Food (OMAFRA), (Onligne) <http://www.giser.be/wp-content/uploads/2012/05/USLE-infosCanada.pdf>
- Talbi O, Mendas A, Bensaid A, Trache M A (2002) Mise en place d'un système d'information géographique pour le suivi et la quantification de l'érosion hydrique : application au bassin versant de l'Isser : Notes méthodologique. Sécheresse, 13/3 : 175-179.
- 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.
- Theberge A E (1989) Sounding pole to sea beam. Technical Papers/ASPRS-ACSM 1989 Annual Convention, 5, Surveying and Cartography : 334-346.
- Thorntwaite C W (1948) An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, 55-94.
- Tixeront, J (1960) Débit solide des cours d'eau en Algérie et en tunisie. In IAHS Publ., 53 : 26-42.
- Touaibia B (2000) Erosion – Transport – Envasement de barrage : cas du bassin versant de l'Oued Mina-Wilaya de Relizene. Thèse de Doctorat d'état en sciences agronomiques, 175 p.
- Touaibia B, Dautrebande S, Gomer D, Aidaoui A, (1999) Approche quantitative de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales: bassin versant de l'Oued Mina. Hydrol Sci J, 44/6 : 973–986.
- Touaibia B, Inegliz S, Ould A A (2006) Couplage d'une analyse en composantes principales et d'une approche géostatistique pour l'élaboration de cartes pluviométriques du Centre de l'Algérie du Nord », Revue des Sciences de l'Eau, 19/3 : 213-219.
- Touaibia B (2010) Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale. Sécheresse 21/1 : 1-6.
- Touat S (1989) Contrôle de la représentativité de l'échantillon des transports solides en suspension. Revue Eaux et Sols de l'Algérie, 2 : 48-54.
- Touati B (2010) Les barrages et la politique hydraulique en Algérie: état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable. Thèse Doctorat d'Etat en Aménagement du Territoire, Université Mentouri –Constantine, 385 p.
- Touazi M, (2001) Evaluation des ressources en eau et acquisition de bases de données à références spatiale et temporelle en Algérie du Nord". Thèse doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, 300 p.
- Touazi M, Laborde JP, Bhiry N (2004) Modelling rainfall-discharge at a mean scale in northern Algeria. Journal of Hydrology 296:179–191.
- Toumi A, Remini B (2004) Barrage de foug el gherza face au problème de fuites d'eau. Larhyss Journal, 03 :25-38

- Toumi S (2013)** Application des techniques nucléaires et de la télédétection à l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Mina. Thèse doctorat es-sciences, Ecole Nationale Supérieure D'hydraulique, 175 p.
- Tricart (1968)** Méthode de cartographie au 1/1.000.000 du contexte hydrologique. Centre de Géographie Appliquée, Université de Strasbourg – Mélanges offerts à Maurice PARDE, Hydrologie, Edition Ophrys, Paris : 671-682.
- Tricart J (1977)** Ecodinâmica, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, Rio de Janeiro, Brasil, 91p
- UNESCO, OMM (1997)** Y a-t-il assez d'eau sur la Terre. Rapport 857, 22 p.
- Vila J M (1980)** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro- tunisiens, Thèse Sc, Univ, Paris VI, 3 vol, 663 p.
- Vanoni V A (1977)** Erosion rates from sediment sources. In Engineering sedimentation, Manuel ASCE, New York : 472-480.
- Vissin E W, Houndenon C, Perard J (2007)** Sécheresse pluviométrique et tarissement dans le bassin de la Mékrou (Bénin, Afrique de l'Ouest), 20^{ème} Colloque de l'AIC, Carthage – Tunis : 568 - 573.
- Walling D E, Webb B W (1981)** The reliability of suspended sediment load data. Erosion and sediment transport measurement (Proceedings of the Florence Symposium. IAHS, 133: 177-194.
- Walling De, Kane P (1982)** Temporal variation of suspended sediment properties, IAHS-AISH/Int. Assoc Hydrol Sci 137:409–417
- Wildi W (1983)** La chaîne tello rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène, Rev, Géol, Dyn, géog, Phys., (24), 3 : 201-297.
- Wischmeier WH, Smith DD (1960)** A universal soil loss estimating equation to guide, conservation farm-planning. In: Proc. 7th Intern Congress on Soil Science, Brussels, Belgium : 418-425.
- Wischmeier WH (1976)** Use and misuse of the universal soil loss equation. Journal of soil and water conservation 31 : 5-9.
- Wischmeier WH, Smith DD (1978)** Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agric. Handbook 537. Department of Agriculture, Washington, DC, 58 p.
- WMO (Organisation Météorologique Mondiale) (1994)** Guide des pratiques hydrologiques WMO-N 168. Édition française (1996). WMO, Bureau of Meteorology, Melbourne, Australie, 796 p.
- Wood P A (1977)** Controls of variation in suspended sediment concentration in river Rother, West Sussex, England. Sedimentology 24: 437- 445.
- Zaher H (2010)** CES : Conservation des eaux et des sols : Cours sur l'érosion hydrique. Ecole nationale forestière d'ingénieurs, Maroc, édit : Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) : <http://www.ma.auf.org/erosion/>
- Zella L, Smadhi D (2010)** L'eau: état des lieux des potentialités et des prélèvements. Larhyss Journal, 8 : 69-80.
- Zerrouki H (2007)** Diagnostic pour une éventuelle réhabilitation des eaux de la Seybouse - la basse plaine – Annaba. Mémoire de Magister hydrochimie, Université Badji Mokhtar-Annaba, 109 p.

Annexes

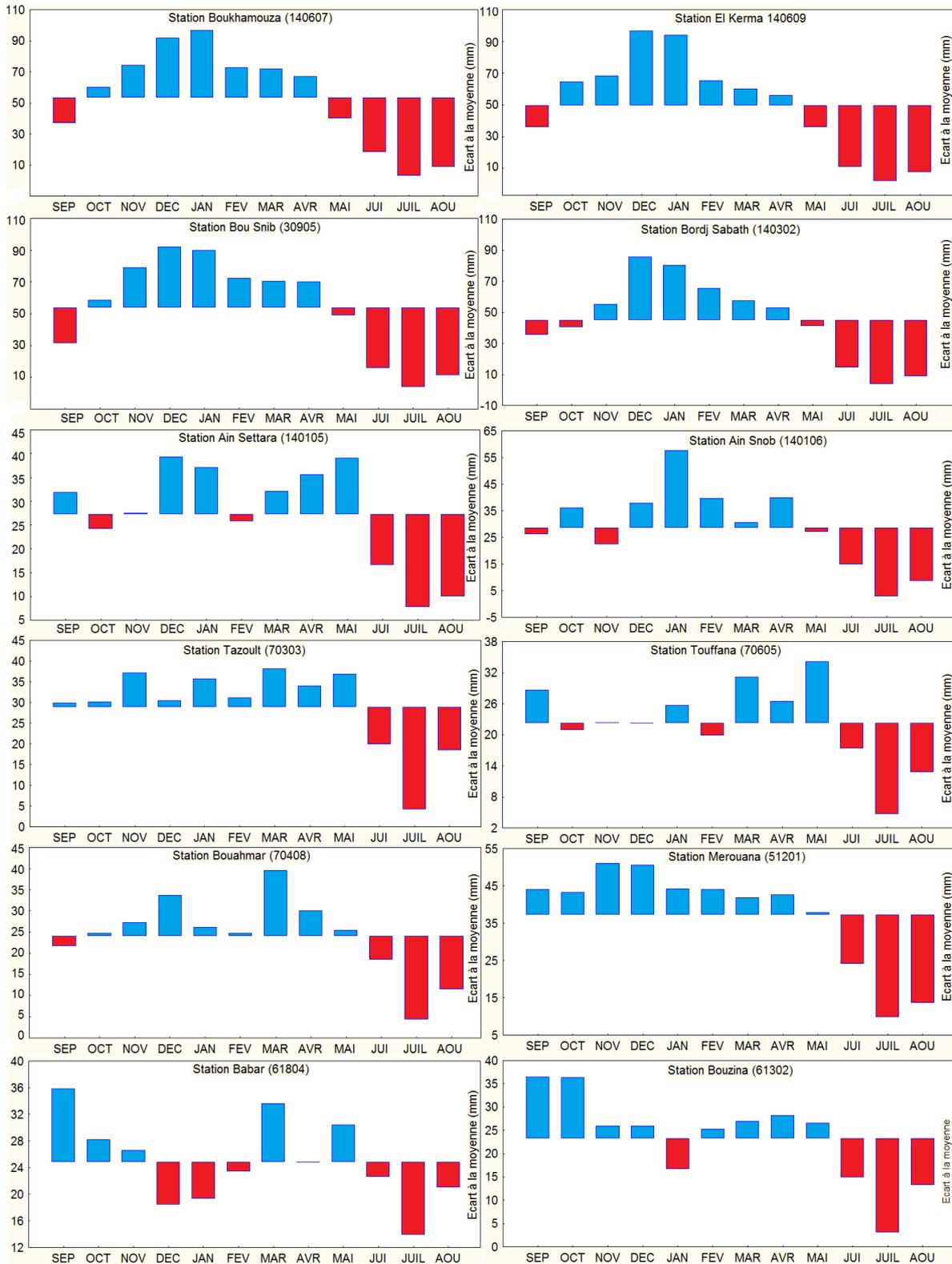
Annexe I

Amplitude des précipitations moyennes mensuelles (1970-2004)



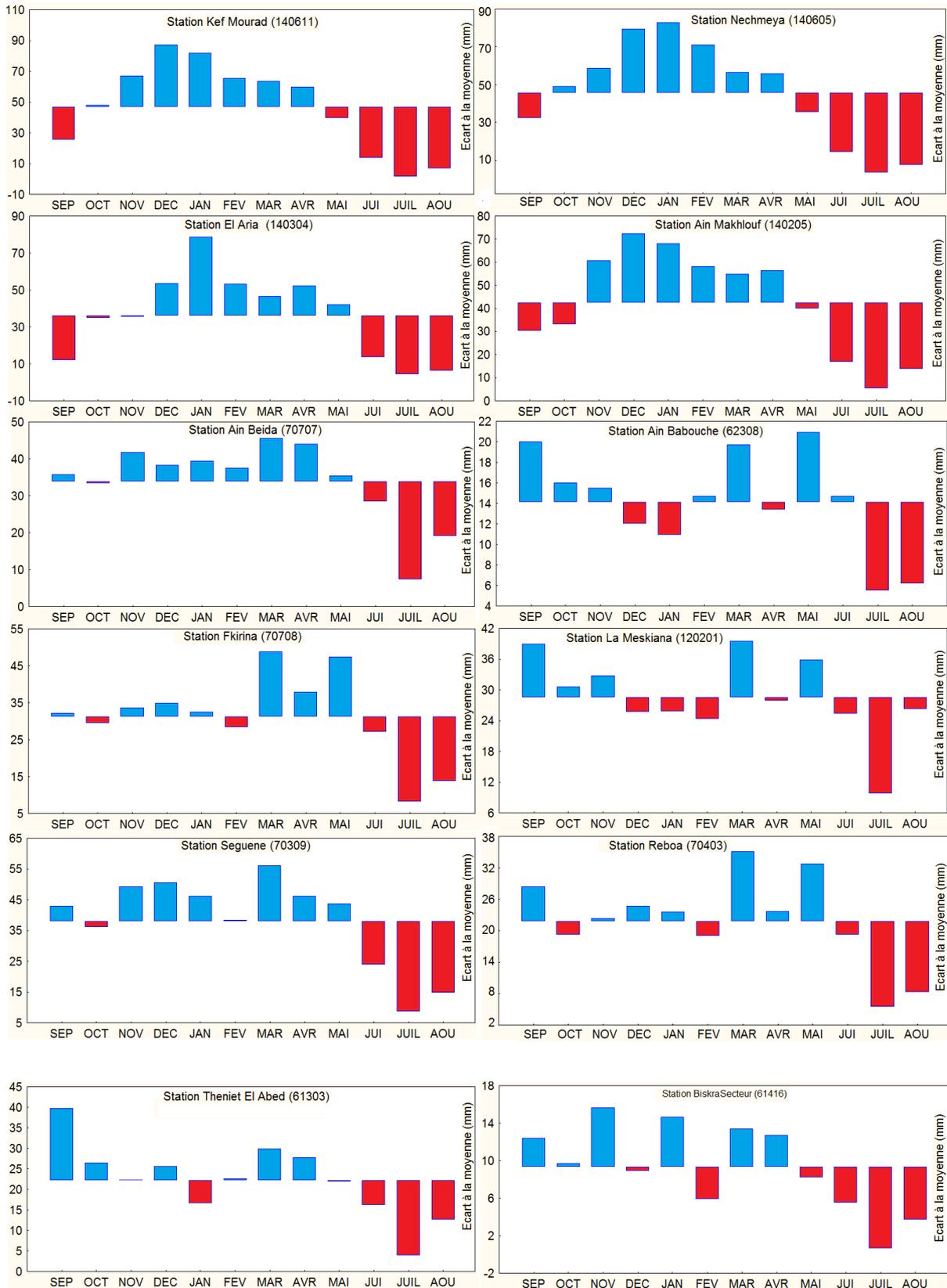
Annexe I

Amplitude des précipitations moyennes mensuelles (1970-2004)



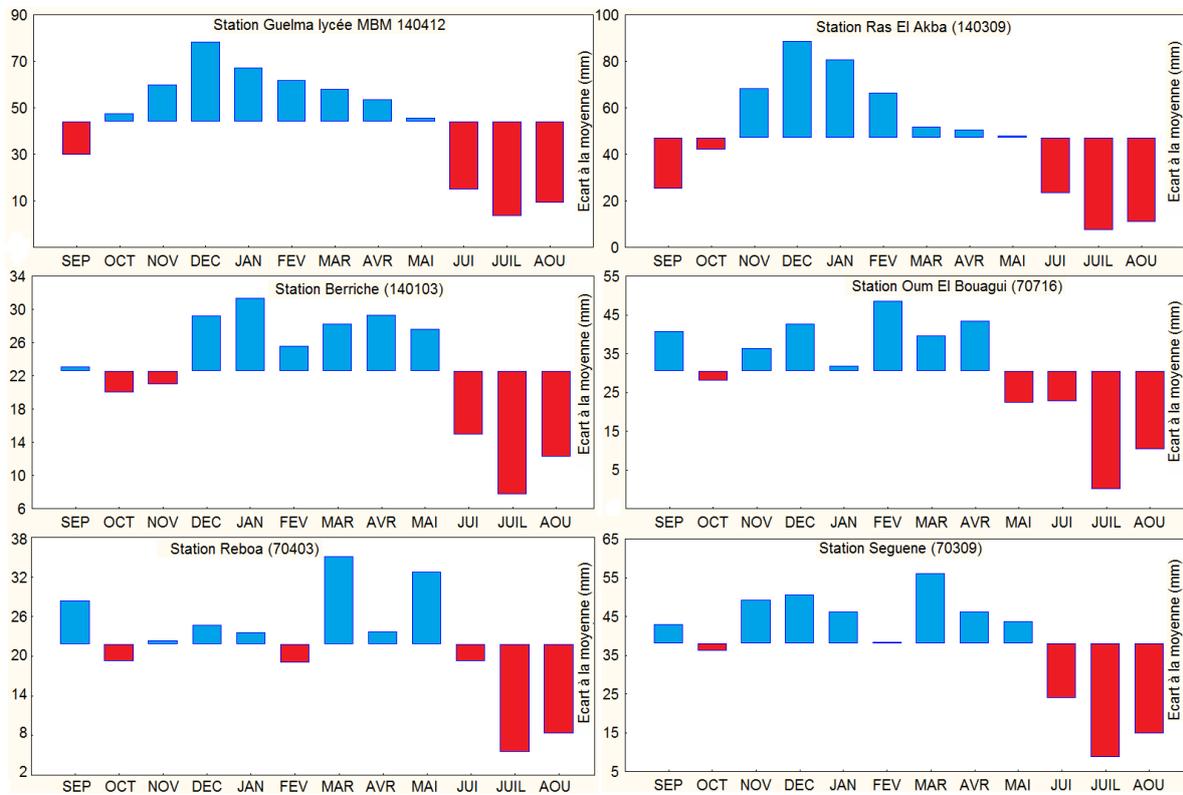
Annexe I

Amplitude des précipitations moyennes mensuelles (1970-2004)



Annexe I

Amplitude des précipitations moyennes mensuelles (1970-2004)



Annexe II

Bilan hydrique selon Thornthwaite et avec l'ETP de Thornthwaite

RFUmax100													
basseyhouse	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	33,00	56,38	69,59	87,49	88,56	67,89	63,81	59,93	38,52	14,67	2,47	8,21	590,52
ETP (mm)	109,92	76,97	40,50	26,08	21,97	22,98	35,41	48,93	80,86	118,12	151,38	150,53	883,65
ETR (mm)	33,00	56,38	40,50	26,08	21,97	22,98	35,41	48,93	80,86	72,33	2,47	8,21	449,12
P- ETP	-76,92	-20,59	29,09	61,42	66,59	44,91	28,40	11,00	-42,34	-103,45	-148,92	-142,31	-
R.F.U (mm)	0,00	0,00	29,09	90,50	100	100	100	100	57,66	0,00	0,00	0,00	-
DA (mm)	-76,92	-20,59	0	0	0	0	0	0	0	-45,79	-148,92	-142,31	-434,53
W (mm)	0	0	0	0	57,09	44,91	28,40	11,00	0	0	0	0	141,40
Guelma	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	31,89	47,76	59,52	77,71	74,67	63,49	59,84	56,21	44,13	15,84	3,67	9,74	544,49
ETP (mm)	94,97	62,32	29,84	17,22	13,47	15,41	27,01	39,28	74,57	113,01	141,68	135,84	764,63
ETR (mm)	31,89	47,76	29,84	17,22	13,47	15,41	27,01	39,28	74,57	85,40	3,67	9,74	395,27
P- ETP	-63,08	-14,56	29,68	60,50	61,20	48,08	32,83	16,93	-30,44	-97,17	-138,01	-126,10	-
R.F.U (mm)	0	0	29,68	90,18	100	100	100	100	69,56	0	0	0	-
DA (mm)	-63,08	-14,56	0	0	0	0	0	0	0	-27,61	-138,01	-126,10	-369,36
W (mm)	0	0	0	0	51,38	48,08	32,83	16,93	0	0	0	0	149,22
bouhamdane	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	26,70	39,51	54,71	75,59	79,43	62,19	55,04	54,82	42,40	16,10	4,69	8,83	520,01
ETP (mm)	98,53	63,97	30,31	17,68	13,85	16,24	28,41	41,44	77,57	118,76	149,73	142,98	799,47
ETR (mm)	26,70	39,51	30,31	17,68	13,85	16,24	28,41	41,44	77,57	80,93	4,69	8,83	386,16
P- ETP	-71,84	-24,46	24,40	57,92	65,57	45,95	26,63	13,38	-35,17	-102,66	-145,03	-134,15	-
R.F.U (mm)	0,00	0,00	24,40	82,32	100	100	100	100	64,83	0,00	0,00	0,00	-
DA (mm)	-71,84	-24,46	0	0	0	0	0	0	0	-37,83	-145,03	-134,15	-413,31
W (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	47,9	45,9	26,6	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	133,8
Melah	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	41,02	61,58	84,72	98,55	111,12	94,14	118,48	87,44	77,06	23,39	2,81	7,59	807,89
ETP (mm)	100,82	66,62	32,88	19,90	15,59	17,83	29,86	43,73	77,77	117,32	149,64	143,39	815,00
ETR (mm)	41,02	61,58	32,53	19,90	15,59	17,83	29,86	43,73	77,77	122,68	2,81	7,59	472,89
P- ETP	-59,80	-5,04	52,19	78,65	95,52	76,31	88,62	43,71	-0,71	-93,93	-146,83	-135,79	-
R.F.U (mm)	0,00	0,00	52,19	100	100	100	100	100	99,29	5,36	0,00	0,00	-
DA (mm)	-59,80	-5,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-141,48	-135,79	-342,11
W (mm)	0,00	0,00	0,00	30,83	95,52	76,31	88,62	43,71	0,00	0,00	0,00	0,00	335,00
bascharef	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	29,47	31,44	45,53	57,15	56,49	48,16	47,71	48,58	41,33	19,22	6,61	12,02	443,71
ETP (mm)	104,09	68,01	32,88	18,73	15,68	17,78	30,58	44,27	81,99	123,22	154,19	148,70	840,11
ETR (mm)	29,47	31,44	32,88	18,73	15,68	17,78	30,58	44,27	81,99	78,56	6,61	12,02	400,01
P- ETP	-74,61	-36,57	12,65	38,43	40,81	30,38	17,13	4,31	-40,66	-104,00	-147,58	-136,68	-
R.F.U (mm)	0,00	0,00	12,65	51,07	91,88	100	100	100	59,34	0,00	0,00	0,00	-
DA (mm)	-74,61	-36,57	0	0	0	0	0	0	0	-44,66	-147,58	-136,68	-440,11
W (mm)	0	0	0	0	0	22,26	17,13	4,31	0	0	0	0	43,71
Hautcharef	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	27,70	28,31	26,91	36,60	42,48	35,39	34,92	38,40	31,75	17,52	6,09	11,30	337,37
ETP (mm)	98,71	62,34	28,55	15,56	12,09	14,84	27,21	41,24	79,22	121,16	151,89	143,47	796,29
ETR (mm)	27,70	28,31	26,91	15,56	12,09	14,84	27,21	41,24	79,22	46,90	6,09	11,30	337,37
P- ETP	-71,01	-34,03	-1,65	21,04	30,39	20,55	7,71	-2,84	-47,47	-103,63	-145,81	-132,17	-
R.F.U (mm)	0	0	0	21,04	51,43	71,98	79,69	76,85	29,38	0	0	0	-
DA (mm)	-71,01	-34,03	-1,65	0	0	0	0	0	0	-74,25	-145,81	-132,17	-458,92
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Batna	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	35,05	28,29	35,13	34,74	35,50	29,32	39,16	34,78	35,77	19,95	5,82	14,71	348,22
ETP (mm)	97,74	56,37	22,03	9,72	6,89	10,96	24,05	39,24	82,72	132,92	166,15	151,99	800,78
ETR (mm)	35,05	28,29	22,03	9,72	6,89	10,96	24,05	39,24	82,72	68,54	5,82	14,71	348,02
P- ETP	-62,69	-28,08	13,10	25,02	28,61	18,36	15,11	-4,46	-46,95	-112,97	-160,33	-137,28	-
R.F.U (mm)	0,00	0,00	13,10	38,12	66,73	85,09	100	95,54	48,58	0	0	0	-
DA (mm)	-62,69	-28,08	0	0	0	0	0	0	0	-64,38	-160,33	-137,28	-452,76
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,20
Chemoura	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	33,92	28,63	31,11	30,80	30,47	25,12	39,98	33,69	35,82	20,63	7,20	17,20	334,56
ETP (mm)	96,56	55,75	21,63	9,03	6,50	10,34	23,36	38,26	82,35	131,16	162,74	149,29	786,97
ETR (mm)	33,92	28,63	21,63	9,03	6,50	10,34	23,36	38,26	82,35	56,15	7,20	17,20	334,56
P- ETP	-62,64	-27,12	9,48	21,77	23,97	14,79	16,62	-4,56	-46,53	-110,53	-155,54	-132,09	-
R.F.U (mm)	0	0	9,48	31,25	55,21	70,00	86,62	82,05	35,52	0	0	0	-
DA (mm)	-62,64	-27,12	0	0	0	0	0	0	0	-75,01	-155,54	-132,09	-452,40
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Annexe II (suite)

Bilan hydrique selon Thornthwaite et avec l'ETP de Thornthwaite

RFUmax100													
El Gueiss	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	41,48	36,35	44,13	43,20	35,38	38,54	49,02	43,98	45,92	24,90	12,86	21,92	437,68
ETP (mm)	95,97	55,06	21,06	9,00	5,95	9,87	22,74	38,24	81,89	130,00	161,89	147,74	779,41
ETR (mm)	41,48	36,35	21,06	9,00	5,95	9,87	22,74	38,24	81,89	88,94	12,86	21,92	390,30
P-ETP	-54,49	-18,71	23,06	34,20	29,43	28,67	26,28	5,73	-35,97	-105,09	-149,03	-125,82	-
R.F.U (mm)	0,00	0,00	23,06	57,26	86,70	100	100	100	64,03	0,00	0,00	0,00	-
DA (mm)	-54,49	-18,71	0	0	0	0	0	0	0	-41,06	-149,03	-125,82	-389,11
W (mm)	0	0	0	0	0	15,37	26,28	5,73	0	0	0	0	47,38
El Hai	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	25,47	24,49	28,39	24,43	24,22	20,38	23,41	23,04	24,55	14,77	4,79	8,81	246,76
ETP (mm)	101,01	56,73	21,44	9,56	6,55	11,14	24,69	41,24	86,07	140,63	177,48	160,47	837,02
ETR (mm)	25,47	24,49	21,44	9,56	6,55	11,14	24,69	41,24	53,82	14,77	4,79	8,81	246,76
P-ETP	-75,54	-32,24	6,95	14,88	17,68	9,25	-1,28	-18,20	-61,52	-125,87	-172,69	-151,66	-
R.F.U (mm)	0,00	0,00	6,95	21,83	39,50	48,75	47,47	29,27	0	0	0	0	-
DA (mm)	-75,54	-32,24	0	0	0	0	0	0	-32,25	-125,87	-172,69	-151,66	-590,26
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El Abiod	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	27,81	22,28	24,22	19,67	18,70	18,98	24,73	22,30	21,24	13,95	4,53	16,22	234,63
ETP (mm)	104,38	57,99	21,55	9,01	6,61	11,09	25,24	42,74	90,75	146,55	183,62	166,02	865,56
ETR (mm)	27,81	22,28	21,55	9,01	6,61	11,09	25,24	42,74	33,60	13,95	4,53	16,22	234,63
P-ETP	-76,58	-35,71	2,67	10,67	12,09	7,88	-0,51	-20,44	-69,51	-132,60	-179,09	-149,80	-
R.F.U (mm)	0,00	0,00	2,67	13,34	25,42	33,31	32,80	12,36	0	0	0	0	-
DA (mm)	-76,58	-35,71	0	0	0	0	0	0	-57,15	-132,60	-179,09	-149,80	-630,93
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El Arab	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	32,51	28,24	30,65	23,85	23,38	25,08	33,46	27,80	31,43	19,23	10,47	16,31	302,41
ETP (mm)	105,65	59,84	23,08	10,40	7,65	11,94	26,08	43,96	91,08	144,53	181,25	164,78	870,24
ETR (mm)	32,51	28,24	23,08	10,40	7,65	11,94	26,08	43,96	72,54	19,23	10,47	16,31	302,41
P-ETP	-73,14	-31,60	7,57	13,45	15,73	13,15	7,38	-16,15	-59,66	-125,30	-170,79	-148,46	-
R.F.U (mm)	0,00	0,00	7,57	21,01	36,74	49,89	57,27	41,11	0,00	0,00	0,00	0,00	-
DA (mm)	-73,14	-31,60	0	0	0	0	0	0	-18,54	-125,30	-170,79	-148,46	-567,83
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chéria	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	30,32	24,79	22,26	18,80	22,69	19,75	30,86	20,55	30,44	24,19	7,74	16,95	269,35
ETP (mm)	98,78	57,00	22,29	10,07	6,84	10,82	23,85	40,79	83,95	131,38	164,86	150,06	800,70
ETR (mm)	30,32	24,79	22,29	10,07	6,84	10,82	23,85	40,79	50,69	24,19	7,74	16,95	269,35
P-ETP	-68,46	-32,21	-0,03	8,73	15,86	8,93	7,01	-20,24	-53,51	-107,19	-157,12	-133,11	-
R.F.U (mm)	0	0	-0,03	8,69	24,55	33,48	40,49	20,25	0	0	0	0	-
DA (mm)	-68,46	-32,21	0	0	0	0	0	0	-33,26	-107,19	-157,12	-133,11	-531,35
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Annexe II

