



*République Algérienne Démocratique et populaire.
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.
Université Mentouri Constantine 1*



*Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de L'aménagement du territoire
Département : des Séances de l'eau
Laboratoire LASTERNE*

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en 3^{ème} cycle LMD

Option : Hydrologie et gestion des hydrosystèmes

(Arrêté ministériel N° : 487 du 15 juillet 2013)

N° d'ordre :

Titre :

**Les variations climatiques et les ressources
en eau superficielle en zone semi-aride :
étude de cas dans le bassin versant « Hauts
Plateaux Constantinois »**

Par

REGAD Nora

Soutenue le 24/03/2022 devant la commission d'examen :

Président : MEBARKI Azzedine
Rapporteur : TATAR Hafiza
Co-rapporteur : NOUACEUR Zeineddine
Examineurs : MAAROUF Nadir
Examineurs : LOUAMRI Abdelaziz
Examineurs : Ghachi Azzedine

Professeur, Université Constantine 1
Professeur, Université Constantine 1
Maître de conférences A, Université de Rouen
Professeur, Université Oum El Bouaghi
Maître de conférences A, Université Constantine 1
Maître de conférences A, Université Constantine 3

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

- A ma très chère Mère et mon très cher Père.
- Ma famille et tous mes amis.
- Et à tous ceux qui m'ont toujours encouragé pour que je réussisse dans mes études.
- A tous ceux qui me sont chers.

AVANT-PROPOS

Je remercie Dieu tout-puissant de m'avoir donné tout de patience et de courage pour accomplir ce travail pendant huit ans de recherches, et aussi je n'aurais jamais vu le jour sans le concours et les encouragements de la famille et les amis de près ou de loin, mais je voudrais leur exprimer toute ma reconnaissance.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mes remerciements à madame **Hafiza TATAR** professeur à l'université de Constantine 1, qui a accepté la direction de cette thèse, qui ma fait bénéficier de son expérience, en me prodiguant sans compter des conseils et des encouragements, durant les années de recherches. Je leur suis profondément reconnaissant et leur manifeste tout mon respect.

Mes vifs remerciements s'adressent, plus particulièrement, à Monsieur **Zinedine NOUCEUR**, Maître de conférences A, Université de Rouen (France), pour leur participation de l'encadrement de ce travail qui m'a fait bénéficier de sa compétence, je le remercie pour ses conseils et pour sa lecture attentive du manuscrit malgré son emploi du temps très chargé.

Je tiens également à remercier monsieur **MEBARKI.A** chef de labo LASTERN. Je tiens à exprimer ma vive gratitude autre fois à Monsieur Zinedine **NOUCEUR** pour m'avoir réservé le meilleur au sein du laboratoire M2C à l'Université de Rouen depuis mes débuts en recherche et avec **M. Benoit LAIGNEL** pour tous leurs commentaires avisés, pour leur disponibilité et leur soutien pendant la durée du stage. Je considère que c'est une grande chance pour moi de travailler avec eux.

Mes remerciements vont également à tous les membres du jury, pour avoir accepté d'en faire partie et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail. Je remercie monsieur **MEBARKI.A**, Professeur à Faculté des sciences de la terre université Constantine 1. d'avoir accepté de présider le jury, je lui en suis très reconnaissante. Mes vifs remerciements vont aux membres de jury, Pr. **MAAROUF Nadir** (Université de Oum El Bouaghi), **Dr. LOUAMRI Abdelaziz** (Université de Université Constantine 1), **Dr. Ghachi Azzedine** (Université de Université Constantine 3) pour avoir accepté de juger mon travail et pour les échanges que nous avons eus.

Je souhaite également remercier mes parents, mes sœurs pour leurs patiences, l'aide de mes frères. Enfin, j'adresse mes meilleurs et chaleureux remerciements mes collègues, mes enseignants, administrateurs et travailleurs de la Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographique et de L'aménagement du territoire Département : des Séances de l'eau du département de l'université Constantine 1.

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

Résumé

Les ressources en eau pourraient se raréfier dans les prochaines décennies à l'échelle mondiale. Cette situation affectera de manière significative les régions soumises à un climat aride à semi-aride. La croissance des besoins en eau est à travers l'évolution rapide de la population, le développement industriel et l'extension de l'agriculture. Le Nord de l'Algérie a connu une variabilité de la pluviométrie annuelle au cours du 20^{ème} siècle. Cette variabilité s'est particulièrement accentuée à partir des années quatre-vingt et a eu des impacts négatifs importants sur la ressource en eau superficielle, ainsi que sur le cycle des précipitations. Notre étude consiste à caractériser la variabilité temporelle et spatiale des séries chronologiques de paramètres hydro climatiques (pluies, débits) au niveau de quatre bassins versants des Hauts Plateaux Constantinois ;(bassins de Madher, de Chemora, de Boulefreiss et de Foum el Gueiss) pendant 43ans (1969-2012). Une analyse préalable de l'ensemble des paramètres physico géographiques des bassins versants sélectionnés a été effectuée. Ensuite, A l'aide de tests statistiques de tendance et d'analyses corrélatoires et spectrales, des tendances soit à la hausse soit à la baisse des températures, des précipitations et des débits ont été observées. Une meilleure compréhension de la relation entre les changements climatiques et de leurs impacts sur la disponibilité de la ressource en eau passe par une analyse des tendances sur des séries des températures, des précipitations et des débits. C'est ce que nous avons effectué, sur une longue période, pour les bassins .Les résultats de cette évaluation montrent une diminution significative des précipitations annuelles allant de 19 à 54.8% et une augmentation de la température moyenne de 0,7 ° C au cours des 20 dernières années. Ce qui nous a permis de préciser l'évolution de la pluviosité pendant les dernières décennies et les tendances qu'on peut y détecter. L'étude de détection de rupture a permis de localiser une modification du régime pluviométrique pour la plupart des stations pluviométriques étudiées. L'application des tests statistiques aux pluies saisonnières, nous a permis de conclure que se sont les pluies d'hiver et de printemps qui ont enregistré une rupture dans les séries chronologiques. A l'échelle mensuelle, nous avons remarqué que se sont les mois des deux saisons pluvieuses qui ont enregistré les baisses les plus significatives et les plus importantes notamment les mois de : décembre, janvier, mars et avril. 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, et donc des ressources en eau de surface et leur variabilité. Les valeurs des coefficients de variation des apports interannuels sont relativement élevées ce qui indique un régime irrégulier. Cette irrégularité est plus accrue à l'Est. Sur le plan hydraulique, ces oueds se caractérisent par un écoulement violent et rapide. Enfin, nous avons cherché les liens entre cette variabilité pluviométrique et hydrologique avec les fluctuations climatiques matérialisées par différents indices climatiques, NAO, MO. L'approche de l'étude est basée sur le traitement statistique des séries temporelles liées aux dimensions spatiotemporelles par la méthode d'analyses spectrales adaptées à l'étude des processus stationnaires (analyse en ondelettes continues, analyse de la cohérence par ondelettes).

Mots-clés : bassin versant, précipitations, variabilité hydrologique, fluctuations climatiques, analyse ondelettes continues, cohérence par ondelette, indices climatiques.

Abstract

Les ressources en eau pourraient se raréfier dans les prochaines décennies à l'échelle mondiale. Cette situation affectera de manière significative les régions soumises à un climat aride à semi-aride. The growth in water needs is through rapid population change, industrial development and extension of agriculture. Northern Algeria experienced variability in annual rainfall during the 20th century. This variability was particularly accentuated from the 1980s and had significant negative impacts on surface water resources, as well as on the rainfall cycle. Our study consists in characterizing the temporal and spatial variability of the chronological series of hydro-climatic parameters (rainfall, flows) at the level of four watersheds of the Highlands of Constantine. ; (Madher, Chemora, Boulefreiss and Fom el Gueiss basins) for 43 years (1969-2012). A preliminary analysis of all the physical and geographical parameters of the selected watersheds was carried out. Then, using statistical trend tests and correlation and spectral analyzes, either increasing or decreasing trends in temperature, precipitation and flow were observed. A better understanding of the relationship between climate change and its impacts on the availability of water resources requires an analysis of trends on series of temperatures, precipitations and flows. This is what we have done, over a long period, for the basins. The results of this evaluation show a significant decrease in annual precipitation ranging from 19 to 54.8% and an increase in average temperature of 0.7 °C at over the past 20 years. This has enabled us to specify the evolution of rainfall over the past decades and the trends that can be detected there. The break detection study made it possible to locate a change in the rainfall regime for most of the rainfall stations studied. The application of the statistical tests to the seasonal rains, allowed us to conclude that it was the winter and spring rains that recorded a break in the time series. On a monthly basis, we noticed that it was the months of the two rainy seasons that recorded the most significant and most significant decreases, especially the months of: December, January, March and April. The hydrological study, which is based on the statistical processing of hydrometric data, shed light on the fundamental aspects of annual and seasonal flow, and therefore of surface water resources and their variability. The values of the coefficients of variation of the internal intakes are relatively high, which indicates an irregular regime. This irregularity is more acute in the east. In terms of hydraulics, these wadis are characterized by a violent and rapid flow. Finally, we looked for the links between this rainfall and hydrological variability with climatic fluctuations materialized by different climatic indices, NAO, MO. The study approach is based on the statistical treatment of time series linked to spatiotemporal dimensions by the method of spectral analyzes adapted to the study of stationary processes (continuous wavelet analysis, wavelet coherence analysis).

Keywords : watershed, precipitation, hydrological variability, climatic fluctuations, continuous wavelet analysis, wavelet coherence, climatic indices.

ملخص

قد تصبح موارد المياه العالمية شحيحة في العقود القادمة. وسيؤثر هذا الوضع بشكل كبير على المناطق ذات المناخات الجافة إلى شبه الجافة. حيث توجد زيادة في الاحتياجات المائية من خلال التغير السكاني السريع والتنمية الصناعية وتوسيع الزراعة. ويشهد شمال الجزائر تقلبات في هطول الأمطار السنوي خلال القرن العشرين. وقد تم إبراز هذا التباين بشكل خاص منذ الثمانينيات وكان له آثار سلبية كبيرة على موارد المياه السطحية، وكذلك على دورة هطول الأمطار. تتمثل دراستنا في وصف التباين الزمني والمكاني للسلسلة الزمنية من (هطول الأمطار، التدفقات) على مستوى أربعة أحواض نهريّة في الهضاب العليا القسنطينية؛ (المعذر، شمورا، بولفرايس وفوم القاييس) خلال 43 سنة (1969-2012)

تم إجراء تحليل أولي لجميع المعلمات الفيزيائية والجغرافية للأحواض النهريّة المختارة. بعد ذلك، باستخدام اختبارات الاتجاه الإحصائي والارتباط والتحليلات الطيفية، لوحظت اتجاهات إما زيادة أو نقصان في درجات الحرارة والأمطار والتدفق. يتطلب الفهم الأفضل للعلاقة بين تغير المناخ وتأثيراته على الموارد المائية تحليلاً للاتجاهات في سلسلة درجات الحرارة والأمطار والتدفقات. هذا ما فعلناه، على مدى فترة طويلة للأحواض، تظهر نتائج هذا التقييم انخفاضاً كبيراً في هطول الأمطار السنوي يتراوح من 19 إلى 54.8٪ وزيادة في متوسط درجة الحرارة بمقدار 0.7 درجة مئوية على مدار العشرين عاماً الماضية. وقد مكّننا ذلك من تحديد تطور هطول الأمطار على مدى العقود الماضية والاتجاهات التي يمكن اكتشافها. كما أتاحت دراسة الانكسارات تحديد موقع التغيير في نظام هطول الأمطار لمعظم محطات التي تمت دراستها. وبتطبيق الاختبارات الإحصائية على الأمطار الموسمية، استخلصنا أن أمطار الشتاء والربيع هي التي سجلت انقطاعاً في السلسلة الزمنية. من خلال الانخفاضات الخاصة بأشهر: ديسمبر، جانفي، مارس وأفريل. أما الدراسة الهيدرولوجية التي تقوم على المعالجة للبيانات الهيدرومترية، سلطت الضوء على الجوانب الأساسية للتدفق السنوي والموسمي، وبالتالي على الموارد المياه السطحية وتنوعها. حيث معاملات التباين في المدخولات السنوية مرتفعة نسبياً، مما يشير إلى وجود نظام غير منتظم أكثر حدة في الشرق. من خلال المعامل الهيدروليكي، وتتميز هذه الوديان بتدفق عنيف وسريع. وأخيراً، بحثنا عن الروابط بين هطول الأمطار والتنوع الهيدرولوجي مع التقلبات المناخية التي تتحقق من خلال المؤشرات المناخية المختلفة، NAO، MO. ويعتمد نهج الدراسة على المعالجة الإحصائية للسلاسل الزمنية المرتبطة بالأبعاد الزمانية المكانية بطريقة التحليل الطيفي المتكيف مع دراسة العمليات الثابتة (التحليل الموجي المستمر، تحليل الارتباط الموجي).

الكلمات المفتاحية: الأحواض النهريّة، هطول الأمطار، التباين الهيدرولوجي، التقلبات المناخية، التحليل المستمر للموجات، ارتباط بين الموجات، المؤشرات المناخية.

SOMMAIRE

Dédicaces.....	2
AVANT-PROPOS.....	3
Résumé.....	4
Sommaire.....	7
INTRODUCTION GENERALE	12
Problématique des ressources en eau en Algérie	13
Objectifs et questions de recherche	14

CHAPITRE I PROBLEMATIQUE ET ETAT DE L'ART

I.PROBLEMATIQUE.....	16
I.1.APPROCHE METHODOLOGIQUE	18
I.2 PRESENTATION DU MANUSCRIT	18
II : RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE.....	19
II.1. Généralités sur le changement climatique	19
II.1.1. Introduction	19
II.1.2. Le climat et le type de temps	19
II.1.3. Le climat au centre de la vie économique.....	20
II.1.4. Le système climatique.....	20
II.1.5. La variabilité climatique	21
II.1.6. Prévision du changement climatique	22
II.1.7. Les conséquences du réchauffement climatique	23
II.2 Les ressources en eau en Algérie	25
II.2.1. Les eaux superficielles	26
II.2.1.1. Les potentialités hydriques de l'Algérie	26
II.2.1.2. La mobilisation des eaux superficielles.....	26
II.3 L'action anthropique sur la région d'étude	28
II.3.1 L'impact sur le climat.....	28
II.3.2 L'impact sur L'environnement	28
II.3.2.1 Changements de l'occupation des sols	29
II.3.2.2 L'impact sur la pollution.....	30
II.4 Le changement climatique observé au cours du 20ème siècle	30
II.4.1. Changement climatique à l'échelle globale	30
II.4.2. Changement climatique dans la région méditerranéenne	31
II.4.3. Le changement climatique au Maghreb	31
II.4.4. Le changement climatique en Algérie.....	32
II.5. Les facteurs explicatifs de la variabilité climatique.....	32
II.5.1. L'oscillation nord atlantique (NAO)	33
II.5.1.1. L'origine et la variabilité de l'oscillation nord-atlantique.....	35
II.5.2. L'Oscillation Méditerranéenne Occidentale (OMO)	36

CHAPITRE II

PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

I. PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE	38
I.1 Situation géographique	38
I.2 Les Grands Ensembles Topographiques de la zone d'étude	38
I-2.1 Les montagnes	39
I-2.2 Les piedmonts	39
I-2.3 La plaine	39
I-2.4 Chott, sebkhet et Garaet	40
I.3 Le Climat.....	42
I.4 Les réseaux hydrographiques	46
I.4.1 Le bassin versant de l'Oued el Madher	46
I.4.2 Le bassin versant de Chemora.....	46
I.4.3 Le bassin versant de Boulefreiss.....	47
I.4.4 Le bassin versant de Gueiss	47
I.5 Les caractéristiques géologiques et lithologiques du bassin versant	50
I.5.1. La géologie	50
I.5.2 La lithologie	53
I.6 Occupation du sol et types de couvertures végétales	56
I.6.1 Occupation du sol	57
I.6.2 Types de couvertures végétales.....	59
I.6.2.1 La végétation forestière.....	59
I.6.2.2 la végétation steppique	60
I.6.2.3 Végétation des terres cultivées	61
I.7 Impact de la végétation sur l'écoulement	62

CHAPITRE III

METHODOLOGIE ET DONNÉES

I. METHODOLOGIE.....	65
I.1-Outils d'analyses statistiques.....	66
Test de fiabilité des données	66
Test de normalité	66
I.1.1-Outils de recherche de tendance	66
- La moyenne mobile :	66
-La méthode graphique chronologique de traitement de l'information (MGCTI), de type "matrice BERTIN» (Nouaceur et al. 2013a, 2013-b).....	66
-Indices centrés réduits (Nicholson).....	67
-Test de Spearman	67
-Le Test de Mann Kendall.....	68

I.1.2- Principaux tests statistiques de détection des ruptures	68
Test de Pettitt (Pettitt, 1979)	69
La Procédure Bayésienne de Lee et Heghinian	69
Test du rapport de vraisemblance (Buishand, 1982, 1984)	71
Statistique U (Buishand, 1982, 1984)	72
Procédure de segmentation de P. HUBERT	73
-L'Indice standardisé de précipitation (SPI)	74
I.2-Outils d'analyses spectrales	74
-Transformée en ondelettes	74
-Transformée de Fourier	75
-Analyse de la cohérence par ondelette	75
I.3 Paramètres morphométriques quantitatifs	76
II. DONNÉES UTILISÉES	78
II.1 Collecte et Contrôle des données	78
II. 2. Caractéristiques des stations	80
-Choix de la période d'étude	80
-Choix des stations	80
II.3 Homogénéisation des données	82
-Contrôle de la fiabilité de la série d'observations	82
-Estimation des données manquantes	83
-Le Test de normalité	84

CHAPITRE IV

ANALYSE PLUIVIOMÉTRIQUE ET BILAN HYDRIQUE

I. LES PRECIPITATIONS DANS LA REGION D'ETUDE	88
I.1. Une forte variabilité marque la pluviométrie moyenne	88
I.1.1. Analyse mensuelle	90
I.1.2. Le régime pluviométrique saisonnier	93
I.2. La tendance des précipitations dans la région d'étude	94
I.2.1. Analyse des cycles pluviométriques et de de la tendance pour la période 1969 – 2012	95
I.2.2. Les précipitations extrêmes durant la période 1969 – 2012	99
I.3 Détection des ruptures dans les séries chronologiques	100
I.3.1. Détection dans les séries pluviométriques annuelles	101
I.3.2. Détection dans les séries pluviométriques mensuelles	102
I.3.3. Détection dans les séries pluviométriques saisonnières	104
I.4 ANALYSE DE LA TENDANCE DES PRECIPITATIONS POUR LA PERIODE 1969 – 2017 DANS LES DIFFERENTS MILIEUX MORPHOLOGIQUES (MONTAGNE, PIEDMONT ET PLAINE).	105
I.4.1. L'étude de la tendance des pluies annuelles selon la méthode des écarts centrés réduits	105
I.4.2 L'étude de la tendance des pluies annuelles selon la méthode MGCTI ...	109

I.4.3. L'étude de la tendance des pluies selon les moyennes décennales	113
I.4.4 L'étude de la tendance des pluies annuelles selon les principales saisons	114
II. LES BILANS HYDRIQUES	117
II.1 analyse des températures	117
II.1.1 Température moyenne mensuelle	117
II.1.2 Température moyenne annuelle	119
II.2 Déficit d'écoulement (Evapotranspiration).....	119
II.2.1 Evapotranspiration Potentielle (ETP).....	120
II.2.1.1 Formule de Thornthwaite (1948).....	120
II.2.1.2 Formule simplifiée de Serra	121
II.2.1.3 Formule de l'A.N.R.H.....	121
II.2.2 Evapotranspiration Réelle	122
II.3 Bilan Hydrique de THORNTWAITE.....	125
II.4 Ruissellement	127
II.4.1 Méthode de Thornthwaite.....	127
II.4.2 Méthode de Tixeront-Berkaloff	127
II.5 Infiltration	127

CHAPITRE V

LES PROCESSUS HYDROLOGIQUES ET LES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE

I.DESCRPTION DES BASSINS VERSANTS	130
I.1 Les caractéristiques morphométriques du bassin	130
I.2 L'orographie dans la zone d'étude	132
I.2.1 L'altitude.....	132
I.2.2 – La pente.....	138
II. LE REGIME HYDROLOGIQUE CARACTERISTIQUE DE LA ZONE D'ETUDE	140
II.1. Les variations spatiales de l'écoulement moyen annuel et ses nuances	140
II.1.1. Les modules absolus et spécifiques.....	141
II.1.2 Le bilan hydrologique et le déficit annuel d'écoulement	144
II.1.3 Les variations interannuelles de l'écoulement.....	146
II.1.3.1 le coefficient d'immodération ou d'irrégularité	146
II.1.3.2 Variabilité interannuelle de l'écoulement estimée selon les coefficients d'hydraulicité et de variation (Cv).....	148
II.2 Les variations mensuelles des débits et leurs nuances spatiales	151
II.2.1 L'approche classique du régime : Méthode des CMD	157
II.2.2 Quelles sont les conséquences hydrologiques de tels régimes ?	161

CHAPITRE VI
APPORT DE LA COHERENCE PAR ONDELETTES
CONTINUES POUR DETERMINER LES LIENS LES PLUIES
ET LES DEBITS

I. DETERMINATION DES MODES DE VARIABILITES PLUVIOMETRIQUES ...	166
II .DETERMINATION DES MODES DE VARIABILITES HYDROLOGIQUES	168
III. RELATION ENTRE LES MODES DE VARIABILITE DES DEBITS ET DES PLUIES	170
VI.DETERMINER LA COHERENCE ENTRE LES INDICES CLIMATIQUES ET PLUIES, DEBITS.....	173
VI.I Détermination des modes de variabilités des indices climatiques par ondelette	173
V.2 cohérences par ondelettes continues pour la caractérisation des liens potentiels entre indices climatiques, pluies et débits (1969-2012).....	176
V.2.1 Relation entre indices climatique et pluies.....	176
V.2.2 Relation entre indices climatique et Débit	182
CONCLUSION GENERALE	188
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	195
LISTE DES FIGURES.....	202
LISTE DES TABLEAUX	206
ANNEXES	208

INTRODUCTION GENERALE

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).

Au cours des dernières décennies, la problématique des variations climatiques a été reconnue comme l'un des problèmes majeurs du développement à l'échelle locale et régionale voire même à l'échelle internationale impliquant à long terme des interactions complexes entre facteurs environnementaux et conditions économiques, politiques, sociales et technologiques entraînant des effets importants au niveau régional (Lebel et Vischel, 2005 , Ringler et al., 2010) , aux côtés du développement durable, de la préservation et de la protection de l'environnement. La plupart des sujets de préoccupation recouvrent ou convergent vers le domaine de la gestion des ressources en eau. De fait, la tendance actuelle est de considérer que les réponses au changement climatique font partie intégrante de la prise de décision sur la gestion durable des ressources en eau.

Les études sur la variation climatique montrent qu'au Maghreb le réchauffement climatique est plus important que la moyenne (Ragab et Prudhomme, 2002 et El Kharraz, 2012). Si au niveau mondial, la hausse a été évaluée à 0,74°C (0.56 °C ± 0.9°C) au 20ème siècle, elle a été située entre 1°C- 2 °C dans le bassin méditerranéen et la région de l'Afrique du Nord (GEIC, 2001 , GIEC, 2007) . Selon les différents scénarios d'émissions (Ragab et

Prudhomme, 2002 ; GIEC, 2007) plusieurs modèles de circulation générale (GCM) prédisent une augmentation de la température à partir de 0,7 à plus de 4 ° C jusqu'à 2100.

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)

En Algérie, les impacts de la variation climatique aggravent le phénomène de sécheresse et accentuent les déficits hydriques. L'Algérie a connu durant les 25 dernières années, une période de sécheresse intense et persistante, caractérisée par un déficit pluviométrique important, évalué à près de 30 %, sur l'ensemble du pays.(Projet PNUD,2010).Le déficit pluviométrique a été estimé à plus de 50% pour l'Ouest où des barrages se sont asséchés(barrages de Béni-Bahdel et de Mafrouch) et à 30% à l'Est (communication nationale de l'Algérie à la CCNUCC ,2011), 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 anthropiques ou naturels qui traduisent par plusieurs impacts :

- Un impact sur le niveau de remplissage des barrages et l'alimentation des nappes souterraines ;
- Un impact sur les activités socio-économiques ;
- Un impact sur l'environnement (pollution urbaine, industrielle et agricole, salinisation des eaux du fait combiné de la surexploitation des nappes et de la sécheresse).