Bilan hydrique selon Thornthwaite et avec l'ETP de Turc

RFUmax 100													
basseybouse	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	33,0	56,4	69,6	87,5	88,6	67,9	63,8	59,9	38,5	14,7	2,5	8,2	590,5
ETP (mm)	118,5	84,7	58,2	42,3	42,2	57,0	75,4	95,9	138,7	157,4	180,1	162,7	1213,4
ETR (mm)	33,0	56,4	58,2	42,3	42,2	57,0	75,4	95,9	90,9	14,7	2,5	8,2	576,7
P-ETP	-85,5	-28,4	11,3	45,2	46,4	10,9	-11,6	-36,0	-100,2	-142,7	-177,7	-154,5	-
R.F.U (mm)	0,0	0,0	11,3	56,6	100	100	88,4	52,4	0,0	0,0	0,0	0,0	-
DA (mm)	-85,5	-28,4	0	0	0	0	0	0	-47,9	-142,7	-177,7	-154,5	-636,7
W (mm)	0	0	0	0	2,9	10,9	0	0	0	0	0	0	13,8
Guelma	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	31,9	47,8	59,5	77,7	74,7	63,5	59,8	56,2	44,1	15,8	3,7	9,7	544,5
ETP (mm)	112,1	78,6	47,1	32,2	30,2	42,8	59,6	81,1	123,4	146,3	170,8	156,8	1081,1
ETR (mm)	31,9	47,8	47,1	32,2	30,2	42,8	59,6	81,1	119,2	15,8	3,7	9,7	521,1
P-ETP	-80,2	-30,8	12,4	45,5	44,5	20,7	0,2	-24,9	-79,2	-130,5	-167,2	-147,1	-
R.F.U (mm)	0	0	12,4	57,9	100	100	100	75,1	0	0	0	0	-
DA (mm)	-80,2	-30,8	0,0	0,0	0,	0	0	0	-4,1	-130,5	-167,2	-147,1	-559,9
W (mm)	0	0	0	0	2,4	20,7	0,2	0	0	0	0	0	23,4
Bouhamdane	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	26,7	39,5	54,7	75,6	79,4	62,2	55,0	54,8	42,4	16,1	4,7	8,8	520,0
ETP (mm)	115,5	80,3	50,3	34,3	31,9	46,8	65,5	89,9	130,5	156,9	176,1	156,8	1134,9
ETR (mm)	26,7	39,5	50,3	34,3	31,9	46,8	65,5	89,9	96,8	16,1	4,7	8,8	511,4
P-ETP	-88,8	-40,8	4,4	41,3	47,5	15,4	-10,5	-35,0	-88,1	-140,8	-171,4	-148,0	-
R.F.U (mm)	0	0	4,4	45,7	93,3	100,0	89,5	54,4	0	0	0	0	-
DA (mm)	-88,8	-40,8	0	0	0	0	0	0	-33,7	-140,8	-171,4	-148,0	-623,5
W (mm)	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	8,7
Melah	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	41,0	61,6	84,7	98,5	111,1	94,1	118,5	87,4	77,1	23,4	2,8	7,6	807,9
ETP (mm)	118,4	86,9	57,3	42,3	41,5	56,7	74,3	97,3	133,1	154,2	174,9	161,4	1198,3
ETR (mm)	41,0	61,6	57,3	42,3	41,5	56,7	74,3	97,3	133,1	57,5	2,8	7,6	673,0
P-ETP	-77,4	-25,3	27,4	56,2	69,6	37,5	44,2	-9,8	-56,1	-130,8	-172,1	-153,8	-
R.F.U (mm)	0,0	0,0	27,4	83,6	100	100	100	90,2	34,1	0,0	0,0	0,0	-
DA (mm)	-77,4	-25,3	0	0	0	0	0	0	0	-96,7	-172,1	-153,8	-525,3
W (mm)	0	0	0	0	53,2	37,5	44,2	0	0	0	0	0	134,9
Bascharef	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	29,5	31,4	45,5	57,2	56,5	48,2	47,7	48,6	41,3	19,2	6,6	12,0	443,7
ETP (mm)	114,1	85,3	56,3	38,8	36,4	54,0	78,4	97,5	137,3	150,8	176,9	154,7	1180,5
ETR (mm)	29,5	31,4	45,5	38,8	36,4	54,0	78,4	50,4	41,3	19,2	6,6	12,0	443,7
P-ETP	-84,6	-53,9	-10,7	18,3	20,1	-5,8	-30,7	-49,0	-96,0	-131,6	-170,2	-142,7	-
R.F.U (mm)	0,0	0,0	0,0	18,3	38,4	32,6	1,8	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-84,6	-53,9	-10,7	0	0	0	0	0	-47,1	-96,0	-131,6	-170,2	-736,8
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hautcharef	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	27,7	28,3	26,9	36,6	42,5	35,4	34,9	38,4	31,8	17,5	6,1	11,3	337,4
ETP (mm)	111,9	81,9	51,7	34,1	30,5	47,3	71,9	92,2	133,9	149,3	186,5	153,2	1144,4
ETR (mm)	27,7	28,3	26,9	34,1	30,5	47,3	37,5	38,4	31,8	17,5	6,1	11,3	337,4
P-ETP	-84,2	-53,6	-24,8	2,5	11,9	-11,9	-37,0	-53,8	-102,1	-131,8	-180,4	-141,9	-
R.F.U (mm)	0	0	0	2,5	14,5	2,6	0	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-84,2	-53,6	-24,8	0	0	0	-34,4	-53,8	-102,1	-131,8	-180,4	-141,9	-807,1
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Batna	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	35,1	28,3	35,1	34,7	35,5	29,3	39,2	34,8	35,8	20,0	5,8	14,7	348,2
ETP (mm)	119,1	79,7	45,2	28,0	25,1	37,3	64,2	89,5	125,1	181,8	222,0	189,8	1206,9
ETR (mm)	35,1	28,3	35,1	28,0	25,1	37,3	48,2	34,8	35,8	20,0	5,8	14,7	348,2
P-ETP	-84,1	-51,5	-10,1	6,7	10,4	-8,0	-25,1	-54,7	-89,3	-161,9	-216,1	-175,0	-
R.F.U (mm)	0,0	0,0	0,0	6,7	17,1	9,1	0	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-84,1	-51,5	-10,1	0	0	0	-16,0	-54,7	-89,3	-161,9	-216,1	-175,0	-858,7
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chemoura	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	33,9	28,6	31,1	30,8	30,5	25,1	40,0	33,7	35,8	20,6	7,2	17,2	334,6
ETP (mm)	118,5	79,0	44,2	26,4	23,7	35,5	62,5	87,7	124,4	179,3	220,8	188,9	1190,9
ETR (mm)	33,9	28,6	31,1	26,4	23,7	35,5	40,8	33,7	35,8	20,6	7,2	17,2	334,6
P-ETP	-84,6	-50,4	-13,1	4,4	6,8	-10,3	-22,5	-54,0	-88,5	-158,7	-213,6	-171,7	-
R.F.U (mm)	0,0	0,0	0,0	4,4	11,2	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
DA (mm)	-84,6	-50,4	-13,1	0,0	0,0	0,0	-21,6	-54,0	-88,5	-158,7	-213,6	-171,7	-856,3
W (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Annexe II (Suite)

Bilan hydrique selon Thornthwaite et avec l'ETP de Turc

RFUmax 100													
El Gueiss	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	41,5	36,4	44,1	43,2	35,4	38,5	49,0	44,0	45,9	24,9	12,9	21,9	437,7
ETP (mm)	110,5	77,8	44,6	25,2	20,3	37,3	64,6	87,7	133,9	171,3	228,5	185,0	1186,8
ETR (mm)	41,5	36,4	44,1	25,2	20,3	37,3	64,6	62,7	45,9	24,9	12,9	21,9	437,7
P-ETP	-69,1	-41,5	-0,5	18,0	15,1	1,2	-15,6	-43,7	-88,0	-146,4	-215,7	-163,1	-
R.F.U (mm)	0	0	0	18,0	33,1	34,3	18,7	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-69,1	-41,5	-0,5	0	0	0	0	-25,0	-88,0	-146,4	-215,7	-163,1	-749,1
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El Hai	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	25,5	24,5	28,4	24,4	24,2	20,4	23,4	23,0	24,6	14,8	4,8	8,8	246,8
ETP (mm)	123,1	80,9	46,1	29,3	26,2	39,5	67,0	93,1	130,2	196,3	236,0	208,2	1275,8
ETR (mm)	25,5	24,5	28,4	24,4	24,2	20,4	23,4	23,0	24,6	14,8	4,8	8,8	246,8
P-ETP	-97,6	-56,4	-17,7	-4,8	-1,9	-19,1	-43,6	-70,0	-105,7	-181,5	-231,2	-199,3	-
R.F.U (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-97,6	-56,4	-17,7	-4,8	-1,9	-19,1	-43,6	-70,0	-105,7	-181,5	-231,2	-199,3	-1029,0
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El Abiod	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	27,8	22,3	24,2	19,7	18,7	19,0	24,7	22,3	21,2	14,0	4,5	16,2	234,6
ETP (mm)	128,1	82,1	47,2	29,6	27,5	40,8	69,1	95,6	139,4	203,4	243,0	209,6	1315,3
ETR (mm)	27,8	22,3	24,2	19,7	18,7	19,0	24,7	22,3	21,2	14,0	4,5	16,2	234,6
P-ETP	-100,3	-59,8	-23,0	-9,9	-8,8	-21,8	-44,4	-73,3	-118,2	-189,5	-238,4	-193,4	-
R.F.U (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-100,3	-59,8	-23,0	-9,9	-8,8	-21,8	-44,4	-73,3	-118,2	-189,5	-238,4	-193,4	-1080,7
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El Arab	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	32,5	28,2	30,6	23,8	23,4	25,1	33,5	27,8	31,4	19,2	10,5	16,3	302,4
ETP (mm)	120,4	85,3	50,4	30,9	27,5	46,0	68,5	95,6	146,6	191,6	238,3	210,7	1311,8
ETR (mm)	32,5	28,2	30,6	23,8	23,4	25,1	33,5	27,8	31,4	19,2	10,5	16,3	302,4
P-ETP	-87,8	-57,0	-19,7	-7,0	-4,2	-20,9	-35,0	-67,8	-115,2	-172,4	-227,9	-194,4	-
R.F.U (mm)	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-87,8	-57,0	-19,7	-7,0	-4,2	-20,9	-35,0	-67,8	-115,2	-172,4	-227,9	-194,4	-1009,4
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chéria	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	30,3	24,8	22,3	18,8	22,7	19,8	30,9	20,6	30,4	24,2	7,7	17,0	269,4
ETP (mm)	114,1	82,2	47,0	27,6	23,2	40,3	62,3	89,7	135,7	178,7	228,2	206,4	1235,3
ETR (mm)	30,3	24,8	22,3	18,8	22,7	19,8	30,9	20,6	30,4	24,2	7,7	17,0	269,4
P-ETP	-83,8	-57,4	-24,8	-8,8	-0,5	-20,5	-31,5	-69,1	-105,3	-154,5	-220,4	-189,4	-
R.F.U (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-83,8	-57,4	-24,8	-8,8	-0,5	-20,5	-31,5	-69,1	-105,3	-154,5	-220,4	-189,4	-965,9
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Annexe II

Bilan hydrique selon Thornthwaite et avec l'ETP de Blanny-Criddle

RFUmax 100													
basseybouse	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	33,0	56,4	69,6	87,5	88,6	67,9	63,8	59,9	38,5	14,7	2,5	8,2	590,5
ETP (mm)	123,8	105,8	80,8	71,5	70,3	70,2	90,5	102,4	126,6	244,7	267,9	256,0	1610,3
ETR (mm)	33,0	56,4	69,6	71,5	70,3	70,2	90,5	65,2	38,5	14,7	2,5	8,2	590,5
P-ETP	-90,8	-49,4	-11,2	16,0	18,3	-2,3	-26,7	-42,5	-88,1	-230,0	-265,4	-247,7	-
R.F.U (mm)	0	0	0	16,0	34,3	32,0	5,	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-90,8	-49,4	-11,2	0	0	0	0	-37,2	-88,1	-230,0	-265,4	-247,7	-1019,8
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Guelma	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	31,9	47,8	59,5	77,7	74,7	63,5	59,8	56,2	44,1	15,8	3,7	9,7	544,5
ETP (mm)	105,9	87,5	64,4	56,0	54,4	55,0	72,6	83,3	108,2	216,9	238,2	226,4	1368,8
ETR (mm)	31,9	47,8	59,5	56,0	54,4	55,0	72,6	83,3	54,8	15,8	3,7	9,7	544,5
P-ETP	-74,0	-39,8	-4,9	21,8	20,3	8,5	-12,8	-27,0	-64,1	-201,0	-234,5	-216,6	-
R.F.U (mm)	0,0	0,0	0,0	21,8	42,0	50,5	37,7	10,7	-53,4	0	0	0	-
DA (mm)	-74,0	-39,8	-4,9	0	0	0	0	0	0	-254,4	-234,5	-216,6	-824,3
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bouhamdane	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	26,7	39,5	54,7	75,6	79,4	62,2	55,0	54,8	42,4	16,1	4,7	8,8	520,0
ETP (mm)	117,6	97,4	71,9	62,5	60,9	61,9	81,6	93,6	120,6	240,0	334,9	318,1	1661,0
ETR (mm)	26,7	39,5	54,7	62,5	60,9	61,9	81,6	60,1	42,4	16,1	4,7	8,8	520,0
P-ETP	-90,9	-57,9	-17,1	13,0	18,5	0,3	-26,6	-38,8	-78,2	-223,9	-330,3	-309,2	-
R.F.U (mm)	0	0	0	13,0	31,6	31,9	5,3	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-90,9	-57,9	-17,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-33,5	-78,2	-223,9	-330,3	-309,2	-1141,0
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melah	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	41,0	61,6	84,7	98,5	111,1	94,1	118,5	87,4	77,1	23,4	2,8	7,6	807,9
ETP (mm)	119,0	99,3	73,9	64,9	62,9	63,7	83,5	95,9	121,7	218,6	335,4	318,8	1657,7
ETR (mm)	41,0	61,6	73,9	64,9	62,9	63,7	83,5	95,9	121,7	70,3	2,8	7,6	749,9
P-ETP	-77,9	-37,7	10,8	33,6	48,2	30,4	35,0	-8,4	-44,7	-195,3	-332,6	-311,2	-
R.F.U (mm)	0,0	0,0	10,8	44,4	92,6	100,0	100,0	91,6	46,9	0,0	0,0	0,0	-
DA (mm)	-77,9	-37,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-148,3	-332,6	-311,2	-907,8
W (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	35,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	58,0
Bascharef	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	29,5	31,4	45,5	57,2	56,5	48,2	47,7	48,6	41,3	19,2	6,6	12,0	443,7
ETP (mm)	111,1	92,8	69,1	60,1	59,0	59,4	78,3	89,3	114,6	254,3	339,1	295,1	1622,2
ETR (mm)	29,5	31,4	45,5	57,2	56,5	48,2	47,7	48,6	41,3	19,2	6,6	12,0	443,7
P-ETP	-81,6	-61,4	-23,6	-2,9	-2,5	-11,3	-30,6	-40,8	-73,3	-235,1	-332,5	-283,1	-
R.F.U (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-81,6	-61,4	-23,6	-2,9	-2,5	-11,3	-30,6	-40,8	-73,3	-235,1	-332,5	-283,1	-1178,5
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hautcharef	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	27,7	28,3	26,9	36,6	42,5	35,4	34,9	38,4	31,8	17,5	6,1	11,3	337,4
ETP (mm)	108,2	88,8	65,0	56,2	54,6	55,7	74,1	85,6	111,5	250,8	336,3	290,6	1577,5
ETR (mm)	27,7	28,3	26,9	36,6	42,5	35,4	34,9	38,4	31,8	17,5	6,1	11,3	337,4
P-ETP	-80,5	-60,5	-38,1	-19,6	-12,2	-20,3	-39,2	-47,2	-79,7	-233,2	-330,2	-279,3	-
R.F.U (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-80,5	-60,5	-38,1	-19,6	-12,2	-20,3	-39,2	-47,2	-79,7	-233,2	-330,2	-279,3	-1240,1
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Batna	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	35,1	28,3	35,1	34,7	35,5	29,3	39,2	34,8	35,8	20,0	5,8	14,7	348,2
ETP (mm)	128,5	93,3	55,6	47,1	54,2	57,5	78,1	91,5	122,9	317,7	348,8	326,2	1721,3
ETR (mm)	35,1	28,3	35,1	34,7	35,5	29,3	39,2	34,8	35,8	20,0	5,8	14,7	348,2
P-ETP	-93,5	-65,0	-20,5	-12,3	-18,7	-28,2	-38,9	-56,7	-87,2	-297,7	-343,0	-311,5	-
R.F.U (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	-
DA (mm)	-93,5	-65,0	-20,5	-12,3	-18,7	-28,2	-38,9	-56,7	-87,2	-297,7	-343,0	-311,5	-1373,1
W (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Chemoura	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Année
P (mm)	33,9	28,6	31,1	30,8	30,5	25,1	40,0	33,7	35,8	20,6	7,2	17,2	334,6
ETP (mm)	127,6	92,5	54,9	46,2	53,4	56,5	77,0	90,2	122,2	315,5	345,8	323,7	1705,6
ETR (mm)	33,9	28,6	31,1	30,8	30,5	25,1	40,0	33,7	35,8	20,6	7,2	17,2	334,6
P-ETP	-93,7	-63,9	-23,8	-15,4	-23,0	-31,4	-37,0	-56,5	-86,4	-294,9	-338,6	-306,5	-
R.F.U (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-93,7	-63,9	-23,8	-15,4	-23,0	-31,4	-37,0	-56,5	-86,4	-294,9	-338,6	-306,5	-1371,0
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

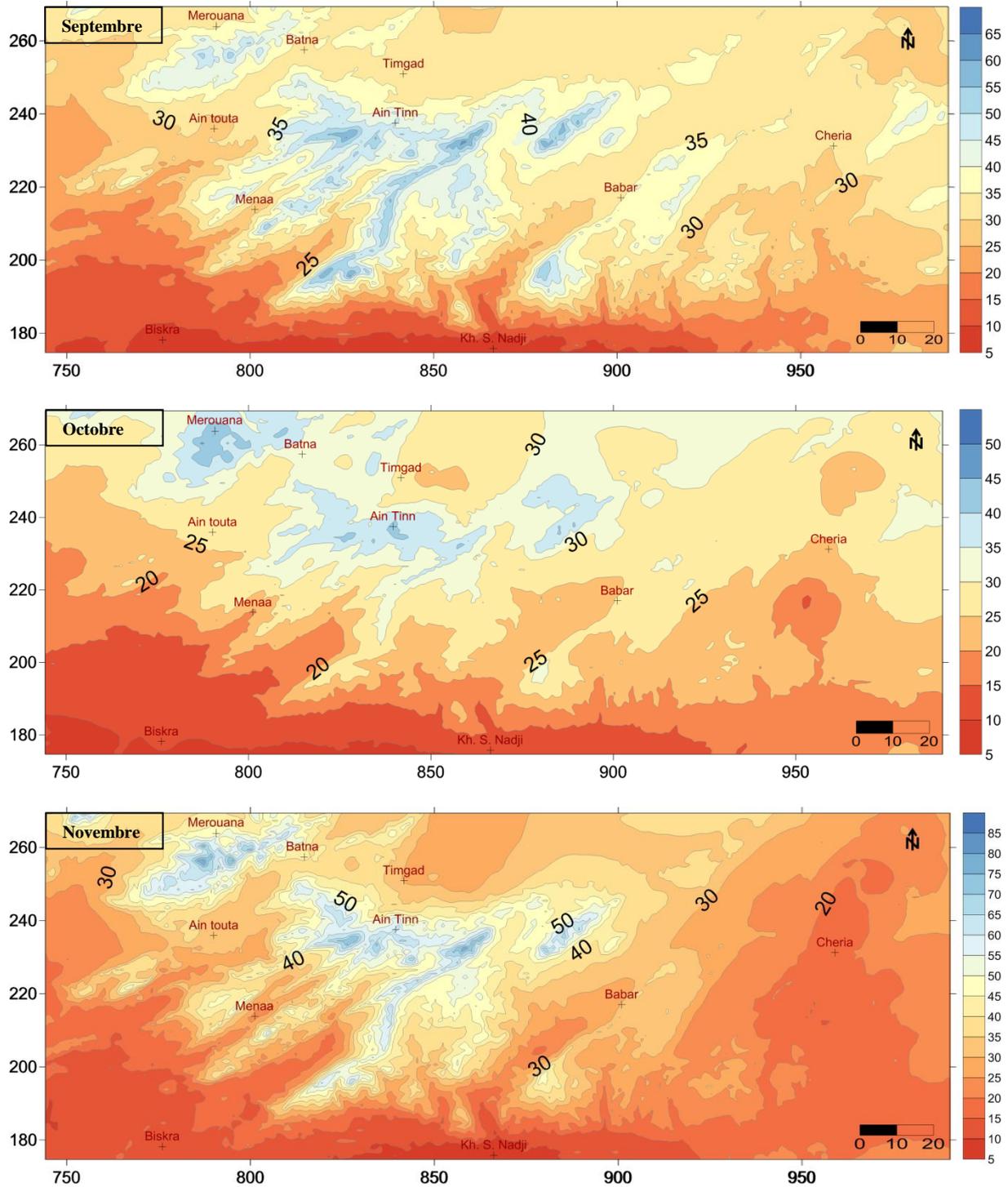
Annexe II (Suite)

Bilan hydrique selon Thornthwaite et avec l'ETP de Blanny-Criddle

RFU _{max 100}													
El Gueiss	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	41,5	36,4	44,1	43,2	35,4	38,5	49,0	44,0	45,9	24,9	12,9	21,9	437,7
ETP (mm)	126,9	91,8	54,4	45,9	52,8	55,5	76,2	89,8	121,2	314,1	344,3	321,9	1695,0
ETR (mm)	41,5	36,4	44,1	43,2	35,4	38,5	49,0	44,0	45,9	24,9	12,9	21,9	437,7
P-ETP	-85,5	-55,5	-10,3	-2,7	-17,4	-16,9	-27,2	-45,9	-75,3	-289,2	-331,5	-300,0	-
R.F.U (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-85,5	-55,5	-10,3	-2,7	-17,4	-16,9	-27,2	-45,9	-75,3	-289,2	-331,5	-300,0	-1257,3
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El Hai	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	25,5	24,5	28,4	24,4	24,2	20,4	23,4	23,0	24,6	14,8	4,8	8,8	246,8
ETP (mm)	130,8	94,6	56,2	47,8	54,8	58,7	79,9	94,1	125,7	325,4	357,7	333,1	1758,9
ETR (mm)	25,5	24,5	28,4	24,4	24,2	20,4	23,4	23,0	24,6	14,8	4,8	8,8	246,8
P-ETP	-105,3	-70,1	-27,8	-23,4	-30,6	-38,3	-56,5	-71,1	-101,2	-310,6	-352,9	-324,3	-
R.F.U (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-105,3	-70,1	-27,8	-23,4	-30,6	-38,3	-56,5	-71,1	-101,2	-310,6	-352,9	-324,3	-1512,1
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El Abiod	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	27,8	22,3	24,2	19,7	18,7	19,0	24,7	22,3	21,2	14,0	4,5	16,2	234,6
ETP (mm)	132,7	96,0	57,0	48,0	55,6	59,5	81,3	96,0	128,7	330,8	362,0	337,2	1784,8
ETR (mm)	27,8	22,3	24,2	19,7	18,7	19,0	24,7	22,3	21,2	14,0	4,5	16,2	234,6
P-ETP	-104,9	-73,8	-32,8	-28,3	-36,9	-40,5	-56,6	-73,7	-107,5	-316,8	-357,4	-321,0	-
R.F.U (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-104,9	-73,8	-32,8	-28,3	-36,9	-40,5	-56,6	-73,7	-107,5	-316,8	-357,4	-321,0	-1550,2
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El Arab	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	32,5	28,2	30,6	23,8	23,4	25,1	33,5	27,8	31,4	19,2	10,5	16,3	302,4
ETP (mm)	133,2	97,2	58,2	49,3	57,1	60,1	82,2	97,0	128,7	329,3	359,4	335,9	1787,6
ETR (mm)	32,5	28,2	30,6	23,8	23,4	25,1	33,5	27,8	31,4	19,2	10,5	16,3	302,4
P-ETP	-100,7	-68,9	-27,5	-25,5	-33,7	-35,0	-48,8	-69,2	-97,3	-310,1	-348,9	-319,5	-
R.F.U (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-100,7	-68,9	-27,5	-25,5	-33,7	-35,0	-48,8	-69,2	-97,3	-310,1	-348,9	-319,5	-1485,2
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chéria	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août.	Année
P (mm)	30,3	24,8	22,3	18,8	22,7	19,8	30,9	20,6	30,4	24,2	7,7	17,0	269,4
ETP (mm)	117,4	93,8	66,5	56,4	54,5	57,1	78,0	92,4	156,7	287,5	346,3	323,8	1730,4
ETR (mm)	30,3	24,8	22,3	18,8	22,7	19,8	30,9	20,6	30,4	24,2	7,7	17,0	269,4
P-ETP	-87,1	-69,0	-44,2	-37,6	-31,8	-37,4	-47,1	-71,9	-126,3	-263,3	-338,6	-306,9	-
R.F.U (mm)	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	-87,1	-69,0	-44,2	-37,6	-31,8	-37,4	-47,1	-71,9	-126,3	-263,3	-338,6	-306,9	-1461,0
W (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

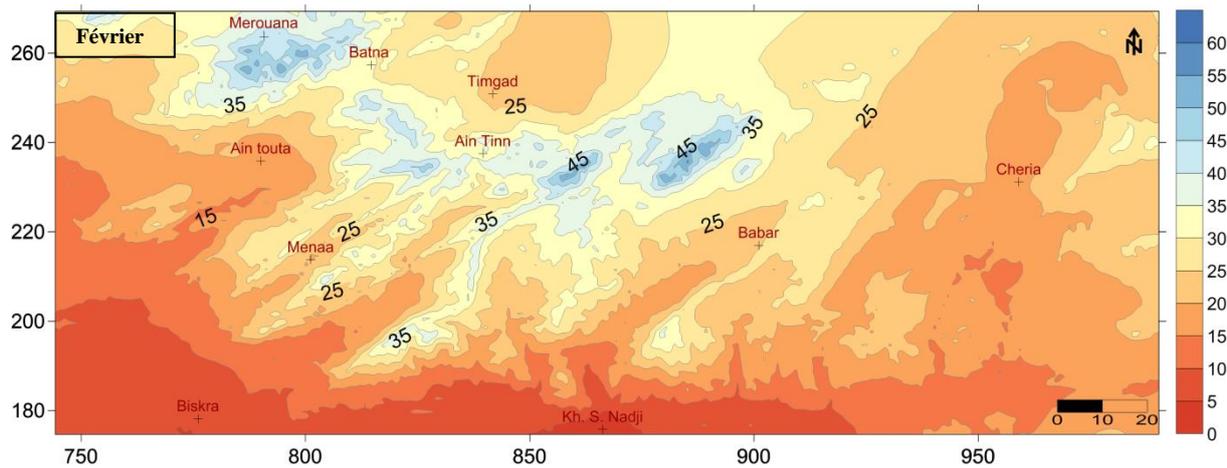
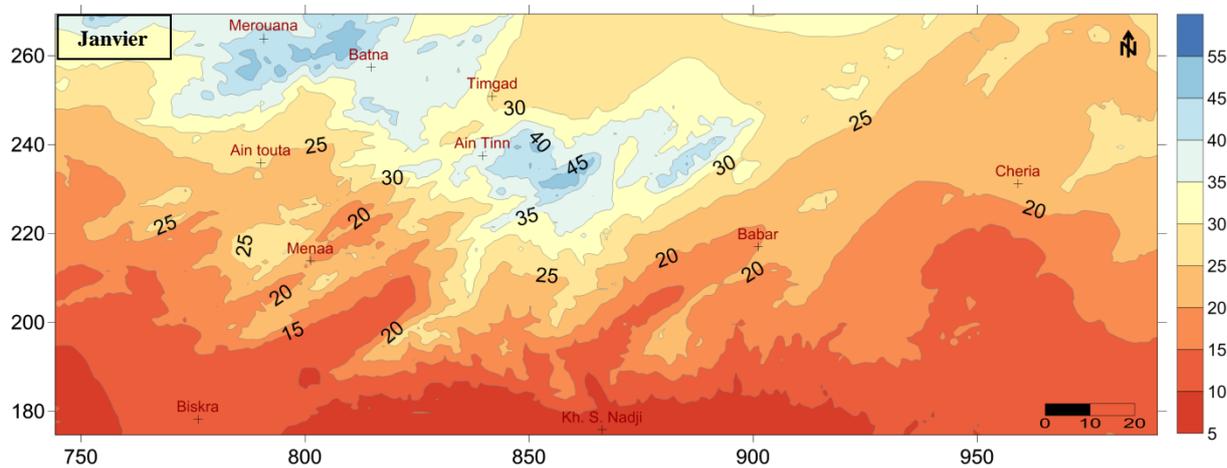
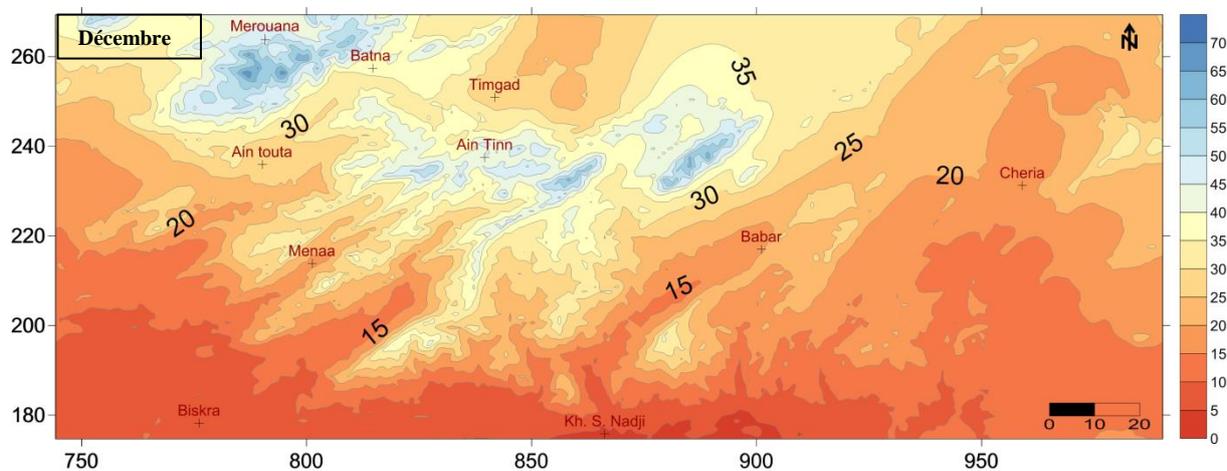
Annexe III

Cartes des précipitations moyennes mensuelles des Aurès (1970-2004)



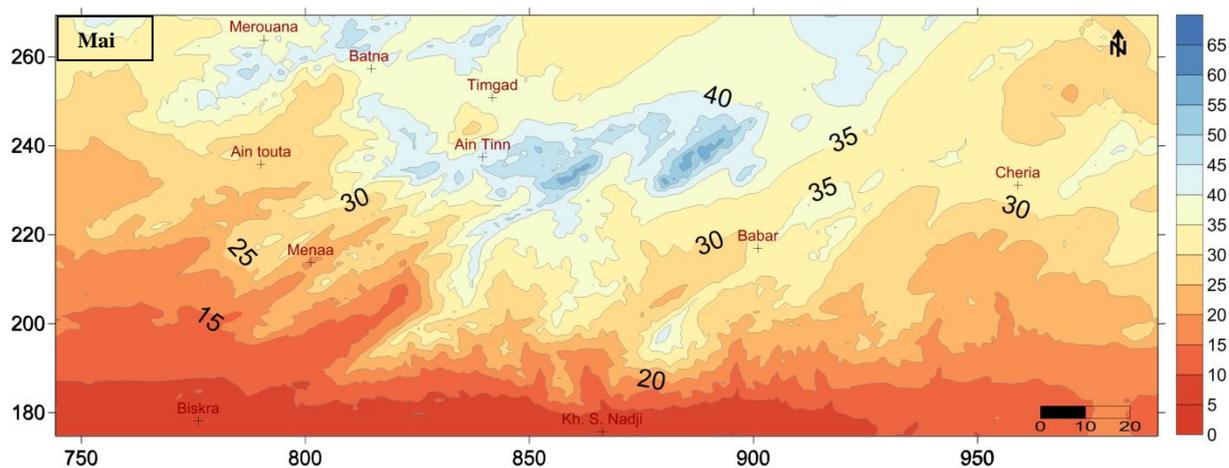
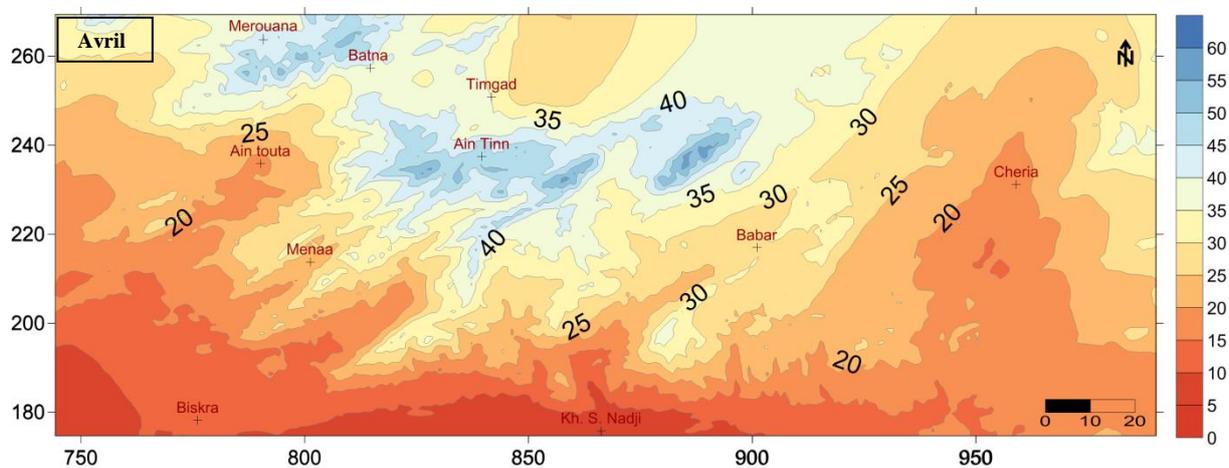
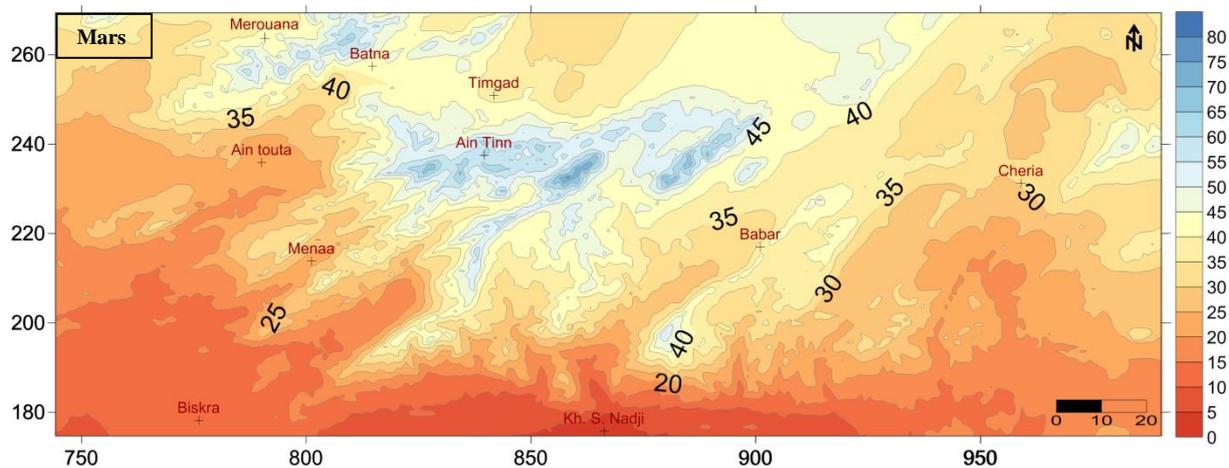
Annexe III (suite)

Cartes des précipitations moyennes mensuelles des Aurès (1970-2004)



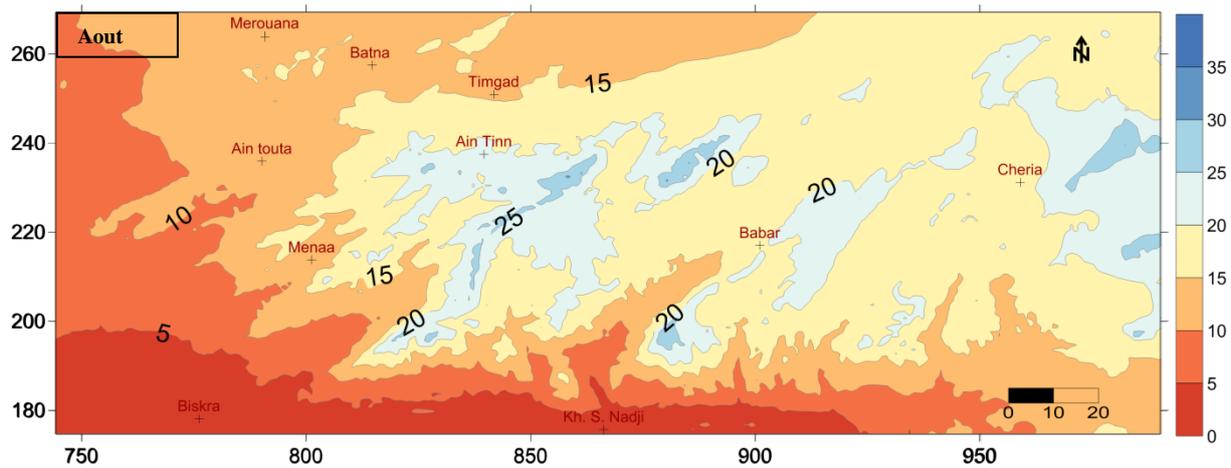
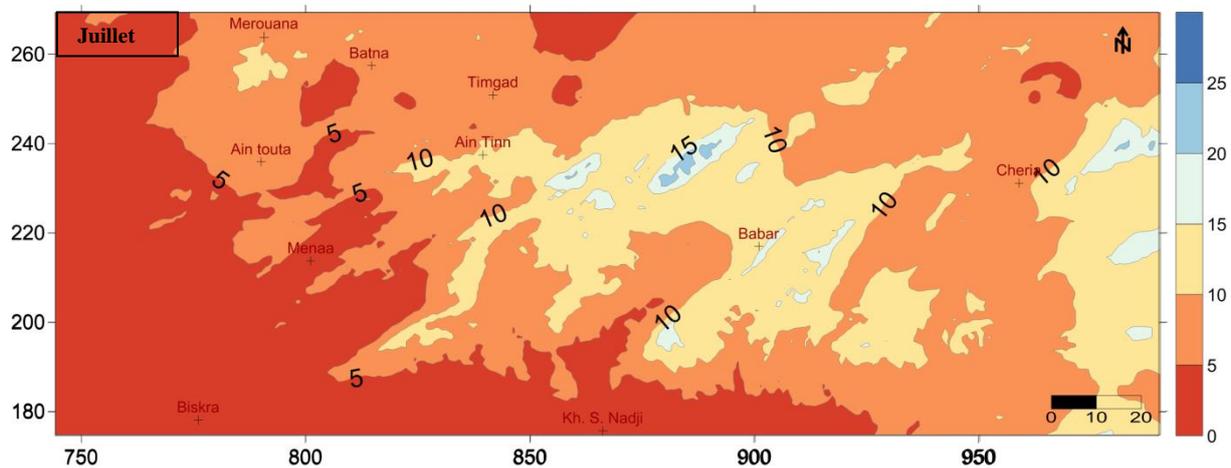
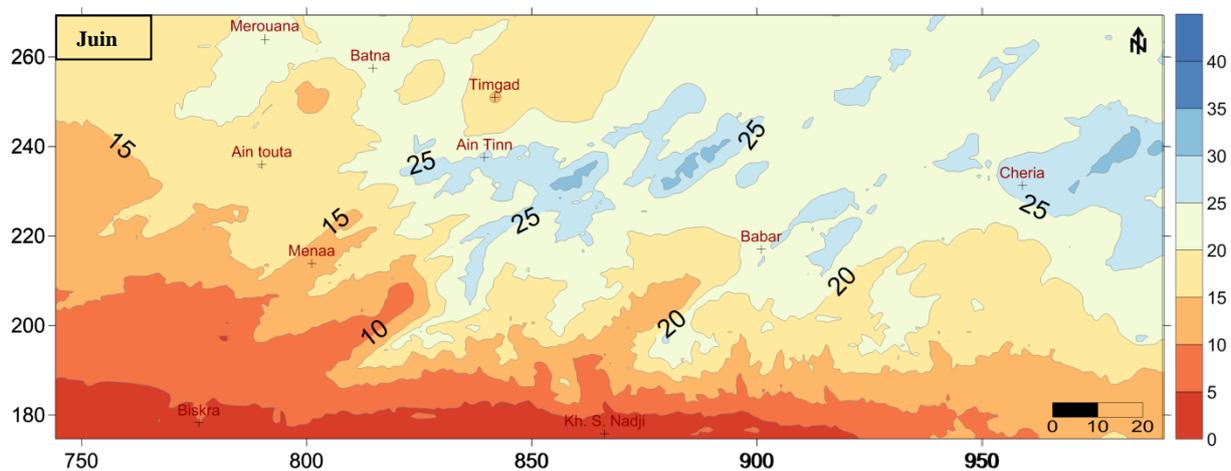
Annexe III (suite)

Cartes des précipitations moyennes mensuelles des Aurès (1970-2004)



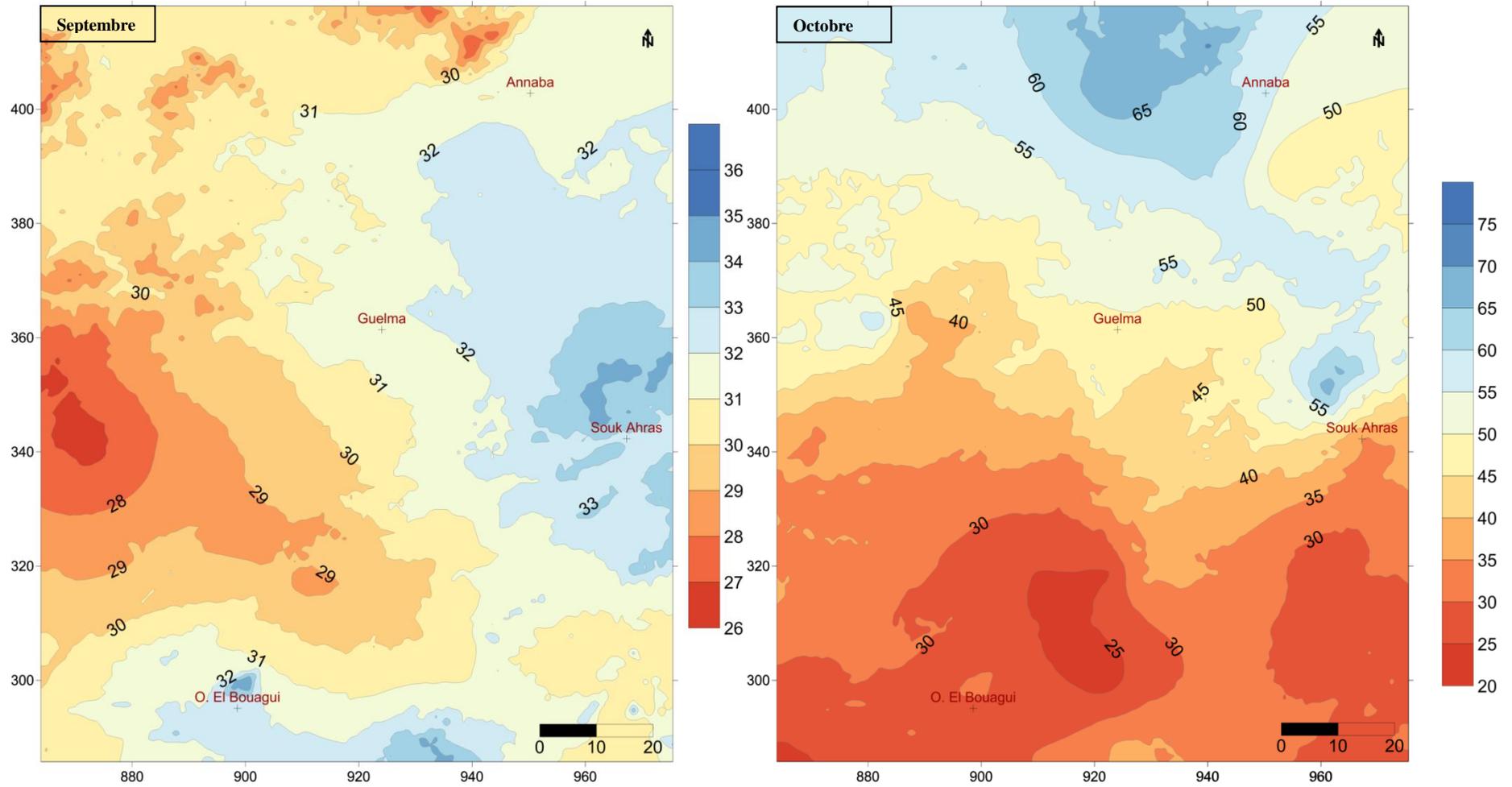
Annexe III (suite)

Cartes des précipitations moyennes mensuelles des Aurès (1970-2004)



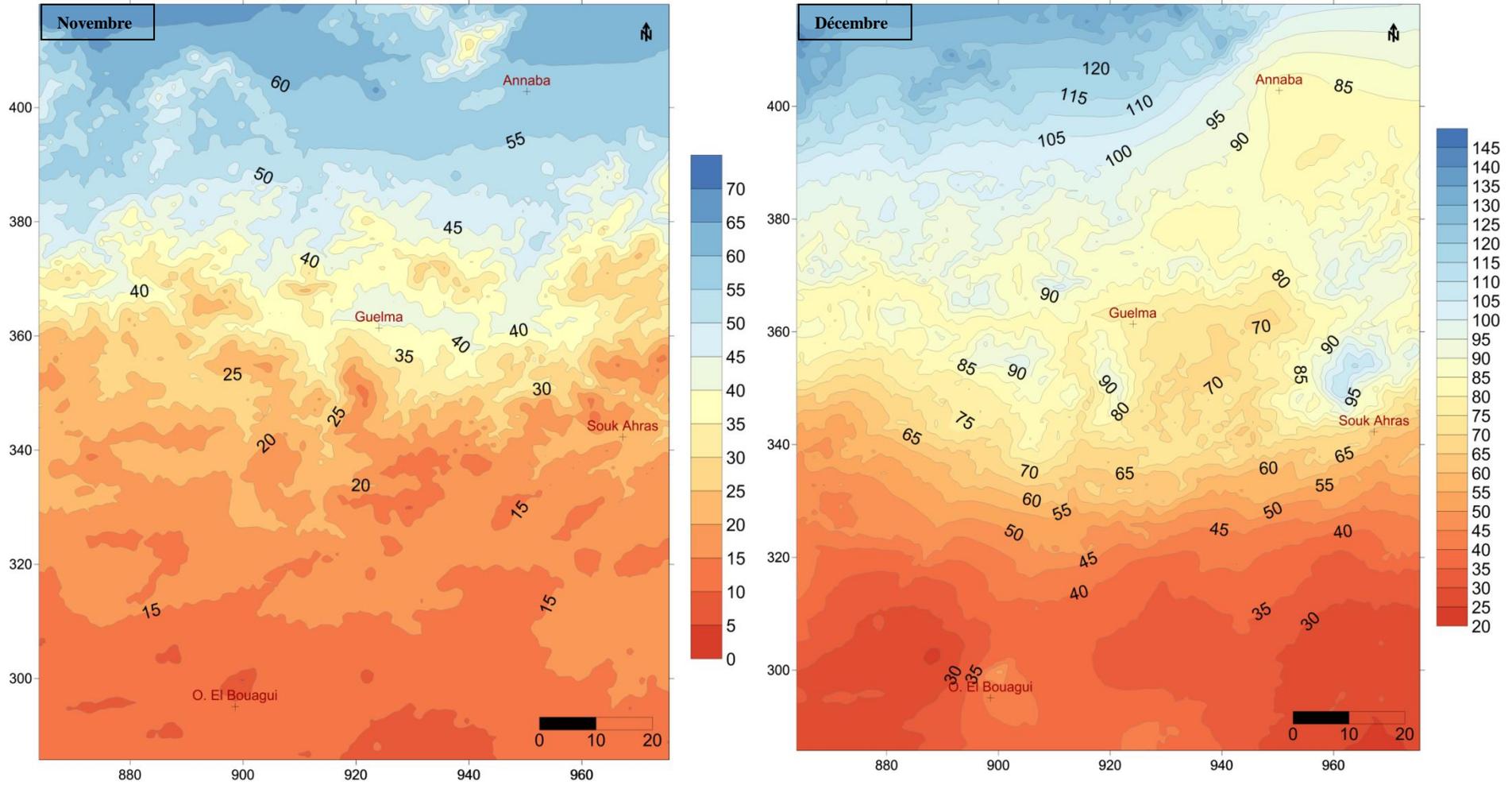
Annexe III (suite)

Cartes des précipitations moyennes mensuelles de la Seybouse (1970-2004)



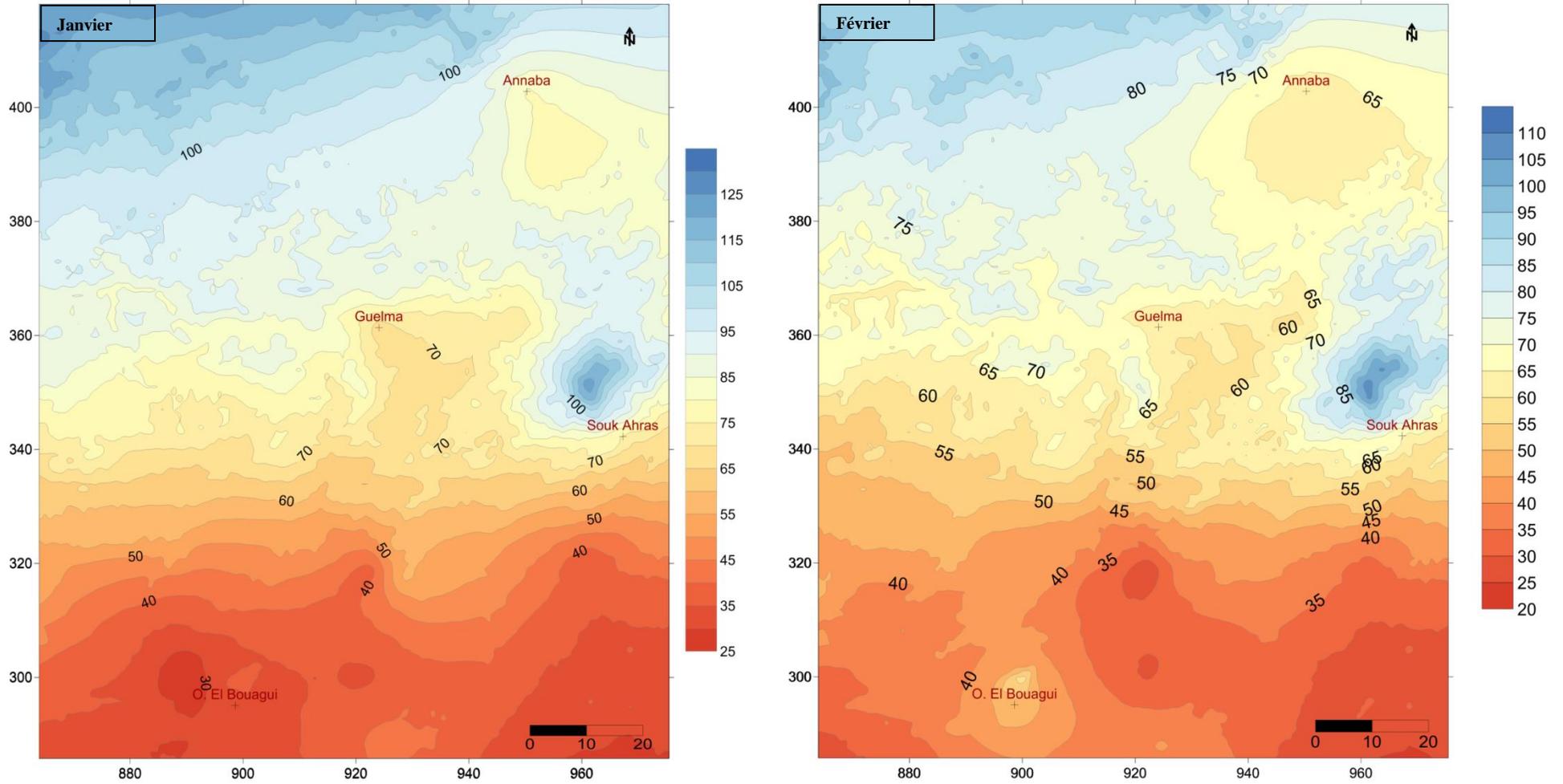
Annexe III (suite)

Cartes des précipitations moyennes mensuelles de la Seybouse (1970-2004)



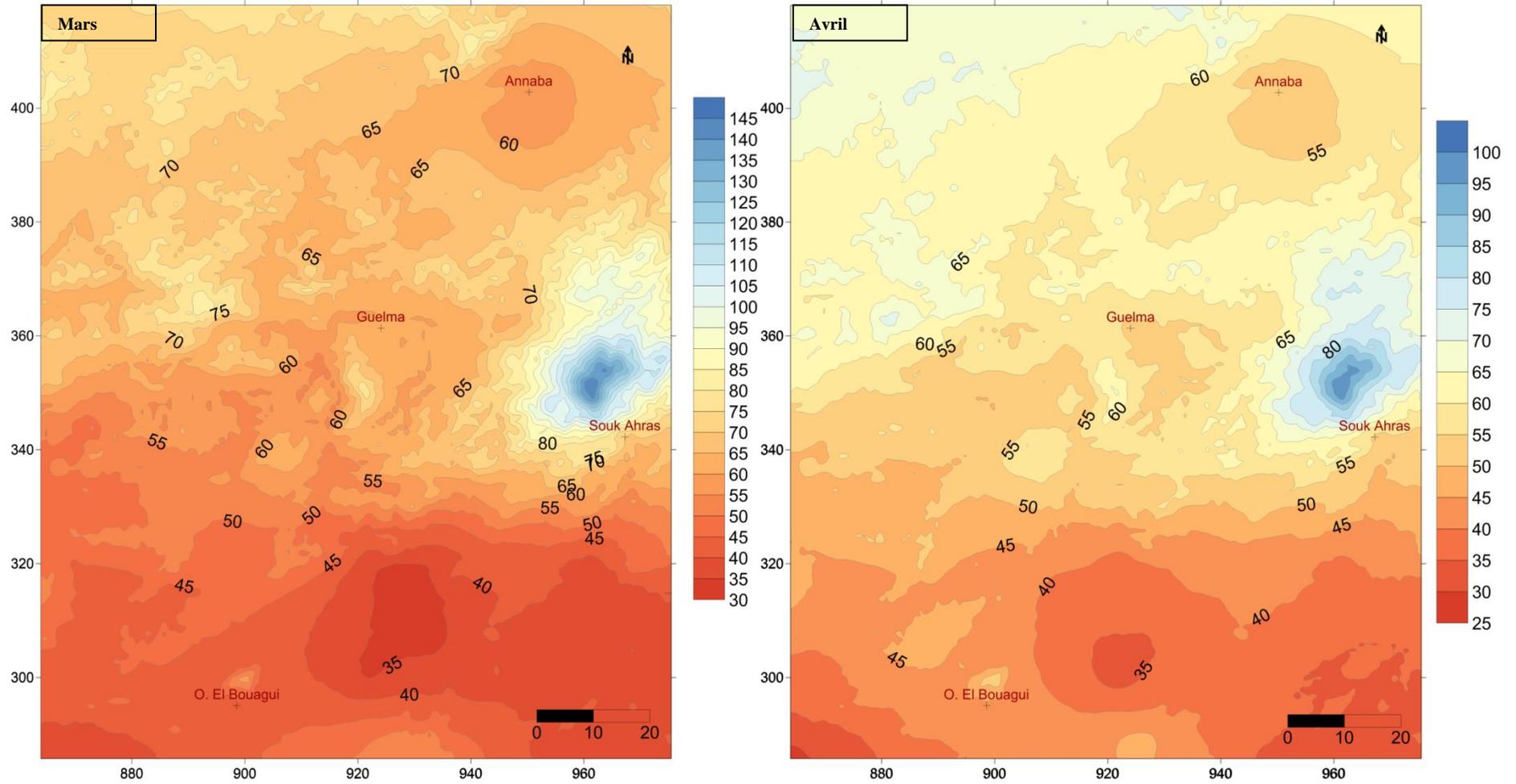
Annexe III (suite)