Dans les régions arides à semi-arides, la pluviométrie constitue un des facteurs déterminant de la caractérisation climatique. L'étude de l'évolution et de la variabilité récente du climat, nécessaire pour une meilleure gestion des ressources en eau, s'affirme comme un outil incontournable pour la recherche de solutions générales optimales aux problèmes qui résultent du rapport entre les besoins en eau et les disponibilités offertes par la nature.

Objectifs et questions de recherche

A partir de ces constats, nous avons entamé cette recherche autour les variations climatiques qui base sur les précipitations, comme facteur générateur et fortement explicatif l'impact sur le régime de l'écoulement superficiel à toutes les échelles de temps, ce paramètre climatique. Ce qui nous permettra de préciser l'évolution de la pluviosité pendant les dernières décennies et les tendances qu'on y peut détecter et présentant ainsi une différenciation dans le régime d'écoulement, afin de mieux connaître les modalités de l'écoulement et du régime hydrologique, pour déterminer les ressources en eau superficielles et leur variabilité,

L'étude se propose d'analyser ces phénomènes en relation avec le milieu semi-aride, et se base sur l'analyse de cas dans différentes unités hydrographiques représentatifs du piémont Nord des Aurès qui fait partie du grand bassin versant des « Hauts Plateaux Constantinois » cas bassin versant de Medher, Chemora, Boulefreiss et F.Gueiss choisies en fonction des données et mesures existantes.

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 rythme hydrologique ces dernières années ?

CHAPITRE I :
PROBLEMATIQUE ET ETAT DE L'ART

I.PROBLEMATIQUE

L'Eau, l'une des matières premières les plus importantes en Algérie, dont l'importance pour la consommation humaine, la production agroalimentaire, l'industrie, et les écosystèmes n'est plus à démontrer. Du fait de son importance, il est indispensable de connaître sa vulnérabilité face aux variabilités climatiques majeures enregistrées ces dernières années.

Les ressources hydriques dont dispose l'Algérie sont en effet limitées. Elles sont, par ailleurs, soumises à des variations cycliques extrêmes (succession de cycles de sécheresse aiguë)

Ces variations climatiques qui ne sont certes pas les seuls facteurs définissant la vulnérabilité de la ressource en eau, demeurent toutefois les plus déterminants pour tout aménagement ou développement des régions, Aussi nous avons jugé utile, dans le contexte du changement climatique, d'entreprendre l'étude de la variabilité climatique et particulièrement celle de la variabilité pluviométrique afin de saisir son impact sur la ressource en eau et sa disponibilité en zone semi-aride. Cette région a fait l'objet de plusieurs recherches :

-En **1996**, **BOUZIANE Z, CHERCHER A et YAKHLEF A**, ont abordé l'étude hydrologique du bassin d'oued Chemora en vue de contribuer à une connaissance plus approfondie de ses écoulements, et par conséquent, en vue d'aider à des prises de décision rationnelles en matière d'aménagement des ressources en eau.

-En **1998**, **BEN YAZER F**, a abordé l'étude hydrologique du bassin de Foum el-Gueiss et a insisté sur l'aménagement des ressources en eau.

-En **2004**, **GUIDOUM. A**, dans son magister a abordé l'étude hydrologique du bassin versant de l'oued Chemora à la station de Chemora. (w. de Batna, est Algérien)

-En **2005**, **MEBARKI A**, a étudié les apports annuels des cours d'eau et analysé les éléments du bilan hydrologique et aménagement des eaux de surface au niveau de l'est Algérien. Il a apporté une contribution des plus intéressantes en matière d'hydrologie de surface.

-En **2006**, **KARROUDJ A**, dans son Magister étudie l'impact du changement climatique sur les ressources en eau (le bassin versant de Kébir Rhumel).

-En **2012**, **BELAGOUNE FARES**, s'est consacré à l'étude et à la modélisation des crues des cours d'eaux en milieu semi-aride « Cas des grands bassins versants 05, 06 et 07 », (07 : Hauts Plateaux Constantinois

-En **2014**, **FARAH ABDELHAFID .K**, a abordé le changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien

-En **2017**, **GUIDOUM. A**, dans son doctorat étudie la caractérisation hydrologique et analyse du transport solide en suspension dans trois ensembles hydrographiques du nord-est Algérien étude de cas dans la Seybouse, les Hautes Plaines Constantinoises et chott Melghir (coupe nord-sud).

De par sa sensibilité et son acuité, la thématique que nous allons aborder, a suscité l'intérêt de nombreux chercheurs, non seulement en Algérie, mais aussi dans le reste des pays méditerranéens

En Algérie **Taibiet al.** (2013) ; **Meddi et Talia**, (2007) ont travaillé sur l'étude de la variabilité de la pluviométrie dans les hauts plateaux oranais, ils sont parvenus à montrer l'accentuation de cette variabilité durant ces dernières décennies ; **Karroudj A**, (2006) a étudié l'impact du changement climatique sur les ressources en eau dans le bassin versant de Kébir Rhumel.

Au Maroc, **Benassi**, (2001) ; **Singlaet al**, (2010) se sont intéressés aux enjeux majeurs que représentent la variabilité climatique et à la quantification de son impact sur les ressources en eau.

- **Zamrane .Z**(2018) , s'est consacré à l'étude des indices de variabilité climatique dans des séries hydroclimatiques au Maroc :identification ,positionnement temporel, tendances et liens avec les fluctuations climatiques : cas des grands bassins de la Moulouya, du Sebou et du Tensift

En Tunisie, les études de **Kingumbi et al.** (2005), ont porté sur la caractérisation de la variabilité climatique à travers la pluviométrie à l'échelle du bassin et à l'évaluation de la réponse hydrologique à partir des variations de débit à l'exutoire

Ailleurs et en particulier dans le reste des pays méditerranéens, des études similaires ont été menées et avaient toutes pour objectifs de mettre en évidence la récurrence de ce phénomène et ses multiples impacts sur l'environnement.

Notre étude vient à juste titre se greffer aux autres pour tenter de saisir dans le contexte actuel des changements climatique, la relation hydroclimatique en zone semi-aride, à travers le cas du bassin versant des « Hauts Plateaux Constantinois ».

La volonté de saisir son ampleur temporelle et spatiale est un de nos principaux objectifs, en plus d'identifier les différentes modifications du régime pluviométrique en Algérie en vue d'étudier leurs impacts sur l'évolution du régime hydrologique et des écoulements superficiels. De ce fait, les questions auxquelles cette étude essaye d'apporter une ou plusieurs réponses sont :

- Comment peut-on situer la variation de la pluviométrie algérienne observée depuis plus de quatre décennies au sein de la chronologie pluviométrique de ce siècle ?
- Comment se manifeste la variation climatique selon sa durée et ses seuils critiques, afin de dégager les conséquences de ses caractéristiques sur les ressources naturelles.
- Quelles sont les nouvelles tendances (aggravation de la humidité ou diminution ?)
- Quelles sont les mesures appropriées à prendre pour répondre au stress hydrique ?

Pour mener à bien notre recherche et atteindre nos objectifs, différentes approches sont envisagées parmi lesquelles, une approche statistique soutenue par une approche graphique.

I.1 APPROCHE METHODOLOGIQUE

Les approches proposées n'ont pas la prétention de fournir une clé pour expliquer et prévoir la pluviométrie algérienne mais seulement les éléments qui permettent de la décrire avec plus de rigueur à partir des outils statistiques les mieux adaptés à sa nature.

La méthodologie employée, consistera ainsi principalement à caractériser à différents pas de temps et d'espace, le signal « entrée » que constituent les précipitations, et le signal « sortie » par l'étude de débit et leurs participations aux écoulements.

Pour ce faire, nous utiliserons des approches statistiques, des modèles hydrologiques et climatiques qui permettent l'étude de la variabilité spatiale et temporelle de la température et des précipitations afin de préjuger de l'impact de leurs variabilités sur le cycle hydrologique et les ressources en eau. Cette démarche permet d'assurer d'une part, un contrôle efficace des ressources en eau et d'autre part, d'initier une méthodologie d'étude des ressources en eau et des implications liées à ses exploitations.

I.2 PRESENTATION DU MANUSCRIT

Afin de répondre aux objectifs de cette recherche, le travail a été organisé et présenté en six chapitres après une introduction générale comme suit :

Dans le premier chapitre, nous présentons les recherches qui ont faites avec une synthèse bibliographique pour mettre en évidence la variabilité climatique.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons la région d'étude et ses formations lithologiques, géologiques et couvert végétales.

Dans le troisième chapitre, fera l'objet de choisir la méthodologie employée ainsi que la base de données utilisée.

Dans le quatrième chapitre sera consacré à la caractérisation de la variabilité climatique dans les bassins sur une période plus au moins longue (43 ans). L'approche statistique permettra de mettre en évidence la variabilité spatio-temporelle des précipitations et l'irrégularité des écoulements et ses ruptures.

Dans le cinquième chapitre présente une description générale de la zone d'étude à travers une situation des sous- bassins versant (bassin versant de Medher, Chemora, Boulefreiss et Gueiss), leurs paramètres géométriques, morphométriques et l'orographie. Par ailleurs, un

intérêt particulier est porté à l'étude hydrologique proprement dite, qui est fondée sur le traitement statistique des données hydrométriques. Cette étude met en lumière les aspects fondamentaux de l'écoulement annuel, saisonnier, mensuel, et donc des ressources en eau de surface et leur variabilité.

Enfin, dans le sixième chapitre, sera traité l'impact de la variation climatique sur les écoulements superficiels à l'aide de la méthode des ondelettes afin d'essayer de mettre en valeur une éventuelle relation entre les hauteurs d'eau dans les différentes stations et la pluviométrie.

Une conclusion générale synthétisera les principaux résultats acquis et mettra en évidence les principaux enseignements de cette étude.

II : RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE

II.1. Généralités sur le changement climatique

II.1.1. Introduction

Notre planète existe depuis 4,5 milliards d'années. L'être humain est présent sur cette Terre depuis 2 millions d'années, mais il n'a eu qu'un impact important et étendu sur l'environnement planétaire que pendant les 200 dernières années.

L'environnement naturel a commencé à se détériorer autour des zones des peuplements humains et dans la périphérie des premières usines de la révolution industrielle. La croissance démographique, les progrès technologiques rapides et une consommation énergétique accrue, modifient l'équilibre des écosystèmes globaux (Atmosphère, océans, forêts primaires) à un rythme jamais égalé auparavant

Avant de définir le concept du changement climatique, nous allons exposer quelques concepts de base :

II.1.2. Le climat et le type de temps

Le climat et le type de temps sont deux concepts différents. Le type de temps, c'est l'état de l'atmosphère déterminée par les éléments météorologiques : température, précipitations (pluie, neige, etc.), l'humidité, le vent et l'ensoleillement et le vent à un endroit précis (c'est le temps instantané ou un moment précis).

Le climat concerne les phénomènes météorologiques observés dans le passé et le présent et le futur (grâce à la modélisation). Il implique le temps long. On peut le définir aussi comme « la probabilité d'occurrence de divers états de l'atmosphère dans un lieu ou une région, au cours d'une certaine période donnée. » (Gibbs ; 1987).

Le climat a un effet sur tous les êtres vivants. Il régule le cycle biologique des plantes et des animaux, affecte leur croissance et leur vitalité, et est c'est l'un des principaux facteurs qui déterminent leur distribution autour de la planète. Presque toutes les formes de vie sont adaptées afin de vivre dans une zone climatique spécifique et relativement limitée.

II.1.3. Le climat au centre de la vie économique

Le climat affecte nos vies en exerçant parfois des contraintes sur l'approvisionnement en eau lors des périodes de sécheresse. Selon les statistiques de 1994-1995 (Khaldi.A ,2005) les ressources en eau mobilisable de l'Algérie sont de 14.43 Km³/an. Cette valeur est inférieure à la normale compte tenu de la capacité de mobiliser les ressources en eau de la majorité des pays méditerranéens avec une population légèrement supérieure, voire inférieure à celle de l'Algérie. Compte tenu de la demande toujours croissante, cette situation entraîne des restrictions et des réductions de l'approvisionnement en eau potable dans de nombreux noyaux urbains, en particulier dans les grandes villes. Ces restrictions sont devenues de plus en plus sévères suite à la sécheresse persistante des dernières décennies

Les caractéristiques climatiques peuvent conduire aussi à des dommages environnementaux en intensifiant l'érosion du sol (lorsque des pluies revêtent un caractère agressif). Elles peuvent être aussi source de risque sévère comme c'est le cas lors des inondations (lors des tempêtes hivernales et lors d'épisodes de pluies intenses). Le climat a aussi un impact important sur la vie économique en limitant par exemple, les capacités productives du secteur agricole (lorsque les pluies sont insuffisantes pour assurer la production agricole annuelle).

II.1.4. Le système climatique

Le système climatique de la Terre est constitué d'éléments interactifs complexes. L'élément moteur est le soleil, qui réchauffe grâce à son énergie notre atmosphère, les terres et les océans de notre planète. Le rayonnement solaire est à l'origine de la circulation atmosphérique générale, il conditionne aussi une partie des courants marins (circulation thermohaline) ainsi que le cycle hydrologique (processus d'évaporation et de précipitation). (Figure I.1)

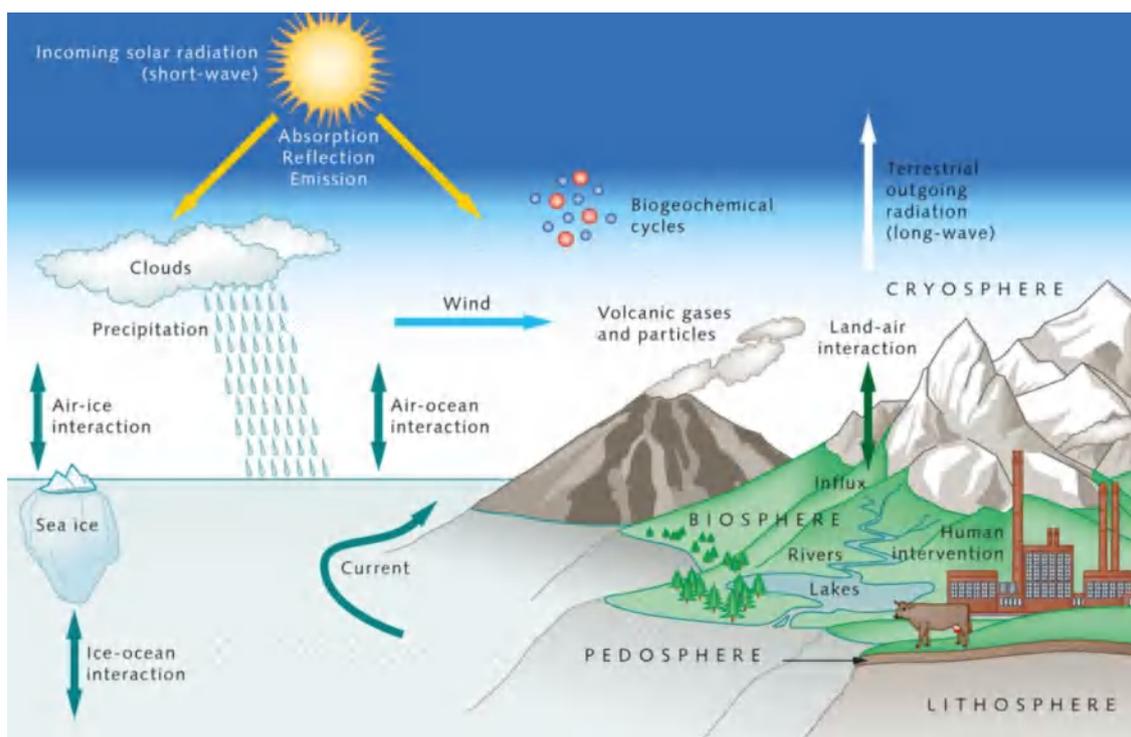


Figure I. 1: Le système climatique. Description schématisée des composants du système climatique et de leurs principales interactions (GIEC, 2007).

Source : <https://worldoceanreview.com/en/wor-1/climate-system/earth-climate-system/>

Le système climatique dépend de certains mécanismes et paramètres qui lui sont externes, parmi ces mécanismes, on distingue des forçages naturels et des forçages anthropiques. Les forçages naturels sont principalement de trois types : volcanique, solaire et astronomique. L'origine des forçages anthropiques réside dans l'émission par l'homme, de polluants chimiques et aérosols, qui modifient la composition de l'atmosphère. Les plus connus de ces composés sont les gaz à effet de serre (GES), parmi lesquels CO_2 , CH_4 et N_2O .

Le moteur du système climatique est le rayonnement solaire qui fournit de l'énergie à la Terre (Berger, 1978), essentiellement aux très courtes longueurs d'ondes et dans le proche infrarouge, que l'atmosphère capte et redistribue. Cette quantité est équilibrée par l'émission de la même quantité d'énergie sous forme de rayonnement infrarouge sortant. Une petite partie seulement de ce rayonnement traverse l'atmosphère, tandis que la majorité est absorbée et/ou renvoyée vers la surface par les nuages et les molécules de Gaz à Effet de Serre (GES : vapeur d'eau, dioxyde de carbone, méthane, oxyde nitreux, ozone, etc.). La fraction du rayonnement qui est renvoyée vers la surface terrestre contribue à réchauffer celle-ci ainsi que les basses couches de l'atmosphère, créant une température annuelle moyenne de 14°C à la surface du globe au lieu de -18°C qui devrait normalement s'observer sans effet de serre (Sadourny, 1994 ; Kiehl et Trenberth, 1997; Le Treut et al. 2007).

II.1.5. La variabilité climatique

C'est une déviation des valeurs des événements observés ou enregistrées par rapport à leur valeur moyenne pour l'état climatique de référence. La variabilité peut être due à des

processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne) ou à des variations du forçage externe naturel ou anthropique (variabilité externe).

II.1.6. Prédiction du changement climatique

Comment les scientifiques peuvent-ils prévoir les effets à long terme du changement climatique, alors qu'on a encore beaucoup de mal à prévoir quotidiennement le temps au quotidien ? C'est à cause de la variabilité locale des conditions météorologiques que les prévisions du temps semblent imparfaites ; les modèles du changement climatique ne tentent pas d'effectuer de telles prévisions détaillées et axées sur un lieu donné.

Il existe deux grandes méthodes de prévision du changement climatique possibles ; la première est celle des analogues, qui consiste à comparer les conditions climatiques et hydrométriques passées et actuelles, et l'autre, beaucoup plus courante, fait appel à la simulation mathématique du climat (modèles climatiques) qui sont des modèles de circulation générale (MCG)). Voici quelques scénarios envisagés dans cet axe :

Le groupe de travail de l'IPCC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)] a envisagé des scénarios présentant en général les caractéristiques suivantes :

- Un doublement de la concentration atmosphérique de CO₂ d'ici 2025 à 2050. Le graphique suivant (figure I.2) montre l'évolution importante de la concentration du dioxyde de carbone, le plus important des gaz à effet de serre depuis 1940. On a même prévu que cette concentration pourrait doubler durant le milieu de ce siècle

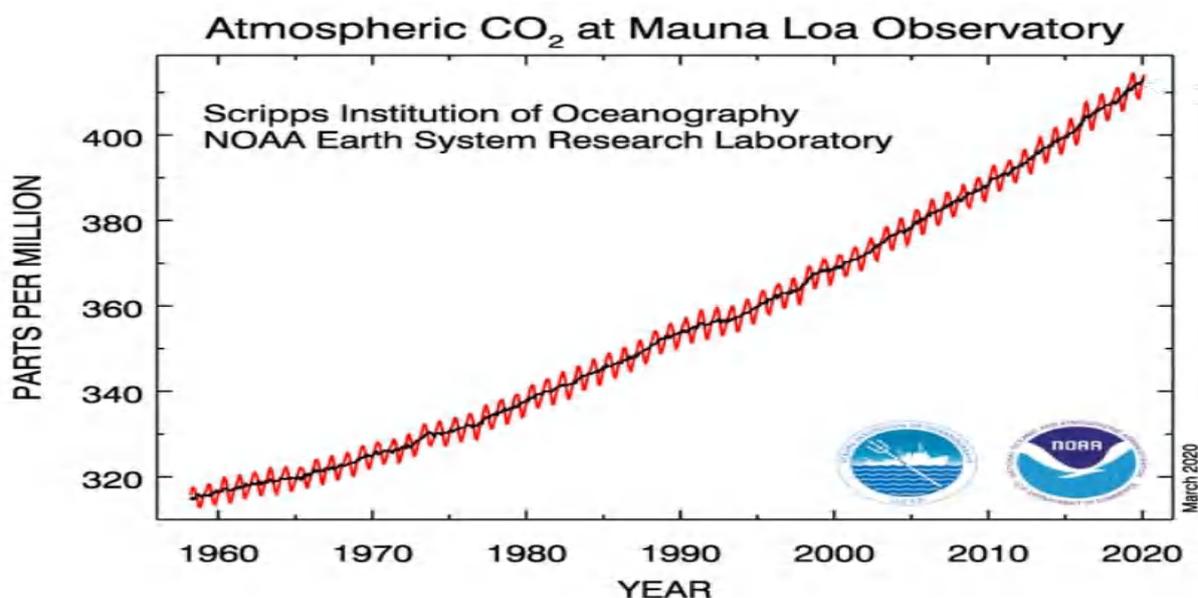


Figure I. 2: évolution des concentrations du dioxyde de carbone durant la période 1960-2020 en ppm source : <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

Une augmentation concomitante de la température moyenne mondiale de l'ordre de 1.50°C à 4.50°C correspondant au doublement réel du CO₂. (Figure I.3).

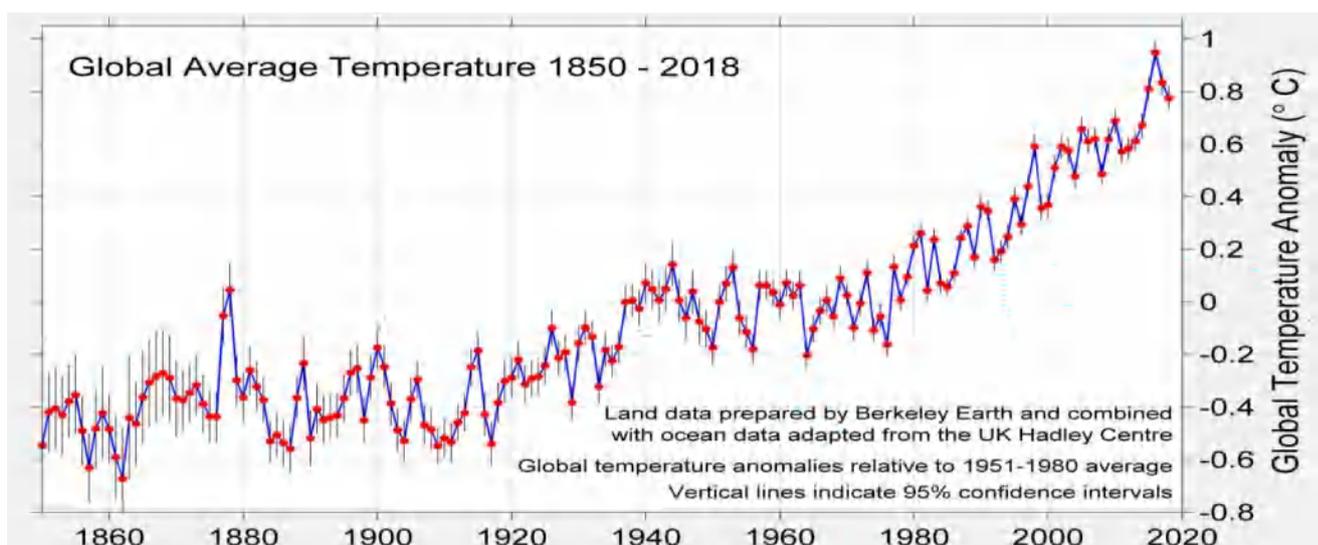


Figure I. 3: évolution de la température durant la période 1860-2019

Source : http://berkeleyearth.org/wp-content/uploads/2019/01/GlobalAverage_2018.png.

*Une élévation du niveau de la mer d'environ 0.3 à 0.5 m d'ici 2050 et d'environ 1m d'ici 2100, accompagnée d'un réchauffement de la couche superficielle de l'océan variant de 0.2 0°C à 2.5 0°C. (Figure I.4)

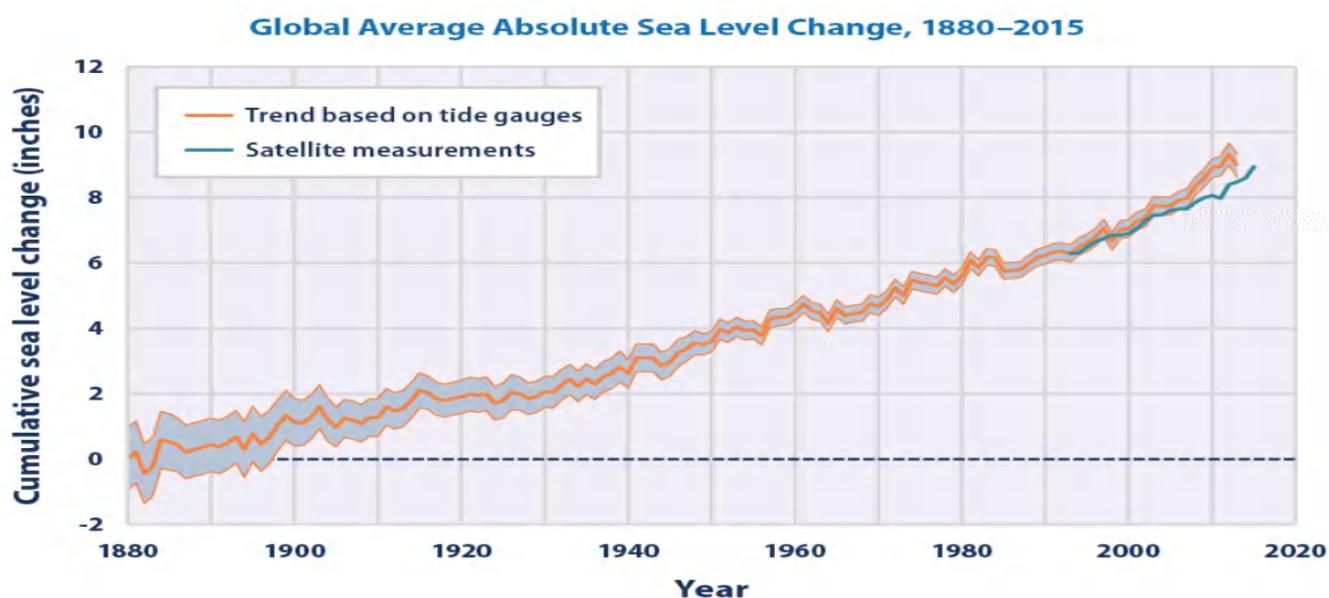


Figure I. 4: variation du niveau moyen des océans et des mers durant la période 1860-2016

Source : <https://www.epa.gov/sites/production/files/styles/large/public/2016-07/sea-level-download1-2016.png>

II.1.7. Les conséquences du réchauffement climatique

Les conséquences risquent d'être beaucoup plus importantes pour les pays pauvres que les pays industrialisés. Ces derniers mobiliseront plus facilement les moyens financiers, technologiques et matériels pour s'adapter aux changements climatiques annoncés. Les

prévisions faites par le GIEC ont affirmé que l'Afrique, est sans doute le continent le plus vulnérable, notamment à cause de la pauvreté généralisée qui y règne, le déficit en eau persistant, et la désertification déjà très avancée. (L. Ribadeau ; 1997).

Sur la base de plusieurs critères de vulnérabilité (agriculture et ressources alimentaires, eau, santé, services aux écosystèmes, habitats et infrastructures) et de résilience (gouvernance et services sociaux), une étude de chercheurs américains publiée en 2015 ¹ a classé 181 pays selon un index global d'adaptation aux changements climatiques², l'Algérie y est classée au rang 109 avec un indice de 44,5 et se place dans la catégorie des pays à faible vulnérabilité (41e place avec un indice de vulnérabilité de 0,37) et un niveau de résilience très bas (166 rang avec un indice 0,26). Ainsi malgré la vulnérabilité assez faible, la réponse ou les réponses en termes d'action et de lutte contre les effets des changements climatiques sont insuffisantes compte tenu des moyens du pays (figure I.5).

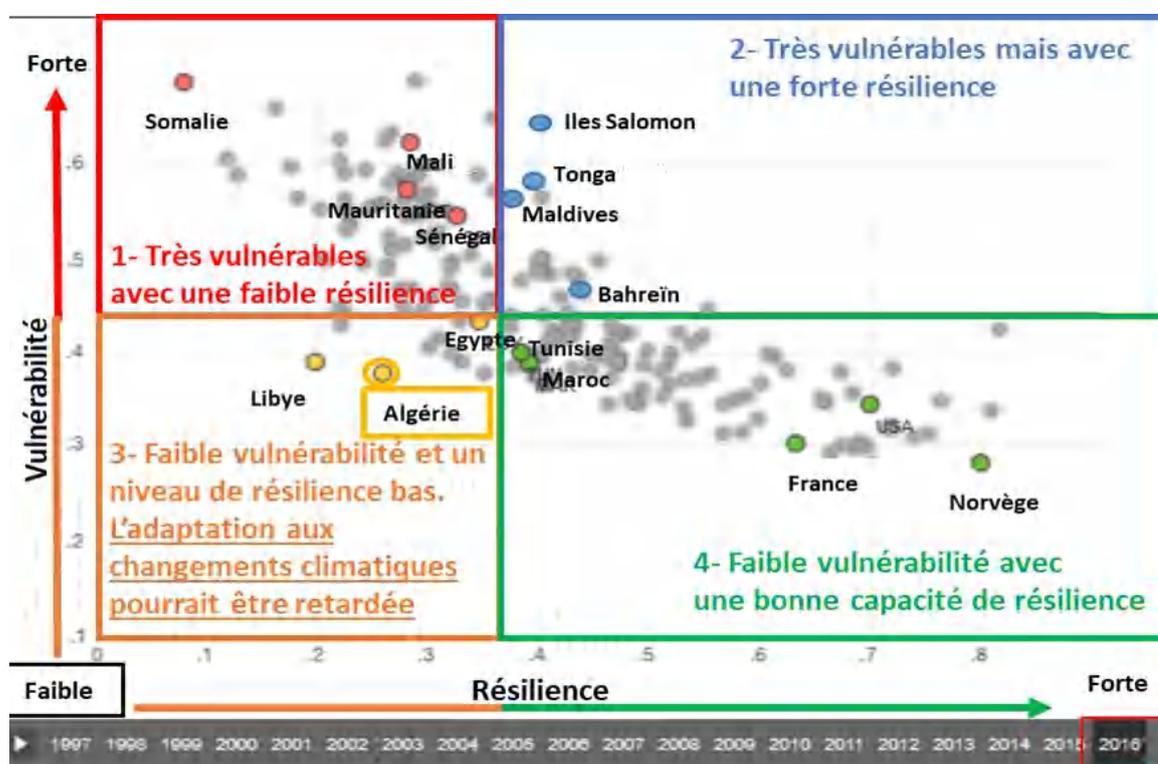


Figure I. 5: Classement de 181 pays selon l'indice global d'adaptation aux changements climatiques d'après Chen et al, 2015

Parmi les conséquences des changements climatiques nous citons :

- les perturbations du régime des pluies : les précipitations risquent d'être plus abondantes sur l'hémisphère nord avec des inondations et des tempêtes (ouragans, tornades...).

¹ Chen, C.; Noble, I.; Hellmann, J.; Coffee, J.; Murillo, M.; Chawla, N.2015, Global Adaptation Index Country Index Technical Report, https://gain.nd.edu/assets/254377/nd_gain_technical_document_2015.pdf

² L'indice ND Pays-GAIN est un outil de mesure pour évaluer l'adaptation aux changements climatiques. Cet indice utilise 20 ans de données sur 45 indicateurs pour classer 191 pays chaque année en fonction de leur niveau de vulnérabilité.

- une augmentation des sécheresses climatiques, les zones arides et semi-arides semblent être les plus vulnérables.
- Une hausse du niveau de la mer par dilatation thermique et fonte des glaciers : cette élévation du niveau des océans pourrait atteindre 1 mètre par endroit (figure I.4). Des zones littorales, certains deltas de fleuves, des îles pourraient être purement et simplement recouverts. Rappelons que 50 % des humains vivent sur les littoraux.
- Une modification des écosystèmes et de la végétation.

II.2 Les ressources en eau en Algérie

L'eau est inégalement répartie dans le monde. Le développement de l'industrie, de l'agriculture ainsi que la demande de plus en plus croissante en eau potable sont des facteurs qui accroissent le stress hydrique (moins de 1700 m³/an par habitant) et peuvent mener vers une pénurie hydrique (moins de 1000 m³ / an par habitant). L'Algérie ne fait pas exception à ce constat, elle se situe parmi les pays qui sont exposés à une pénurie hydrique.

En 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m³, elle n'était plus que de 720 m³ en 1990, 680 m³ en 1995 et 630 m³ en 1998. Elle est estimée aujourd'hui à 430 m³ (Mozas et Ghosn, 2013). En 2020 ce seuil sera de moins de 400 m³ et il se réduira encore dans le futur. Cette situation liée à la faiblesse de la ressource est aggravée par une succession de périodes persistantes de sécheresse que le pays a dû subir durant les trois dernières décennies. Cette situation a été particulièrement intense dans le nord du pays où une diminution de la pluviométrie annuelle comprise entre 10 et 20% a été observée (Meddi et Meddi, 2007).

Les potentialités totales en eau au nord de l'Algérie sont estimées à 19.1 milliards de m³, dont 80 % sont renouvelables (c'est à dire 70 % de l'eau de surface, 12 milliards de m³ et 10 % de l'eau souterraine qui représentent 2 milliards de m³) (ANRH, 1993,2004 et 2009). Ces ressources ont été fortement sollicitées, la recharge étant insuffisante, si bien que les niveaux piézométriques ont beaucoup baissé.

Le sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraine très importantes provenant des nappes du continental intercalaire (CI) et du complexe terminal (CT). Les réserves d'eau sont de l'ordre de 60 000 milliards de m³ dont 40 000 milliards sont situées en Algérie. La particularité de cette ressource est qu'elle n'est pratiquement pas renouvelable. La distribution de l'utilisation de cette eau est de 55,3 % pour l'irrigation, 34,2 % pour l'alimentation en eau potable et 10,5 % pour l'industrie (MRE, 2012).

Les ressources en eau de surface sont estimées à 12,4 milliards m³ (Remini, 2010). Ces ressources qui dépendent des précipitations sont inégalement réparties et sont caractérisées par une grande variabilité spatiotemporelle. A l'échelle annuelle, elles varient de 1100 mm à moins de 100 mm avec une baisse globale de 10 % au cours des dernières années en raison du changement et de la variabilité climatique (Boyé, 2008 ; MATE, 2010 et Elmeddahi et al, 2014).

II.2.1. Les eaux superficielles

Près de 87 % du territoire national représente une zone désertique, les précipitations sont faibles, irrégulières et inégalement réparties dans l'espace et dans le temps. Elles sont concentrées surtout dans le nord du pays. Depuis l'indépendance, la mobilisation des ressources en eau a été axée sur les ressources en eau souterraine. L'accroissement rapide de la demande en eau dans les secteurs de l'irrigation, de l'industrie ainsi que les besoins progressifs de la population ont amené les pouvoirs publics à mobiliser de plus en plus les ressources superficielles. C'est ainsi que les efforts entrepris durant la décennie en cours, ont permis d'enregistrer des améliorations sensibles.

Face à ce défi, le pays a mis en œuvre une nouvelle politique de gestion plus efficace des ressources en eau par le biais, par exemple de la construction de nouveaux barrages, qui sont passés de 52 barrages en 2002 avec une capacité totale de l'eau de 5,2 milliards de m³ à 72 barrages actuellement avec une capacité de 7,4 milliards de m³ (MRE, 2012 et Elmeddahi et al. 2015).

II.2.1.1. Les potentialités hydriques de l'Algérie

Les apports d'eau de surface atteignent plusieurs millions de mètres cubes pour les bassins avec le moins d'eau pour les années moyennes, du Sahara (Djorf Torba à Bachar : 350 Hm³ et Brezina à El Bayath ; 122 Hm³) et des milliards de mètres cubes pour ceux qui ont le plus d'eau (Beni Haroun à Mila : 1000 Hm³ et Kissir à Jijel ; 680 Hm³) (MRE, 2012).

Ces ressources en eau sont caractérisées par une forte variabilité. Pour neuf années sur dix elles ont nettement en dessous de la moyenne. Dans une année de sécheresse, l'apport d'eau peut diminuer à moins de 17 % et à plus de 30 % de la valeur moyenne. Les potentialités hydriques du pays sont illustrées dans le tableau I.1.

Tableau I. 1: Les potentialités en eau superficielle des bassins hydrographiques de l'Algérie (MRE, 2012)

Région Hydrographiques	Bassins versants	Superficie	Apport (Hm ³ /an) période globale	Apport (Hm ³ /an) période sèche	Taux de réduction en %
Cheliff- Zahrez	Cheliff	43750	1540	1078	30
	Zahrez	9102	110	77	30
Algérois- Hodna-Soummam	Côtiers Algérois-Isser-Sommam Chott Hodna-H.P. Constantinois	51089	4290	2634	39
Constantinois-Seybouse-Mellegue	Côtiers Constantinois-Kébir Rhumel-Medjerda-Seybouse	44219	4985	4137	17
Oranie- Chott-Chergui	Côtiers Oranais-Macta-Tafna-H.P. Oranais	76835	/	1371	32
Sahara	Sahara-Chott Melghir	168750	620	440	29

II.2.1.2. La mobilisation des eaux superficielles

La répartition inégale des ressources en eau dans le temps et l'espace a impliqué la construction de grands barrages réservoirs pour stocker les apports et faire des transferts d'eau

vers les régions qui connaissent des pénuries afin d'assurer la satisfaction des besoins et d'encourager le développement économique et social à travers toute l'Algérie.

1) Barrages en exploitation.

Dans le territoire Algérien, 72 barrages sont en exploitation avec une capacité de l'ordre de 7,4 milliards de m³ et un taux d'envasement qui varie de 1 à 63 %. Les capacités initiales et le volume régularisé par bassin sont présentés dans le tableau I.2.

Tableau I. 2: Capacité des barrages et le volume régularisé (MRE.2012)

Région Hydrographique	Capacité initiale (Hm ³)	Capacité Der .Levé (Hm ³)	Volume régularisé (Hm ³ /an)
Cheliff- Zahrez	2118,9	1581,73	733,5
Algérois- Hodna- Soummam	1648,2	1447,22	744,52
Constantinois- Seybouse-Mellegue	2215,29	2040,61	1048,1
Oranie- Chott- Chergui	737	647,94	416,19
Sahara	575	438,35	263

2) Les retenues collinaires

Dans le cadre d'un programme de petite et moyenne hydraulique, 900 retenues collinaires ont été réalisées durant les années 80, totalisant une capacité de stockage de 118 Hm³. Cependant, une grande partie de ces aménagements a été endommagée par les crues et l'envasement et sont actuellement partiellement hors d'usage ou abandonnés.

Sur 186 retenues collinaires du le bassin hydrographique Cheliff-Zahrez (soit une capacité de 35.13 Hm) 53 seulement sont en exploitation et le reste est totalement envasé.

Le bassin Algérois-Hodna-Soummam possède 269 retenues collinaires d'une capacité de l'ordre de 42 Hm³. Dans la région d'Oranie – Chott-Chergui on recense 180 retenues et petits barrages et seuls 30 sont en exploitation ce qui représente une capacité de 1 Hm³.

3) Les transferts d'eau inter-régions

Trois (3) importants transferts d'eau permettent de mobiliser un volume supplémentaire de 940 Millions de m³/an portant le volume régularisable global à 4 Milliards de m³ en 2010 :

- Le transfert des eaux souterraines d'Ain Salah vers Tamanrasset sur une longueur de 750 Km² pour un volume à transférer de 50 millions de m³/an soit 100 000 m³/j à partir de Juillet 2009.

- Le transfert des eaux à partir du barrage de Béni-Haroun vers les cinq wilayas situées dans les Hautes Plaines Constantinoises (Mila, Constantine, Oum El Bouaghi, Batna et Khenchela).
- Le système de transfert M.A.O (Mostaganem – Arzew – Oran) : L'aménagement du système de production d'eau Cheliff - Kerrada assurera l'approvisionnement du couloir « Mostaganem - Arzew - Oran » pour un volume de 155 Hm³/an, réparti entre la wilaya de Mostaganem (45 Hm³/an) et la wilaya d'Oran avec 110 Hm³/an.

Notons que l'étude de faisabilité du transfert des eaux du Sahara septentrional vers les régions du Nord et des Hauts Plateaux est en cours de réalisation.

II.3 L'action anthropique sur la région d'étude

II.3.1 L'impact sur le climat

Le cinquième rapport du GIEC, publié en 2013, laisse peu de place au doute : il est extrêmement probable que l'influence de l'homme est la cause principale du réchauffement climatique observé depuis le milieu du XX^e siècle. Dans le premier volet de ce rapport, le groupe d'experts du GIEC précise « Le cumul des émissions de CO₂ détermine dans une large mesure la moyenne mondiale du réchauffement en surface vers la fin du XXI^e siècle et au-delà ».

C'est une conséquence directe de l'activité humaine qui représente un facteur de la dégradation et les modifications du milieu physique d'origine anthropique (démographie, assainissement, agriculture, industrie changements d'occupation des sols, aménagements...ect), ce qui rend parfois difficile l'identification des liens entre la variabilité hydrologique et la variabilité climatique. L'homme peut être à l'origine du déclenchement et de l'accélération ce facteur anthropique par ses actions de défrichement des forêts, incendies et surpâturages et pratiques culturelles. De plus, les aménagements routiers et urbains, en augmentant les surfaces imperméables, exacerbent les inondations, favorisent le ruissellement et donc constituent un facteur d'entraînement du sol.

II.3.2 L'impact sur L'environnement

L'environnement a évolué en fonction des contraintes d'ordre climatique dont les effets sur les écoulements des eaux de ces oueds ont entraîné des baisses drastiques durant les quatre dernières décennies du XX^e siècle dont la période de rupture reconnue date des années 70 (Mahé et al., 2001, 2003, Lienou et al., 2008). Cette évolution est aussi perturbée par des activités anthropiques pratiquées le long des bassins versants.

Le facteur anthropique devient ces dernières décennies de plus en plus influant, en raison notamment de l'occupation de l'espace et des aménagements induits dans les milieux urbains et ruraux. Ces influences viennent compliquer et désorganiser le réseau hydrographique et son fonctionnement hydrologique naturel. Lors des périodes de sécheresses prolongées, la surexploitation des ressources en eau de surface et des réservoirs souterrains génère une problématique de taille en accusant une pénurie remarquable (assèchement partiel des oueds et des sources, abaissement des niveaux des nappes, etc.).

En revanche, les situations hydrologiques d'abondance engendrent des risques d'inondation aggravés par l'anthropisation croissante de l'espace. Plusieurs quartiers périphériques de la ville de Batna sont fréquemment inondés. A cette vulnérabilité naturelle s'ajoute une pression anthropique croissante sur les écosystèmes et les ressources naturelles (Ministère de l'environnement, 2012).

La pression anthropique qui s'exprime à travers une socialisation des géosystèmes va connaître un développement sans précédent pour les décennies à venir comme le montrent les estimations des populations à l'horizon 2025 (Tableau I.3).

Tableau I. 3: Estimation des populations horizons 2025

Communes du bassin	Nb. Habitants	Estimation des populations a différents horizons		
		2015	2020	2025
Lambez	22114	30731	35246	46366
Oued Taga	16154	22448	25747	33870
Timgad	10937	15199	17432	22931
Ichemoul	9887	13739	15758	20730
Ouled fadhel	9882	13732	15750	20719
Foum Toub	5844	8121	9314	12253
Ayoun assafir	8969	12464	14295	18805
Total	83787	116434	133544	175675

II.3.2.1 Changements de l'occupation des sols

Même si les changements d'occupations des sols au cours du dernières années sont observés dans de faibles proportions en rapport à la surface totale, on peut penser que ces modifications peuvent influencer sur la variabilité hydrologique, qui présente une augmentation notable des zones de cultures (surtout pour le Boulefreiss et Gueiss), et plus généralement une augmentation des surfaces ruisselantes (cultures, zones urbaines) et une diminution des surfaces non ruisselantes (pâturages, forêts). La conversion d'origine anthropique de ces larges zones affecte de nombreux paramètres environnementaux, en modifiant notamment le cycle de l'eau (modifications de l'évapotranspiration, du ruissellement...), les échanges d'énergie (modifications de l'albedo...), et le cycle du carbone, entre l'atmosphère et les surfaces continentales. De telles modifications peuvent donc potentiellement avoir des conséquences non négligeables sur la réponse hydrologique des bassins versants.

L'évolution de l'occupation des sols sur la période 1970-2008, suivant le recensement 2008, l'augmentation des zones urbaines est plus marquée pour le bassin de Chemora (7,85%), alors que l'augmentation des cultures est plus prononcée pour le Madher (3,97%). Les diminutions varient également selon les sous bassins, avec une diminution des pâturages plus marquée pour Madher (- 6,57%), ainsi qu'une diminution des forêts plus forte pour Gueiss (- 2,4%).

L'occupation des sols des bassins versants est actuellement dominée par les zones de prairies et pâturages (31.1%) et les zones de cultures (21,5%), suivi par les forêts (39,5%) et les zones arbustives (5,7%), et les espaces urbanisés (15,5%). Ces modifications du milieu physique peuvent notamment modifier le ruissellement et l'érosion : par exemple, les zones de cultures

ou les zones urbaines ont tendances à augmenter le ruissellement et l'érosion, alors que les prairies et les forêts ont tendances à les diminuer.

- **L'impact sur la couverture végétale**

L'espace pastoral s'amenuise suite au surpâturage. La disparition de la couverture végétale, laisse donc des surfaces importantes du sol non protégées et par la suite plus exposées aux effets érosifs de l'eau de la pluie et du ruissellement le feu endommage et ravage le couvert végétal. Cela sous-entend un plus grand risque de forte érosion que les autres surtout à Ichemoul.

- **L'impact sur les forêts**

Le défrichage des forêts provoque la perte en sol surtout dans les zones où il n'y a pas des moyens pour s'échauffer pendant l'hiver dont l'esprit de vie est traditionnelle, ces conditions font reculer la forêt d'une année à l'autre ce qui provoque la déforestation et qui favorise la perte du sol, car le système racinaire des forêts contribue à maintenir la cohésion des particules, les matières organiques et améliorent la structure des sols (K. F Benbrahim, 2004).

II.3.2.2 L'impact sur la pollution

Il existe une certaine contamination des oueds des bassins versants d'après les activités anthropiques comme les eaux usées des agglomérations de Timgad et Foug Toub et Sidi Mancer, Baiou ,El Marefeg déversés dans les oueds sans aucune épuration ,ainsi les eaux industrielle et les ordures ce qui compte l'importance des mesures physico-chimique et biologique qui présente une absence, effectuer des stations d'épurations ce qui permettra une réduction importante de la pollution des Oueds, et aussi encouragé la ferme d'élevage de poisson dans les eaux douces du barrage Medouar qui élimine la pollution par l'autoépuration des espèces aquatiques.

II.4 Le changement climatique observé au cours du 20ème siècle

II.4.1. Changement climatique à l'échelle globale

Les changements climatiques sont décrits de façons différentes selon les auteurs. On notera que la convention- cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), dans son article premier, définit les changements climatiques comme "des changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale, qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables".

Le GIEC est la principale autorité scientifique fiable sur le changement climatique. Les rapports publiés par cette institution permettent de suivre ces perturbations à une échelle mondiale.

En 1990, le GIEC affirme que l'ampleur du réchauffement (planétaire) est conforme aux prévisions des modèles climatiques, mais que cette ampleur est comparable à celle de la variabilité naturelle du climat.

En 1995, cette institution cite la responsabilité humaine dans les changements climatiques actuels.

En 2001, le GIEC soutient que les observations récentes indiquent que le réchauffement constaté au cours des cinquante dernières années est attribuable à des activités humaines.