Cartes des précipitations moyennes mensuelles de la Seybouse (1970-2004)



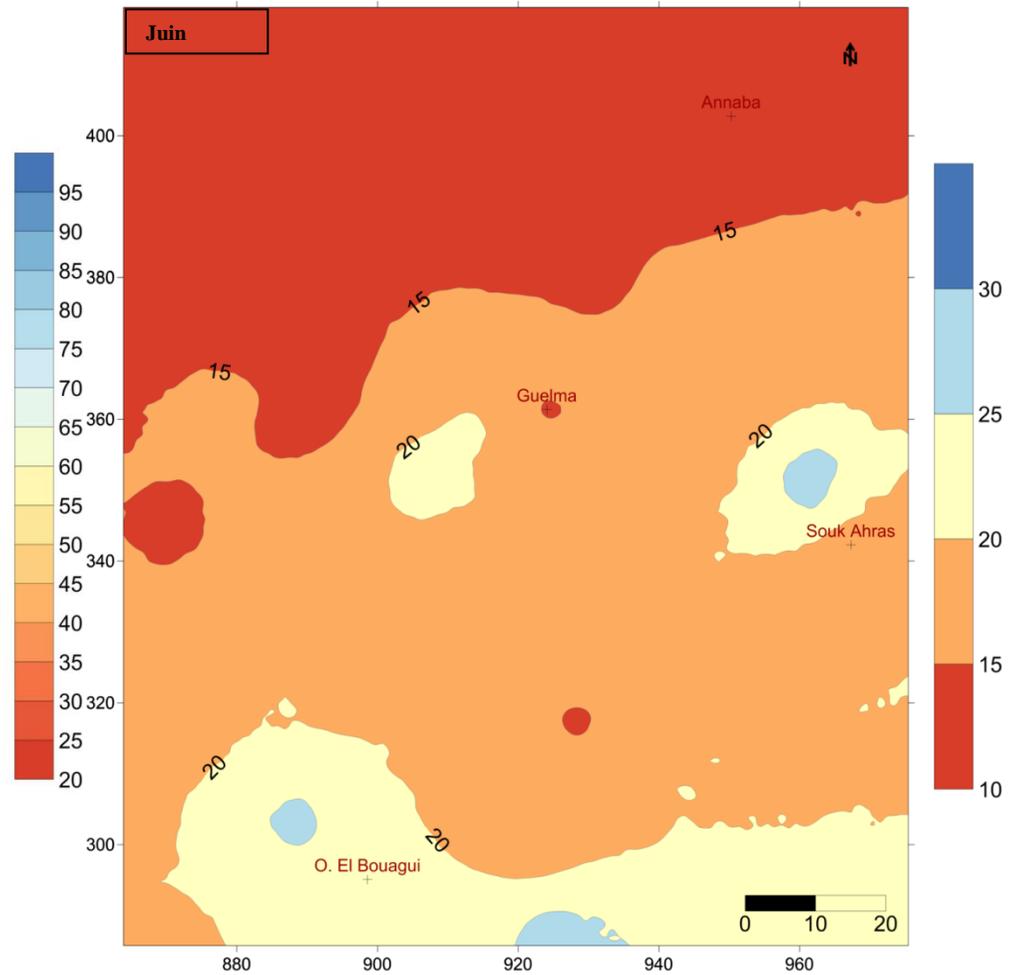
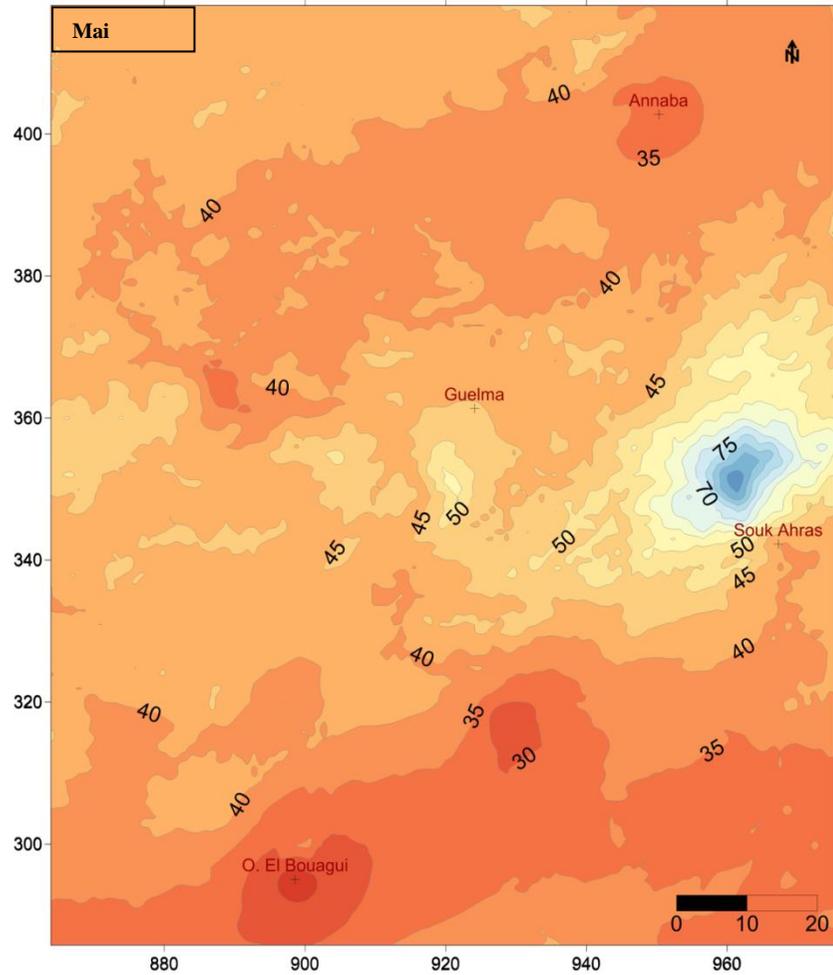
Annexe III (suite)

Cartes des précipitations moyennes mensuelles de la Seybouse (1970-2004)



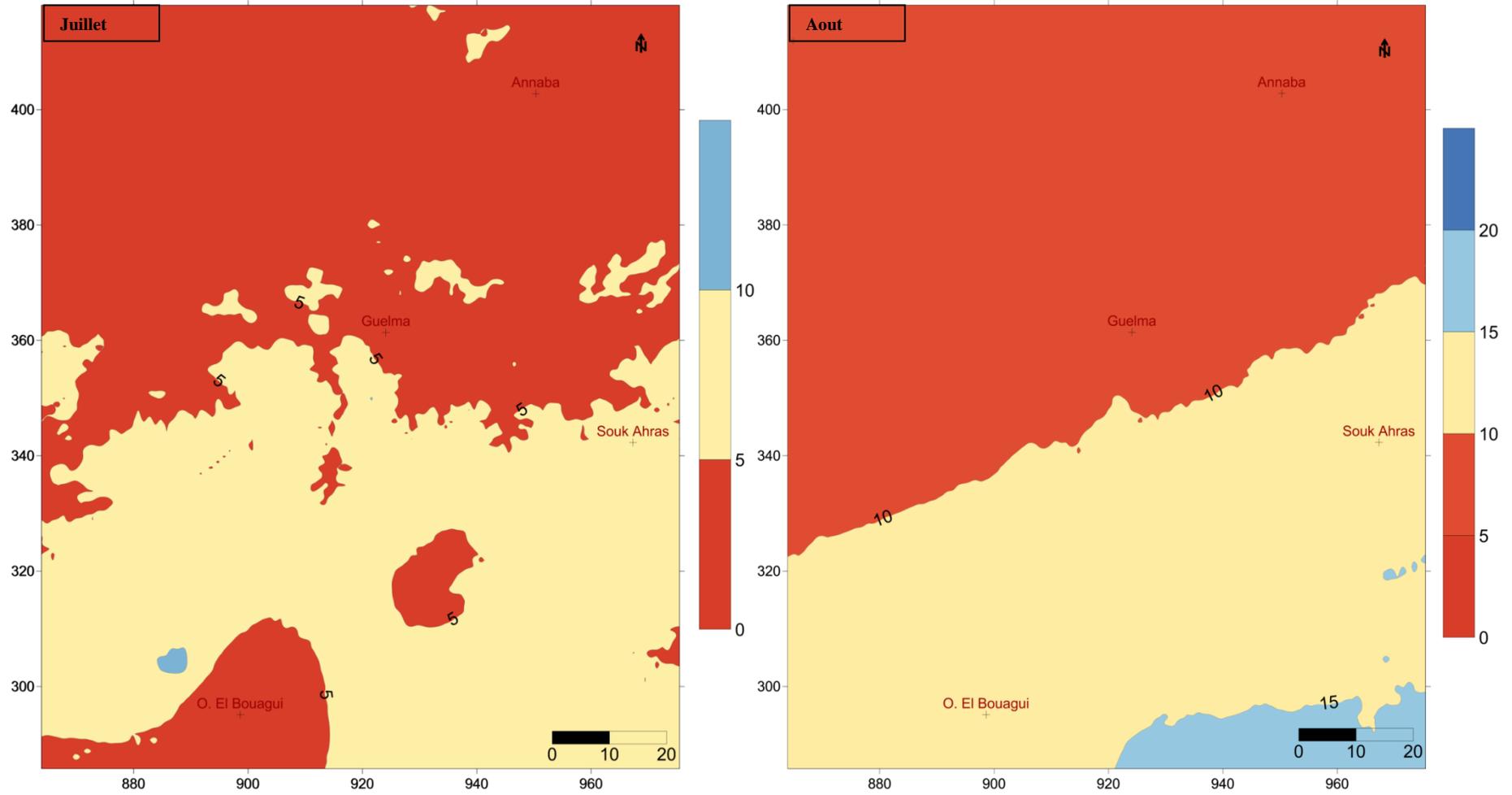
Annexe III (suite)

Cartes des précipitations moyennes mensuelles de la Seybouse (1970-2004)



Annexe III (suite)

Cartes des précipitations moyennes mensuelles de la Seybouse (1970-2004)



Annexe IV

Caractéristiques des principales crues de la Seybouse-Aurès (El Kantara)

Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m³/s)	Qmax instantané (m³/s)	Qmax/Qcrue	$e = Q_{max}/\sqrt{S}$	Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m³/s)	Qmax instantané (m³/s)	Qmax/Qcrue	$A = Q_{max}/\sqrt{S}$
3/9/95	23,5	25,4	218,0	8,58	6,37	12/6/96	32	8,2	42,6	5,20	1,25
5/9/95	23	21,1	175,0	8,29	5,12	17/6/96	32	16,2	121,0	7,47	3,54
13/9/95	23	3,2	34,4	10,75	1,01	13/7/96	31	41,0	574,0	14,00	16,78
24/9/95	36	32,1	134,0	4,17	3,92	29/6/97	7,5	7,6	34,4	4,53	1,01
6/10/95	27	6,0	27,0	4,50	0,79	22/8/97	27,5	8,9	42,6	4,79	1,25
9/10/95	6	7,7	16,6	2,16	0,49	15/9/97	33	14,5	51,5	3,55	1,51
6/12/95	9	8,8	42,6	4,84	1,25	17/9/97	42	57,6	320,0	5,56	9,36
14/3/96	23	6,0	12,3	2,05	0,36	7/11/97	36,5	28,3	108,0	3,82	3,16

Caractéristiques des principales crues de la Seybouse-Aurès (M'chouneche)

Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m³/s)	Qmax instantané (m³/s)	Qmax/Qcrue	$e = Q_{max}/\sqrt{S}$	Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m³/s)	Qmax instantané (m³/s)	Qmax/Qcrue	$A = Q_{max}/\sqrt{S}$
09/06/1972	23	6,5	23,4	3,60	0,72	11/09/1982	12	29,9	198,3	6,63	6,12
04/09/1972	72	21,5	92,5	4,30	2,85	13/09/1982	13	3,6	20,0	5,56	0,62
07/10/1972	23,5	9,2	20,0	2,17	0,62	14/09/1982	12	10,5	44,9	4,28	1,39
05/06/1973	29	8,8	27,1	3,08	0,84	02/10/1982	12	5,2	25,7	4,94	0,79
07/05/1975	23	10,3	28,2	2,74	0,87	31/10/1982	12	30,0	242,2	8,07	7,47
24/09/1975	70	10,5	58,2	5,54	1,80	03/11/1982	12	27,9	118,6	4,25	3,66
07/09/1976	23	14,3	47,2	3,30	1,46	11/11/1982	36	15,5	54,5	3,52	1,68
06/01/1977	47	8,0	31,0	3,88	0,96	22/08/1983	18	8,6	45,4	5,28	1,40
18/05/1977	35	15,1	76,1	5,04	2,35	08/10/1983	18	13,59	115,0	8,46	3,55
06/09/1977	18	11,4	52,1	4,57	1,61	29/08/1984	12	7,85	129,0	16,43	3,98
26/08/1978	60	7,4	131,0	17,70	4,04	10/10/1984	24	6,0	43,3	7,22	1,34
15/04/1979	18	5,7	15,8	2,77	0,49	05/05/1985	12	5,1	16,1	3,16	0,50
03/09/1979	78	21,3	148,0	6,95	4,57	06/03/1986	47	10,2	79,0	7,75	2,44
11/09/1979	29	7,8	60,6	7,77	1,87	04/04/1986	24	8,8	27,1	3,08	0,84
11/10/1979	36	7,1	28,1	3,96	0,87	30/05/1986	18	10,1	96,5	9,55	2,98
17/09/1980	29	6,8	29,1	4,28	0,90	30/09/1986	47	7,2	63,1	8,76	1,95
26/09/1980	78	12,4	88,0	7,10	2,72	08/10/1986	24	2,7	15,8	5,85	0,49
05/11/1980	23,3	12,2	42,7	3,50	1,32	03/10/1988	24	5,8	18,7	3,22	0,58
14/11/1980	24	7,0	33,0	4,71	1,02	13/11/1988	17	13,9	43,8	3,15	1,35
25/06/1981	12	38,4	178,2	4,64	5,50	03/04/1989	17	9,8	52,7	5,38	1,63
17/09/1981	18	2,7	25,2	9,33	0,78	20/06/1989	30	24,3	91,0	3,74	2,81
19/09/1981	12	10,0	52,1	5,21	1,61	01/09/1989	24	28,1	87,6	3,12	2,70
26/10/1981	18	6,4	34,0	5,31	1,05	21/09/1989	35,5	62,2	297,0	4,77	9,17
22/12/1981	18	10,7	53,9	5,04	1,66	12/03/1995	24	3,4	11,9	3,50	0,37
19/05/1982	18	1,7	18,0	10,59	0,56						

Annexe IV (suite)

Caractéristiques des principales crues de la Seybouse-Aurès (Khanguet Sidi Nadji)

Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m ³ /s)	Qmax instantané (m ³ /s)	Qmax/Qcrue	$e = Q_{max} / \sqrt{S}$	Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m ³ /s)	Qmax instantané (m ³ /s)	Qmax/Qcrue	$A = Q_{max} / \sqrt{S}$
04/09/1972	71	93,65	468,0	5,00	10,25	09/10/1984	94	32,3	61,5	1,90	1,35
09/09/1972	70	9,1	34,6	3,80	0,76	19/10/1984	12	14,1	93,5	6,63	2,05
14/09/1972	46	6,7	28,6	4,27	0,63	22/10/1984	29,5	54,5	293,4	5,38	6,43
25/09/1972	76	13,2	158,8	12,03	3,48	11/11/1984	95	46,0	415,4	9,03	9,10
07/10/1972	70	54,2	448,8	8,28	9,83	25/05/1985	23,5	51,8	196,8	3,80	4,31
30/11/1972	70	18,5	136,0	7,35	2,98	15/09/1985	82	12,8	118,0	9,22	2,59
27/03/1973	154	12,3	39,5	3,21	0,87	27/09/1985	100	26,0	64,6	2,48	1,42
30/05/1973	46	10,6	118,0	11,13	2,59	04/04/1986	60	14,3	31,6	2,21	0,69
04/06/1973	46	4,2	31,6	7,52	0,69	31/05/1986	41	18,3	165,7	9,05	3,63
22/06/1973	46	6,5	27,1	4,17	0,59	05/07/1986	29	26,0	116,5	4,48	2,55
29/08/1973	46	31,1	285,0	9,16	6,24	20/07/1986	23	6,0	20,1	3,35	0,44
23/10/1973	40	7,6	21,3	2,80	0,47	02/09/1986	23	7,7	37,1	4,82	0,81
12/12/1973	48	6,3	44,6	7,08	0,98	14/09/1986	23	13,5	46,4	3,44	1,02
12/06/1974	76	11,6	96,0	8,28	2,10	29/09/1986	54	23,7	145,9	6,16	3,20
22/09/1974	94	54,7	724,0	13,24	15,86	09/10/1986	36	6,6	25,8	3,91	0,57
15/10/1974	95	7,4	74,0	10,00	1,62	14/10/1986	24	3,0	14,5	4,83	0,32
18/02/1975	47	11,8	45,5	3,86	1,00	08/07/1987	71	8,4	17,9	2,13	0,39
24/05/1975	47	6,8	57,6	8,47	1,26	10/07/1987	36	8,4	23,3	2,77	0,51
17/08/1975	42	3,8	24,5	6,45	0,54	05/09/1987	42	18,4	136,0	7,39	2,98
18/09/1975	24	11,6	63,6	5,48	1,39	07/10/1987	30	6,6	30,1	4,56	0,66
05/10/1975	36	4,3	53,7	12,49	1,18	11/10/1987	60	8,4	34,6	4,12	0,76
14/05/1976	47	10,6	57,6	5,43	1,26	11/06/1988	119	29,2	45,5	1,56	1,00
18/05/1976	47	10,7	136,0	12,71	2,98	07/09/1991	24	14,2	57,6	4,06	1,26
23/05/1976	34	12,7	96,0	7,56	2,10	25/05/1992	36	7,9	26,5	3,35	0,58
30/05/1976	47	6,4	155,4	24,28	3,40	02/08/1994	22	5,6	20,5	3,66	0,45
30/06/1976	78	31,0	374,0	12,06	8,19	05/09/1994	71	13,3	101,0	7,59	2,21
07/09/1976	64	9,3	34,6	3,72	0,76	23/09/1994	60	39,6	160,5	4,05	3,52
17/11/1976	65	33,3	84,7	2,54	1,86	29/09/1994	29	70,2	175,8	2,50	3,85
06/01/1977	11	6,9	19,6	2,84	0,43	04/10/1994	95	49,0	113,5	2,32	2,49
18/05/1977	35	26,1	55,7	2,13	1,22	11/07/1995	29	25,5	86,9	3,41	1,90
03/06/1977	47	10,2	42,8	4,20	0,94	16/07/1995	47	32,2	86,9	2,70	1,90
05/09/1977	53	3,6	57,6	16,00	1,26	20/07/1995	12	12,7	19,0	1,50	0,42
14/09/1977	29	6,6	47,7	7,23	1,05	04/08/1995	23	16,8	57,6	3,43	1,26
17/09/1977	23	7,8	44,0	5,64	0,96	15/10/1995	71	84,9	155,4	1,83	3,40
24/11/1977	71	31,7	89,1	2,81	1,95	30/11/1995	23	14,1	57,6	4,09	1,26
14/05/1978	125	4,8	207,8	43,29	4,55	03/12/1995	41	8,3	24,3	2,93	0,53
25/08/1978	108	9,1	142,4	15,65	3,12	16/12/1995	47	19,9	57,6	2,89	1,26
02/10/1978	59	20,7	96,0	4,64	2,10	13/01/1996	48	30,5	84,7	2,78	1,86
19/10/1978	106	10,9	215,4	19,76	4,72	14/03/1996	95	79,0	186,0	2,35	4,08
28/01/1979	35	3,2	17,6	5,50	0,39	14/06/1996	83	7,3	23,5	3,22	0,51
01/03/1979	41	3,6	15,2	4,22	0,33	01/08/1997	114	26,0	93,5	3,60	2,05
15/04/1979	48	3,5	18,8	5,37	0,41	21/08/1997	90	39,1	147,2	3,76	3,23

Annexe IV (suite)

Caractéristiques des principales crues de la Seybouse-Aurès (Reboa)

Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m³/s)	Qmax instantané (m³/s)	Qmax/Qcrue	$e = Q_{max}/\sqrt{S}$	Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m³/s)	Qmax instantané (m³/s)	Qmax/Qcrue	$A = Q_{max}/\sqrt{S}$
27-sept-69	83	27,1	350,4	12,93	20,37	11-oct-79	12	6,2	31,4	5,06	1,83
01-oct-69	17	26,4	133,4	5,05	7,75	25-06-1981	12	2,6	13,8	5,31	0,80
06-oct-69	46	42,5	300,2	7,06	17,45	21-mai-82	72	4,1	40,4	9,85	2,35
28-oct-69	95	19,1	187,6	9,82	10,90	02-juin-82	48	72,2	72,2	1,00	4,20
22-avr-70	36	8,6	29,9	3,48	1,74	14-sept-82	14	16,77	53,3	3,18	3,10
19-mai-70	22	6,9	12,0	1,74	0,70	20-sept-82	11,5	7,2	24,6	3,42	1,43
31-juil-70	17	5,3	47,1	8,89	2,74	29-oct-82	36	7,6	45,3	5,96	2,63
14-mai-71	11,5	4,9	18,7	3,82	1,09	10-nov-82	54	59,8	255,0	4,26	14,82
28-août-71	12	4,4	16,5	3,75	0,96	10-oct-84	20	6,9	37,2	5,39	2,16
12-sept-71	12	9,0	61,3	6,81	3,56	17-oct-84	24	6,0	29,9	4,98	1,74
16-sept-71	6	3,6	15,4	4,28	0,90	22-oct-84	24	9,8	56,2	5,73	3,27
23-sept-71	18	6,5	54,1	8,32	3,14	12-févr-85	35	7,5	15,9	2,12	0,92
25-sept-71	24	16,2	169,0	10,43	9,82	13-mai-85	35	10,7	34,3	3,21	1,99
03-oct-71	30	15,8	72,4	4,58	4,21	06-mars-86	17	6,8	18,2	2,68	1,06
05-oct-71	12	3,4	16,4	4,82	0,95	04-avr-86	26	6,7	17,0	2,54	0,99
10-oct-71	22	12,7	84,2	6,63	4,89	30-sept-86	18	10,5	43,7	4,16	2,54
18-avr-72	42	9,5	24,0	2,53	1,39	10-oct-86	35	4,4	40,4	9,18	2,35
23-mai-72	12	10,5	59,5	5,67	3,46	17-oct-86	23	16,1	99,2	6,16	5,77
04-sept-72	47	22,4	207,2	9,25	12,04	18-mai-88	20	4,5	25,1	5,58	1,46
08-sept-72	40	11,8	63,1	5,35	3,67	26-mai-88	27	3,4	15,2	4,47	0,88
07-oct-72	53	12,7	96,2	7,57	5,59	08-juin-88	36	5,5	23,0	4,18	1,34
27-mars-73	160	11,7	21,7	1,85	1,26	16-juin-88	19,5	4,2	21,6	5,14	1,26
13-août-73	24	4,5	24,0	5,33	1,39	30-sept-88	9	78,6	187,6	2,39	10,90
28-août-73	5,5	12,4	34,9	2,81	2,03	04-oct-88	71	11,4	224,0	19,65	13,02
10-sept-74	34	7,8	76,2	9,77	4,43	27-mai-89	29	14,9	178,1	11,95	10,35
24-mai-75	11,5	2,3	13,7	5,96	0,80	20-juin-89	36	9,6	48,9	5,09	2,84
24-sept-75	24	3,8	16,4	4,32	0,95	08-juil-89	18	1,6	15,4	9,63	0,90
25-sept-75	30	2,4	16,9	7,04	0,98	10-août-89	12	5,0	27,3	5,46	1,59
27-juin-76	5,5	13,6	34,1	2,51	1,98	01-sept-89	32	53,8	297,5	5,53	17,29
02-juil-76	35,5	8,8	25,5	2,90	1,48	18-sept-89	18	7,0	76,4	10,91	4,44
07-sept-76	18	4,9	17,4	3,55	1,01	13-mars-90	24	3,4	21,6	6,35	1,26
18-nov-76	66	6,0	17,4	2,90	1,01	28-mai-90	35	16,7	91,5	5,48	5,32
18-mai-77	35,5	14,0	80,2	5,73	4,66	03-août-90	68	11,5	24,6	2,14	1,43
01-juin-77	59	4,6	23,4	5,09	1,36	09-mars-92	52	9,9	18,2	1,84	1,06
17-mai-78	12	40,1	235,2	5,87	13,67	24-mai-92	30	8,2	25,9	3,16	1,51
17-août-78	11,5	11,5	78,6	6,83	4,57	21-juin-95	11,5	8,7	43,7	5,02	2,54
02-oct-78	24	4,3	16,6	3,86	0,96	11-janv-96	26	5,7	14,5	2,54	0,84
10-avr-79	6	4,2	18,7	4,45	1,09	14-mars-96	89	23,3	72,2	3,10	4,20
07-sept-79	6	10,1	47,1	4,66	2,74	21-août-97	12	1,5	34,3	22,87	1,99
18-sept-79	72	31,0	309,8	9,99	18,01	22-août-97	11,5	6,4	85,0	13,28	4,94
29-sept-79	23,5	16,0	169,0	10,56	9,82						

Annexe IV (suite)

Caractéristiques des principales crues de la Seybouse-Aurès (Chemoura)

Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m ³ /s)	Qmax instantané (m ³ /s)	Qmax/Qcrue	$e = Q_{max}/\sqrt{S}$	Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m ³ /s)	Qmax instantané (m ³ /s)	Qmax/Qcrue	$A = Q_{max}/\sqrt{S}$
01/10/1969	24	16,4	99,0	6,04	3,59	04/02/1984	78	8,3	51,3	6,18	1,86
06/10/1969	30	20,7	91,0	4,40	3,30	06/08/1984	30	3,2	19,3	6,03	0,70
26/05/1971	17,5	8,4	47,0	5,60	1,71	24/09/1985	12	12,3	122,0	9,92	4,43
16/07/1971	18	7,8	37,5	4,81	1,36	06/03/1986	24	5,3	26,5	5,00	0,96
16/09/1971	28	10,1	30,5	3,02	1,11	04/04/1986	23,5	6,5	16,3	2,51	0,59
23/09/1971	36	7,4	31,7	4,28	1,15	15/09/1986	24	6,0	45,8	7,63	1,66
25/09/1971	36	17,2	72,6	4,22	2,64	30/09/1986	23	34,7	164,5	4,74	5,97
03/10/1971	130	6,2	44,3	7,15	1,61	17/10/1986	23,5	12,0	96,0	8,00	3,48
10/10/1971	47	1,8	16,2	9,00	0,59	02/09/1987	6	10,0	51,3	5,13	1,86
18/04/1972	23	19,0	37,5	1,97	1,36	08/06/1988	23	7,3	23,8	3,26	0,86
08/05/1972	82	9,8	101,3	10,34	3,68	27/06/1988	35	3,1	29,3	9,45	1,06
23/05/1972	27,5	9,2	31,7	3,45	1,15	30/09/1988	9	13,2	69,0	5,23	2,50
04/09/1972	73,5	30,6	227,3	7,43	8,25	02/10/1988	24	16,4	181,3	11,05	6,58
07/10/1972	41	26,9	150,0	5,58	5,44	27/05/1989	75	8,1	239,5	29,57	8,69
27/03/1973	64	23,0	64,8	2,82	2,35	20/06/1989	47	6,1	60,6	9,93	2,20
03/08/1973	24	3,4	13,8	4,06	0,50	23/06/1989	24	6,5	44,3	6,82	1,61
13/08/1973	42	3,9	17,3	4,44	0,63	10/08/1989	16	9,0	41,6	4,62	1,51
28/08/1973	24	3,7	19,0	5,14	0,69	22/08/1989	11	4,8	22,9	4,77	0,83
13/12/1973	76	8,6	16,1	1,87	0,58	01/09/1989	23,5	63,6	175,1	2,75	6,36
20/06/1974	11,5	3,7	12,6	3,41	0,46	18/09/1989	96	4,1	32,8	8,00	1,19
07/07/1974	25,5	4,9	25,0	5,10	0,91	22/01/1990	94	34,9	108,2	3,10	3,93
10/09/1974	23	11,5	77,6	6,75	2,82	13/03/1990	18	5,3	31,7	5,98	1,15
27/04/1975	24,5	11,2	136,0	12,14	4,94	08/04/1990	35	5,0	18,0	3,60	0,65
22/05/1975	12	4,2	13,2	3,14	0,48	30/04/1990	5,5	11,5	40,2	3,50	1,46
22/09/1975	102	7,6	69,0	9,08	2,50	28/05/1990	35	37,6	122,0	3,24	4,43
30/09/1975	24	4,1	30,5	7,44	1,11	17/07/1990	47	3,4	25,8	7,59	0,94
30/10/1975	11,5	7,3	30,5	4,18	1,11	31/03/1991	58	30,0	184,5	6,15	6,70
07/11/1975	48	4,2	23,3	5,55	0,85	11/04/1991	28	6,4	23,8	3,72	0,86
14/04/1976	41,5	7,0	14,2	2,03	0,52	30/05/1991	28	3,7	17,0	4,59	0,62
28/05/1976	18	9,2	85,4	9,28	3,10	02/06/1991	35,5	5,2	44,3	8,52	1,61
25/06/1976	36	12,9	110,5	8,57	4,01	15/06/1991	29	3,5	18,9	5,40	0,69
28/06/1976	78	22,0	197,0	8,95	7,15	01/09/1991	17	3,3	19,9	6,03	0,72
07/09/1976	36	6,0	26,5	4,42	0,96	19/10/1991	17	12,1	93,0	7,69	3,38
18/05/1977	25	26,1	150,0	5,75	5,44	09/03/1992	112	12,7	32,8	2,58	1,19
01/06/1977	89	7,2	23,3	3,24	0,85	24/05/1992	40	21,1	102,5	4,86	3,72
25/11/1977	67	5,4	14,9	2,76	0,54	22/09/1992	4	11,4	51,0	4,47	1,85
17/05/1978	25,5	11,7	75,0	6,41	2,72	07/11/1992	34	7,7	18,9	2,45	0,69
27/09/1978	18	6,7	25,8	3,85	0,94	21/10/1993	28	5,3	25,8	4,87	0,94
16/10/1978	18	17,0	81,5	4,79	2,96	04/12/1993		18,3	60,6	3,31	2,20
10/04/1979	33	12,7	60,6	4,77	2,20	08/05/1994	28	4,8	27,0	5,63	0,98
15/04/1979	29	11,1	30,5	2,75	1,11	02/08/1994	30	10,6	67,8	6,40	2,46
03/09/1979	72	16,0	138,8	8,68	5,04	27/09/1994	30,5	14,5	137,4	9,48	4,99
07/09/1979	24	3,4	16,1	4,74	0,58	02/10/1994	18	14,6	81,0	5,55	2,94
12/09/1979	24	24,1	94,6	3,93	3,43	05/10/1994	23	17,2	111,7	6,49	4,05
18/09/1979	24	28,0	127,6	4,56	4,63	12/03/1995	71	6,4	49,7	7,77	1,80
21/09/1979	29,5	7,5	51,0	6,80	1,85	06/04/1995	4,5	45,5	96,6	2,12	3,51
11/10/1979	18	7,7	24,1	3,13	0,87	10/06/1995	30,5	29,4	138,8	4,72	5,04
22/04/1981	24	11,9	127,6	10,72	4,63	21/06/1995	34	10,4	91,8	8,83	3,33
25/06/1981	30	4,8	36,1	7,52	1,31	11/07/1995	28,5	11,5	70,2	6,10	2,55
03/09/1981	26	16,9	182,3	10,79	6,62	05/09/1995	19	6,7	37,5	5,60	1,36
17/09/1981	18	6,6	60,9	9,23	2,21	22/09/1995	86	7,5	97,8	13,04	3,55
20/09/1981	24	5,1	31,5	6,18	1,14	07/10/1995	29	3,4	20,9	6,15	0,76
25/10/1981	30	3,4	23,5	6,91	0,85	15/10/1995	79,5	24,5	197,0	8,04	7,15
12/05/1982	24	7,6	81,8	10,76	2,97	30/10/1995	29	2,6	28,1	10,81	1,02
21/05/1982	48	12,9	75,5	5,85	2,74	13/01/1996	114	28,2	105,9	3,76	3,84
02/06/1982	42	17,7	221,0	12,49	8,02	06/02/1996	77,5	20,0	57,0	2,85	2,07
20/06/1982	12	9,9	62,3	6,29	2,26	12/02/1996	23,5	9,4	16,0	1,70	0,58
12/09/1982	8	11,6	48,5	4,18	1,76	29/02/1996	23,5	13,0	20,9	1,61	0,76
14/09/1982	42	28,0	216,2	7,72	7,85	10/03/1996	23	8,5	17,0	2,00	0,62
19/09/1982	12	7,6	35,0	4,61	1,27	14/03/1996	47	55,1	153,1	2,78	5,56
20/09/1982	24	5,2	19,3	3,71	0,70	20/05/1996	47,5	6,8	51,0	7,50	1,85
29/10/1982	42	11,6	70,5	6,08	2,56	17/05/1997	32	8,4	42,9	5,11	1,56
10/11/1982	78	55,3	203,3	3,68	7,38	29/06/1997	31	3,4	24,8	7,29	0,90
20/06/1983	25	4,3	29,5	6,86	1,07	22/08/1997	4	23,6	89,4	3,79	3,25

Annexe IV (suite)

Caractéristiques des principales crues de la Seybouse-Aurès (El Gueiss)

Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m ³ /s)	Qmax instantané (m ³ /s)	Qmax/Qcrue	$e = Q_{max} / \sqrt{S}$	Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m ³ /s)	Qmax instantané (m ³ /s)	Qmax/Qcrue	$A = Q_{max} / \sqrt{S}$
27/09/1969	70	5,1	14,6	2,86	1,22	10/05/1982	29,5	6,6	24,3	3,68	2,03
23/10/1969	36	3,5	10,3	2,94	0,86	12/05/1982	29	10,9	78,5	7,20	6,54
29/10/1969	72	6,8	27,3	4,01	2,28	16/05/1982	12	2,0	12,2	6,10	1,02
05/01/1970	46	3,1	10,1	3,26	0,84	26/05/1982	42	3,6	24,3	6,75	2,03
02/06/1970	11,5	3,3	20,5	6,21	1,71	28/05/1982	36	3,9	42,0	10,77	3,50
16/09/1971	24	2,3	16,2	7,04	1,35	29/10/1982	12	3,1	16,4	5,29	1,37
22/09/1971	18	3,2	34,9	10,91	2,91	11/11/1982	66	14,2	42,0	2,96	3,50
24/09/1971	12	3,3	16,7	5,06	1,39	07/08/1983	5,5	7,7	37,9	4,92	3,16
25/09/1971	30	7,5	44,0	5,87	3,67	22/08/1983	6	1,6	20,2	12,63	1,68
18/04/1972	40	13,1	36,0	2,75	3,00	11/11/1984	12	3,6	13,8	3,83	1,15
24/05/1972	40	8,2	52,6	6,41	4,38	05/05/1985	23	4,1	8,4	2,05	0,70
04/09/1972	23,5	3,7	19,7	5,32	1,64	25/09/1985	11,5	2,2	17,3	7,86	1,44
08/09/1972	11,5	6,9	32,1	4,65	2,68	27/09/1985	11,5	5,9	28,3	4,80	2,36
06/10/1972	58	9,4	65,0	6,91	5,42	08/10/1985	12	2,1	10,5	5,00	0,88
30/03/1973	64	8,9	11,6	1,30	0,97	06/03/1986	12	2,4	10,3	4,29	0,86
28/08/1973	24	6,6	31,0	4,70	2,58	03/04/1986	29	7,4	19,5	2,64	1,63
14/05/1976	15	2,8	13,4	4,79	1,12	28/05/1986	12	3,9	23,1	5,92	1,93
29/06/1976	24	6,3	42,5	6,75	3,54	08/09/1986	6	3,3	11,0	3,33	0,92
18/11/1976	59,5	5,3	17,4	3,28	1,45	13/09/1986	9	4,1	19,1	4,66	1,59
06/01/1977	11,5	4,1	13,8	3,37	1,15	30/09/1986	12	2,5	9,5	3,80	0,79
20/04/1977	55	4,3	9,4	2,19	0,78	06/06/1987	11	7,7	25,7	3,34	2,14
15/08/1978	17,5	11,6	44,7	3,85	3,73	06/07/1987	15	4,1	29,5	7,20	2,46
24/08/1978	24	8,7	79,0	9,08	6,58	03/09/1987	12	1,8	10,3	5,72	0,86
03/09/1979	11,5	3,1	27,0	8,71	2,25	19/05/1988	9	6,7	35,8	5,34	2,98
12/09/1979	12	6,0	34,5	5,75	2,88	08/06/1988	15	5,4	15,9	2,94	1,33
18/09/1979	12	4,6	41,0	8,91	3,42	15/03/1991	46	9,4	19,8	2,11	1,65
20/09/1979	12	4,3	16,3	3,79	1,36	31/03/1991	46	6,0	11,7	1,95	0,98
05/03/1980	36	7,7	17,3	2,25	1,44	28/05/1991	35	8,7	103,6	11,91	8,63
23/06/1981	5,5	3,8	18,7	4,92	1,56	30/05/1991	17	10,7	44,9	4,20	3,74
25/06/1981	12	4,3	25,7	5,98	2,14	30/08/1991	5	4,6	16,4	3,57	1,37
01/09/1981	12	3,6	29,3	8,14	2,44	03/09/1991	6	3,8	9,5	2,50	0,79
03/09/1981	30	4,7	29,7	6,32	2,48	28/09/1991	6	3,1	9,7	3,13	0,81
18/09/1981	24	3,5	28,9	8,26	2,41	07/03/1992	52	12,0	16,1	1,34	1,34
01/04/1982	11,5	4,3	23,3	5,42	1,94	31/07/1994	6	1,8	44,9	24,94	3,74
15/04/1982	41	8,1	19,8	2,44	1,65	01/05/1996	23,5	2,3	8,4	3,65	0,70
18/04/1982	18	3,6	17,0	4,72	1,42	19/05/1997	5	3,1	11,0	3,55	0,92

Annexe IV (suite)

Caractéristiques des principales crues de la Seybouse-Aurès (Medjez A. II)

Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m³/s)	Qmax instantané (m³/s)	Qmax/Qcrue	$e = Q_{max}/\sqrt{S}$	Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m³/s)	Qmax instantané (m³/s)	Qmax/Qcrue	$A = Q_{max}/\sqrt{S}$
27-sept-69	88	7,3	43,7	5,99	1,31	07-mars-82	64	31,1	80,5	2,59	2,42
14-oct-69	64	9,6	49,1	5,11	1,48	21-mars-82	64	20,3	53,8	2,65	1,62
22-oct-69	78	6,6	26,9	4,08	0,81	01-avr-82	88	22,6	80,5	3,56	2,42
21-déc-69	106	6,4	30,7	4,80	0,92	20-avr-82	36	42,7	136,0	3,19	4,09
24-déc-69	46	198,1	865,6	4,37	26,04	12-nov-82	42	14,1	31,7	2,25	0,95
02-févr-70	65	5,3	14,6	2,75	0,44	28-nov-82	30	22,6	32,3	1,43	0,97
03-mars-70	142	10,1	32,9	3,26	0,99	19-déc-82	17	11,0	12,5	1,14	0,38
16-mars-70	150	20,3	106,8	5,26	3,21	23-déc-82	95	23,7	39,8	1,68	1,20
11-avr-70	71	8,7	19,0	2,18	0,57	27-déc-82	71	35,3	60,4	1,71	1,82
22-avr-70	53	40,7	160,2	3,94	4,82	06-janv-84	41	11,1	21,4	1,93	0,64
16-janv-71	66	10,2	37,7	3,70	1,13	13-janv-84	167	48,9	147,6	3,02	4,44
10-févr-71	118	36,0	102,4	2,84	3,08	03-févr-84	119	197,0	1364,5	6,93	41,05
20-févr-71	46	9,5	20,7	2,18	0,62	30-déc-84	96	414,5	961,0	2,32	28,91
24-févr-71	94	8,8	18,1	2,06	0,54	30-janv-85	70	10,8	25,6	2,37	0,77
29-mars-71	88	18,9	86,4	4,57	2,60	13-févr-85	95	8,8	18,5	2,10	0,56
11-avr-71	88	28,8	94,2	3,27	2,83	19-mars-85	23	14,3	16,8	1,17	0,51
25-sept-71	100	16,9	155,4	9,20	4,67	21-mars-85	22	15,0	21,5	1,43	0,65
03-oct-71	130	14,1	64,2	4,55	1,93	25-mars-85	46	12,6	18,5	1,47	0,56
11-janv-72	65	7,4	18,5	2,50	0,56	29-mars-85	94	18,3	38,0	2,08	1,14
20-janv-72	292	55,7	191,0	3,43	5,75	16-avr-85	71	8,9	19,9	2,24	0,60
26-févr-72	70	6,5	18,1	2,78	0,54	08-mars-86	72	8,5	16,3	1,92	0,49
03-mars-72	95	10,6	39,1	3,69	1,18	30-sept-86	51	17,0	45,3	2,66	1,36
10-mars-72	164	21,3	69,0	3,24	2,08	08-oct-86	15	7,7	21,2	2,75	0,64
13-avr-72	148	27,0	94,2	3,49	2,83	24-nov-86	99	16,1	50,3	3,12	1,51
21-avr-72	70	8,6	17,0	1,98	0,51	18-déc-86	60	9,6	17,5	1,82	0,53
28-avr-72	262	8,8	41,0	4,66	1,23	27-déc-86	149	60,6	227,0	3,75	6,83
08-oct-72	42	4,9	20,7	4,22	0,62	05-janv-87	84	17,3	36,0	2,08	1,08
24-janv-73	166	98,2	400,0	4,07	12,03	11-janv-87	45	17,3	42,4	2,45	1,28
27-févr-73	71	16,3	42,1	2,58	1,27	18-janv-87	101	19,0	36,7	1,93	1,10
04-mars-73	70	30,7	68,2	2,22	2,05	06-févr-87	142	65,4	299,0	4,57	8,99
13-mars-73	70	32,0	66,6	2,08	2,00	13-févr-87	426	41,4	230,0	5,56	6,92
17-mars-73	46	24,2	43,2	1,79	1,30	10-mars-87	84	15,5	32,1	2,07	0,97
24-mars-73	22	8,7	11,1	1,28	0,33	31-mars-87	156	31,2	80,3	2,57	2,42
27-mars-73	120	221,6	935,8	4,22	28,15	13-avr-87	75	24,2	62,9	2,60	1,89
19-avr-73	58	10,5	18,9	1,80	0,57	05-nov-90	30	10,0	14,1	1,41	0,42
18-févr-75	95	20,6	89,3	4,33	2,69	16-nov-90	12	6,6	13,3	2,02	0,40
08-févr-76	94	21,9	57,0	2,60	1,71	24-déc-90	15	9,3	18,5	1,99	0,56
15-mars-76	166	24,4	52,2	2,14	1,57	25-mai-92	9	8,3	13,4	1,61	0,40
22-oct-76	46	12,0	37,0	3,08	1,11	05-nov-92	42	14,7	56,4	3,84	1,70
18-nov-76	142	100,4	491,7	4,90	14,79	31-déc-92	63	172,5	493,2	2,86	14,84
30-avr-77	58	7,3	62,1	8,51	1,87	13-janv-93	23	14,9	16,8	1,13	0,51
18-mai-77	46	16,6	57,9	3,49	1,74	05-déc-93	9	6,9	17,4	2,52	0,52
05-févr-78	154	18,4	49,0	2,66	1,47	07-févr-94	17	9,1	14,5	1,59	0,44
14-févr-78	58	7,1	15,2	2,14	0,46	19-févr-94	23	16,2	18,5	1,14	0,56
05-mars-79	78	7,4	16,2	2,19	0,49	30-juil-94	11,5	11,2	14,1	1,26	0,42
16-avr-79	144	88,5	336,4	3,80	10,12	01-août-94	9	4,1	13,7	3,34	0,41
06-mars-80	59	13,0	32,7	2,52	0,98	08-août-94	30,5	14,0	15,2	1,09	0,46
01-oct-80	54	6,1	21,8	3,57	0,66	09-janv-95	23,5	8,1	12,3	1,52	0,37
20-déc-80	155	20,1	58,7	2,92	1,77	12-janv-95	23	13,5	15,6	1,16	0,47
31-déc-80	82	44,4	174,9	3,94	5,26	14-janv-95	47	20,6	27,9	1,35	0,84
08-janv-81	47,5	16,8	44,8	2,67	1,35	20-janv-95	23	41,5	56,8	1,37	1,71
16-janv-81	239	20,8	77,2	3,71	2,32	22-janv-95	71	38,1	68,2	1,79	2,05
21-janv-81	46	29,5	52,2	1,77	1,57	11-févr-95	18	11,3	16,0	1,42	0,48
29-janv-81	72	9,4	22,8	2,43	0,69	07-mars-95	11	12,6	14,1	1,12	0,42
05-févr-81	112	18,1	34,7	1,92	1,04	17-avr-95	21	12,8	15,1	1,18	0,45
17-févr-81	54	10,6	23,4	2,21	0,70	08-févr-96	36	7,4	15,6	2,11	0,47
22-févr-81	84	20,3	44,1	2,17	1,33	17-févr-96	29	9,1	15,6	1,71	0,47
29-janv-82	47	27,4	57,0	2,08	1,71	28-févr-96	95	21,0	39,6	1,89	1,19
21-févr-82	52	19,4	52,2	2,69	1,57	14-mars-96	47	22,8	31,4	1,38	0,94
27-févr-82	47	20,1	37,7	1,88	1,13	23-mars-96	18	14,2	19,9	1,40	0,60

Annexe IV (suite)

Caractéristiques des principales crues de la Seybouse-Aurès (Mirebek)

Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m ³ /s)	Qmax instantané (m ³ /s)	Qmax/Qcrue	$e = Q_{max}/\sqrt{S}$	Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m ³ /s)	Qmax instantané (m ³ /s)	Qmax/Qcrue	$A = Q_{max}/\sqrt{S}$
13-déc-68	46	13,1	27,0	2,06	0,35	06-juin-73	94	21,9	34,1	1,56	0,44
04-janv-69	94	11,4	25,2	2,21	0,33	27-févr-74	166	18,6	26,1	1,40	0,34
12-janv-69	70	18,0	45,3	2,52	0,59	02-avr-74	94	26,9	67,1	2,49	0,87
17-janv-69	70	26,5	44,7	1,69	0,58	15-avr-74	46	17,5	28,6	1,63	0,37
08-avr-69	100	14,8	40,7	2,75	0,53	25-avr-74	118	25,7	76,7	2,98	0,99
26-sept-69	130	113,5	405,0	3,57	5,25	18-févr-75	166	116,5	573,7	4,92	7,43
04-oct-69	46	18,8	47,4	2,52	0,61	23-mars-75	142	22,8	70,5	3,09	0,91
11-oct-69	22	15,3	28,1	1,84	0,36	01-avr-75	64	11,2	15,2	1,36	0,20
16-oct-69	70	16,0	26,1	1,63	0,34	24-avr-75	76	17,2	37,9	2,20	0,49
26-oct-69	94	17,7	38,1	2,15	0,49	26-mai-75	70	10,3	28,3	2,75	0,37
30-oct-69	46	27,4	67,1	2,45	0,87	26-sept-75	70	9,3	20,5	2,20	0,27
03-déc-69	58	13,5	19,2	1,42	0,25	23-nov-75	58	12,5	17,4	1,39	0,23
10-déc-69	166	48,8	117,4	2,41	1,52	09-févr-76	142	26,8	61,8	2,31	0,80
17-déc-69	46	28,8	37,8	1,31	0,49	16-févr-76	29	21,3	26,7	1,25	0,35
25-déc-69	262	117,3	798,4	6,81	10,35	18-févr-76	46	15,2	21,0	1,38	0,27
06-janv-70	22	24,3	26,4	1,09	0,34	18-mars-76	268	56,9	162,0	2,85	2,10
17-janv-70	94	27,3	42,5	1,56	0,55	28-mars-76	142	20,5	42,5	2,07	0,55
22-janv-70	22	14,9	17,1	1,15	0,22	12-avr-76	94	16,5	22,2	1,35	0,29
01-févr-70	22	14,4	17,1	1,19	0,22	17-mai-76	70	33,5	78,4	2,34	1,02
03-févr-70	70	21,2	32,7	1,54	0,42	21-mai-76	70	28,4	54,4	1,92	0,70
04-mars-70	190	27,7	53,8	1,94	0,70	02-juil-76	70	35,7	98,8	2,77	1,28
14-mars-70	46	34,0	49,2	1,45	0,64	08-juil-76	83	12,8	28,1	2,20	0,36
17-mars-70	118	65,2	151,4	2,32	1,96	04-oct-86	120	18,0	36,1	2,01	0,47
03-avr-70	46	15,9	20,8	1,31	0,27	09-oct-86	71	22,9	49,9	2,18	0,65
11-avr-70	94	60,7	226,4	3,73	2,93	28-oct-86	54	15,7	57,5	3,66	0,75
22-avr-70	118	180,2	699,0	3,88	9,06	26-nov-86	197	47,5	136,8	2,88	1,77
21-mai-70	46	15,8	23,5	1,49	0,30	18-déc-86	120	29,4	66,6	2,27	0,86
08-janv-71	23	15,2	18,3	1,20	0,24	28-déc-86	263	124,7	445,4	3,57	5,77
20-janv-71	70	28,6	47,7	1,67	0,62	05-janv-87	263	53,0	175,0	3,30	2,27
05-févr-71	22	20,1	26,1	1,30	0,34	19-janv-87	143	42,7	82,7	1,94	1,07
11-févr-71	95	131,1	395,0	3,01	5,12	14-févr-87	672	99,89	679,4	6,80	8,80
20-févr-71	46	37,5	57,1	1,52	0,74	11-mars-87	144	72,0	203,4	2,83	2,64
25-févr-71	94	58,8	98,0	1,67	1,27	23-mars-87	119	28,2	44,1	1,56	0,57
03-mars-71	23	47,2	57,7	1,22	0,75	02-avr-87	239	60,0	136,8	2,28	1,77
22-mars-71	47	20,3	26,4	1,30	0,34	15-avr-87	239	51,1	187,8	3,68	2,43
30-mars-71	71	81,4	166,6	2,05	2,16	29-mai-87	136	16,2	33,1	2,04	0,43
11-avr-71	94	91,7	208,4	2,27	2,70	10-mars-88	42	11,1	15,3	1,38	0,20
09-mai-71	23	13,4	18,6	1,39	0,24	23-déc-88	119	22,1	72,4	3,28	0,94
13-mai-71	47	23,4	31,3	1,34	0,41	16-févr-89	119	26,2	114,6	4,37	1,49
16-mai-71	22	29,0	35,4	1,22	0,46	23-mars-89	119	8,1	19,1	2,36	0,25
19-sept-71	70	19,1	24,4	1,28	0,32	06-janv-90	108	20,2	64,7	3,20	0,84
25-sept-71	118	14,4	39,6	2,75	0,51	14-janv-90	102	13,3	21,8	1,64	0,28
03-oct-71	166	87,8	312,5	3,56	4,05	24-janv-90	143	30,1	83,4	2,77	1,08
11-oct-71	22	7,6	12,1	1,59	0,16	13-mai-90	66	13,5	31,8	2,36	0,41
12-janv-72	88	10,1	22,2	2,20	0,29	23-mai-90	54	10,2	15,6	1,53	0,20
21-janv-72	312	140,9	476,0	3,38	6,17	20-juil-90	119	6,1	24,1	3,95	0,31
13-févr-72	46	23,4	30,0	1,28	0,39	06-août-90	179	27,9	122,5	4,39	1,59
19-févr-72	70	23,8	31,6	1,33	0,41	11-nov-90	40	32,1	32,1	1,00	0,42
11-mars-72	382	24,6	73,0	2,97	0,95	17-nov-90	142	71,6	207,8	2,90	2,69
18-mars-72	46	16,3	19,8	1,21	0,26	14-déc-90	17,5	21,4	26,3	1,23	0,34
26-mars-72	47	15,7	23,2	1,48	0,30	25-déc-90	232	130,6	395,6	3,03	5,13
28-mars-72	46	15,2	17,4	1,14	0,23	14-janv-91	76	17,6	33,3	1,89	0,43
31-mars-72	23	20,9	30,8	1,47	0,40	27-janv-91	262	151,8	445,4	2,93	5,77
13-avr-72	310	74,9	244,0	3,26	3,16	05-févr-91	46	18,0	20,9	1,16	0,27
28-avr-72	142	36,7	86,7	2,36	1,12	16-févr-91	286	40,7	94,3	2,32	1,22
03-mai-72	238	32,3	82,8	2,56	1,07	03-mars-91	70	28,3	58,8	2,08	0,76
08-oct-72	94	13,4	42,0	3,13	0,54	16-mars-91	214	183,6	681,4	3,71	8,83
31-déc-72	214	29,8	106,4	3,57	1,38	25-mars-91	23	33,8	41,0	1,21	0,53
26-janv-73	216	247,7	746,0	3,01	9,67	27-mars-91	22	22,0	22,5	1,02	0,29
06-févr-73	118	39,5	67,1	1,70	0,87	01-avr-91	94	83,9	186,1	2,22	2,41
12-févr-73	118	28,2	33,5	1,19	0,43	06-avr-91	94	64,9	119,1	1,84	1,54
20-févr-73	23	25,5	28,3	1,11	0,37	11-avr-91	70	39,5	54,8	1,39	0,71
05-mars-73	358	62,7	135,2	2,16	1,75	26-avr-91	46	20,5	27,8	1,36	0,36
28-mars-73	718	180,4	1306,8	7,24	16,93	15-mai-91	46	16,3	32,4	1,99	0,42
19-avr-73	118	62,5	98,0	1,57	1,27	02-juin-91	94	17,7	33,9	1,92	0,44