Enfin en 2007, les experts soulignent que l'essentiel de l'augmentation observée des températures moyennes depuis la moitié du XX^{ème} siècle est, très probablement dû à la hausse des concentrations de gaz à effet de serre engendrées par l'homme.

II.4.2. Changement climatique dans la région méditerranéenne

La Méditerranée sera particulièrement touchée par le changement climatique au cours du XXI^{ème} siècle (Giorgi, 2006). La température a augmenté de + 0.8 °C selon les régions. La hausse est surtout sensible après 1970. Elle est particulièrement forte en Afrique du Nord avec près de + 2°C. Pendant les années 1980 et 1990, le réchauffement a été plus prononcé au niveau du bassin Méditerranéen, avec une hausse plus importante en hiver, surtout en ce qui concerne les températures minimales (Nicholson, 2001 et Collins, 2011). Les précipitations ont diminué avec une baisse de 20 % dans certaines régions (Cislaghi et al. 2005 et Alpert et al. 2008). Au niveau de l'Afrique du Nord, la tendance est plus contrastée (Born et al. 2008, Nouaceur et al, 2016).

La hausse des températures et la recrudescence des sécheresses climatiques modifieront la répartition spatiale et temporelle des précipitations et, par suite, des ressources en eau. Ceci, combiné aux fortes pressions anthropiques sur l'environnement et aux demandes en eau sans cesse croissantes, rendra la satisfaction des besoins en eau pour les différents usages de plus en plus difficile à assurer. Des tendances à la diminution des précipitations ont été détectées à différentes échelles spatio-temporelles (Trigo et al. 2000 ; New et al. 2001 ; Norrant et Douguédroit, 2005 et Trenberth et al. 2007), en enregistrant une baisse de l'ordre de 20 % dans certaines régions.

Dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, la demande en eau a doublé et elle pourrait encore s'accroître de 20 % d'ici 2025. Dès lors, les questions relatives à la gestion des ressources en eau se posent de manière accrue (Marianne, 2010).

II.4.3. Le changement climatique au Maghreb

Au Maghreb, l'évolution récente du climat montre que le réchauffement est plus important que la moyenne. En effet, si au niveau mondial la hausse de température au 20^{ème} siècle a été de + 0.74°C, celle calculée pour le Maghreb est située entre + 1.5 et + 2°C selon les régions (Born et al. 2008 et Agoumi, 2003, Nouaceur et al. 2013), soit plus du double que la hausse moyenne planétaire. Quant à la baisse des précipitations, elle varie entre 10 et 20 %. D'autre part, de nombreuses études montrent que les projections climatiques, élaborées par les modèles de circulation générale (MCG) actuels, sous-estiment la hausse des températures et la baisse des précipitations sur le Maghreb. Ce qui montre que les pays du Maghreb vont subir, plus que d'autres, les effets du changement climatique qui constitue, désormais, une préoccupation majeure pour la région (Tabet-Aoul, 2008).

Le processus de changement climatique se traduira par un déplacement vers le Nord des étages bioclimatiques, conduisant au Maghreb à une remontée des zones arides et désertiques (El- Mahi, 2002).

II.4.4. Le changement climatique en Algérie

L'Algérie est située sur la rive sud du bassin méditerranéen, ce territoire se compose d'ensembles géographiques contrastés. Il subit sur le plan climatique une double influence des systèmes tempérés et tropicaux. Cette situation particulière l'expose à une grande vulnérabilité aux impacts du changement climatique global.

Le climat a varié au cours du 20ème siècle et le signal du changement climatique apparaît dans les ruptures des séries pluviométriques et la hausse confirmée des températures (Nouaceur et al, 2013). Les scénarios climatiques pour le siècle actuel indiquent un risque de réduction des pluies pouvant atteindre 20 % (MATE, 2001 ; Giorgi et Lionello, 2008). Malgré les incertitudes qui subsistent, ces projections risquent d'affecter des secteurs stratégiques, tel que l'agriculture.

En Algérie, environ 13% seulement des terres ont un climat méditerranéen, le reste étant dominé par un climat semi-aride à désertique. Comme c'est le cas de nombreux pays méditerranéens, le climat algérien est caractérisé par une variabilité annuelle et inter- annuelle marquée, avec des années très sèches, sèches, normales et rarement humides. Ceci implique une forte dépendance du secteur agricole.

Les précipitations se produisent principalement d'octobre à avril, et les pluies sont souvent concentrées sur quelques jours ou quelques heures. Les températures sont relativement élevées, ce qui cause une évapotranspiration importante.

II.5. Les facteurs explicatifs de la variabilité climatique

On sait que la formation des précipitations nécessite la présence de plusieurs conditions comme la vapeur d'eau (humidité), les noyaux de condensation et un système de circulation qui permet et favorise la condensation et donc, la formation de nuages et des précipitations. En général, la sécheresse est une conséquence de l'absence de l'une de ces conditions.

Dr Lamb (1985) dans sa recherche sur les causes possibles de l'occurrence de la sécheresse au Maroc entre 1979 et 1980, qui a affecté aussi une large partie du bassin de la Méditerranée, a identifié des corrélations acceptables entre l'indice de La NAO (Oscillation Nord-Atlantique) et les précipitations.

Une autre étude menée par Hurrell, (1995) a trouvé une relation étroite entre l'indice méditerranéen MOI (Mediterranean Oscillation Indice) et la variabilité pluviométrique au nord de l'Afrique. Pour l'Algérie, les travaux antérieurs van Loon et al, 1997 ont montré que la variabilité observée durant les vingt dernières années est influencée par ce paramètre. Durant cette période, le phénomène EL NINO (phénomènes océaniques à grande échelle du Pacifique équatorial, affectant le régime des vents, la température de la mer et les précipitations) a été

plus fréquent que par le passé et il a été observé plus de 5 fois depuis le début de la décennie 1970.

II.5.1. L'oscillation nord atlantique (NAO)

L'oscillation nord-atlantique a été découverte en 1920 par les deux météorologues, l'Autrichien Friedrich Exner et l'Anglais Gilbert Walker, cette oscillation peut être quantifiée par un indice, l'indice ONA. Comme dans Rogers (1984), l'indice de l'oscillation nord-atlantique est défini comme la différence entre les anomalies de pressions normalisées à Lisbonne (Açores) et Reykjavik (Islande).

$$ONAi = \left(\frac{Pi + Pmoy}{\sigma} \right) - \left(\frac{Pi - Pmoy}{\sigma} \right)$$

P_L : la moyenne normalisée à Lisbonne de la pression au niveau de la surface de la mer.

P_R : la moyenne normalisée à Reykjavik de la pression au niveau de la surface de la mer.

L'ONA se ramène ainsi à un chiffre compris entre -5 et $+5$. Quand cet indice est positif, la différence de pression est maximale, les hautes et les basses pressions sont accentuées ; un indice négatif correspond au contraire à un anticyclone des Açores et une dépression islandaise faible. Ces deux états de l'oscillation nord-atlantique correspondent aux deux grands types de climats hivernaux ; Un indice ONA positif avec ses pressions hautes aux Açores et basse en Islande, se manifeste par des vents forts et rapides d'ouest- sud-ouest balayant l'océan atlantique ; Il engendre des tempêtes et des précipitations fréquentes sur le nord de l'Europe et des sécheresses sur l'Afrique du nord.

Quand l'indice ONA est négatif, ces effets sont inversés. Avec une différence de pression réduite entre le Portugal et l'Islande, les vents d'Ouest sont faibles et les perturbations s'engouffrent plus au sud, apportant des pluies sur les régions méditerranéennes. (Cañellas et al. 2010).

Les moyennes mensuelles hivernales (décembre à mars) sont les plus utilisées car c'est durant la saison froide que la signature de la NAO est la plus marquée. La structure spatiale de la NAO hivernale est présentée sur la figure I.6. La NAO est caractérisée par la présence de deux centres d'anomalies de pression de signe opposé, qui s'étirent respectivement de l'Islande au Spitzberg et du centre du bassin Atlantique Nord à la péninsule Ibérique et la France. On parle de phase positive lorsque les deux centres d'action se renforcent (creusement de la dépression d'Islande et gonflement/intensification de l'Anticyclone des Açores) ou de phase négative lorsque les deux s'affaiblissent simultanément.

La phase positive correspond donc à un renforcement du gradient de pression méridional qui contribue à intensifier la circulation d'ouest sur le nord-est atlantique et le continent européen. Dans cette configuration, l'axe du rail des dépressions qui est orienté sud - ouest -

nord – est migre vers le nord (Figure I.6), déviant ainsi les perturbations se formant au-dessus de l'atlantique vers le nord du continent européen (Hurrell, 1995 ; Wanner et al. 2001).

A l'inverse, la phase négative correspond à un affaiblissement du gradient de pression méridional dans l'Atlantique Nord induisant une diminution de l'intensité des vents d'ouest. L'axe du rail des dépressions est alors clairement zonal, permettant le passage de perturbations atlantiques vers le sud de l'Europe et le bassin méditerranéen.

Les phases positives et négatives de l'indice ONA sont associées à différentes structures spatiales des précipitations. En phase positive, les précipitations sont généralement plus importantes qu'en moyenne sur l'Ecosse et la Scandinavie et moins importantes en Europe du Sud et au nord du continent africain (Wanner et al. 2001). En phase négative, on observe la situation inverse.

L'indice NAO est donc un signal important et robuste pour expliquer les variations des précipitations hivernales en Méditerranée. De nombreuses études ont effectivement montré que les fluctuations de cet indice sont anti-corrélées avec les variations des précipitations hivernales en Méditerranée Occidentale (Hurrell, 1995 ; Dai et al. 1997, Rodó et al. 1997 ; Xoplaki, 2002 ; Trigo et al. 2004), principalement dans sa partie occidentale. Ainsi, il a été montré que la baisse significative des précipitations hivernales en Méditerranée constatée depuis 1960 est due, au moins partiellement, à la prépondérance des phases positives de l'ONA (e.g. Dünkeloh et Jacobeit, 2003 ; Xoplaki et al. 2004).

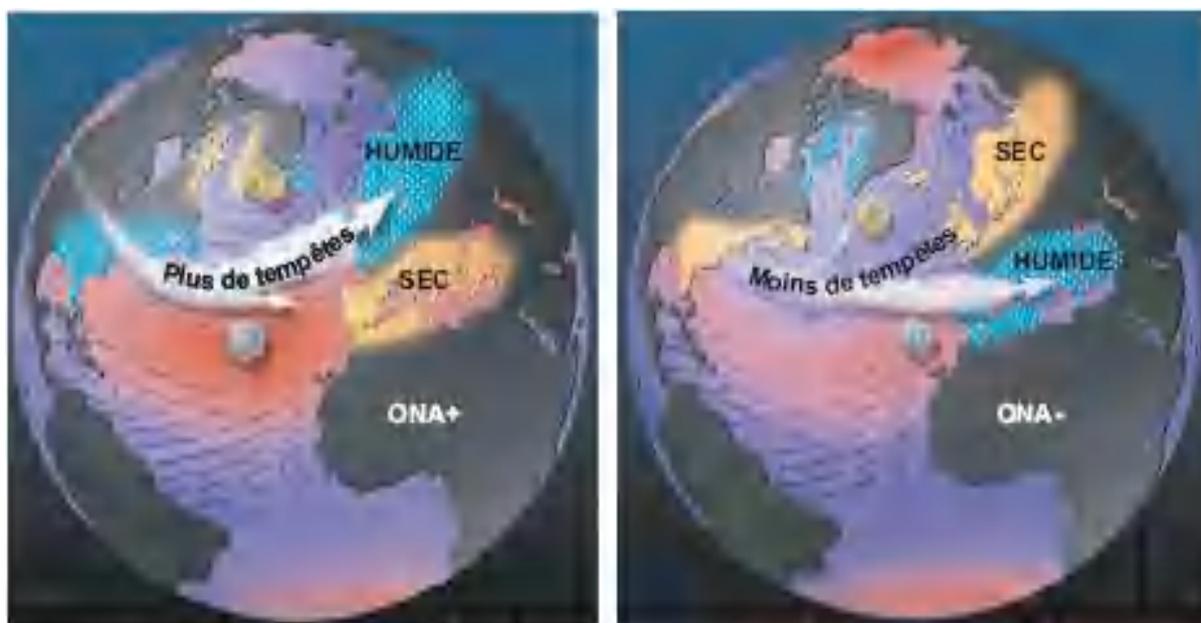


Figure I. 6: Représentation schématique des conditions météorologiques en Europe associées aux phase positives (à gauche) et négatives (à droite) de l'Oscillation Nord-Atlantique. Adapté de Visbeck (2007).

L'indice NAO qui a été utilisé dans cette étude a été téléchargé à partir du site web du Climatic Research Unit (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm>).

II.5.1.1. L'origine et la variabilité de l'oscillation nord-atlantique

Si les effets de l'oscillation nord-atlantique sont bien définis, ses causes restent plutôt obscures ; les climatologues ignorent ce qui provoque le basculement. Donc comprendre l'origine de ces oscillations représente l'un des grands défis du moment. Certains scientifiques en analysant l'évolution de l'indice ONA penchent pour des fluctuations aléatoires, d'autres distinguent une périodicité décennale de l'oscillation. Quand on observe la succession des indices ONA depuis les 150 dernières années (figure I.7), la série d'indices calculés pour Lisbonne et Stykkisholmur met en évidence, à la fin du XXe siècle, l'alternance de périodes décennales qui privilégient les phases négatives dans les années 1950 à 1970, puis les phases positives.

L'indice révèle aussi une forte variabilité interannuelle (c'est-à-dire d'un hiver à l'autre) avec de brusques changements, par exemple entre les hivers 1995 et 1996. L'oscillation nord atlantique a toujours existé et est considérée comme un mode intrinsèque à l'atmosphère. Le changement climatique sur l'Europe doit être plutôt interprété comme la répétition depuis 1970 d'hivers à NAO+, dont la persistance explique l'effet décennal décrit précédemment.

Le comportement de ces trente dernières années semble se rapprocher de celui du début du XXe siècle, où une certaine persistance en phase positive était également décelable. En revanche, il en diffère par les fortes valeurs de l'indice : sept valeurs parmi les dix les plus élevées au cours des 150 dernières années ont été enregistrées depuis 1980. Et aussi, il faut savoir si les oscillations de pression entre l'Islande et le Portugal ne répondent qu'à des variations de l'atmosphère, ou bien si l'océan y joue un rôle. Si l'ONA n'est commandée que par l'atmosphère seule, alors la succession d'une année sur l'autre est aléatoire. Car l'atmosphère n'a qu'une faible mémoire ; C'est à dire l'état de l'atmosphère à un instant donné ne dépend pas de son état plusieurs jours ou plusieurs semaines auparavant ; Les recherches et les études faites sur cet axe montrent que cet état antérieur est totalement oublié par l'atmosphère. Ce qui est évident dans notre étude sur les séquences.

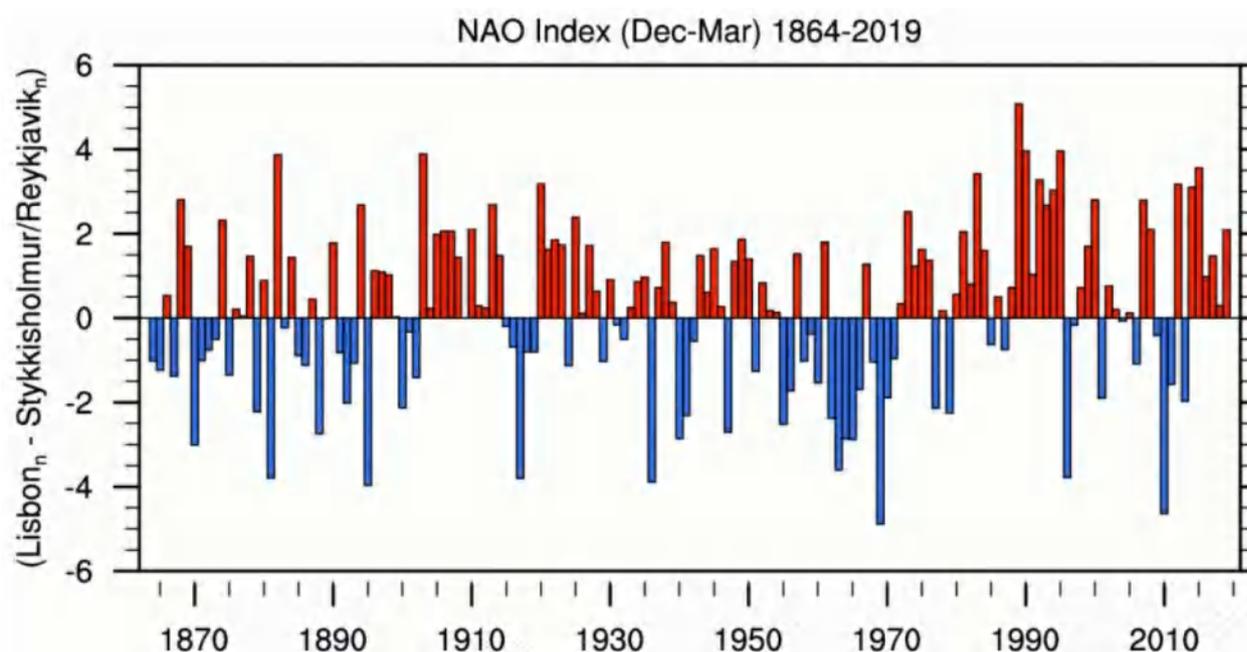


Figure I. 7: NAO moyenné sur les mois d'hiver (mois de décembre à mars) et calculé pour les stations de Lisbonne (Portugal) et Stykkisholmur (Islande). L'indice est présenté pour les hivers 1870 à 2019

Source : <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based>

II.5.2. L'Oscillation Méditerranéenne Occidentale (OMO)

Dans une publication récente, Martin-Vide et Lopez-Bustins (2006) présentent un indice caractéristique d'un mode dominant de la CAGE (Circulation Atmosphérique à Grande Echelle) en Méditerranée Occidentale : il s'agit de l'Oscillation Méditerranéenne Occidentale (OMO). Sa création résulte du constat selon lequel les variations de l'indice NAO expliquent une faible variabilité des précipitations automnales et hivernales dans la partie orientale de la péninsule ibérique, voire le long de la côte méditerranéenne française. Les auteurs de cette étude ont alors cherché un indice relatif à la CAGE qui soit le plus pertinent possible pour expliquer la variabilité des précipitations de la saison pluvieuse le long du littoral méditerranéen joignant le sud-est de l'Espagne au sud-est de la France.

L'indice OMO a été défini comme la différence des pressions de surface normalisées entre les stations de San Fernando (Espagne) et Padua (Italie). Il est caractérisé dans sa phase positive par le renforcement de l'Anticyclone des Açores et son extension sur le quart sud-ouest de la péninsule ibérique associée à de faibles pressions au niveau du Golfe de Ligurie (Figure I.8 a), induisant une circulation générale nord - ouest - sud-est des masses d'air en surface. A l'inverse, sa phase négative correspond à une zone de basses pressions centrée sur le quart sud-ouest de la péninsule ibérique associée au renforcement de l'Anticyclone central européen et à son extension sur le Golfe Ligurie, induisant une circulation générale est - ouest des masses d'air en surface (Figure I.8 b). La phase neutre de l'indice OMO correspond soit à l'existence d'un

faible gradient de pression sur l'ensemble du bassin méditerranéen occidental soit à une advection d'air de direction nord - est le long d'une isobare de même orientation.

Les précipitations mensuelles des stations situées sur le littoral oriental de l'Espagne sont significativement anti-corrélées avec les valeurs de l'indice OMO, bien plus qu'avec l'ONA, particulièrement durant la saison hivernale (*Martin-Vide et Lopez-Bustins, 2006*). Cet indice caractérise ainsi une partie de la variabilité de la cyclogenèse dans le bassin méditerranéen occidental et des pluies associées le long du littoral méditerranéen.

L'indice OMO a été téléchargé à partir du site web du Group of Climatology de l'Université de Barcelone (<http://www.ub.es/gc/English/wemo.htm>).

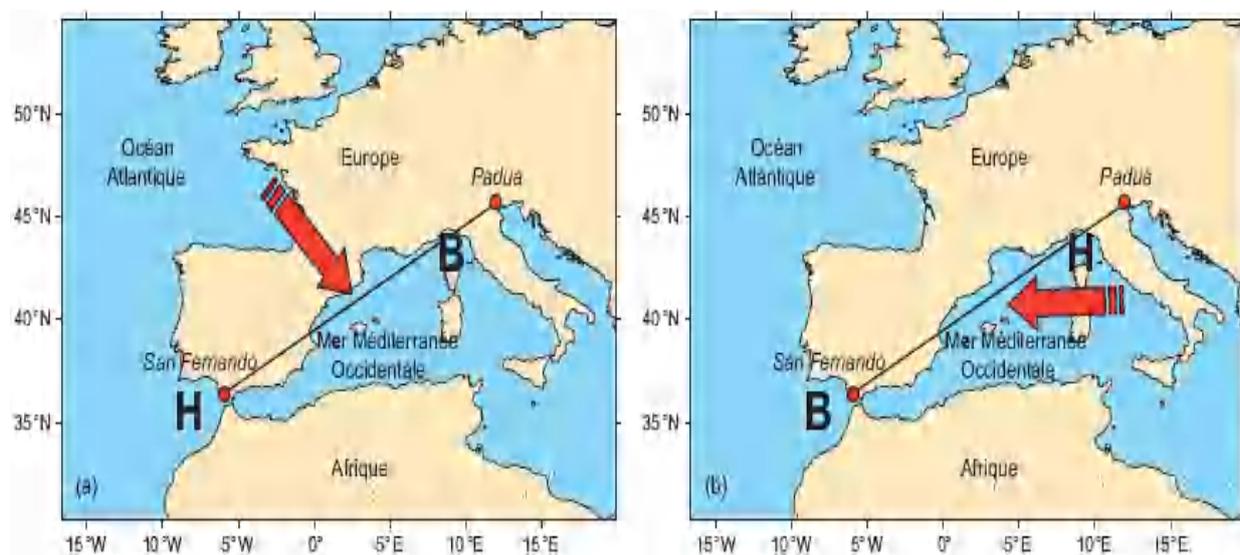


Figure I. 8: Représentation schématique des conditions météorologiques en Europe associées aux phases positives (à gauche) et négatives (à droite) de l'Oscillation Nord-Atlantique. Adapté de Visbeck (2007).