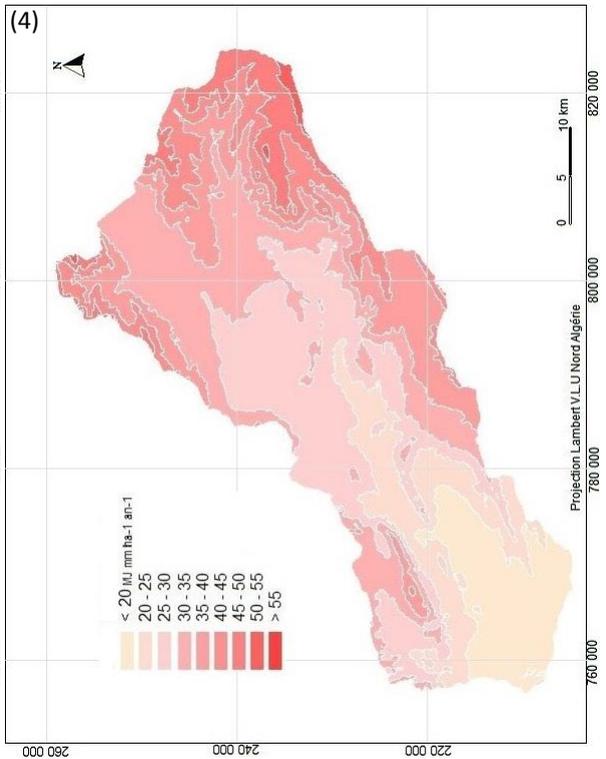
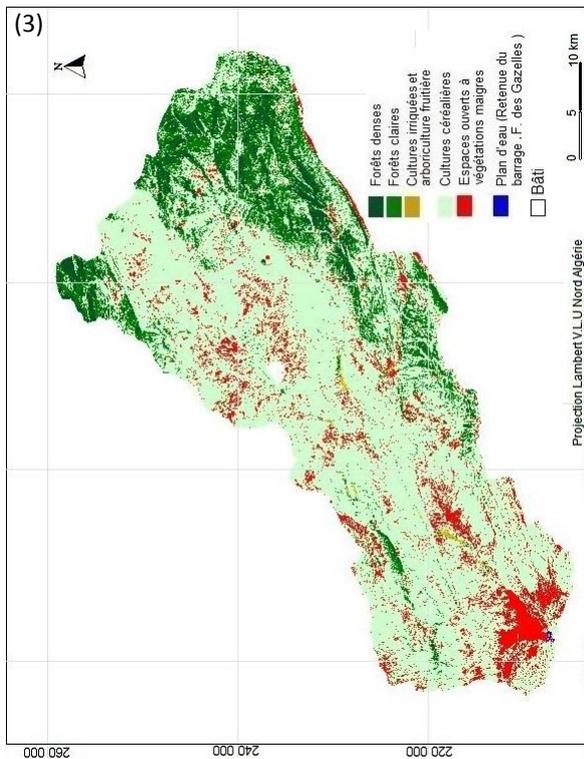
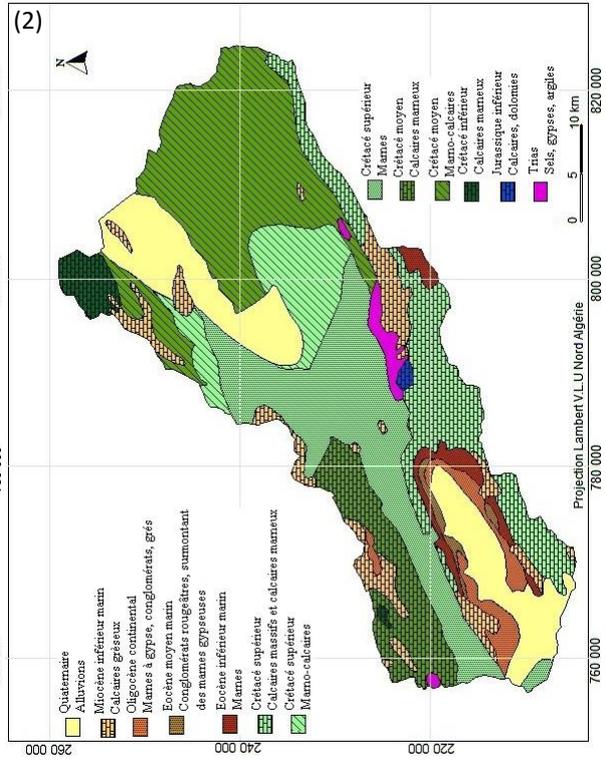
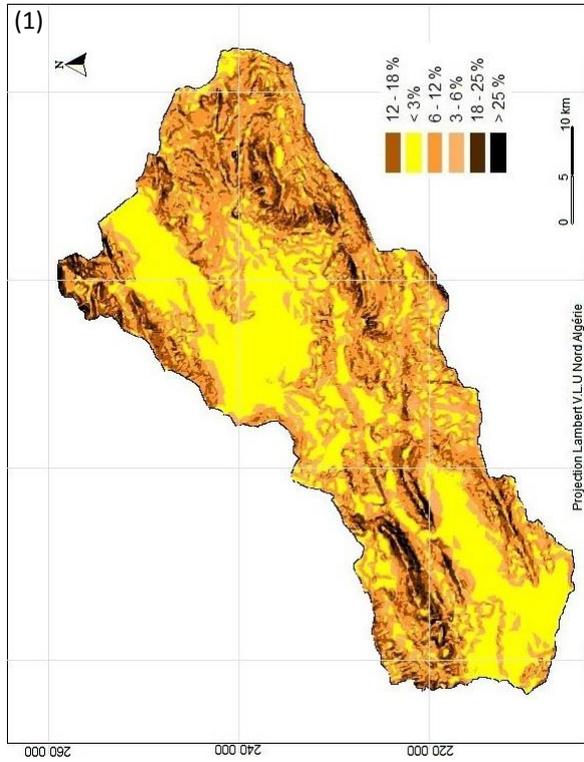
Annexe IV (suite)

Caractéristiques des principales crues de la Seybouse-Aurès (Ain El Berda)

Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m ³ /s)	Qmax instantané (m ³ /s)	Qmax/Qcrue	$e = Q_{max}/\sqrt{S}$	Date du maximum	Durée (h)	Qcrue (m ³ /s)	Qmax instantané (m ³ /s)	Qmax/Qcrue	$A = Q_{max}/\sqrt{S}$
27-sept-69	12	3,1	11,6	3,74	1,14	03-févr-84	118	26,6	166,0	6,24	16,36
14-oct-69	15	6,2	50,5	8,15	4,98	13-févr-84	114	7,3	27,7	3,79	2,73
28-oct-69	6	2,2	12,3	5,59	1,21	17-févr-84	54	5,8	11,6	2,00	1,14
08-déc-69	21	3,0	10,6	3,53	1,04	23-févr-84	27	6,4	26,6	4,16	2,62
21-déc-69	24	3,9	16,1	4,13	1,59	07-mars-84	102	9,1	76,5	8,41	7,54
24-déc-69	124	15,0	115,6	7,71	11,39	29-mars-84	18	6,0	20,4	3,40	2,01
17-mars-70	24	3,9	14,2	3,64	1,40	13-oct-84	21	8,0	28,0	3,50	2,76
11-avr-70	30	8,3	37,5	4,52	3,69	18-oct-84	18	5,0	24,6	4,92	2,42
22-avr-70	56	18,4	98,0	5,33	9,66	22-oct-84	12	4,7	14,5	3,09	1,43
10-févr-71	71	16,1	56,5	3,51	5,57	23-déc-84	36	4,3	14,8	3,44	1,46
24-févr-71	29,5	6,1	22,3	3,66	2,20	30-déc-84	60	27,0	80,0	2,96	7,88
29-mars-71	24	5,7	13,6	2,39	1,34	17-janv-85	24	6,5	16,7	2,57	1,65
10-avr-71	35	4,2	17,7	4,21	1,74	13-févr-85	30	9,1	27,7	3,04	2,73
03-oct-71	44,5	5,5	31,5	5,73	3,10	06-mars-85	78	9,9	19,5	1,97	1,92
05-oct-71	9	2,6	13,6	5,23	1,34	29-mars-85	12	8,2	20,4	2,49	2,01
07-déc-71	12	3,4	24,6	7,24	2,42	25-nov-86	21	7,9	27,3	3,46	2,69
20-janv-72	24	9,4	43,1	4,59	4,25	27-déc-86	120	8,4	28,3	3,37	2,79
24-janv-72	72	6,0	32,3	5,38	3,18	04-janv-87	21	10,3	31,8	3,09	3,13
26-janv-72	60	6,3	23,0	3,65	2,27	06-févr-87	18	10,9	51,1	4,69	5,04
10-mars-72	36	5,8	47,6	8,21	4,69	13-févr-87	39	19,8	71,6	3,62	7,05
11-avr-72	18	4,0	15,5	3,88	1,53	20-févr-87	18	6,1	12,2	2,00	1,20
13-avr-72	42	5,2	16,9	3,25	1,67	23-févr-87	39	8,9	17,8	2,00	1,75
27-avr-72	30	2,8	11,6	4,14	1,14	26-févr-87	33	10,6	44,0	4,15	4,34
31-déc-72	18	3,2	11,6	3,63	1,14	10-mars-87	24	11,3	36,2	3,20	3,57
25-janv-73	136	15,8	73,0	4,62	7,19	31-mars-87	60	11,6	33,8	2,91	3,33
03-mars-73	42	9,6	73,0	7,60	7,19	22-déc-88	48	13,5	54,1	4,01	5,33
27-mars-73	145	33,0	137,2	4,16	13,52	15-févr-89	20	4,1	10,4	2,54	1,02
04-juin-73	15	1,7	10,3	6,06	1,01	02-déc-89	21	2,9	10,2	3,52	1,01
17-févr-75	47	6,0	23,0	3,83	2,27	05-janv-90	42	5,9	24,5	4,15	2,41
22-mars-75	24	2,8	11,8	4,21	1,16	25-déc-90	108	10,9	40,1	3,68	3,95
17-mars-76	111	3,7	14,7	3,97	1,45	28-déc-90	24	4,3	10,9	2,53	1,07
21-oct-76	33	9,2	25,3	2,75	2,49	14-janv-91	24	4,6	13,2	2,87	1,30
18-nov-76	111	14,98	102,4	6,84	10,09	27-janv-91	78	9,6	43,6	4,54	4,30
04-févr-78	40	8,5	43,1	5,07	4,25	14-févr-91	57	8,7	27,6	3,17	2,72
03-avr-78	30	3,7	12,8	3,46	1,26	15-mars-91	78	11,7	59,8	5,11	5,89
16-avr-79	120	14,7	93,5	6,36	9,21	19-mars-91	54	8,4	32,2	3,83	3,17
07-janv-80	21	3,5	10,6	3,03	1,04	31-mars-91	72	3,8	13,0	3,42	1,28
18-déc-80	39	5,8	13,1	2,26	1,29	06-avr-91	54	6,2	21,3	3,44	2,10
25-déc-80	5,5	6,9	15,6	2,26	1,54	10-avr-92	102	7,9	33,0	4,18	3,25
30-déc-80	24	13,2	23,2	1,76	2,29	18-avr-92	21	9,3	26,6	2,86	2,62
22-févr-81	21	10,1	32,5	3,22	3,20	25-mai-92	36	11,9	32,2	2,71	3,17
09-janv-82	36	5,6	21,9	3,91	2,16	04-nov-92	66	20,6	169,6	8,23	16,71
27-févr-82	15	5,5	10,6	1,93	1,04	29-déc-92	38,5	13,2	32,2	2,44	3,17
06-mars-82	30	6,4	11,6	1,81	1,14	31-déc-92	48	16,1	45,9	2,85	4,52
17-mars-82	24	4,8	18,7	3,90	1,84	06-janv-93	108	6,3	14,2	2,25	1,40
19-avr-82	30	4,7	21,2	4,51	2,09	06-mai-93	18	3,9	10,9	2,79	1,07
11-nov-82	33	7,4	33,6	4,54	3,31	26-déc-93	21	3,0	10,4	3,47	1,02
28-nov-82	24	10,6	63,5	5,99	6,26	20-janv-94	36	4,5	12,7	2,82	1,25
19-déc-82	48	5,9	16,2	2,75	1,60	19-févr-94	24	9,4	19,0	2,02	1,87
26-déc-82	24	8,0	18,4	2,30	1,81	08-janv-95	114	17,9	109,0	6,09	10,74
09-janv-83	36	5,6	21,9	3,91	2,16	13-janv-95	84	8,0	17,0	2,13	1,68
17-mars-83	30	4,0	18,7	4,68	1,84	15-mars-95	24	4,1	10,4	2,54	1,02
02-nov-83	24	3,2	18,1	5,66	1,78	11-janv-96	24	3,9	13,0	3,33	1,28
07-nov-83	15	25,1	76,5	3,05	7,54	08-févr-96	72	12,1	36,2	2,99	3,57
01-janv-84	99	11,9	32,5	2,73	3,20	27-févr-96	61	7,7	15,5	2,01	1,53
06-janv-84	54	5,9	26,0	4,41	2,56	14-mars-96	33	11,1	19,3	1,74	1,90
13-janv-84	105	10,6	38,1	3,59	3,75	29-avr-96	54	18,1	146,1	8,07	14,40
16-janv-84	24	6,5	16,7	2,57	1,65	06-mai-96	11,5	8,9	18,1	2,03	1,78
24-janv-84	24	3,4	10,3	3,03	1,01						

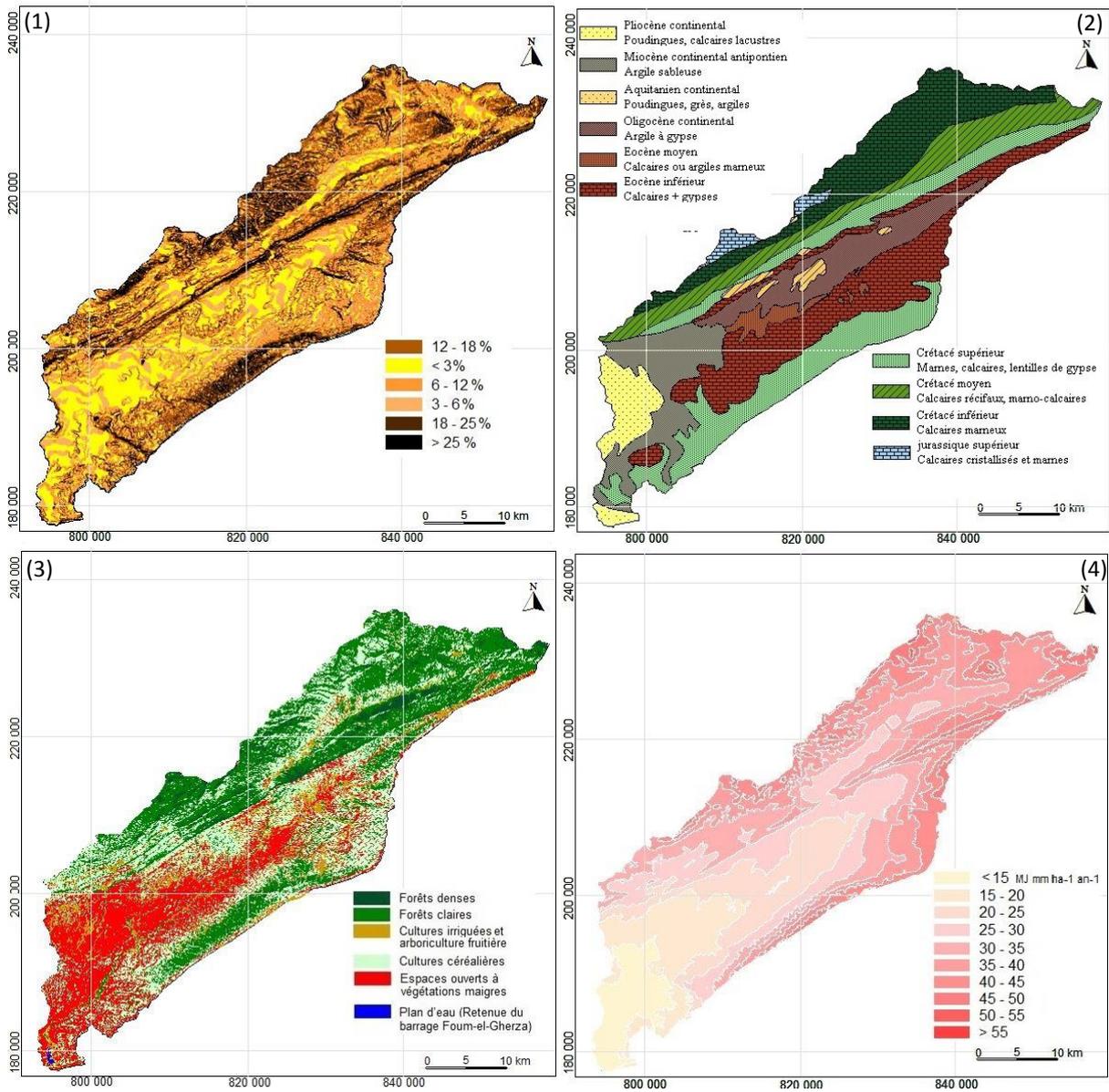
Annexe V

Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif : (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité (Bassin de l'Oued El Hai)



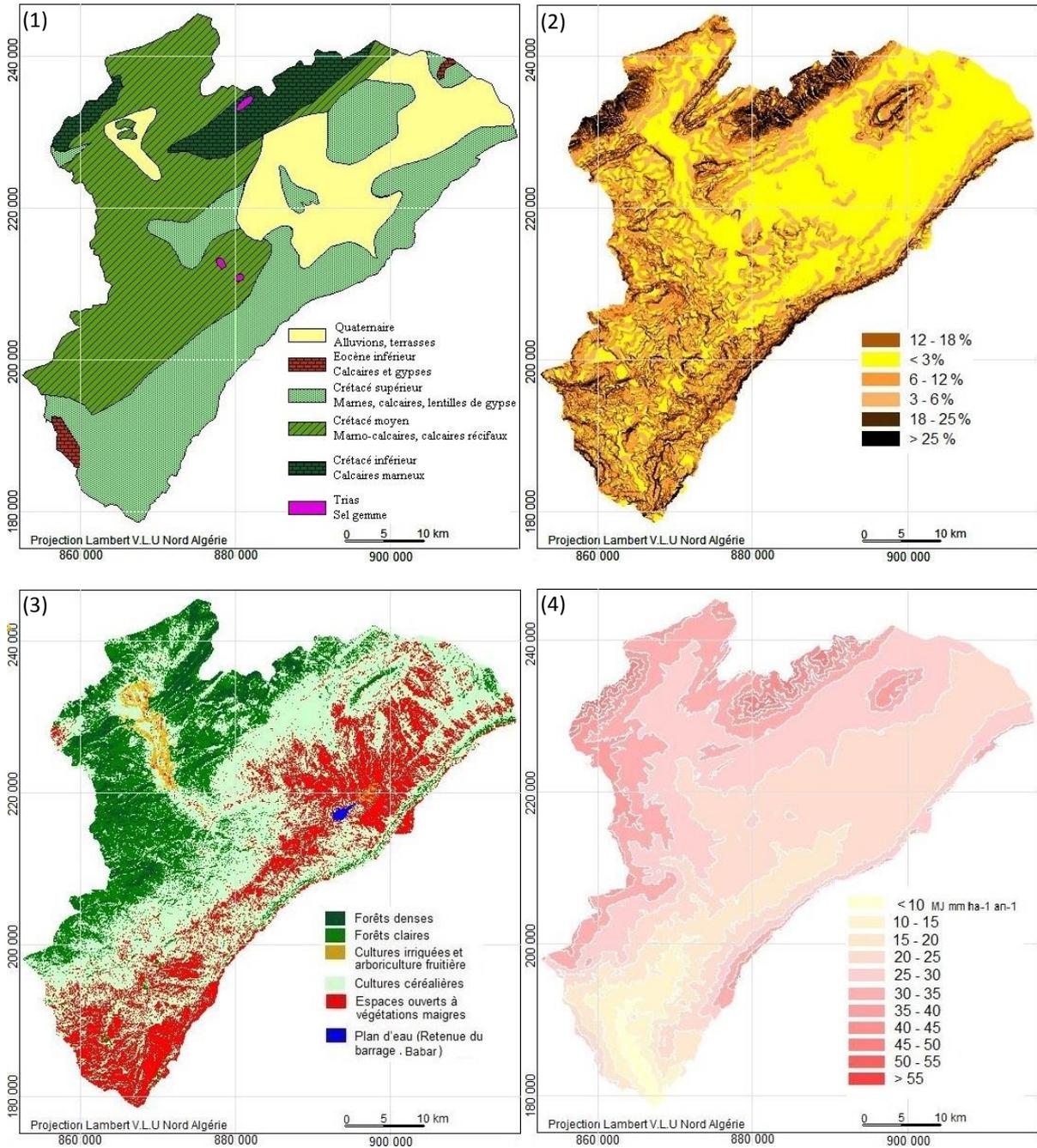
Annexe V (suite)

Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif : (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité (Bassin de l'Oued El Abiod)



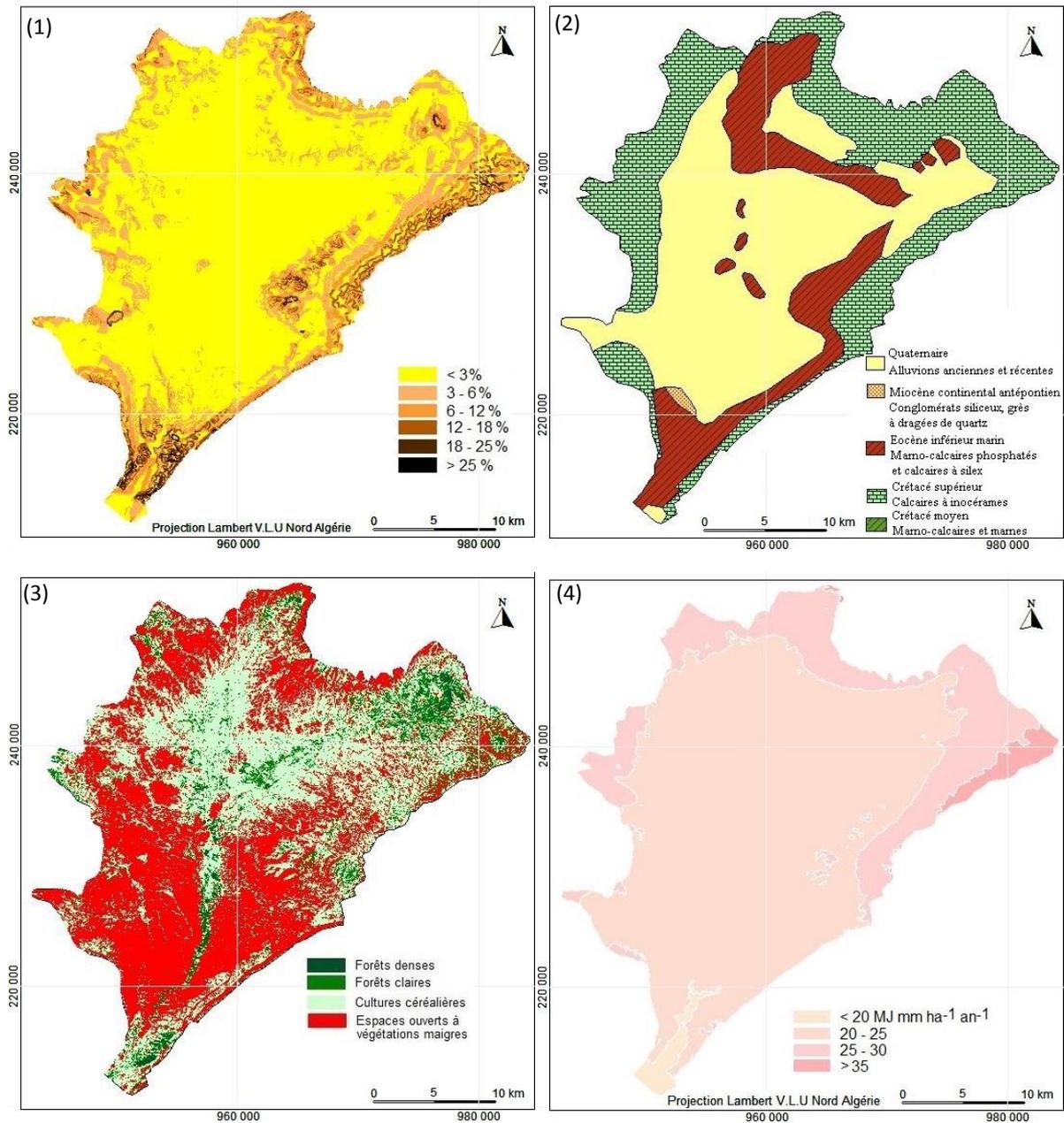
Annexe V (suite)

Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif : (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité (Bassin de l'Oued El Arab)



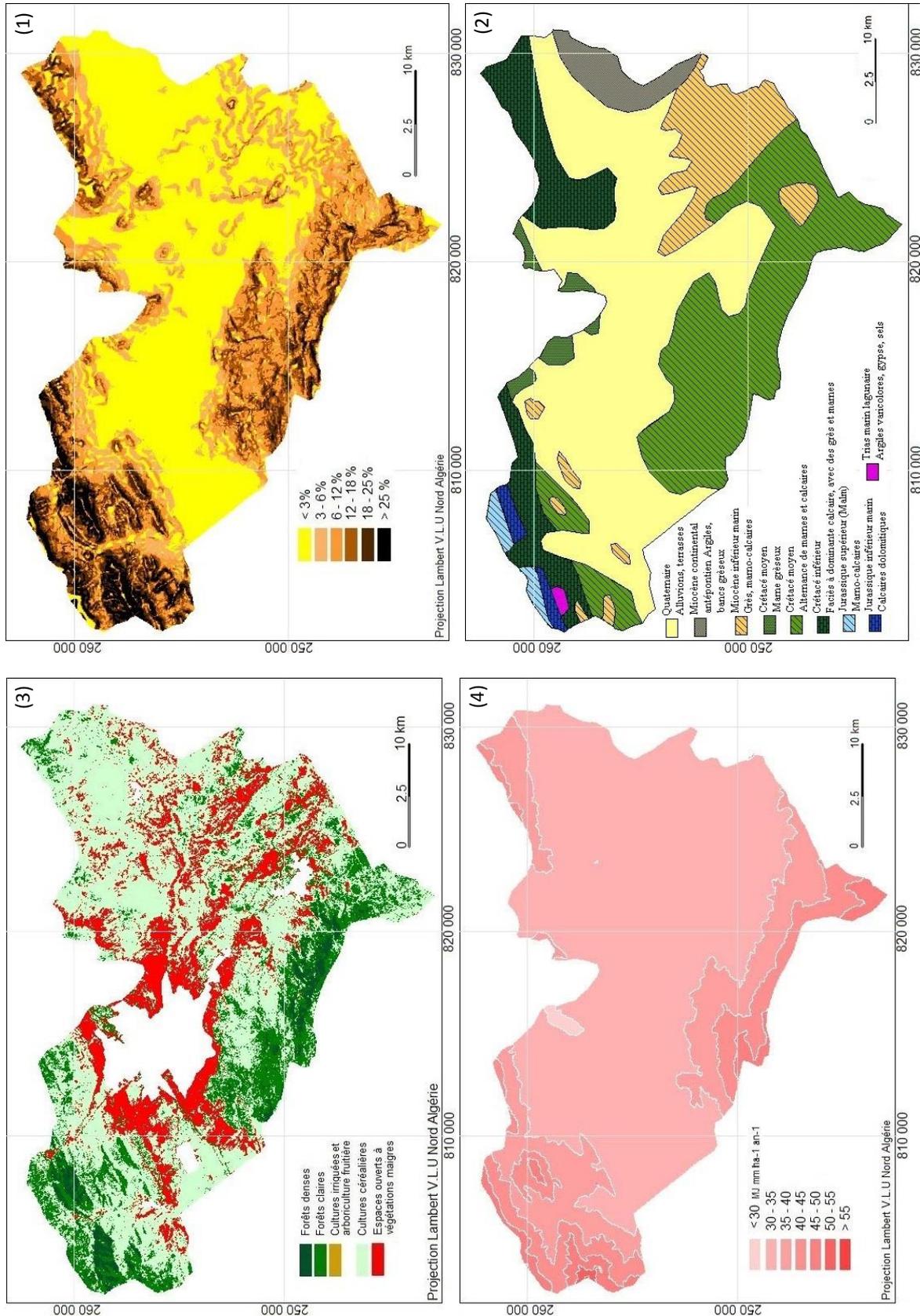
Annexe V (suite)

Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif : (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité (Bassin de Chéria)



Annexe V (suite)

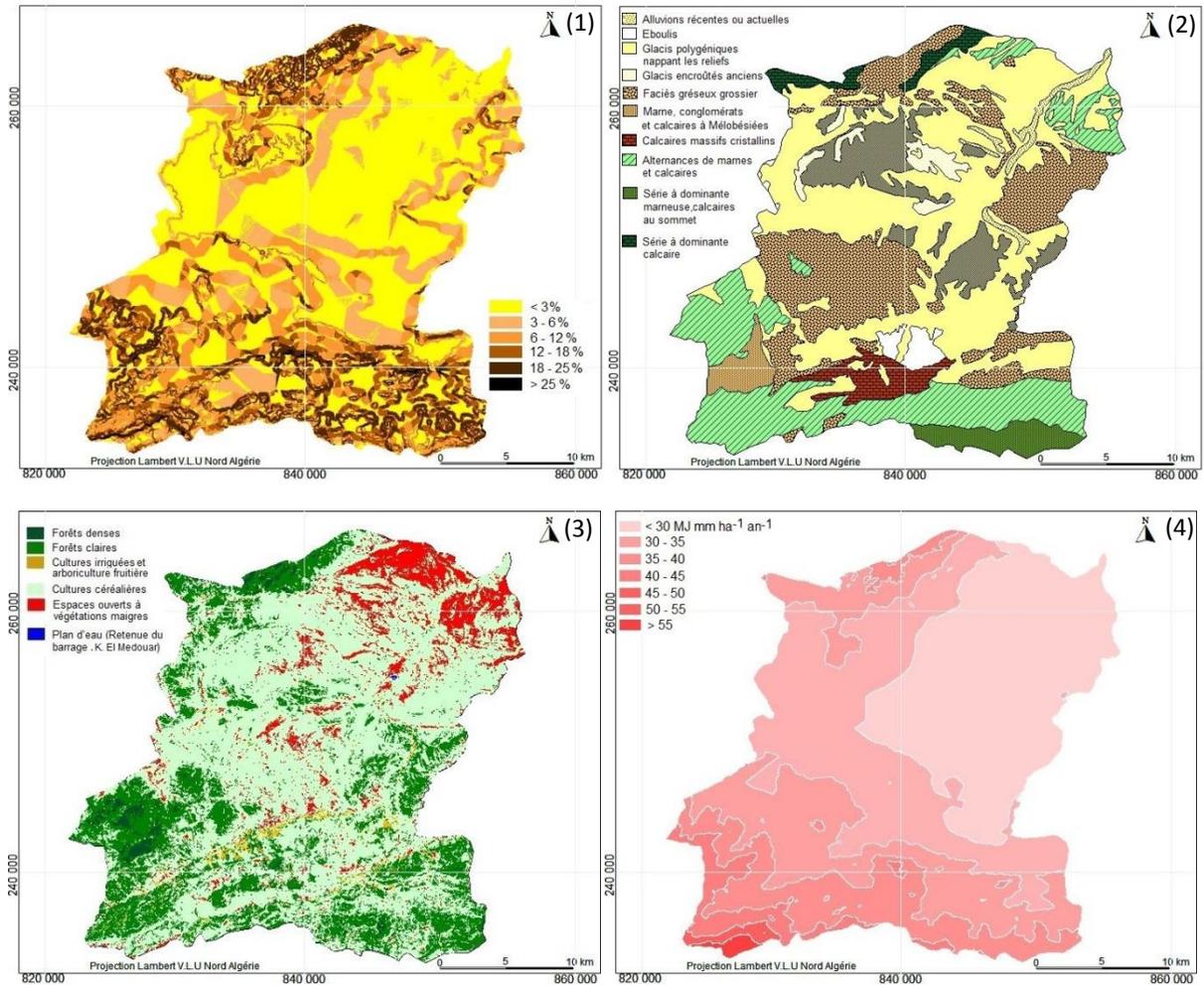
Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif : (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité (Bassin de l'Oued Fesdis)