CHAPITRE II :
PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

I. PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

I.1 Situation géographique

La zone d'étude est située dans la partie nord-est de l'Algérie entre les latitudes 35° 20° et 35° 50° nord et les longitudes 6° 20° et 7°40° Est. Elle fait partie du bassin versant des " HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS ", et couvre au nord des Aurès, une superficie de 1261.84 km² (ANRH) (Figure II.1). Elle englobe des bassins hydrographiques à écoulement endoréique parmi lesquels 4 font l'objet de notre étude :

- Bv de Madher,
- Bv de Chemora,
- Bv de Boulefreiss,
- Bv de Gueiss

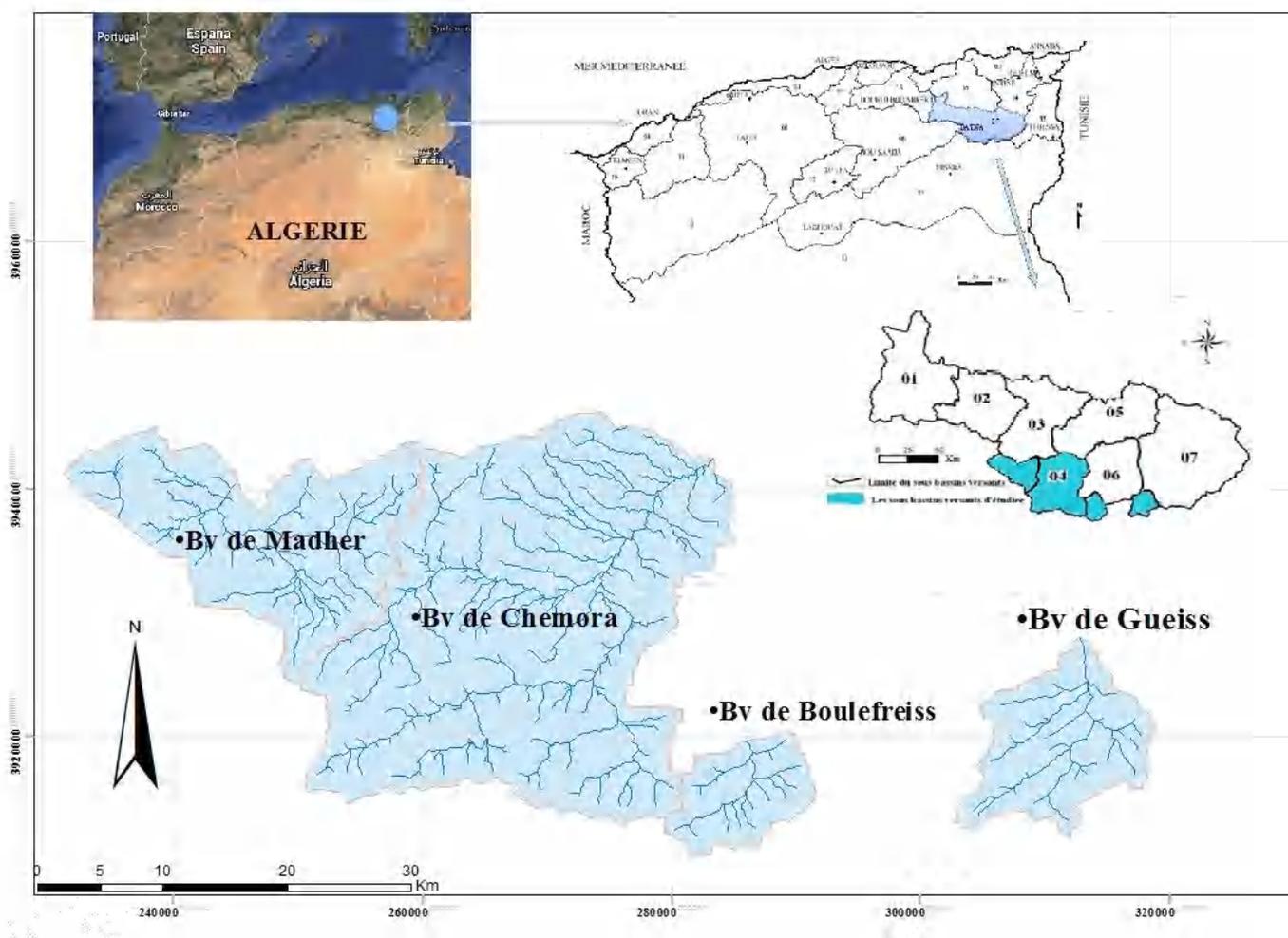


Figure II. 1: Les sous bassins versants étudiés

I.2 Les Grands Ensembles Topographiques de la zone d'étude

Le système orographique de la région d'étude dans la zone semi-aride est compartimenté essentiellement en quatre ensembles bien distincts : les montagnes, les piedmonts, les plaines et sebkhas (chott).

I-2.1 Les montagnes

Ces reliefs forment une barrière naturelle qui joue un rôle climatique et hydrologique important. Ainsi, les différents paramètres climatiques sont fortement influencés par ces obstacles qui s'opposent aux masses d'air issues du Sahara (air chaud et sec) et celles plus humides qui arrivent depuis la Méditerranée depuis les hautes plaines. (Guidoum ; 2004).

Dans cette zone nous retrouvons les monts des Aurès avec djebel Ghoufi, dont le sommet Ech Ali (1810 m) est à environ 7 km au sud de Batna. - Le djebel Assière (1835 m) - Le Dra Ben Chibane (1944 m) - Le Ras Tafsart (1981 m) - La partie du djebel Mahmed située au nord d'Aïounet-El -Amar (2214 m). - Le Teniet Gabel Ressas, col gardé jadis par un poste romain et par où passe le sentier faisant communiquer l'oued Taga avec l'oued Abdi par le Taghit (la gorge) de Si Mohammed Tahar. - Le Ras El Mers - Le djebel Bergoug - Le Teniet Bou Irhyal par où passe la route carrossable de Lambèse à Arris par Djermane. - Le djebel Iddert (1901 m) - Le Ras El Kriane (1948 m) - Le Teniet Ain Youp et le Teniet El Kadir (1645 m).

I-2.2 Les piedmonts

Ils représentent la zone de transition entre la montagne et la plaine et s'allongent de l'ouest à l'est au pied du versant. Notre région d'étude s'étale entre 1200 m et 1400 m, elle se présente sous forme de collines constituées par les dépôts colluviaux qui descendent en pente atténuée vers la plaine.

En plus de ces collines, ce milieu se caractérise par une série de glacis qui se présente sous forme de petits reliefs monoclinaux, où on y pratique l'agriculture.

I-2.3 La plaine

L'ensemble des bassins versants est circonscrit par les courbes de niveau 1200 m et 900 m et couvre environ les 2/3 de la totalité de la surface étudiées.

Les dépôts accumulés dans cette plaine sont composés dans l'ensemble, de sable, gravier, et de limon, résultants de la charge solide des oueds qui perdent leur compétence avant d'atteindre les lacs salés ; les activités agricoles saisonnières sont dominantes dans ces plaines.

Des ensembles physiques ci-dessus décrits, il est possible de distinguer trois grandes unités hydrologiques du bassin :

- *Le bassin supérieur* ; c'est une région montagneuse composée d'une chaîne de reliefs accidentés d'altitude variant entre 1300m et 1500m ; Ce secteur constitue la partie la plus arrosée et présente une déclivité accentuée.
- *Le bassin moyen*, correspond à la partie du piedmont et une partie de la plaine, qui domine des reliefs moins abrupts, avec une altitude variant entre 1000 m et 1300 m.
- *Le bassin inférieur*, c'est la zone septentrionale du bassin, avec une altitude variant entre 700m et 1000m.

I-2.4 Chott, sebkhet et Garaet

Pouget (1980) cité par (Bouzid, 2003), définit les Chotts et les Sebkhets comme des "Systèmes évaporatoires" s'alimentant des apports superficiels de ruissellement et des nappes plus profondes.

La sebkha est une dépression fermée et salée qui cumule les eaux superficielles (eaux pluviales...) et les augmentations des eaux souterraines, peu profondes et très vastes. Les principales zones humides dans les hauts plateaux constantinois sont :

***Chott Tinnsilt**

Le chott s'étale sur une superficie inondable d'environ 1000 ha alimenté essentiellement par les eaux pluviales et par l'oued Madher, alors que la totalité du site y compris ses abords s'étend sur 3600 ha. (Ladjel.M. et Bersouli.C, 1995)

*** Sebkhet Ez Zemoul**

La sebkhet Ez Zemoul s'étend sur une superficie de 4600 ha (Saheb, 2003), une zone humide temporaire, qui ne se remplit que durant la période hivernale alimentée par oued Madher, situé à l'Est du chott Tinnsilt. Elle fait l'objet d'une exploitation de sel.

*** Sebkhet Djendli**

La Sebkhet Djendli couvre une superficie de 3700 hectares, elle est alimentée principalement par les eaux pluviales. (Adjal et Mouici, 2004). Les principaux oueds qui s'y déversent sont oued El-Hamel, oued Benzid, oued El-Djemila et oued Chemora qui prennent leur naissance sur les piémonts nord du djebel Bouarif et piémont sud du djebel Toumbait.

*** Garaet Guellif**

D'une superficie de 24000 hectares, le chott est une dépression endoréique entièrement encerclée de cultures céréalières. Le niveau de ses eaux salées varie en fonction des facteurs climatiques. Le site est enclavé entre Djebel Guellif au nord, Djebel El-Tarf à l'est, Djebel Fedjoudj au sud et communique avec Garaet Annk Djemel à l'ouest. Il est alimenté principalement par Oued Chemora et par trois oueds non permanents, Talliserdine, El Houassi et Ourleiss qui prennent naissance dans la chaîne montagneuse de Touzzeline située au nord. L'évaporation y est très intense, la garaet est mise à sec en quelques jours et ne contient qu'un niveau d'eau bas même au cours de la saison hivernale. (Figure II.2).

*** Garaet Ank Djemel et El Marhssel**

Le site est situé à l'aval de Djebel Fedjoudj qui couvre une superficie de 18140 hectares, le site est cerné par un encroûtement de sel très important limité par une prairie (Chott) à base de salicornes, d'armoïse et d'atriplex. L'oued permanent de Chemora l'alimente de même que deux oueds importants, temporaires, Oued Berrou et Oued Talliserdine, alimentent le site en saison (figure II.2)

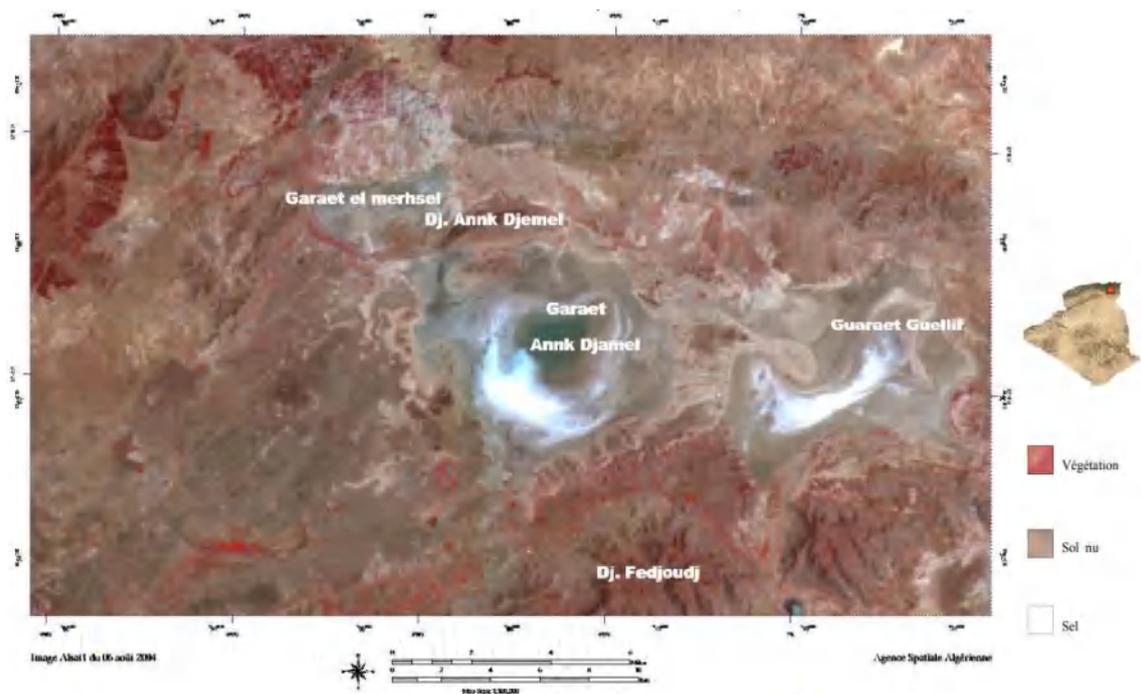


Figure II. 2: Situation de Garaet Guellif, Garaet Ank Djemel et El Marhsel
Source : Image Alsat 06/08/2004

*** Garaet El Tarf**

Cette zone humide est la plus grande zone de la région, elle s'étale sur une superficie de 33460 ha (Saheb, 2003) elle est alimentée essentiellement par les eaux pluviales provenant de l'Oued Boulefreiss, Oued Maarouf, Oued Remila, Oued Gueiss. Elle est faible profondeur, et contient le Chott El Maleh d'une superficie 85 ha. Sa mise à eau n'a lieu que durant les années pluvieuses, et sebkhet Gemot est une continuité de garaet El Tarf avec une superficie d'une dizaine d'hectare. (Figure II.3)

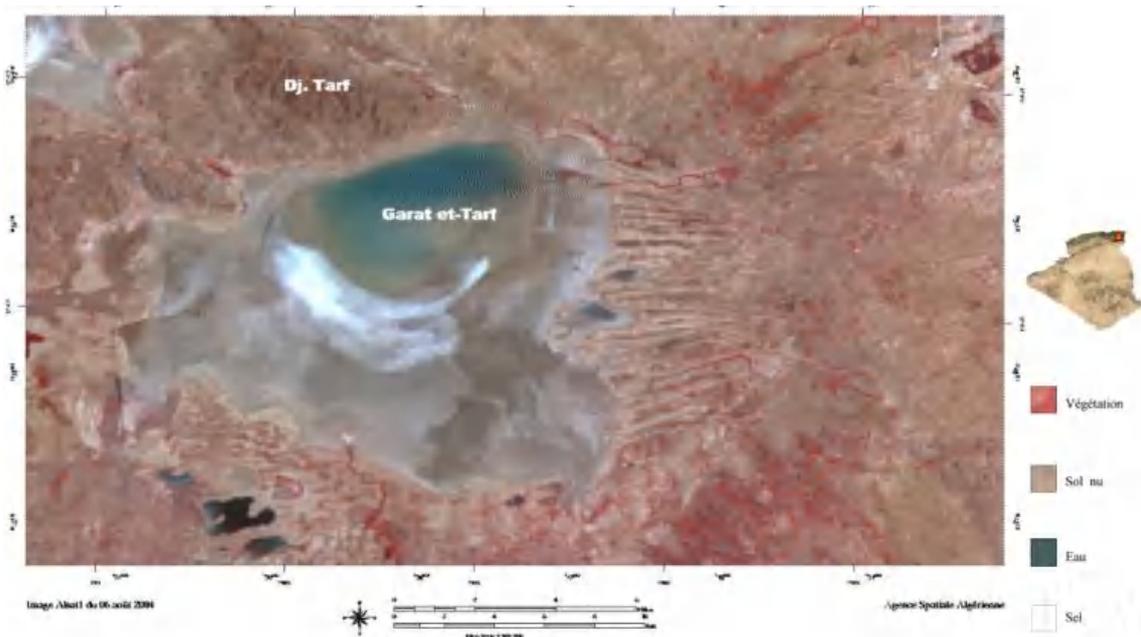


Figure II. 3: Situation de Garaet El Tarf
Image Alsat 06/08/2004

Ainsi, avec des milieux aussi variés et hétérogènes, l'inscription du réseau hydrographique sur cet espace ne peut être que très diversifiée.

I.3 Le Climat

Le climat de type méditerranéen caractérise cinq grandes régions du globe en incluant le pourtour du bassin (origine de ce type de climat). En Amérique du Nord, les conditions climatiques méditerranéennes sont observées sur 324 000 km² en Californie. Dans l'Amérique du Sud, ces caractéristiques se retrouvent sur une zone évaluée à 140 000 km² au Chili central. Sur le continent africain, c'est en Afrique du Sud que ce climat caractérise le temps sur une superficie évaluée à 90 000 km². Enfin, en Australie, il occupe une partie du sud et de l'est de ce grand territoire évaluée à 112 260 km².

Le rythme pluviométrique saisonnier est l'un des paramètres qui permet d'identifier ce climat parmi la typologie complexe des climats de la planète. Avec une saison sèche courte et concentrée sur les mois d'été et une saison pluvieuse qui s'étale entre l'automne et l'hiver (selon les sous régions on peut avoir soit un maximum d'automne ou d'hiver, (Dougredoit, 1997, Xoplaki, 2002). Ces conditions représentent le premier critère de classement du domaine climatique déjà cité. Le paramètre thermique (été chaud et hiver doux) constitue le deuxième critère de classification.

Afin de préciser le caractère climatique de notre zone d'étude, nous utilisons plusieurs indices et diagrammes qui permettent de caractériser les paramètres atmosphériques d'une région donnée.

La méthode du diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls permet de dresser les principales caractéristiques climatiques grâce à l'analyse de l'évolution mensuelle des températures et de la pluviométrie.

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (figure II.4) représentant les variations mensuelles des températures et des précipitations selon une gradation standardisée (une gradation de l'échelle des précipitations correspondant à 2 gradations de l'échelle des températures $P=2T$) montre que la partie orientale de la zone d'étude (station de Khenchela), est caractérisée par une période sèche de 4 mois, de juin à septembre, et une période humide d'octobre à mai. Pour la partie occidentale (station de Batna), la période sèche dure 5 mois, de mai à octobre, et la période humide de novembre à mai.

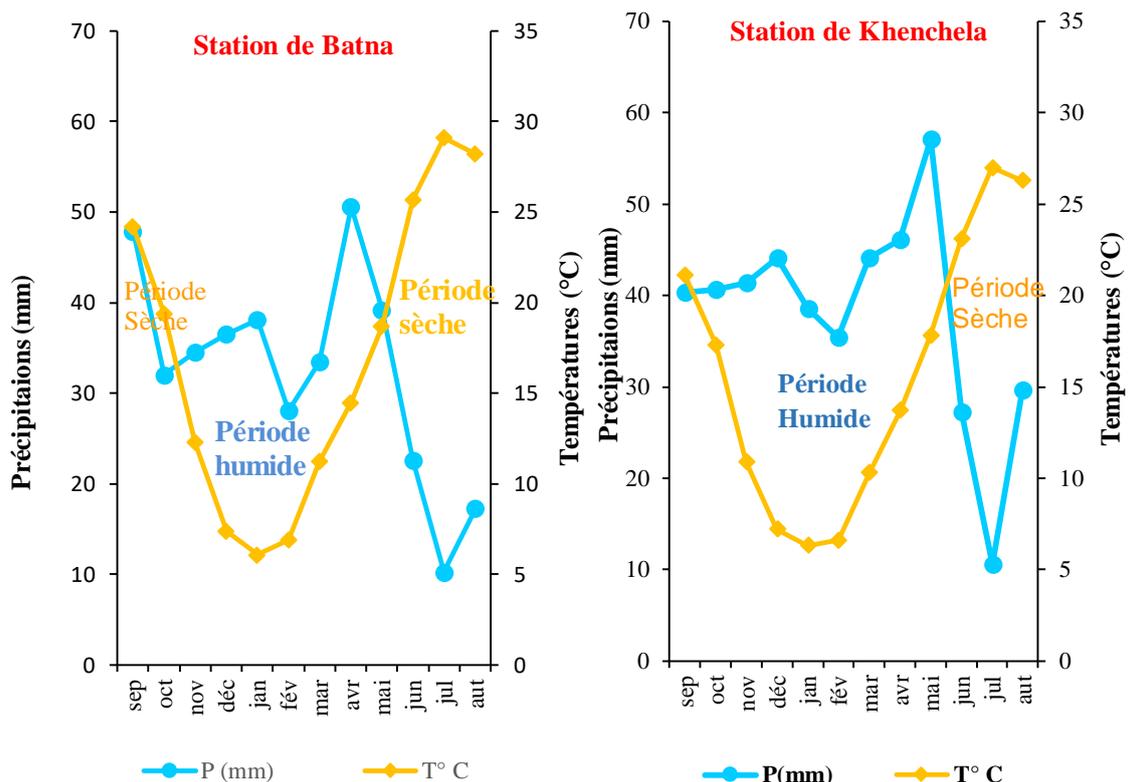


Figure II. 4: Les diagrammes ombrothermiques des différentes stations (1995-2012)

La méthode d'Euverte¹ basée sur le rapport P/T établi mensuellement permet aussi de déterminer les régimes climatiques locaux.

Le tableau II.1 montre la classification du climat dans la région d'après les résultats de obtenus selon cette méthode. Un régime humide caractérise la station de Batna de décembre à février puis au mois d'avril. Dans la partie ouest de la région étudiée contrôlée par la station de Batna ; un régime subhumide est identifié durant la période de novembre à mars puis en mai ; un régime sec est observé de septembre à octobre. Le régime climatique ne devient très sec qu'en été (juin, juillet et août).

Dans la partie Est, représentée par la station de Khenchela, le régime humide règne du mois de novembre jusqu'au mois de Mai ; le régime subhumide ne touche que le mois d'octobre ; le régime sec affecte la période de juin à septembre interrompu toutefois par un mois de juillet très sec.

¹ Cette méthode considère l'action de la chaleur et l'humidité vis-à-vis de l'activité biologique. En effet, les besoins en eau des plantes suivent une progression exponentielle pour un accroissement de température les besoins en eau doublent. Le rapport P/T établi mensuellement permet de définir le type de régime climatique des différentes stations. Si : $P/T < 1$: Régime très sec ; $1 < P/T < 2$: Régime sec ; $2 < P/T < 3$ Régime sub- humide ; $P/T > 3$ Régime humide

Tableau II. 1: Détermination du régime climatique par la méthode d'Euverte (1995-2012)
Régime très sec(RTS), Régime sec (RS), Régime sub- humide (RSH), Régime humide (RH)

		Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Aut.
Batna	P (mm)	47,91	32,05	34,52	36,54	38,11	28,09	33,47	50,62	39,27	22,58	10,28	17,30
	T° C	24,2	19,4	12,3	7,38	6,1	6,9	11,24	14,51	18,7	25,7	29,1	28,2
	P/T	1,98	1,65	2,81	4,95	6,25	4,07	2,98	3,49	2,10	0,88	0,35	0,61
	régime climatique	RS	RS	RS-H	RH	RH	RH	RS-H	RH	RS-H	RTS	RTS	RTS
Khenchela	P (mm)	40,31	40,68	41,42	44,16	38,53	35,43	44,10	46,11	71,49	27,28	10,56	29,59
	T° C	21,1	17,3	10,9	7,2	6,3	6,6	10,3	13,7	17,8	23,1	27	26,3
	P/T	1,91	2,35	3,80	6,13	6,12	5,37	4,28	3,37	4,02	1,18	0,39	1,13
	régime climatique	RS	RS-H	RH	RS	RTS	RS						

L'aridité d'une région, peut être exprimée par différents indices, fondés principalement sur les valeurs moyennes des précipitations et des températures. Notre région d'étude étant caractérisée par un climat semi-aride, nous proposons de déterminer dans quelle mesure ce caractère marque les conditions climatiques locales grâce à l'application de méthodes scientifiques prouvées.

L'indice d'aridité d'Emberger² (De Martonne 1923) est défini par le quotient pluviométrique « Q », il permet aussi de déterminer le type de climat, en prenant en compte les précipitations moyennes annuelles et les températures moyennes minimales et maximales des mois les plus froids et des mois les plus chauds.

A partir des résultats obtenus (Tableau II.2), on établit une projection de nos stations dans le diagramme d'Emberger, en mettant en abscisses la moyenne des minimas « m » et en ordonnées le quotient « Q ». La lecture nous permet de constater que le climat de notre zone d'étude appartient à l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (Annexe 4).

Tableau II. 2: Le Quotient Pluviométrique des stations (1995-2012)

Station	P moy (mm)	M (C°)	m (C°)	M (K°)	m (K°)	Q
Batna	390,75	36,7	0,4	309,9	273,6	36,90
Khenchela	455,26	32,1	1,4	305,3	274,6	52,76

$$^2 Q = \frac{P}{\frac{(M+m) \cdot (M-m)}{2}} * 1000$$

Q : l'indice climatique d'Emberger ; P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ; M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (degrés kelvin = (°C) + 273.2) ; m : moyenne des minimas du mois le plus froid (degré kelvin = (°C) + 273.2).

L'Indice d'aridité de Martonne³ est un indicateur utile pour caractériser le phénomène d'aridité en exprimant le manque d'eau en un endroit donné, grâce aux précipitations et aux températures.

Pour les deux stations, l'indice d'aridité de Martonne est calculé pour la période (1995/2012), nous obtenons les résultats suivants :

A = 14.48 pour la station de Batna, et 17.76 pour la station de Khenchela, ce qui correspond à un climat semi-aride. Ce qui est illustré sur le diagramme (Annexe 5)

-1 Indice d'Aridité Mensuel « i »

Pour plus de précision et de caractérisation de l'aridité, on a calculé l'indice d'aridité mensuel⁴. Le tableau II.3, donne les valeurs de l'indice d'aridité mensuel pour les deux stations.

Tableau II. 3: Indice mensuel d'aridité

		Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jul.	Aut.
Batna	<i>P (mm)</i>	47,91	32,05	34,52	36,54	38,11	28,09	33,47	50,62	39,27	22,58	10,28	17,30
	<i>T° C</i>	24,2	19,4	12,3	7,38	6,1	6,9	11,24	14,51	18,7	25,7	29,1	34,2
	<i>I</i>	14,01	10,90	15,48	21,02	23,67	16,62	15,76	20,65	13,68	6,33	2,63	3,91
Khenchela	<i>P (mm)</i>	40,31	40,68	41,42	44,16	38,53	35,43	44,10	46,11	57,11	27,28	10,56	29,59
	<i>T° C</i>	21,1	17,3	10,9	7,2	6,3	6,6	10,3	13,7	17,8	23,1	27	26,3
	<i>I</i>	12,96	14,90	19,82	25,67	23,64	21,34	21,72	19,45	25,72	8,24	2,85	8,15

Pour la partie Ouest de la zone étudiée (station Batna), la période allant de septembre à mai est caractérisée par un climat semi-aride entrecoupés avec un climat tempéré pendant les mois de décembre, janvier et avril. Le climat est hyperaride durant les mois juillet et août. Le mois de juin est caractérisé par un climat désertique. (Annexe 6).

Pour la station de Khenchela, le mois de Juillet présente un climat hyperaride, vient ensuite le mois d'août et juin avec un climat steppique. Le mois de juin est caractérisé par un régime steppique, le reste de l'année règne un climat semi-aride. La période des mois de septembre au mois de novembre et le mois d'avril, connaissent un climat semi-aride. Pour les mois restants un climat tempéré règne. (Annexe 7). Les températures et la semi-aridité du climat influencent l'augmentation de l'évapotranspiration.

³ $I = P/T + 10$

P : Les précipitations moyennes annuelles en (mm) ; T : Les températures moyennes annuelles en (C°).

Les types de climat : $30 > I > 20$: climat tempéré. $20 > I > 10$: climat semi-aride. $10 > I > 7.5$: climat steppique. $7.5 > I > 5$: climat désertique. $I < 5$: climat hyperaride

⁴ $I = 12 p / (t + 10)$.

P : les précipitations mensuelles moyennes (mm) ; T : les températures mensuelles moyennes (°C) ; 12P : pour rendre l'indice mensuel comparable à l'indice annuel « I ».

I.4 Les réseaux hydrographiques

Dans les milieux variés et hétérogènes de notre espace d'étude, l'inscription du réseau ne peut être que très diversifiée.

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau, affluents, et sous affluents, permanents ou temporaires, par lequel s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du bassin versant (exutoire).

L'ensemble hydrographique présente le chevelu caractéristique des zones semi-arides endoréiques, à savoir un réseau discontinu peu dense. Parmi les principaux oueds on distingue l'Oued El Madher (54 km), l'Oued Chemora (33 km), l'Oued Boulefreiss (52 km) et Oued Gueiss (24 km) (Figure II. 5). Ces oueds prennent leur origine dans les versants septentrionaux des Aurès et se dirigent vers le nord, où ils se perdent dans les lacs salés, à l'exemple de Sebkheth Ez Zemoul, Garaat Ank Djemel, Sebkheth Djendli et Garaat El Tarf (figure II.2 et II.3).

I.4.1 Le bassin versant de l'Oued el Madher

Le bassin versant de l'Oued EL-Madher est drainé par l'oued du même nom, oued qui prend sa source sur les versants nord des djebels Ech Ghaali et Assière ; il est le prolongement naturel d'Oued El Gourzi sur une longueur de 10 km et de ses cours d'eaux secondaires tels que les Oueds Belkher, Tezzebennt, Chaâba, Ouzegrine, Madher Ilef.

Le niveau de base des eaux de l'Oued El Madher est représenté par le Chott Gadaïne à proximité nord du bassin, et son exutoire est au nord de sebkhat Ez Zemoul.

I.4.2 Le bassin versant de Chemora

L'Oued Chemora résulte de la jonction de deux affluents : Oued Reboa et Oued Soultez dont la confluence donne naissance à l'Oued Chemora qui reçoit sur sa rive gauche les Oueds de Taguedai et Amizraguen.

- **Oued Reboa** : il prend forme à l'amont par la jonction des deux Oueds : Oued Taga et oued Seba. Le premier est issu des massifs montagneux des Aurès et coule dans la direction SW-NE et le second résulte de la confluence des Oueds de Khanguet el-Akra et Fom Toub. Oued Reboa traverse la vallée entre Draâ Charf et Gloua et-Trabe avec une orientation SW-NE, jusqu'à Draâ Ouled Makhoul où il rencontre les roches gréseuses, et change brusquement de direction vers le nord-ouest pour recevoir l'Oued Morri sur sa rive gauche. Il reprend ensuite son orientation SW-NE pour confluer avec l'Oued Soultez à environ 3km.

- **Oued Soultez** : résulte aussi de la jonction de deux Oueds : Feid Tlouidi qui prend sa source au Nord-Ouest de Djebels Tagratine, et Enguesdira qui prend naissance à partir de la confluence de l'Oued el-Kriane et Oued Abd el-Achir. Ces derniers se forment dans les massifs de Djebels Ras er-Rih. L'Oued Soultez coule à travers les plaines au Sud de Djebel Tagratine, avant de confluer avec l'Oued Reboa. Il reçoit sur sa rive gauche l'Oued Guerguour, en aval de la ville de Timgad.

Avant la construction du barrage de Koudiat Medouar (2009), les principaux oueds de ce bassin drainaient les eaux ruisselées sur un trajet d'environ 30 km, vers les lacs salés des hautes plaines Constantinoises, (Sebkhet Djendli, Garâet Ank Djmel, et Guellif).

I.4.3 Le bassin versant de Boulefreiss

L'Oued Boulefreiss résulte de la jonction de deux affluents : Oued Meroui et Oued Miyeh, dont la confluence donne naissance à l'Oued Boulefreiss qui se perd après un trajet d'environ 15 km, dans le lac salé de ce sous bassin, comme le cas d'oued Mertoum, O. Taarist.

I.4.4 Le bassin versant de Gueiss

Oued Foum El Gueiss : il prend sa source du Djebel Nourris. Sa source est opposée par le sommet à celle de l'Oued Tamzat, affluent de l'Oued Mellagou. L'oued traverse un massif montagneux très boisé et entre dans la plaine au défilé de Foum El Gueiss au moment où il est traversé par la route de Khenchela.

Cette situation montre à quel point l'érosion est forte dans cette région et combien elle peut éroder et dégrader la surface du sol si aucune protection n'est entreprise pour y remédier.

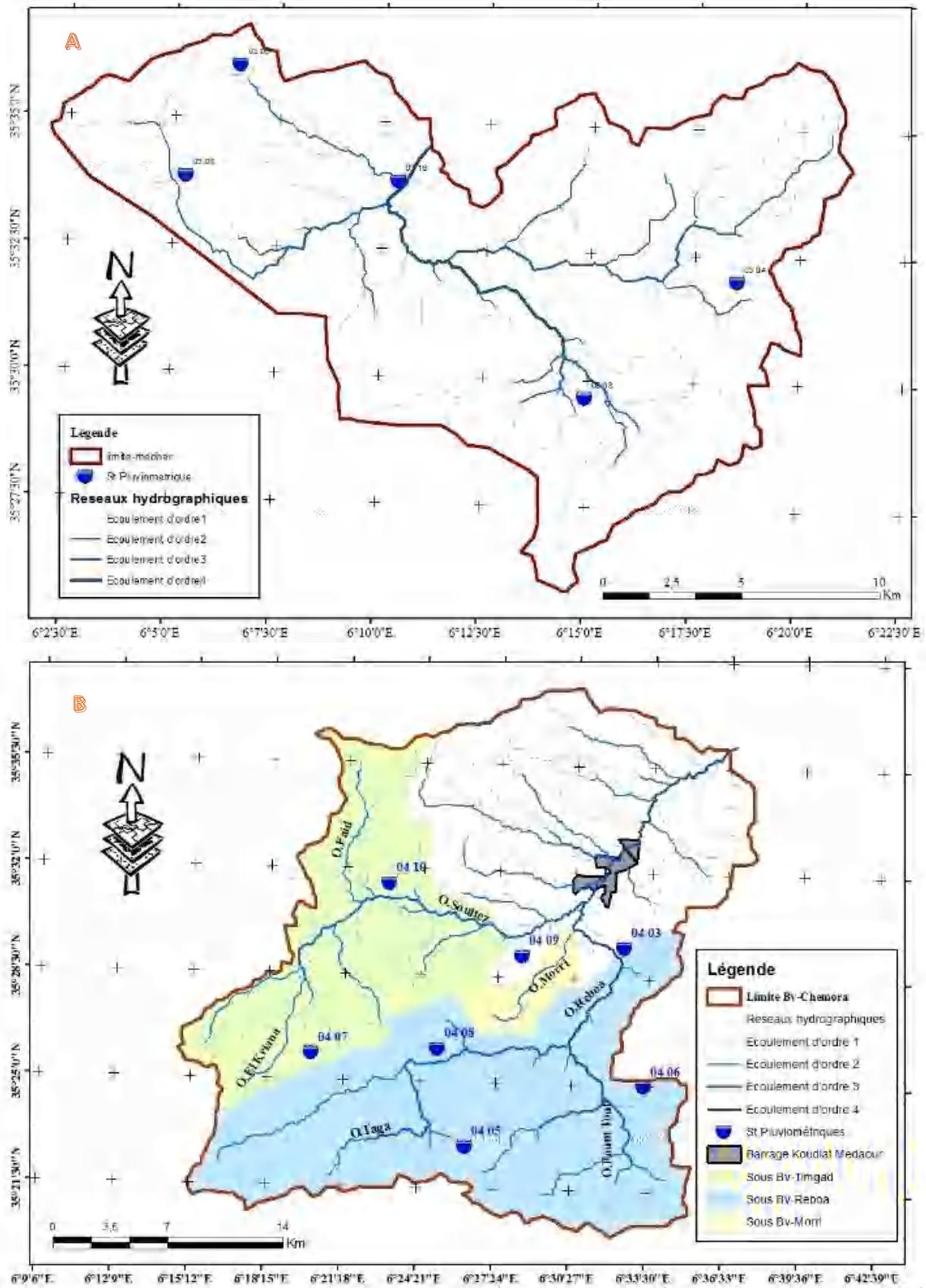


Figure II. 5: Réseau Hydrographique des bassins versants
 A) Bassin versant de Madher ;B) Bassin versant de Chemora

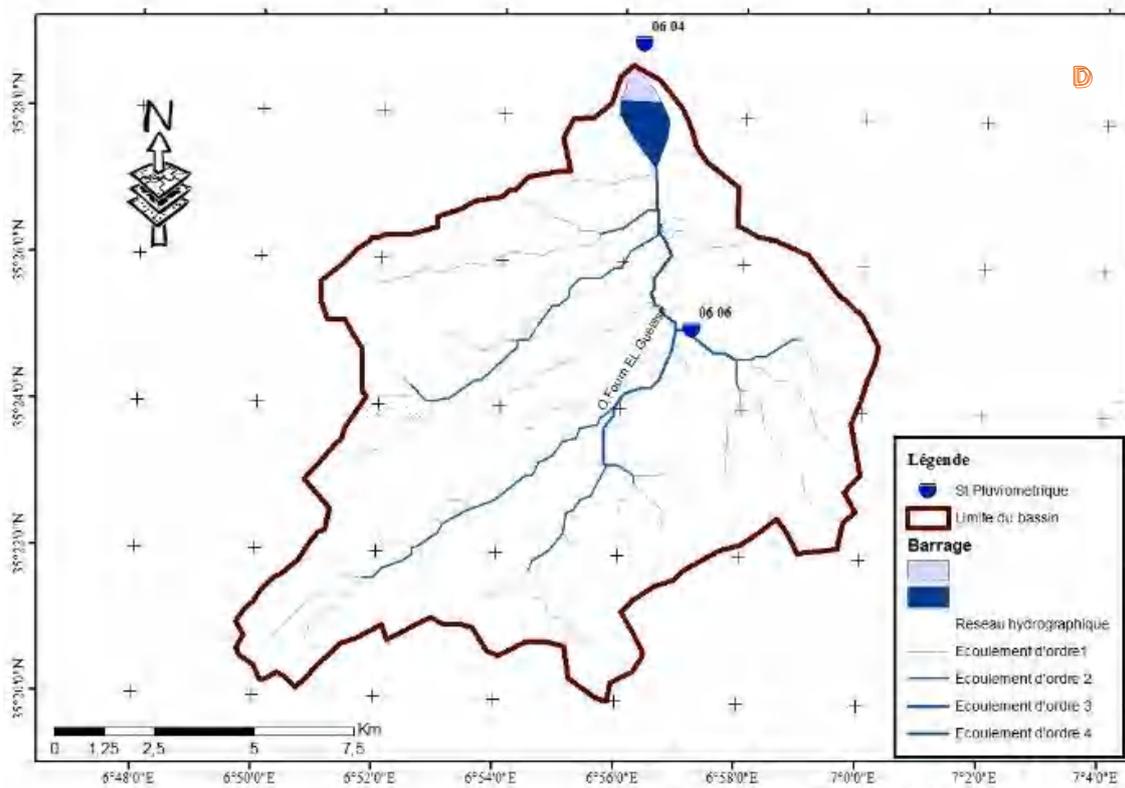
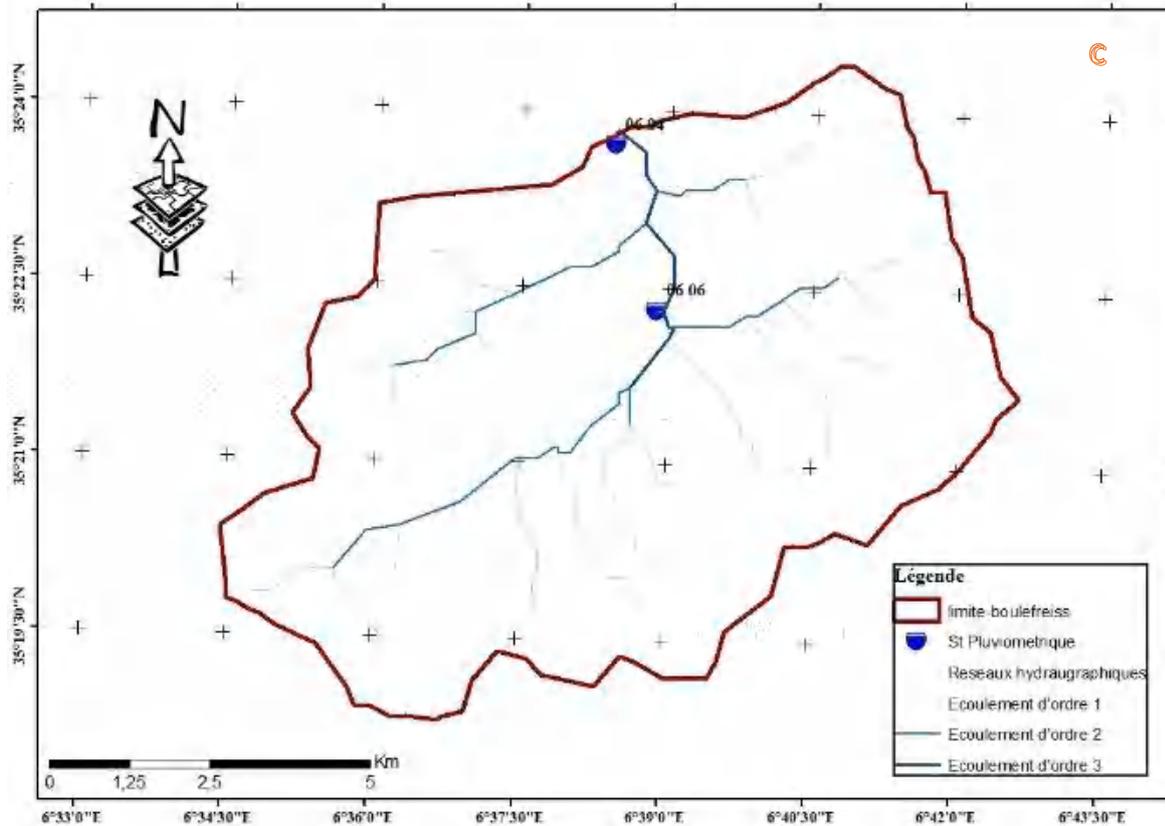


Figure II. 6 (suit): Réseau Hydrographique des bassins versants ;C) Bassin versant de Boulefreiss ; D) Bassin versant de Gueiss

I.5 Les caractéristiques géologiques et lithologiques du bassin versant

La géologie et la lithologie conditionnent 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 (grés, calcaires, dolomies...).

I.5.1. La géologie

La nature des affleurements a une influence sur l'hydrologie de surface. L'Algérie orientale a fait l'objet de plusieurs études géologiques, afin de rendre compte de ce paramètre nous nous sommes appuyée sur des divers travaux et cartes (1/500000^{ème}), notamment celles de [J. M. Villa en 1980](#), [Wildi W en 1983](#) et [A. Marre en 1987](#), qui décrivent notre terrain d'étude de la manière qui suit : « Les terrains les plus anciens qui affleurent dans le secteur étudié sont attribués au Crétacé, et les plus récentes au Quaternaire ([R. Laffitte 1939](#)).

Les différents mouvements tectoniques qu'a connus cette région, ont engendré le soulèvement des reliefs et l'affaissement des dépressions, et par conséquent, un changement dans la dynamique de l'écoulement. La conjonction de ce phénomène tectonique avec l'avènement d'une période sèche au Quaternaire a engendré l'installation de l'endoréisme.

Le terrain d'étude domine également des grands ensembles (Figure II.6), l'âge des terrains rencontrés va du crétacé le plus récent au quaternaire le plus ancien :

Le Crétacé

Pour la région d'étude on distingue la présence du Crétacé inférieur et le Crétacé supérieur.

- **Le Crétacé inférieur** : il correspond à la formation qui affleure sur une très faible surface au niveau des bassins, Il est présent essentiellement dans les monts des Aurès et des Djebels Bou-Arif, Dj. Nif en Nser ; Dj Zana. La série de Crétacé inférieur qui domine la formation calcaire litée est attribuée à l'Aptien.
- **Le Crétacé supérieur** : Les formations du Crétacé supérieur s'étendent du Cénomaniens au Maastrichtien. Ils correspondent à des séries marno-calcaires et de marne dominant, ils occupent la partie ouest de la région d'étude.

Le Tertiaire

A travers le secteur d'étude, ces formations sont attribuées au Miocène, Paléocène et à l'Éocène.

Le paléocène : Il est localisé essentiellement au nord-ouest de la zone d'étude, au niveau de sous bassin de Madher. Ce dernier est formé d'une formation de type mio-pliocène correspond à des dépôts fluvio-lacustres offrant une coloration rougeâtre assez prononcée ; la base de cette structure est formée de calcaires lacustres et de conglomérats. ([Goumidi et Kaouache, 1995](#)).

Le Cénozoïque

L'Eocène : Il est constitué de calcaire gris avec des intercalations de marnes grises, de calcaire à silex et de lumachelles qui l s'étalent sur des petites surfaces.

Le Miocène : Les formations du Miocène sont transgressives au bassin du Chemora. Plusieurs cycles de transgressions y sont dénombrés. Les terrains attribués au miocène différencié affleurent largement dans le secteur.

Le Quaternaire La grande partie des sous bassins est recouverte par les formations quaternaires. Elles sont Localisées sur les flancs de Djebels Timagoult selon des dépôts d'origine calcaire ou gréseuse ; Les alluvions récentes se retrouvent le long des oueds et sur les glacis polygéniques nappant les reliefs, et les croûtes calcaires qui affleurent en de nombreux endroits (localisés dans le nord-ouest du bassin). (Guidoum, 2008).