Annexe V (suite)

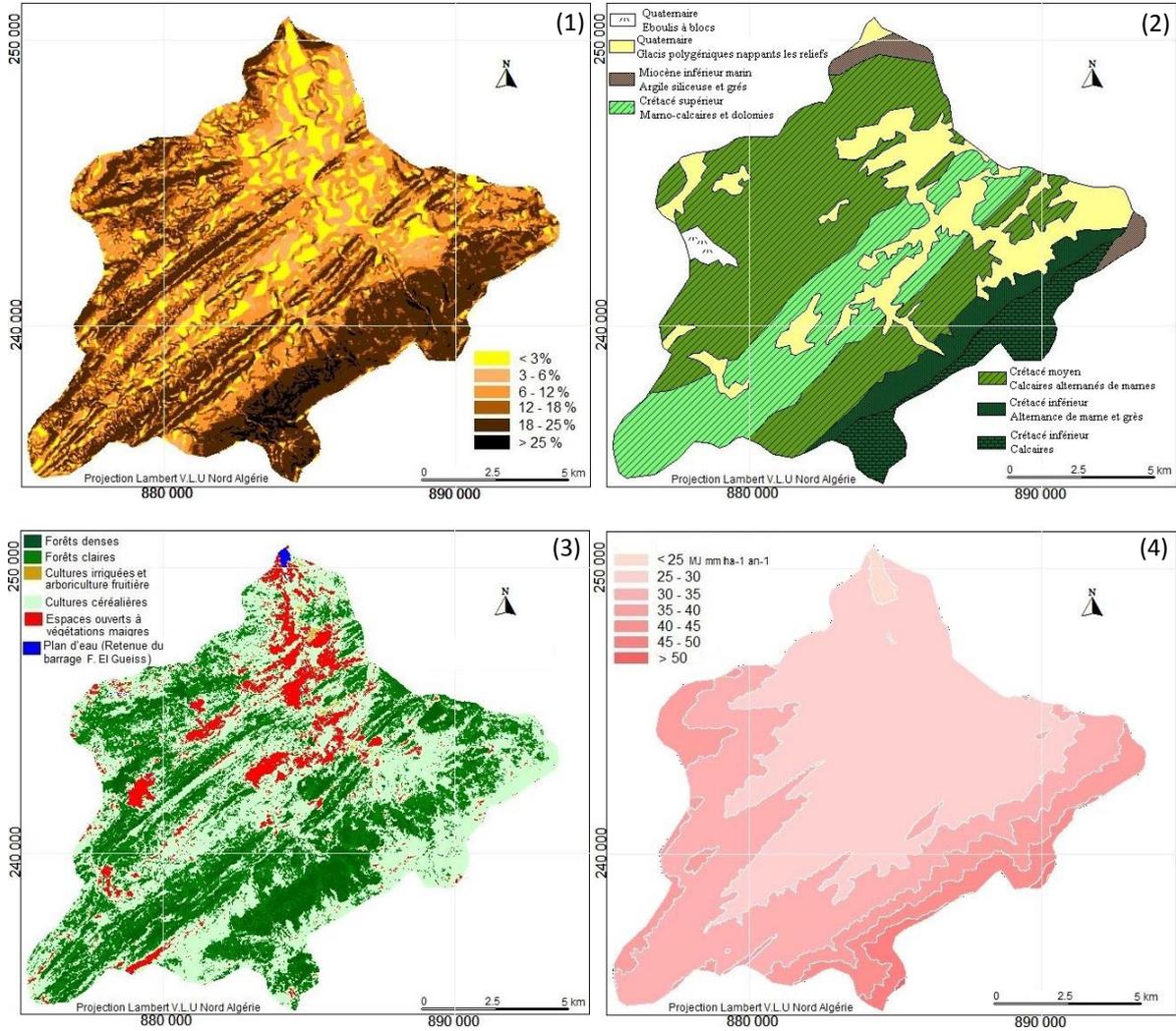
Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif : (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité

(Bassin de l'Oued Chemoura)



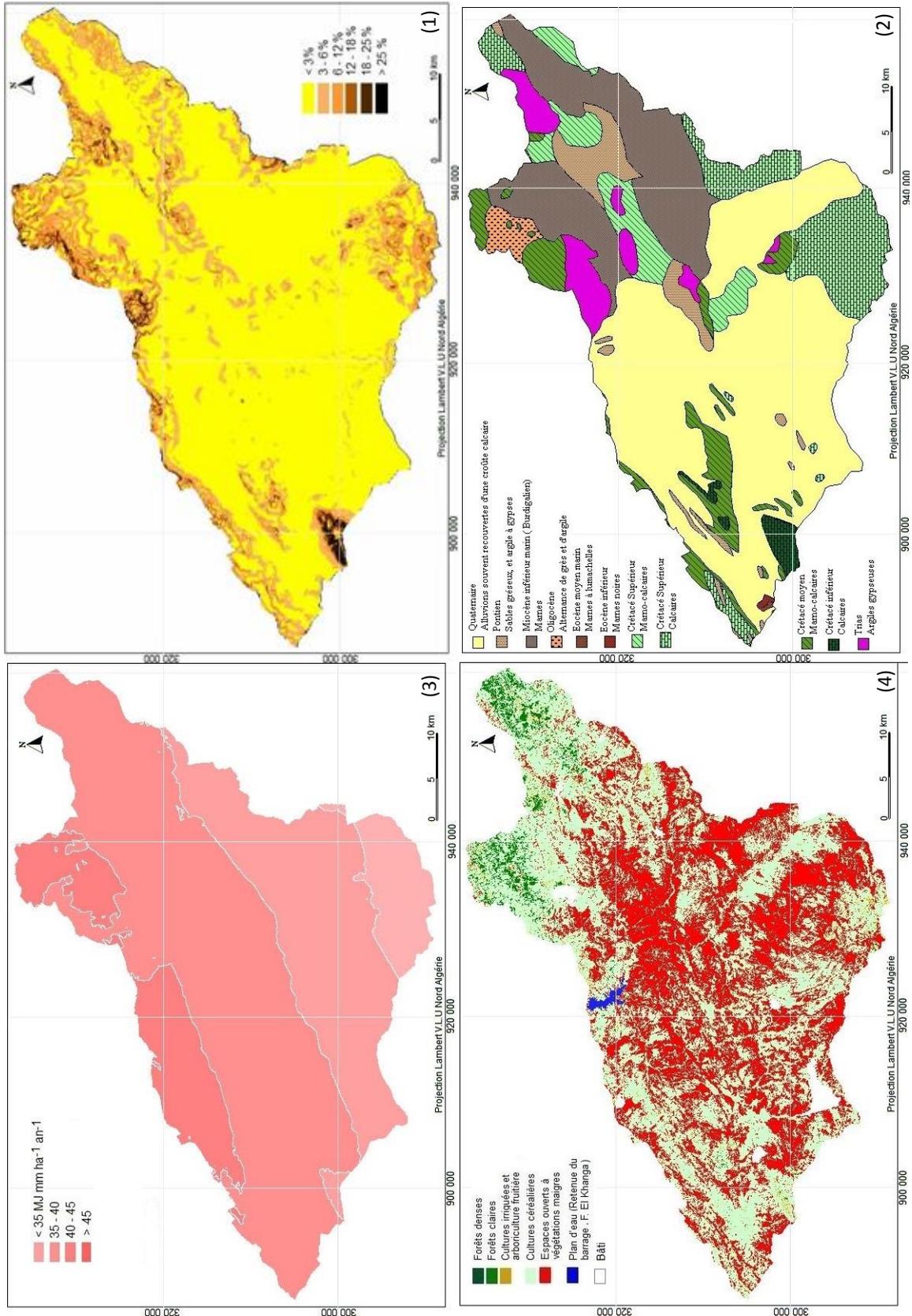
Annexe V (suite)

Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif : (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité
(Bassin de l'Oued El Guieiss)



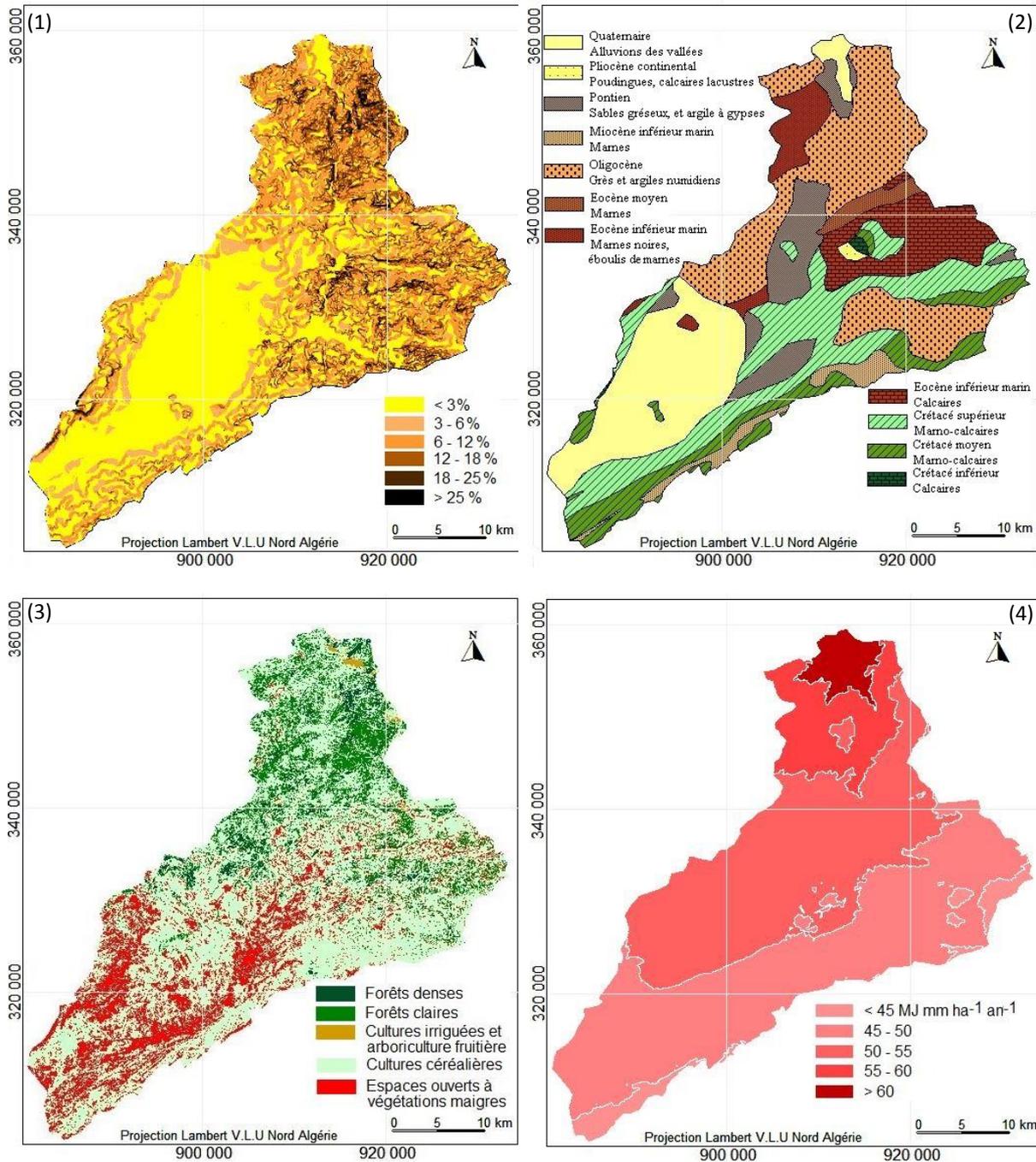
Annexe V (suite)

Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif : (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité (Bassin du Chorf amont)



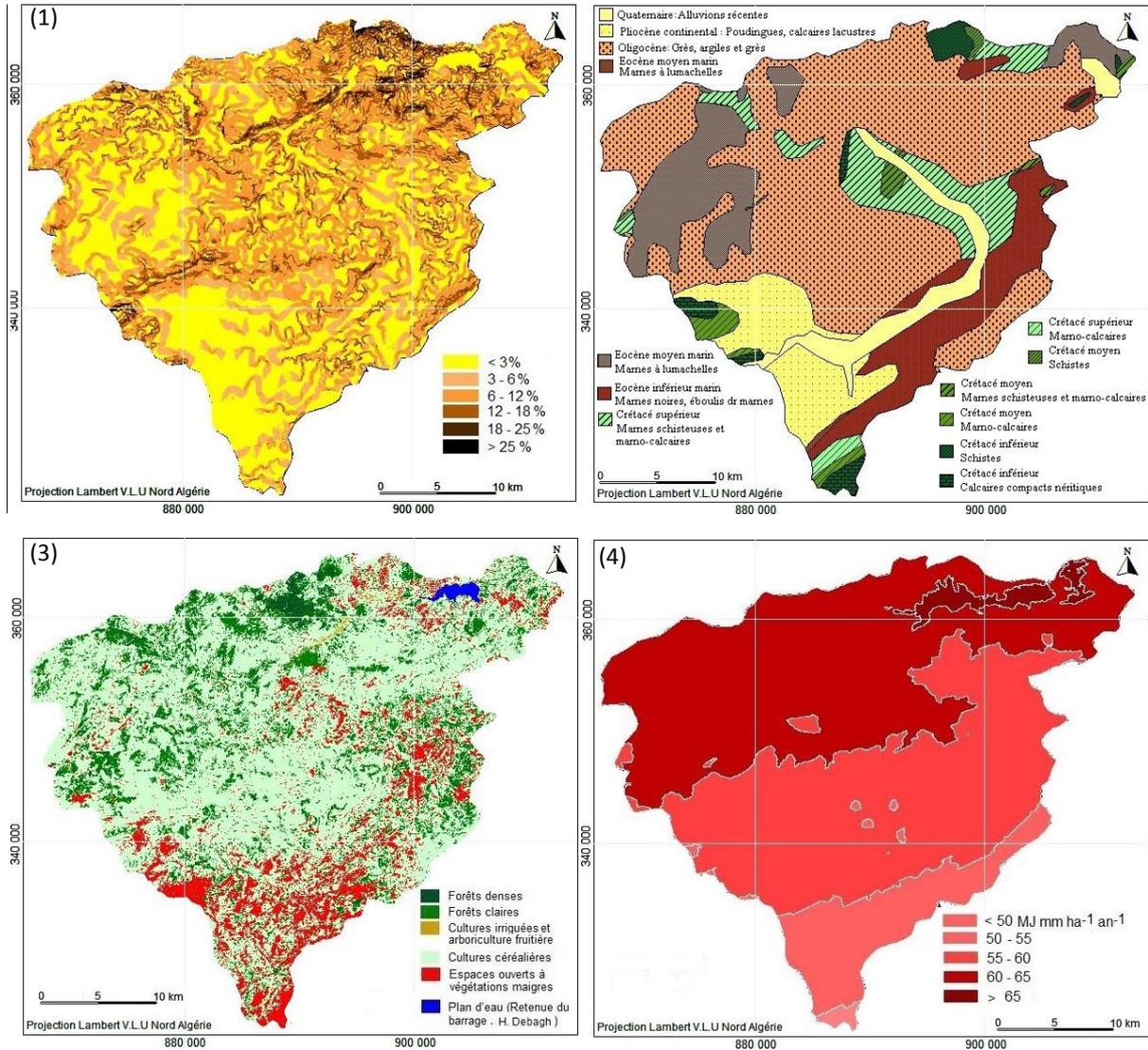
Annexe V (suite)

Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif : (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité (Bassin du Cherf aval)



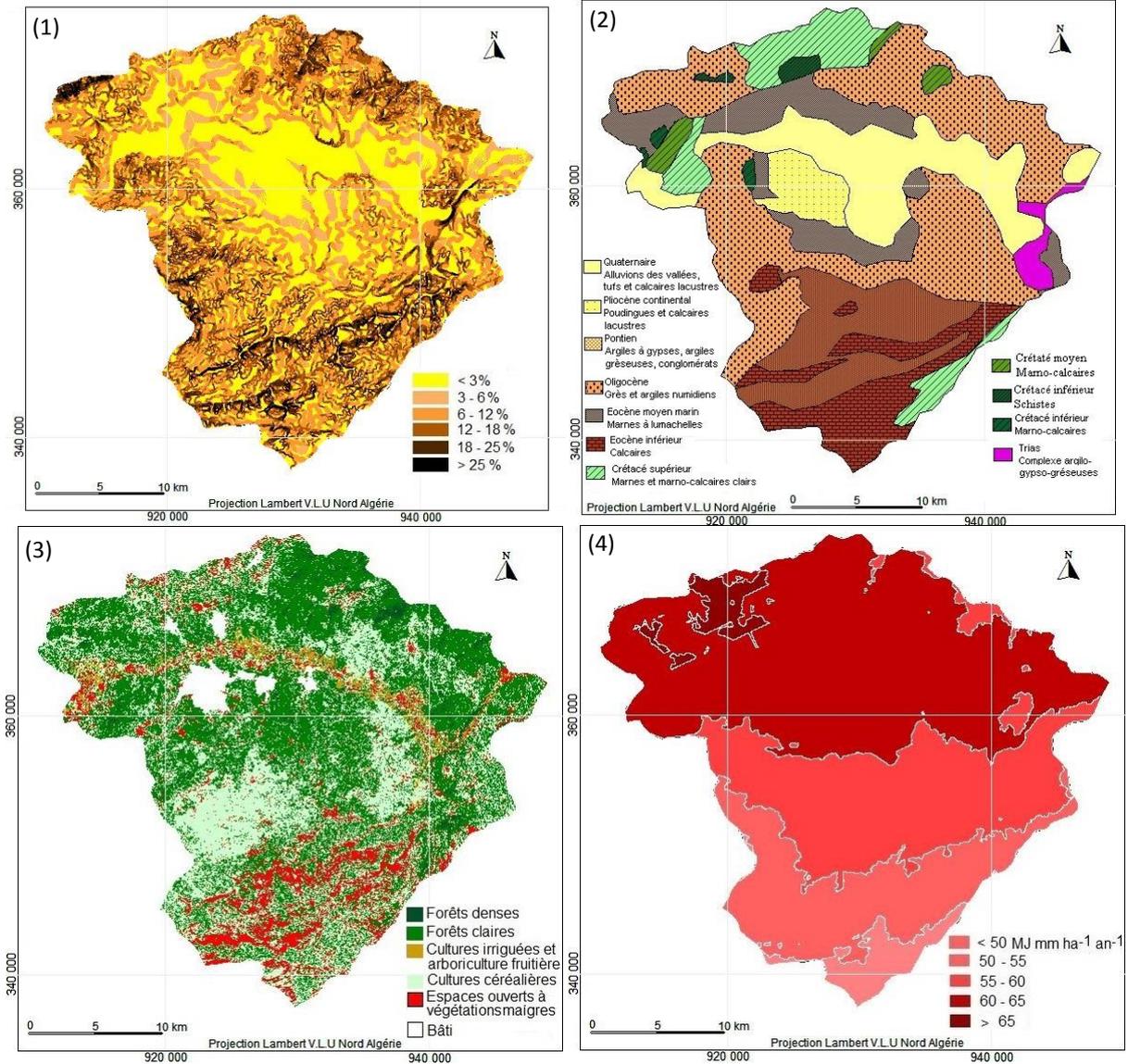
Annexe V (suite)

Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif : (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité (Bassin de Bouhamdane)



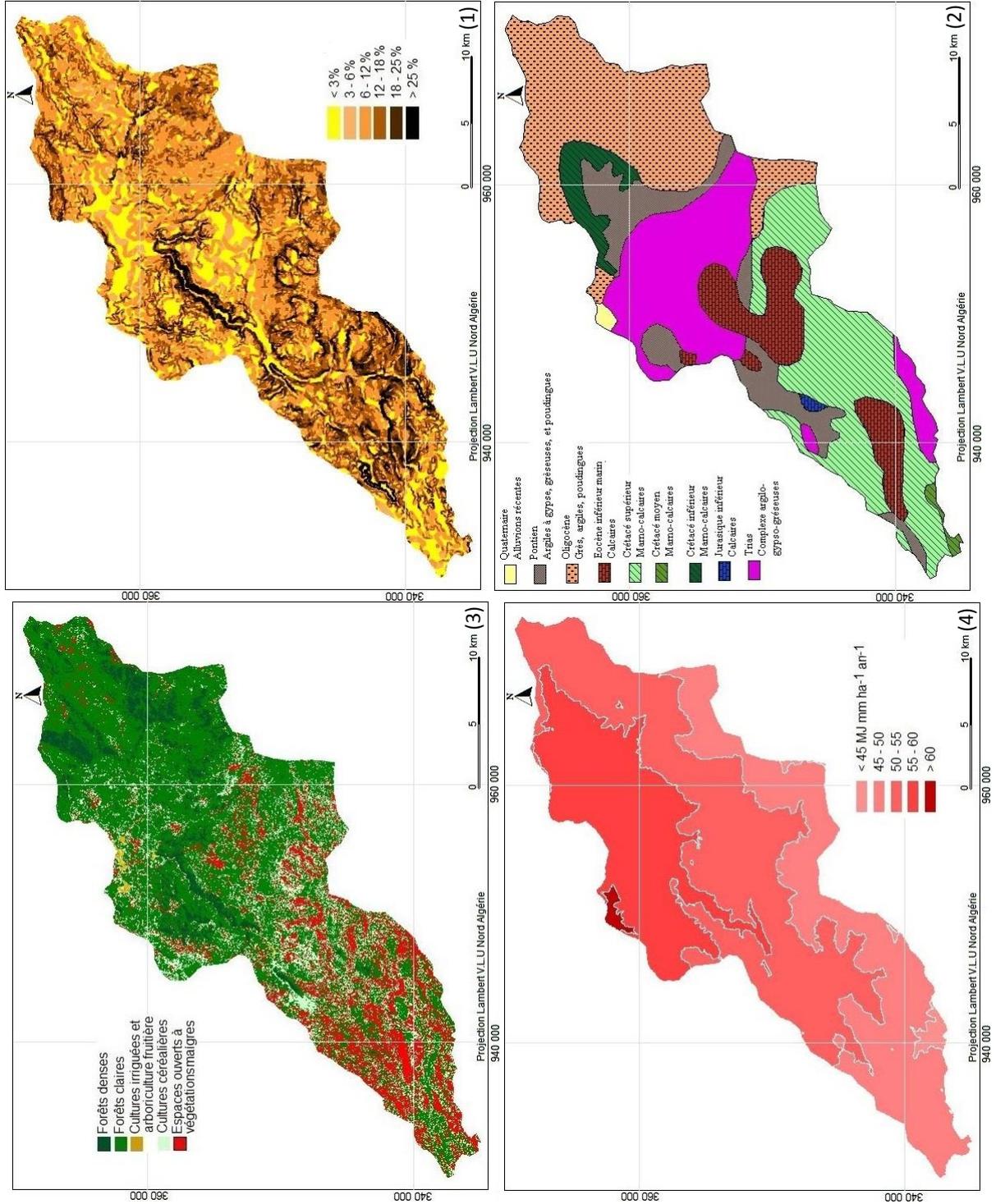
Annexe V (suite)

Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif : (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité (Bassin de la Seybouse moyenne)



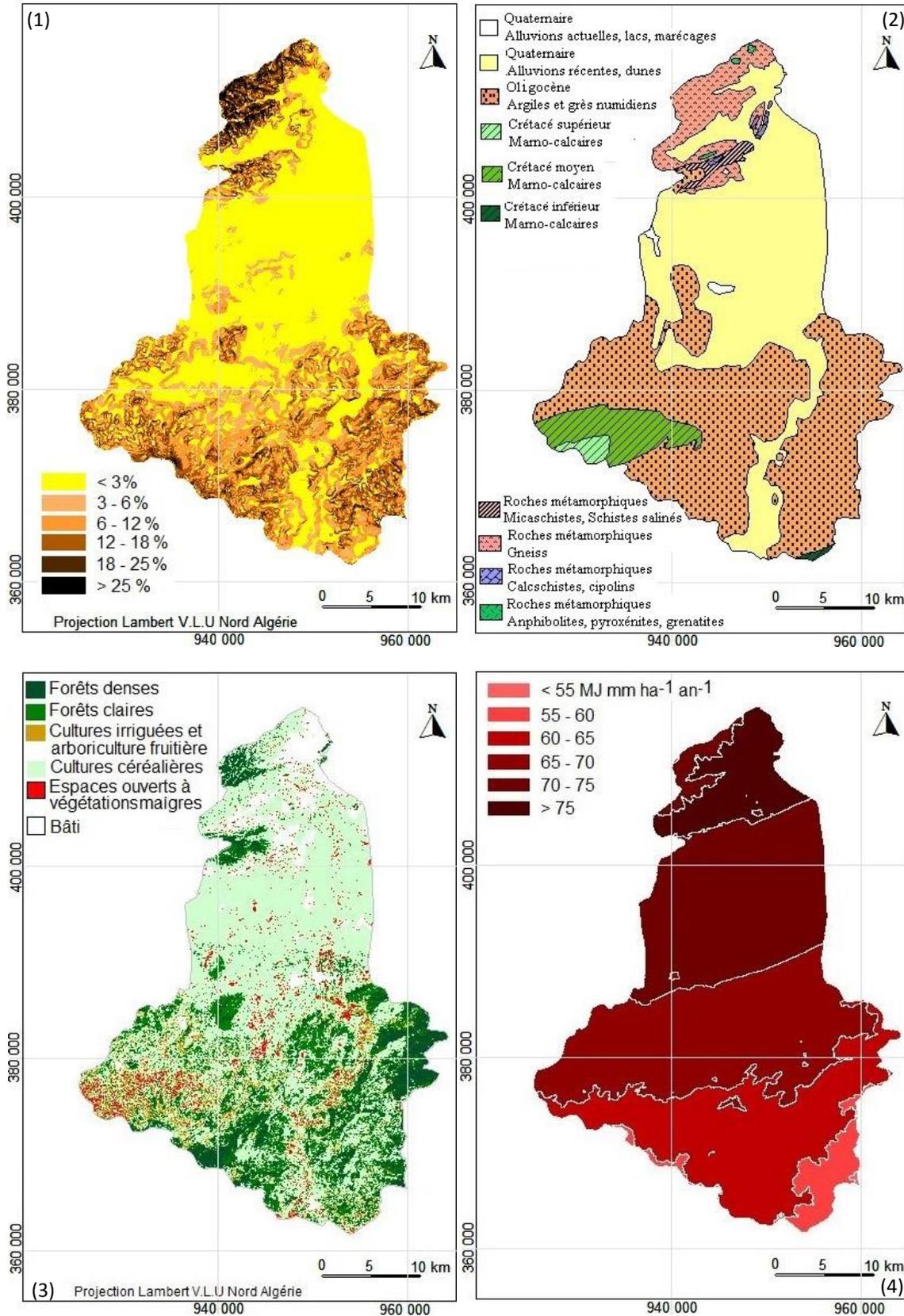
Annexe V (suite)

Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif : (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité (Bassin de Melah)