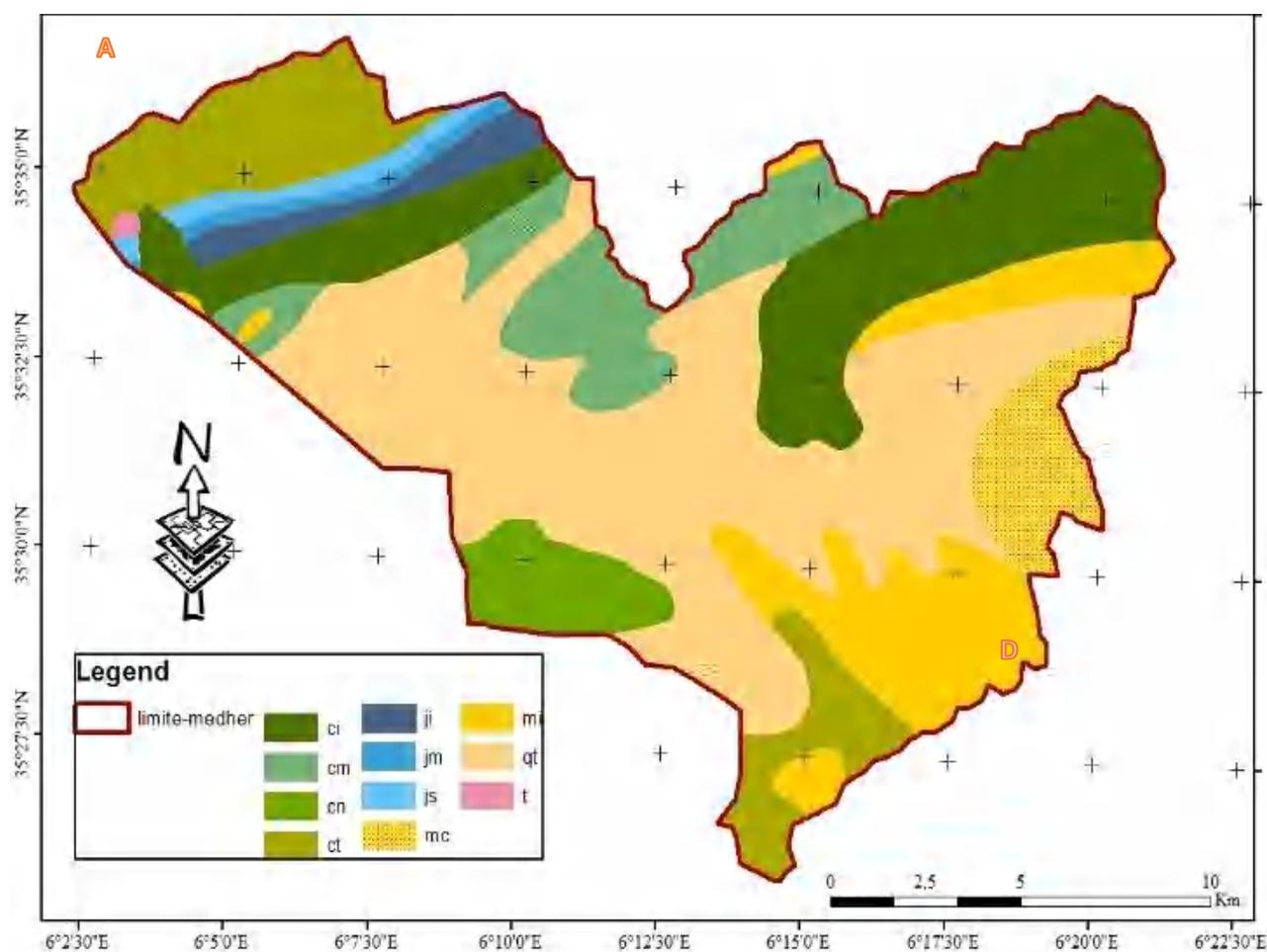


Figure II. 7: carte géologique des bassins versants ;B) Bassin versant de Madher

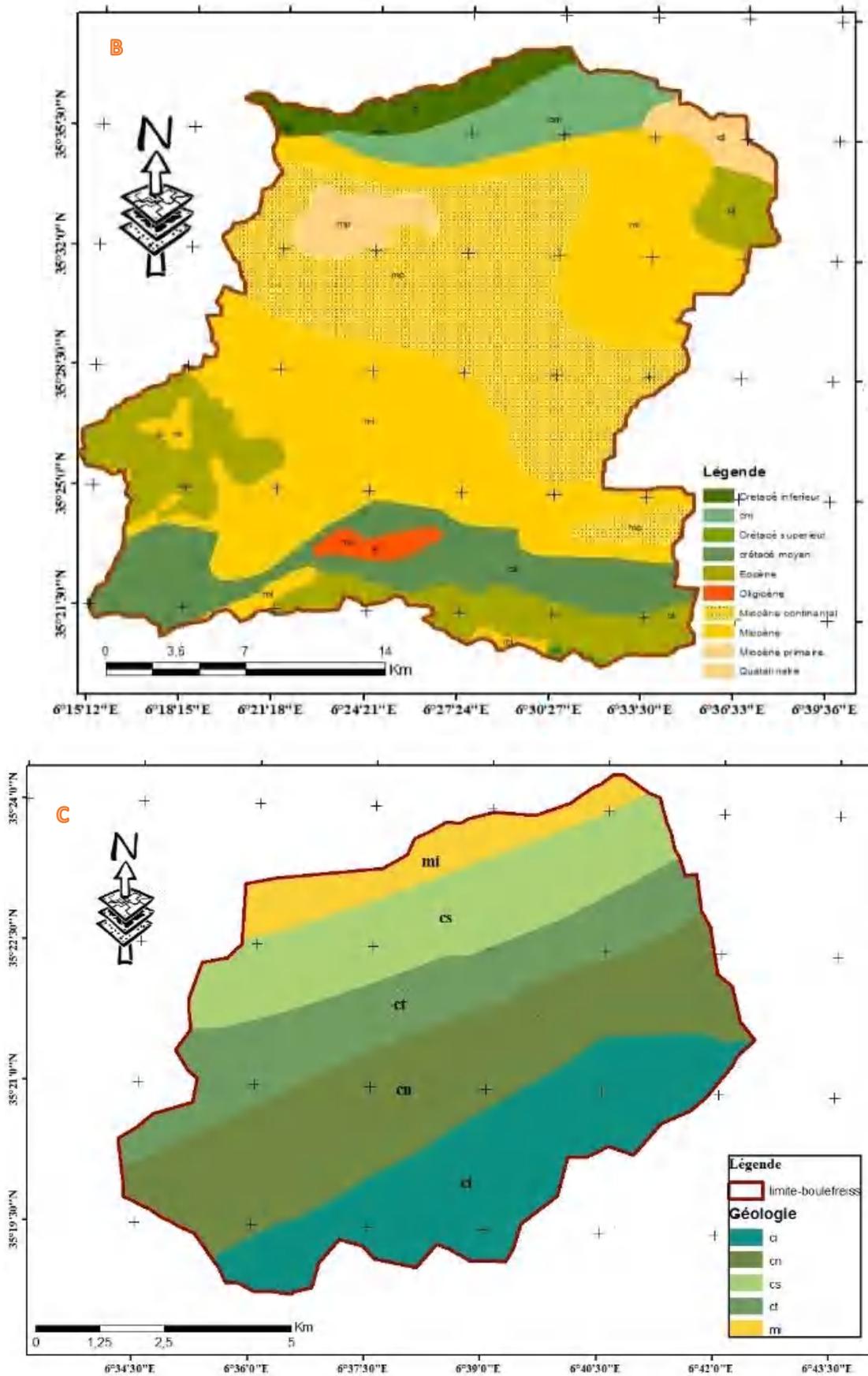
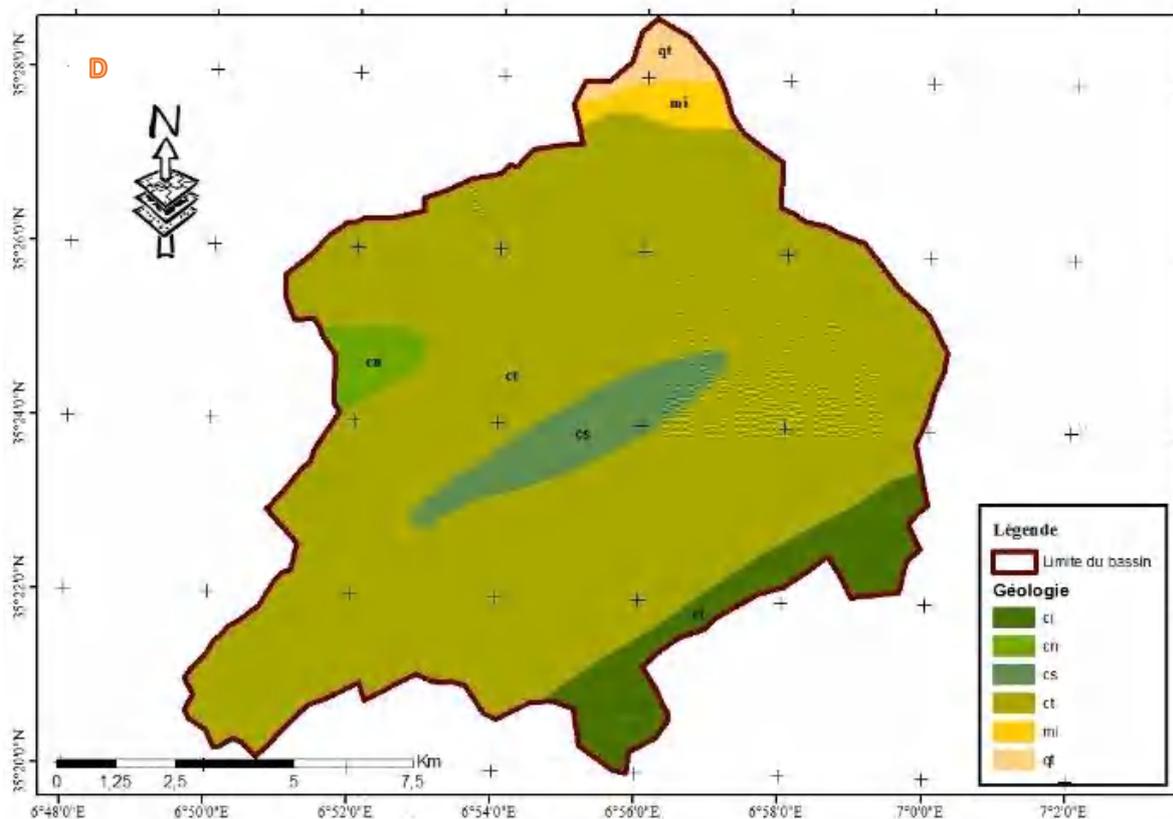


Figure II. 8(suit): carte géologique des bassins versants ;B) Bassin versant de Chemora ;C) Bassin versant de Boulefreiss .



*Figure II. 9(suit) : carte géologique des bassins versants
D) Bassin versant de Gueiss*

I.5.2 La lithologie

La description lithologique qui va suivre concerne les formations rencontrées au niveau des sous-bassins qui font l'objet de cette étude.

➤ Le bassin versant de Madher

Les dépôts quaternaires recouvrent la majeure partie des 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 on retrouve aussi des 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 grés, des marnes gréseuses, et des marno-calcaires. Les marnes, les argiles à intercalations calcaires, et les marno-calcaires, qui 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 marnocalcaires, et d'une épaisseur de 1000 mètres affleurent dans les monts de Batna (Menani, 1991). L'argile vari-couleur, le gypse et le sel gemme attribués au Trias, sont représentés sous forme des petits lambeaux dans les Monts de Batna.

➤ Le bassin versant de l'Oued Chemora et Boulefreiss

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, Djebel 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 a une extension réduite, affleurent au nord-ouest du bassin (Dj. Bou-Arif). Les marno-calcaires et les marnes dominantes 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 occupent 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 glaciaires de pente.

➤ Le bassin versant de l'Oued El Gueiss

Il repose sur le Crétacé moyen et supérieur (marin ou lagunaire). Il est dominé par les séries 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, grès, et calcaires marneux) marquent la limite sud-est du bassin sous forme d'une bande plus ou moins régulière longeant l'anticlinale de Khenchela (Djebel Feraoun, Djebel Aïdel et Kef El Abiod), (Laffitte, 1939).

Les terrains Quaternaires (Glaciaires 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 cônes de déjection au pied des monts de Khenchela, et de vastes étendus au niveau des hauts plateaux.

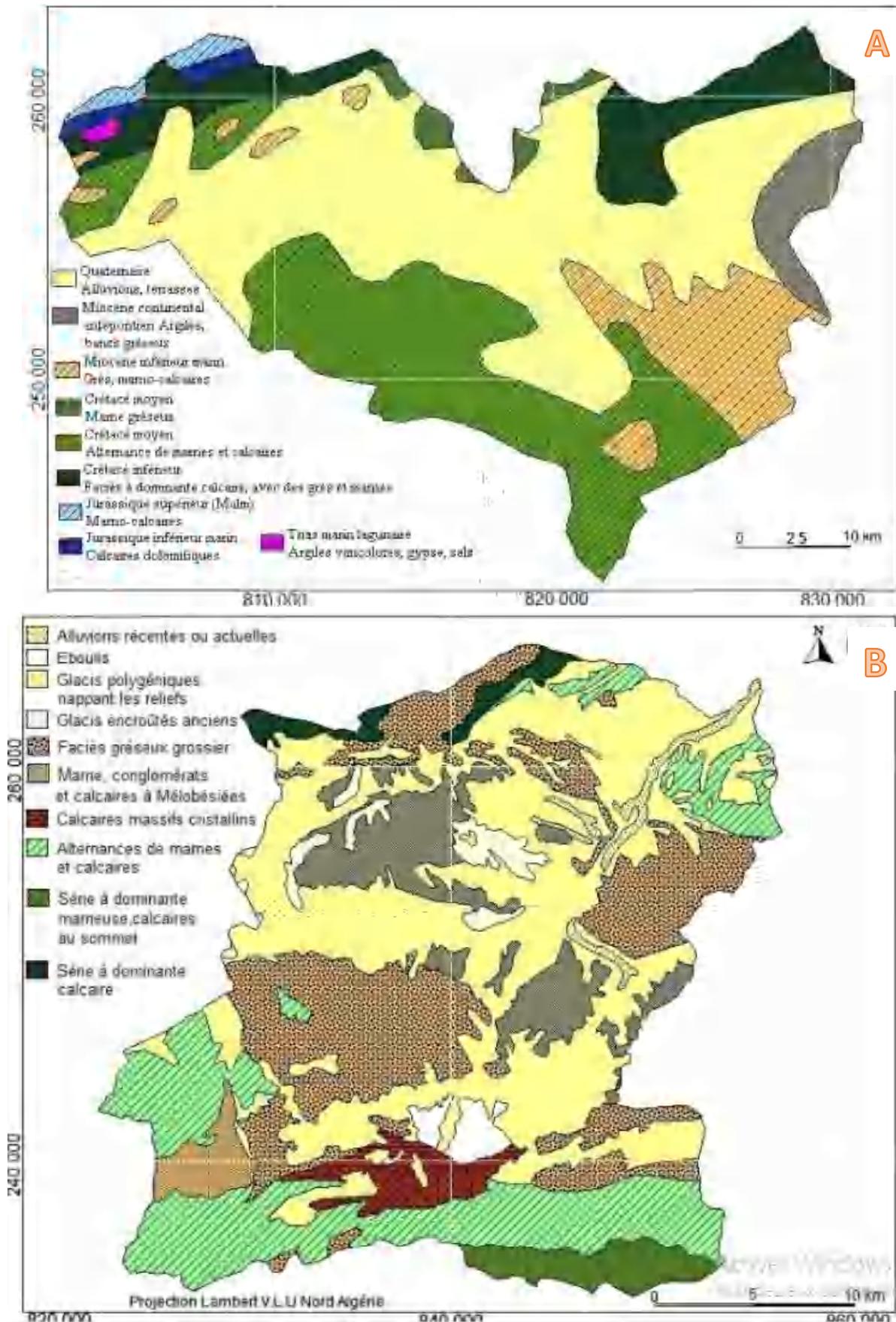


Figure II. 10: Lithologie de bassin versant de Chemora (Guidoum, 2017)

A) Bassin versant de Madher ;B) Bassin versant de Chemora ;

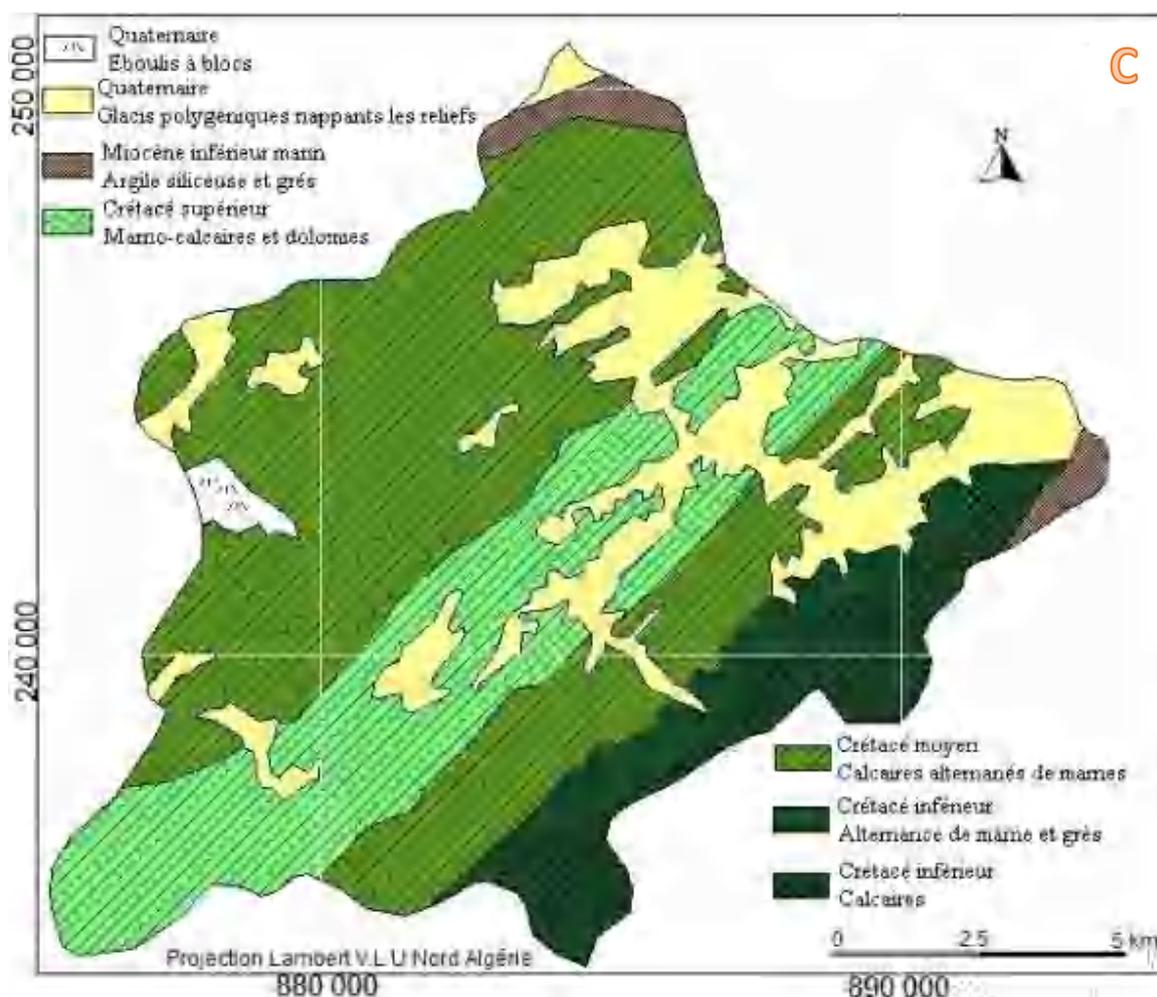


Figure II. 11(suit) : Lithologie de bassin versant de Chemora (Guidoum, 2017)
;C) Bassin versant de Gueiss

I.6 Occupation du sol 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.

La détermination des surfaces occupées par chaque type de végétation à partir des documents cartographiques couvrant la région d'étude est difficile, car ces supports sont bien souvent dépassés.

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 (Gaussens H. et Vernet A., 1958) et sur quelques esquisses d'occupation des sols des bassins étudiés. Nous ne prétendons pas faire une étude de la végétation, ce n'est pas le but de notre

recherche, mais nous allons essayer de donner quelques éléments descriptifs sur les principaux types de la couverture végétale et surtout, sur l'état de dégradation de cette dernière.

I.6.1 Occupation du sol

Plusieurs classifications plus ou moins complexes ont été proposées, mais la classification des types de couverture par ordre de densité de J. TRICART en 1968, est la plus apte à montrer l'impact du couvert végétal sur les conditions d'écoulement dans notre contexte.

Trois grandes catégories d'occupation des sols sont observées :

- **Les surfaces bien protégées** : ce sont les surfaces qui bénéficient de couverture végétale plus ou moins dense et permanente, et plus spécialement les forêts, ces dernières protègent contre l'érosion et la concentration rapide des eaux.

- **Les surfaces incomplètement protégées** : ce sont les surfaces partiellement nues en permanence, et les surfaces saisonnièrement protégées, sur lesquelles les averses peuvent engendrer un ruissellement important qui peut déclencher des actions érosives et des crues inondantes ; Il s'agit généralement des terres de culture destinées, soit à la céréaliculture qui occupe densément le sol pendant une période de l'année, ou à l'arboriculture qui laisse le sol nu en permanence entre les arbres. Ainsi, la pratique de la jachère nue est dommageable puisque les terres sont laissées au repos une année sur deux sans aucune protection.

- **Les surfaces mal protégées ou nues** : elles englobent les terrains dénudés, les terrains de parcours, taillis et broussailles à faible densité de recouvrement où le ruissellement et l'érosion hydrique sont largement favorisés (surtout dans les terrains dénudés imperméables et sur les terrains de parcours fortement pâturés).

Le tableau suivant montre les données établies sur la base des informations statistiques de la direction des services agricoles (recensement 1998), relatives aux communes ou parties de communes incluses dans les sous bassins. Dix types d'occupation du sol regroupés selon les grandes catégories de végétation sont indiqués ci-dessus- (tableau II.4).

Tableau II. 4: Répartition en % des types d'occupation du sol

1. Surfaces bien protégées (%)		2. Surfaces incomplètement protégées (%)		3. surfaces mal protégées ou nue (%)
Forêts, Maquis	Prairies naturelles et artificielle	Vergers (à dominante extensive)	Terres labourées (céréales, culture. Maraîchères, etc.)	Terrains dénudés Steppe, broussailles
16.2	0.1	0.6	46.9	36.20

Source : statistiques agricoles 1998

D'après ces statistiques, la caractéristique essentielle est la prédominance des surfaces occupées par les céréales, les cultures maraîchères, et la jachère. Elles représentent la part majoritaire dans les sous bassins, soit environ 47% de la surface. Les terrains de parcours et les

terrains nus restent importants avec (36%), et les terrains boisés ne représentent que 16 % de la surface.

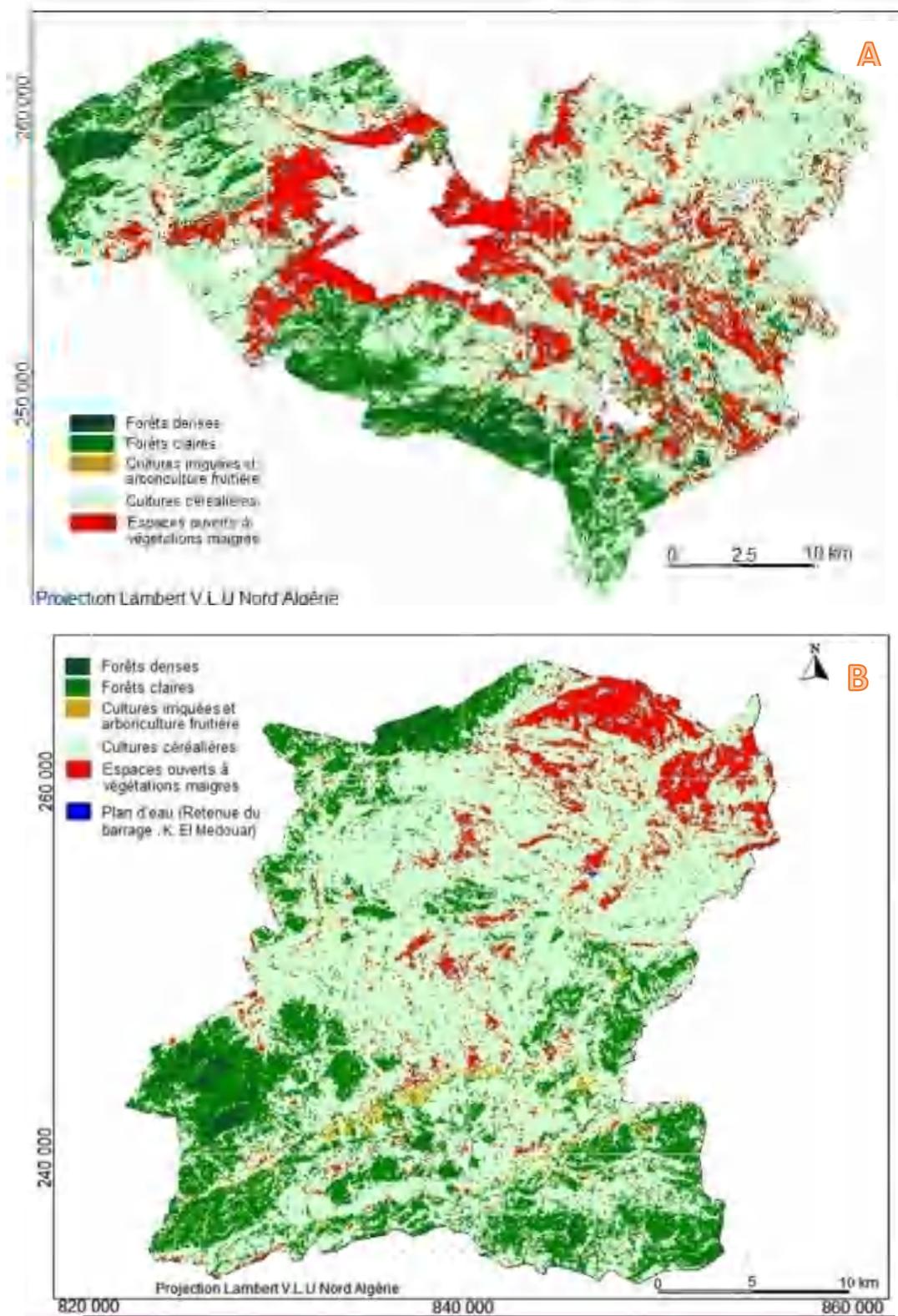
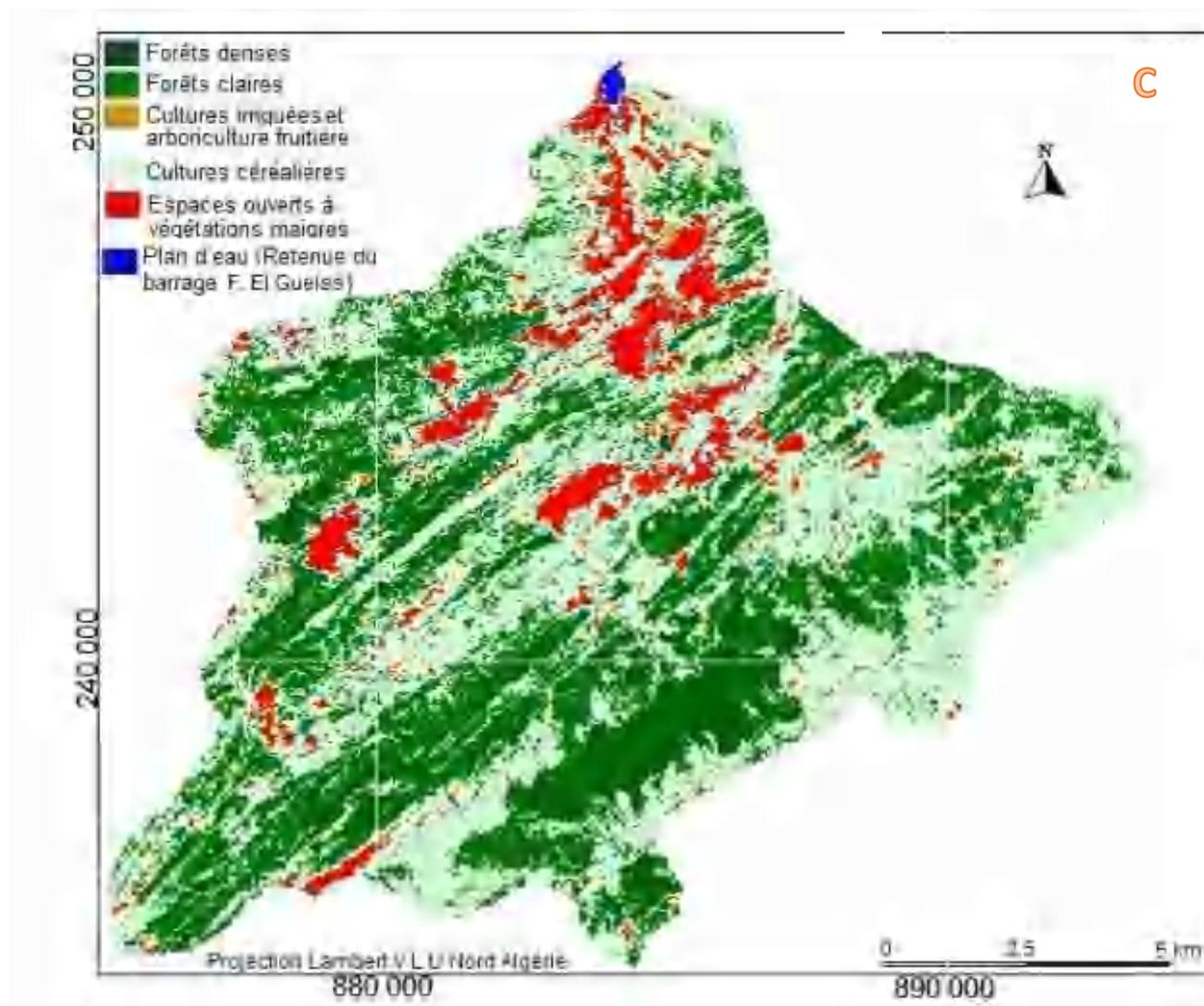


Figure II. 12: Occupation des sols des bassins versants (Guidoum, 2017)
 A) Bassin versant de Madher ;B) Bassin versant de Chemora .