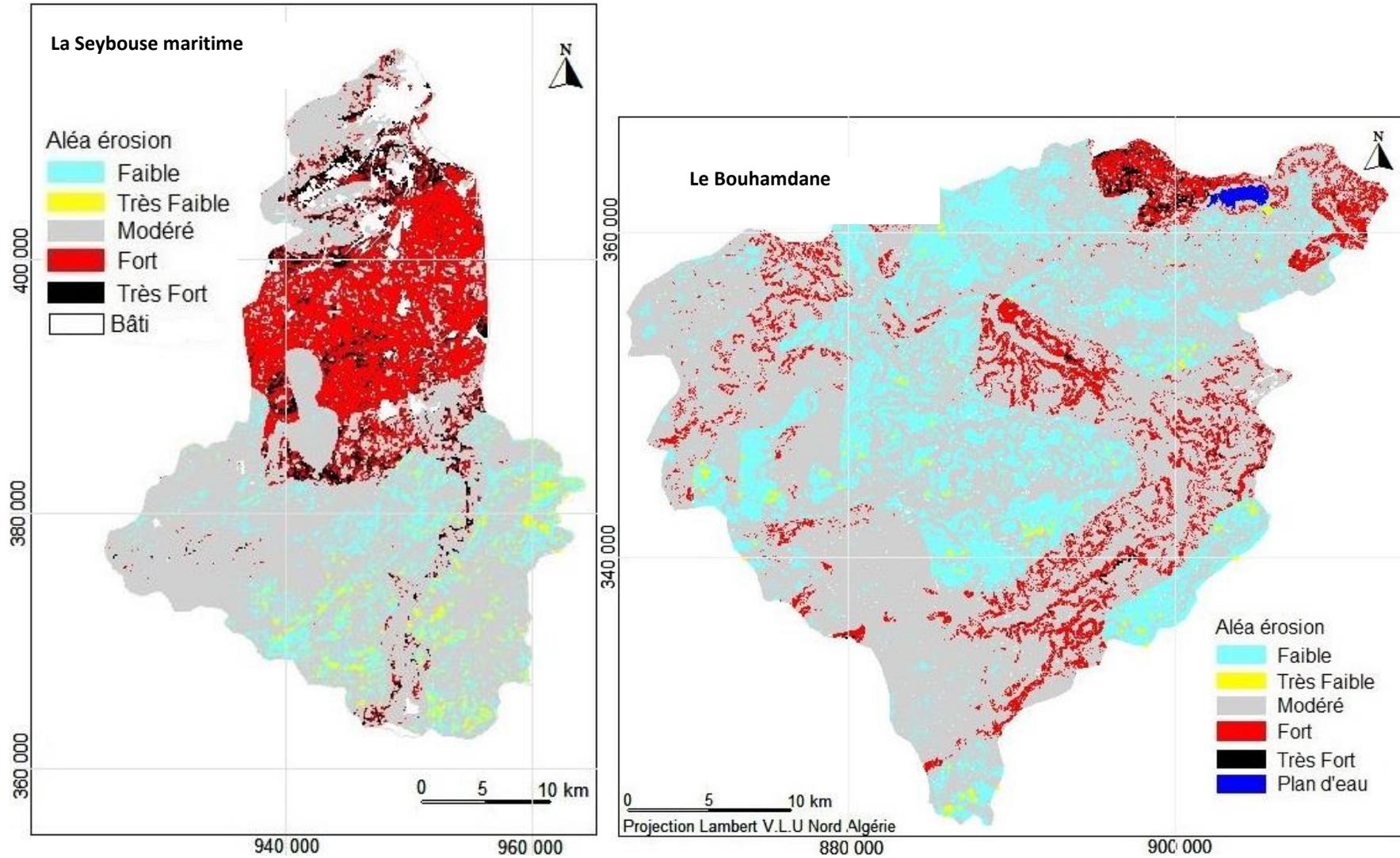
Annexe V (suite)

Informations géographiques utilisées pour cartographier l'aléa érosif : (1) Pente, (2) Lithologie, (3) Occupation des sols, (4) Erosivité (Bassin de la Seybouse maritime)



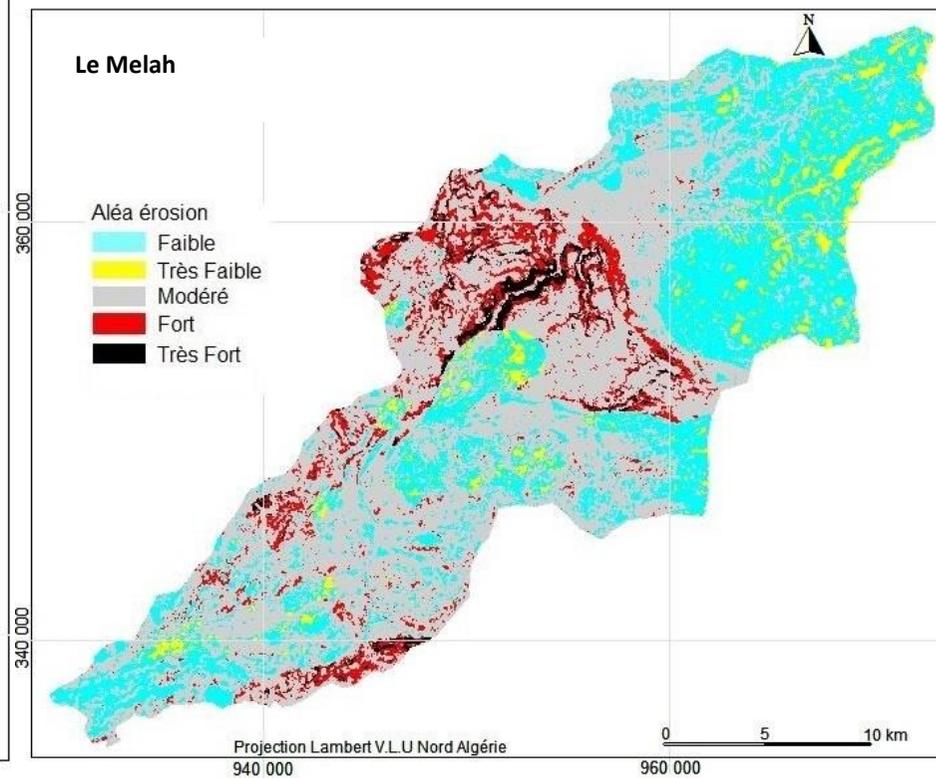
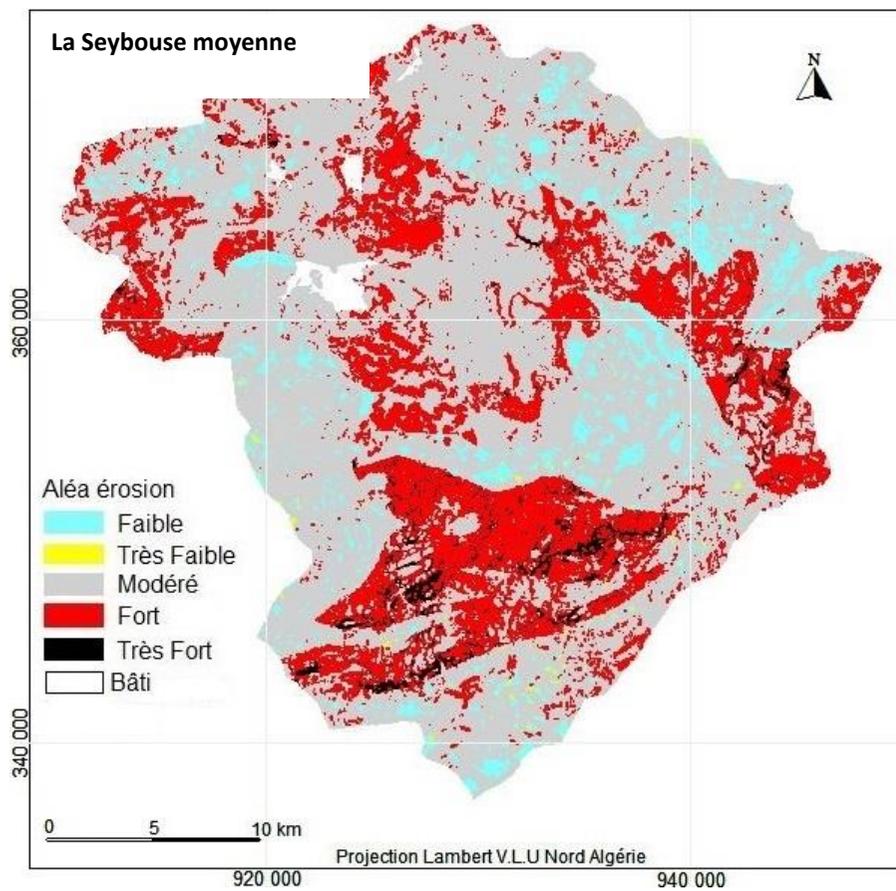
Annexe VI

Cartes de l'aléa érosion hydrique de la Seybouse-Aurès



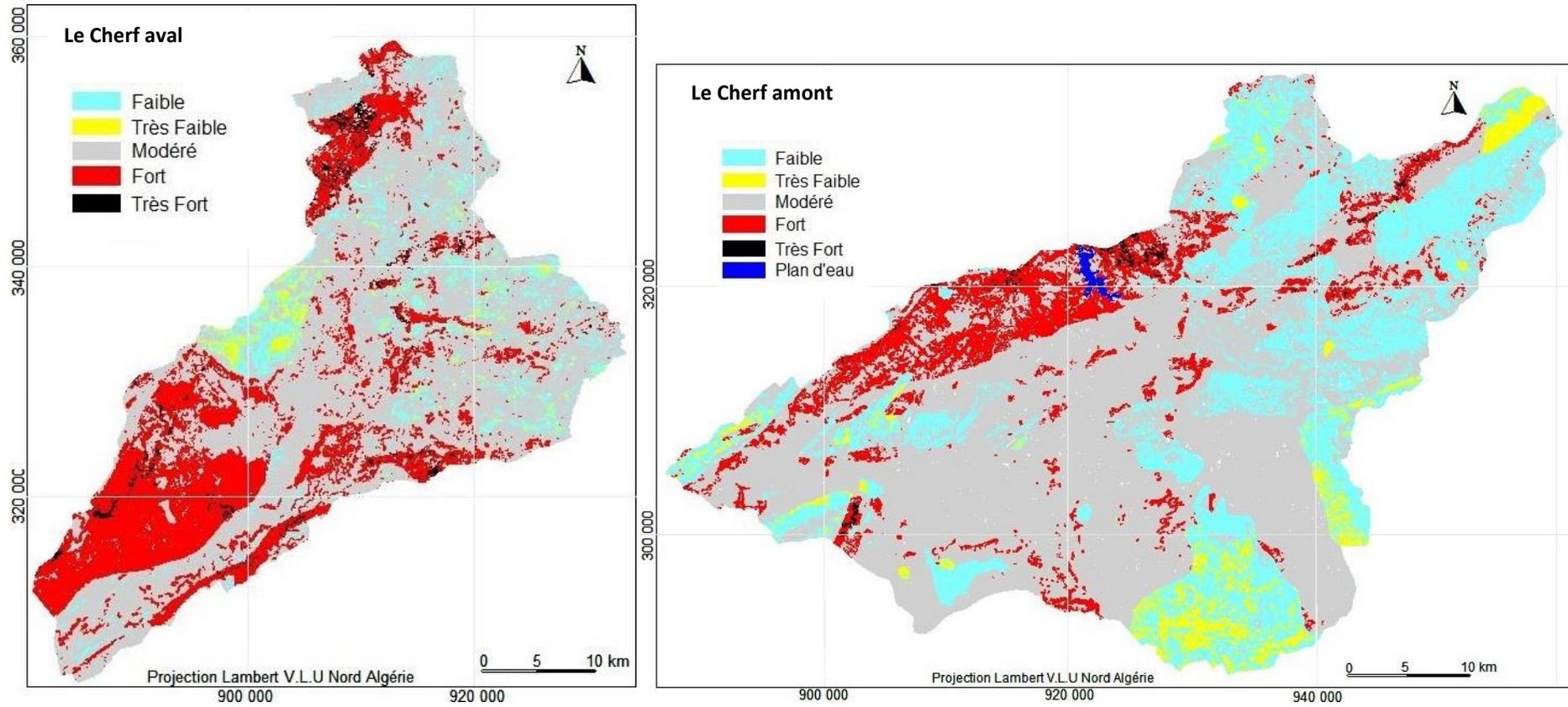
Annexe VI

Cartes de l'aléa érosion hydrique de la Seybouse-Aurès



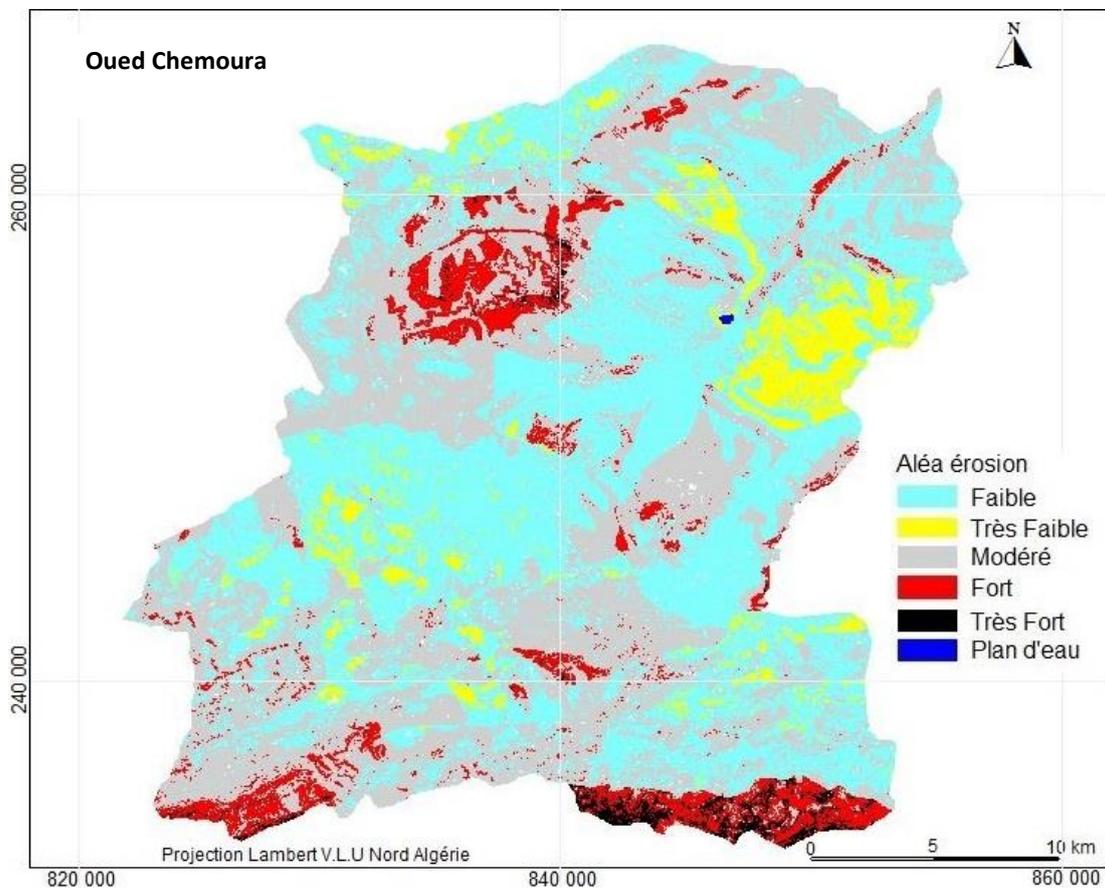
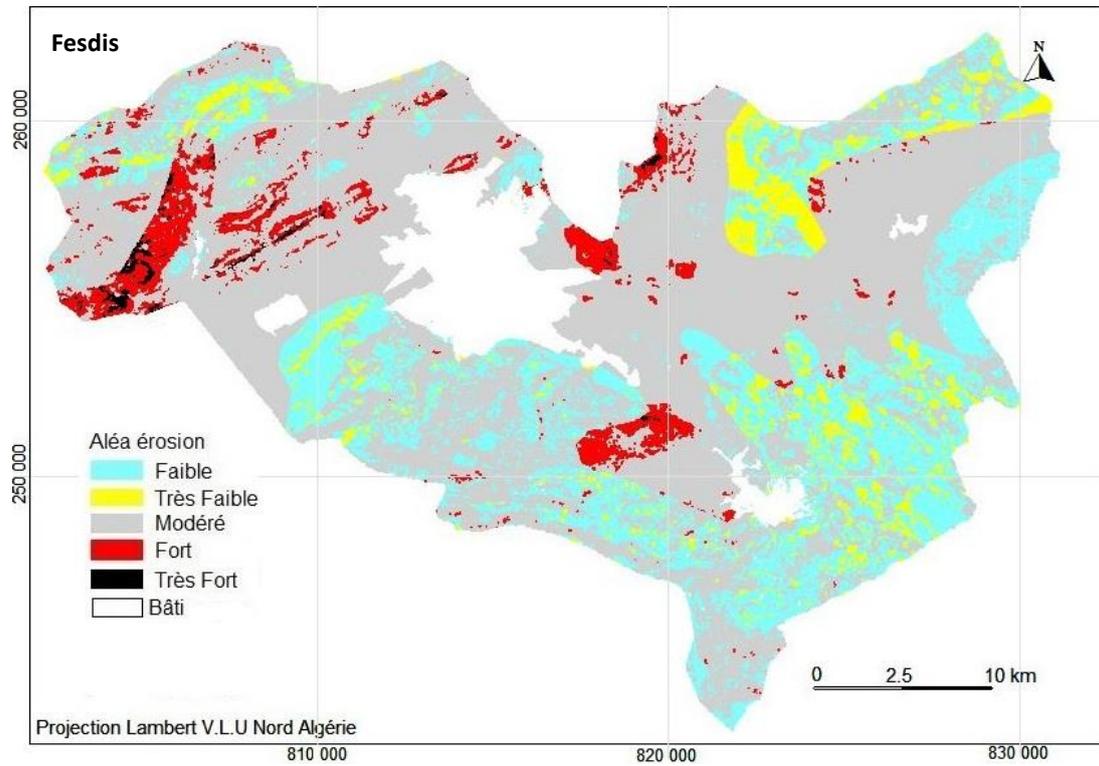
Annexe VI

Cartes de l'aléa érosion hydrique de la Seybouse-Aurès



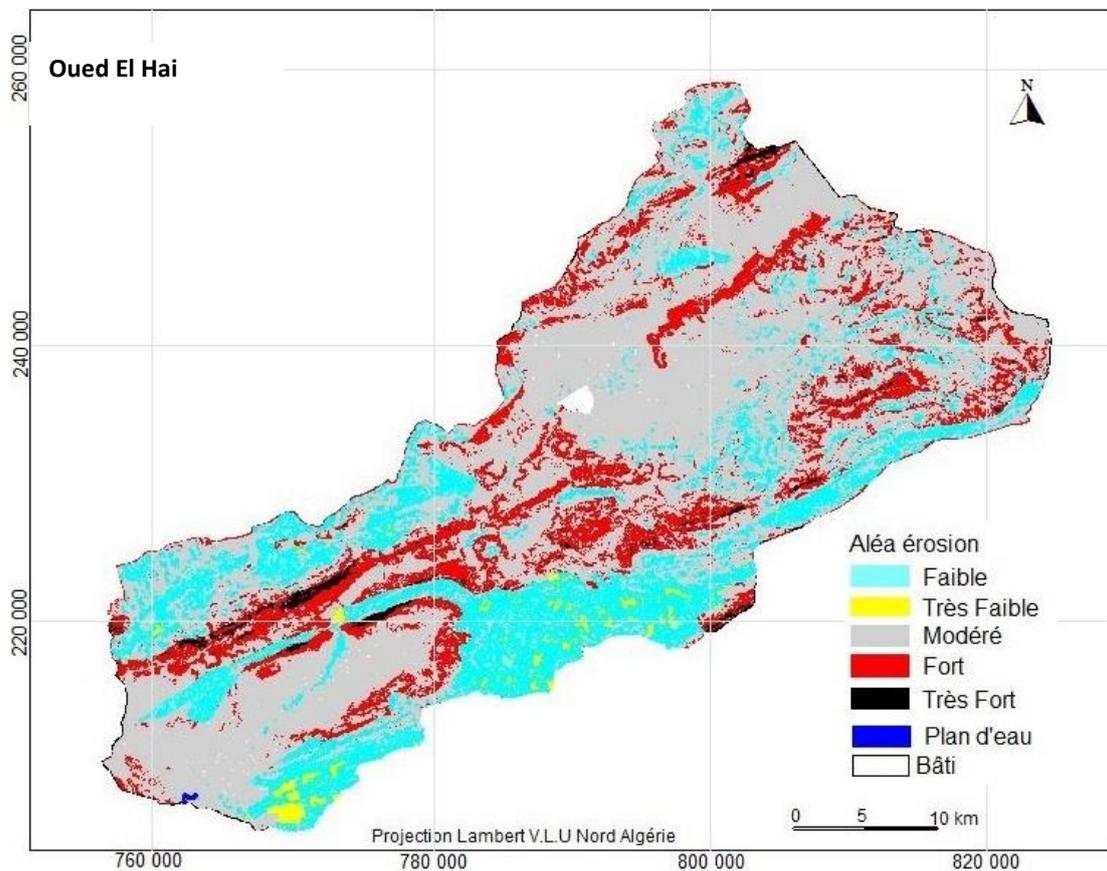
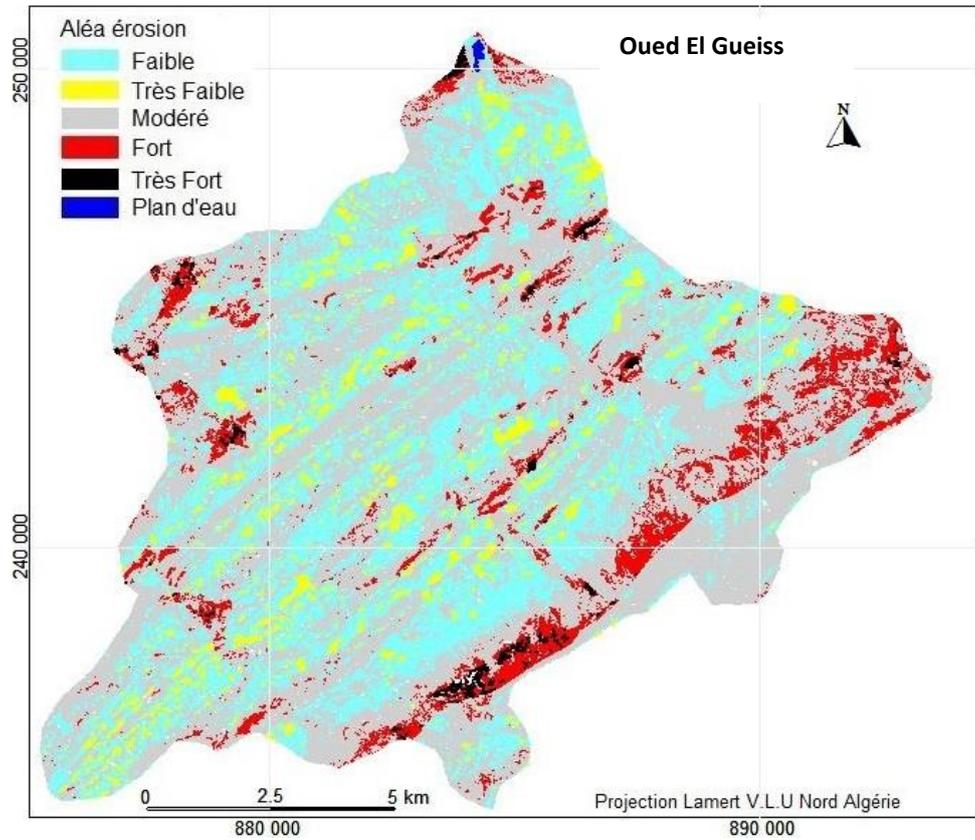
Annexe VI

Cartes de l'aléa érosion hydrique de la Seybouse-Aurès



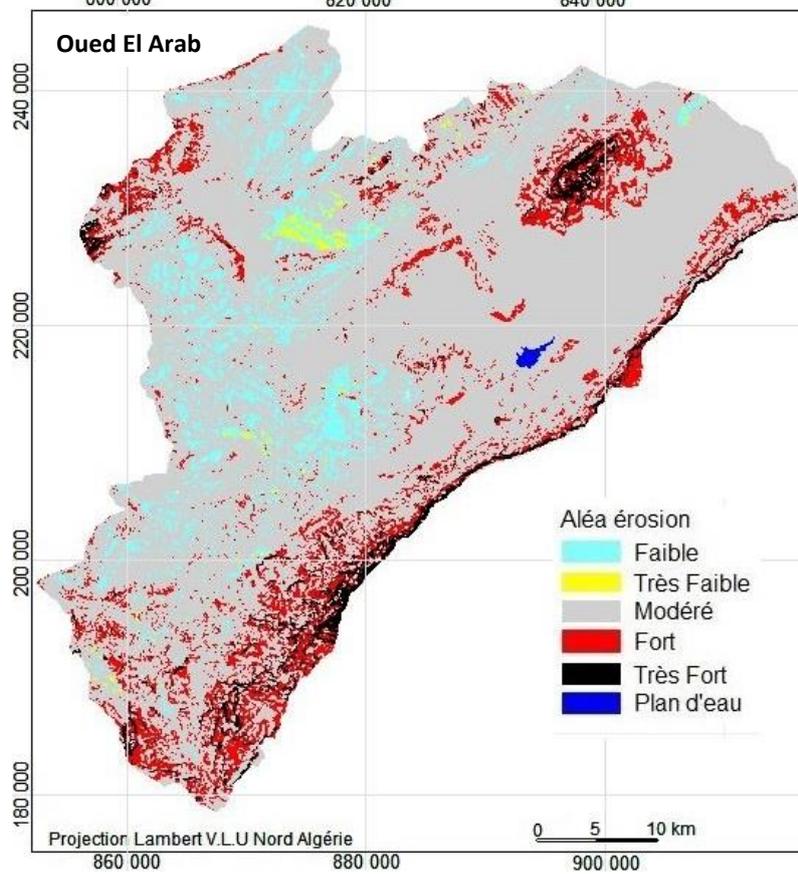
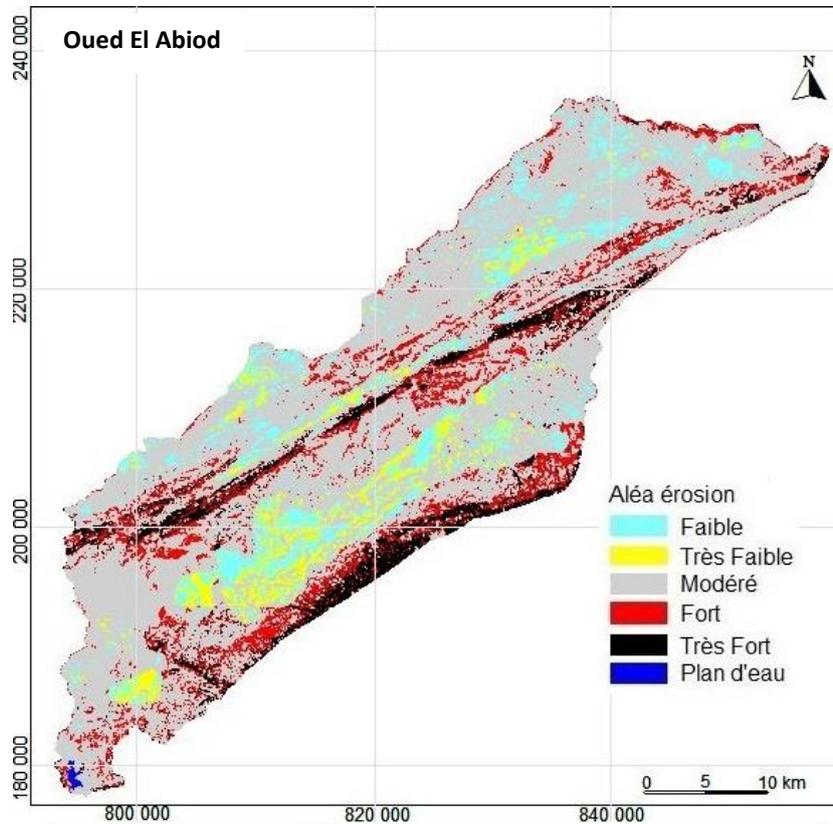
Annexe VI

Cartes de l'aléa érosion hydrique de la Seybouse-Aurès



Annexe VI

Cartes de l'aléa érosion hydrique de la Seybouse-Aurès



Annexe VI

Cartes de l'aléa érosion hydrique de la Seybouse-Aurès