*Figure II. 13(suit): Occupation des sols des bassins versants (Guidoum, 2017)
;C) Bassin versant de Gueiss*

I.6.2 Types de couvertures végétales

L'occupation végétale a une influence directe sur l'écoulement fluvial autant que les facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense. Dans ce qui suit nous avons rassemblé et classé les divers types de couverture végétale.

I.6.2.1 La végétation forestière

La répartition géographique de la couverture forestière des 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 ouest jusqu'aux forêts est des Aurès dont le taux de recouvrement varie entre 70% et 40%.

Le climat continental des hautes plaines est défini par un étage bioclimatique semi-aride frais, il marque durement la végétation arbustive 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).

Les versants nord des Aurès portent des chênes verts et en altitude, de belles Cédraies couvrant les sommets des grands anticlinaux (Djebels Chélia, Lazreg, Ichemoul, Zgag et Belezma). Ces Cédraies présentent 66% de la surface des formations du pays.

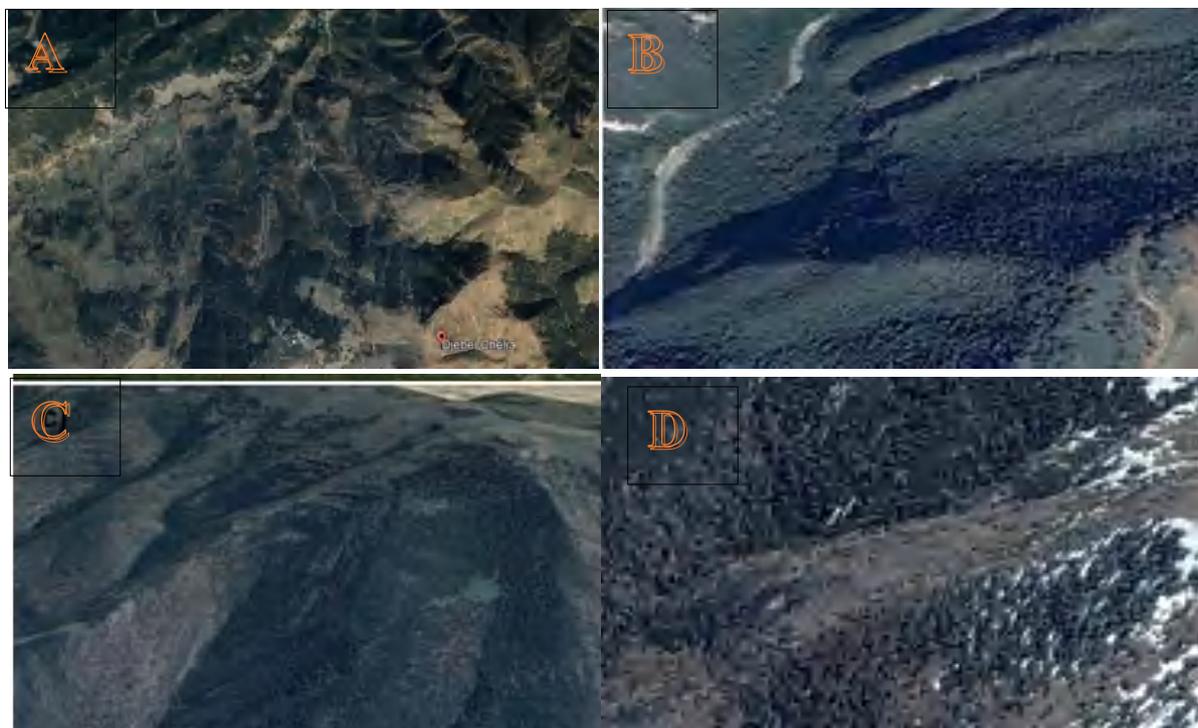


Figure II. 14: Couvert forestier :

- A) Forêt de Djebel Chélia : Image sat. Google earth du 11/03/2017, 35° 20' 13.60"N, 6° 38' 43.48"E ;
 B) Forêt d'Ichemoul : Image sat. Google earth du 11/2/2019, 35°17' 11.35"N, 6° 26' 42.93"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 Belezma : Image sat. Google earth du 21/7/2019, 35° 04' 40.01"N, 6° 54' 10.12"E

I.6.2.2 la végétation steppique

Elle occupe la plaine au niveau des Garaet, elle est composée d'armoise sur les glacis, d'Atriplex sur les épandages limono-argileux, et de steppes halomorphes sur terres salées. Les nappes d'Alfa à armoise et Atriplex (zone de parcours), occupent les hautes plaines méridionales du constantinois et de la région (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.

1.6.2.3 Végétation des terres cultivées

La céréaliculture est la principale spéculation effectuée dans notre région à climat semi-aride à hiver frais. Elle est souvent pratiquée avec la jachère qui s'impose comme un impératif technique.

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

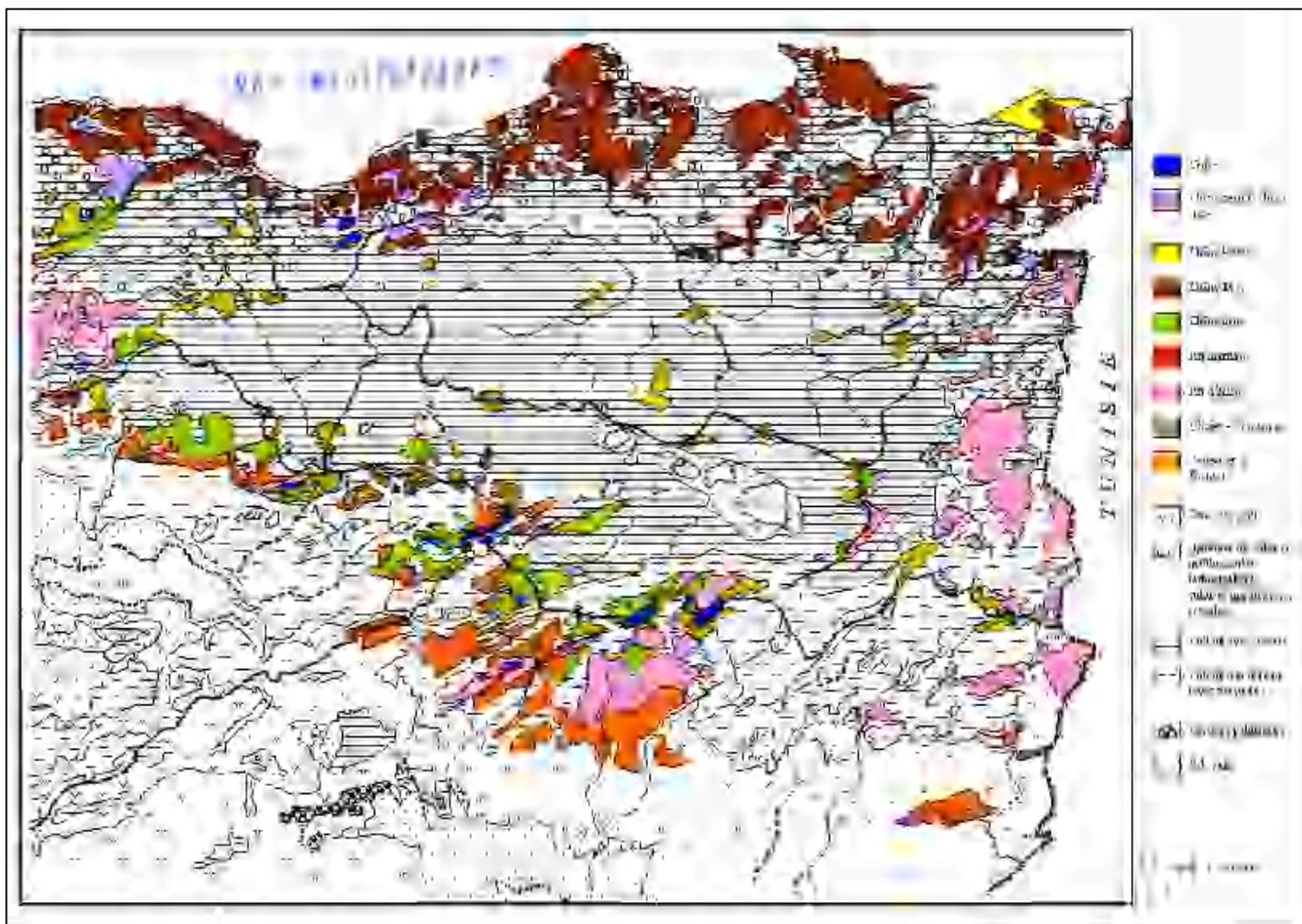


Figure II. 150: carte de la couverture végétale du bassin (Mebarki ; 2005)

Les formations végétales présentes dans la zone d'étude sont ainsi peu couvrantes et insuffisamment protectrices ; les plus répandues sont celles qui assurent une protection seulement partielle à médiocre, (Oued Madher : 66%, Oued Chemora : 43%) à l'exception du sous bassin de Boulefreiss, où la couverture forestière représente 59%, chiffre surestimé car il intègre les forêts à l'état de maquis dégradé dont la densité est plutôt faible.

Le caractère dégradé et discontinu de cette couverture végétale présage d'un écoulement irrégulier et torrentiel et une érosion très développée. Seule la couverture forestière qui occupe une place minoritaire, peut avoir un impact positif sur le ruissellement et la régularisation de l'écoulement.

I.7 Impact de la végétation sur l'écoulement

Du fait que les terres destinées aux cultures soient généralement découvertes en saison froide, saison où les précipitations sont les plus fréquentes et les plus abondantes, avec des intensités généralement élevées, le ruissellement n'est freiné par aucun obstacle végétal. Ajouter à celles-là, les terrains nus ou quasiment nus en permanence qui favorisent toutes les formes d'écoulement. Ces surfaces sont les plus dominantes dans le bassin des Hauts plateaux constantinois, toutefois dans les secteurs karstiques du bassin (massifs calcaires du crétacé), il existe un pouvoir de rétention souterraine importante, comme le témoigne les débits des résurgences se trouvant aux pieds de certains Djebels (KHALDI ,2005). La discontinuité ou l'absence totale de la couverture végétale favorise l'écoulement superficiel donc la remontée des crues, sous l'effet de la forte intensité de pluie. La présence du couvert végétal est profitable à l'équilibre hydrologique du bassin alors que sa discontinuité, ou son absence totale constitue un facteur favorable à l'irrégularité des débits et à la genèse de fortes crues, surtout sur les terrains à fortes pentes et là où les sols sont très sensibles au ruissellement direct.

Conclusion

La zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride et par l'hétérogénéité des grandes unités naturelles et une diversité de la géologique. La majorité des sous bassins de Medher et Chemora ont la dominance du caractère plaine qui correspond aux vallées qui jouxtent les Oueds et ses affluents correspondant. Par contre, dans les sous bassins de Boulefreiss et Gueiss, l'importance du volume montagneux est bien marquée, ce caractère favorise le ruissellement.

Globalement, la disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques. La géologie de la région est assez complexe à l'image de celle du domaine tellien. Les terrains rencontrés vont de l'épi métamorphique que l'on rencontre au niveau des massifs centraux qui apparaissent au milieu de la plaine du Cheliff au Quaternaire récent qui comble les dépressions.

Les bassins versants des Aurès présentent des ensembles morpho-structuraux bien tranchés, des caractères topographique 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.

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.

L'évolution annuelle de ces deux paramètres, permet de distinguer une période chaude et sèche qui s'étend sur 6 à 8 mois, et une période froide et humide pour le reste de l'année. Le réseau hydrographique de la zone d'étude est constitué par un chevelu dense représenté en majorité de cours d'eaux temporaires.

CHAPITRE III : METHODOLOGIE ET DONNÉES

I. METHODOLOGIE

En raison de leurs répercussions immédiates et durables sur le milieu naturel et sur l'homme, les questions de changement et de variabilité climatiques sont placées depuis quelque temps au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde. Le cycle de l'eau étant l'une des composantes majeures du climat, les implications de ces changements sur les régimes pluviométriques sont importantes. Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les populations que pour les écosystèmes. Elles sont faciles à mesurer. Autant de raisons qui font que la plupart des études et analyses portent sur les précipitations bien plus que sur d'autres paramètres du climat.

La variabilité des conditions climatiques en Algérie n'est plus à démontrer. Elle affecte tout le pays et se manifeste surtout par une irrégularité des précipitations. Depuis près de quatre décennies, les anomalies pluviométriques constatées ont connu une résonance exceptionnelle dans les régions intérieures du pays à caractère semi-aride et aride et un impact important sur les régimes hydrologiques.

De ce fait, le suivi de l'évolution des variations climatiques et leur impact sur les ressources en eaux superficielles à l'aide des données hydrométéorologiques est indispensable. Des approches et des outils variés vont nous permettre de cerner et répondre à cette problématique

Dans ce chapitre nous exposons la méthodologie de travail ainsi que les outils d'analyses statistiques utilisés dans cette étude. (Figure III.1).

- Pour les analyses statistiques descriptives, il sera question d'étudier les fluctuations extrêmes et moyennes de ces variables ainsi que d'analyser les tendances à long terme ;
- Pour les analyses spectrales, elles porteront sur la détermination des principaux modes de variabilité et sur l'identification des liens entre les variables.
- Pour les paramètres morphométriques quantitatifs, compréhension du dynamisme d'une rivière.

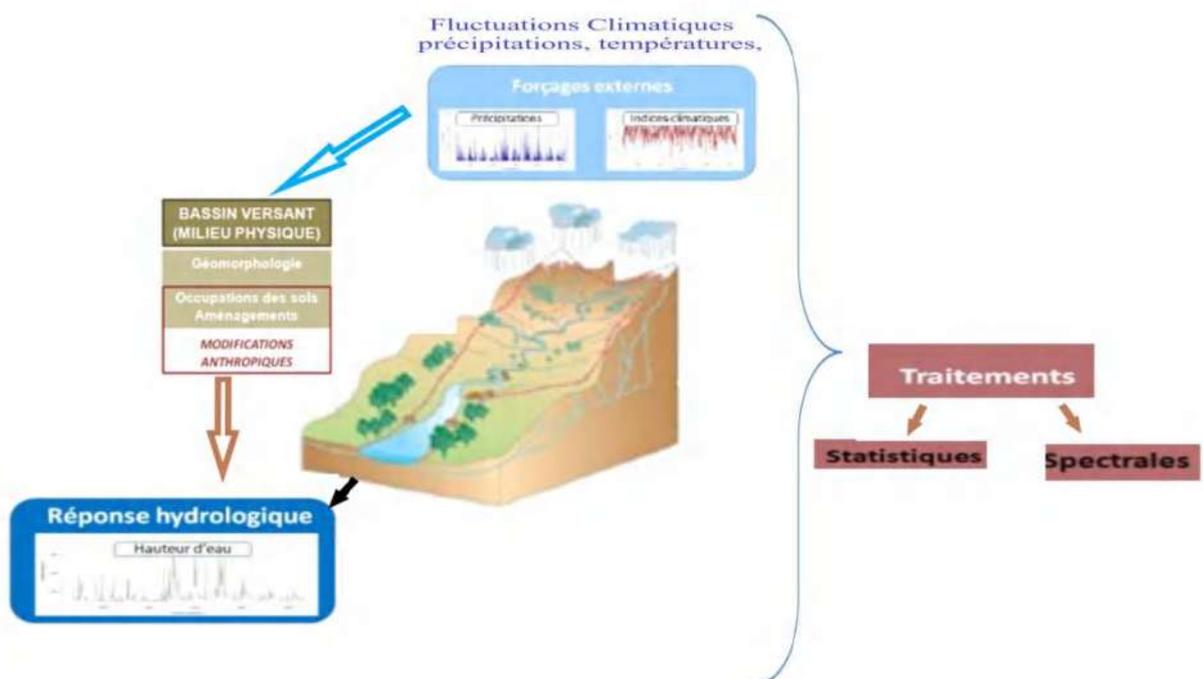


Figure III. 1: Méthodologie de travail utilisée (Johanna Mesquita.2009)

I.1-Outils d'analyses statistiques

Dans le cadre de ce travail de thèse, différentes méthodes d'analyses statistiques des données hydrométéorologiques sont utilisées.

Test de fiabilité des données

Test de normalité

Pour tester la normalité des séries, il existe deux méthodes :

-Test graphique : consiste à tracer sur un papier de Gauss la courbe théorique et la courbe empirique et de les comparer.

-Test analytique : parmi les tests analytiques de normalité des séries, on a le test de khi deux ($2 X$), le test de Kolmogorov, et on peut aussi utiliser un test qui considère les coefficients d'asymétrie et d'aplatissement. Le test de khi deux mesure l'écart qu'il y a entre les fréquences observées et les fréquences théoriques, il est donné par la statistique du X^2 . On utilise le test de $2 X$ pour déterminer si une distribution théorique comme la distribution normale peut ajuster une distribution empirique, c'est-à-dire une distribution calculée à partir des données observées.

I.1.1-Outils de recherche de tendance

- La moyenne mobile :

Chaque observation est remplacée par une moyenne arithmétique calculée sur la valeur de cette observation et les valeurs voisines qui l'encadrent ; dans le cadre de notre étude on a utilisé trois valeurs :

ainsi x_i est remplacé dans la série par

$$\frac{X_{i-2} + X_{i-1} + X_i + X_{i+1} + X_{i+2}}{5} \dots\dots\dots \text{(Grisolet H.)}$$

Cette méthode réduit l'influence des variations accidentelles, élimine l'effet des fluctuations de très courtes périodes et par conséquent les résultats sont plus commodes à interpréter. On a opté pour cette méthode en raison de sa simplicité.

- La méthode graphique chronologique de traitement de l'information (MGCTI), de type "matrice BERTIN"» (Nouaceur *et al.* 2013a, 2013-b).

Appliquée aux données de températures et de précipitations, cette méthode permet dans un premier temps d'analyser la répartition spatio-temporelle du paramètre météorologique, puis dans un second de déterminer les dates de changement de cycle.

Trois étapes composent la démarche :

1) Première étape

Les données annuelles de la variante (Pluviométrique, Température ou autres paramètres climatiques...) des différentes stations sont triées de façon croissante, en veillant à laisser les années attachées aux valeurs, les valeurs de quintiles sont déterminées (la série est divisée en 5 parties égales), puis des codes de 1 à 5 sont affectés en fonction du placement de chaque cumul

annuel par rapport aux différents quintiles. Ceci va déterminer le caractère, pour les pluies par exemple, très humide, humide, normal, sec et très sec

En fonction de la position de ces données par rapport aux quintiles, les années sont considérées comme :

- Très sèches ou très froides, en dessous du premier quintile ;
- Sèches ou froides, entre le premier et le deuxième quintile ;
- Normales à tendance sèche où à tendance fraîche, entre le deuxième quintile et la médiane ;
- Normales à tendance humide ou à tendance chaude, entre la médiane et le troisième quintile ; humides ou chaudes, entre le troisième et le quatrième quintile ;
- Enfin, très humides où très chaudes, au-dessus du quatrième quintile.

2) Deuxième étape

Les données annuelles par station et par année sont triées (tri décroissant en partant de l'année la plus ancienne) en veillant à ce que les codes soient attachés aux années (on revient vers la série première de données brutes, mais au lieu d'avoir les données de pluie, on a maintenant les codes avec les différentes couleurs selon le caractère pluviométrique déterminé. Ce premier traitement est suivi d'une procédure de ré-ordonnement (permutations de colonnes) afin d'obtenir un classement qui permet de visualiser une structure colorée homogène (matrice BERTIN). Cette procédure permet de visualiser l'évolution du paramètre climatique selon deux dimensions (temps et espace). (Z. Nouaceur *et al.* 2013a, 2013-b).

3) Troisième étape

Pour déterminer les ruptures et les périodes caractéristiques, une deuxième procédure est entreprise. Elle consiste à faire la somme des nombres déjà affectés (les différents codes). Ce total est ensuite centré réduit ce qui permet d'obtenir un indice qui varie de $+\infty$, pour une année très humide ou très froide à $-\infty$ pour une année très sèche ou très chaude.

La projection du résultat sur un graphique permet de voir l'évolution du phénomène à une échelle régionale, puis de déterminer les dates de rupture et de changement de tendance.

- *Indices centrés réduits (Nicholson)*

L'analyse de la dispersion des données journalières des différentes stations permet de caractériser les variables étudiées à long terme type crues/sécheresse. Le travail consiste à extraire les valeurs annuelles (minimums, maximums et moyennes) et de calculer leurs indices centrés réduits respectifs. Cette méthode a permis d'identifier les différentes phases hydrologiques du système étudié.

$$IP = (x_{(i)} - \bar{x}) / \sigma$$

$x_{(i)}$ = cumul pluviométrique de l'année,

\bar{x} = moyenne des cumuls pluviométriques de la période considérée,

σ = écart type de la période

- *Test de Spearman*

On calcule la corrélation entre la chronologie (i) et le rang y_i des valeurs de la série. Plus la corrélation est grande et plus elle est significative.

Ce coefficient est donné par l'expression :

$$r = 1$$

i : la chronologie.

y_i : le rang

- Le Test de Mann Kendall

Le test de tendance de Mann Kendall, complété par celui de corrélation des rangs de Spearman, est ensuite appliqué pour mettre en évidence l'existence d'une tendance.

Le test de tendance de Mann Kendall (Mann, 1945 et Kendall, 1975) est un test statistique basé sur les rangs (Helsel et Hirsch, 2002). Il est utilisé pour l'analyse des tendances en climatologie (Mavromatis.T, et Stathis.D, 2011) et en hydrologie. (Yue S., Wang, C., 2004). Ce test présente deux avantages :

- C'est un test non paramétrique et il ne nécessite pas que les données soient normalement distribuées.
- Ce test a une faible sensibilité aux ruptures abruptes dues à des séries temporelles non homogènes (Tabari, H., Marofi, S., Aeni, A., Talaei, P.H. Mohammadi, K., 2011).

Soit la série X_i , i variant de 1 à n . On calcule pour chaque élément, le nombre d'éléments qui le précède et qui lui sont inférieurs et l'on fait la somme de ces nombres (t). Plus (t) est grand et plus l'organisation de la série est importante.

La variable (t) est distribuée selon une loi normale avec :

$$E(t) = n \times (n-1) / 4 \quad \text{Var}(t) = n \times (n-1) \times (2n+5) / 72$$

On cherche la probabilité α_1 à l'aide de la loi normale centrée réduite tel que :

$$\alpha_1 = \text{prob} (|u| > u(t)) \quad \text{Avec : } u$$

L'hypothèse nulle (absence de tendance) est acceptée ou rejetée au niveau de signification α_0 pour un seuil de 0.05 selon que l'on a $\alpha_1 > \alpha_0$ ou $\alpha_1 < \alpha_0$.

H_0 : Il n'y a pas de tendance dans la série

H_a : Il existe une tendance positive dans la série

Étant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification $\alpha = 0,05$, on doit rejeter l'hypothèse nulle H_0 , et retenir l'hypothèse alternative H_a .

Lorsque les valeurs de $u(t)$ sont significatives (Sneyers .R, 1975), on conclut à une tendance croissante ou décroissante selon que $u(t)$ est positif ou négatif.

I.1.2- Principaux tests statistiques de détection des ruptures des séries climatiques

Une « rupture » peut être définie par un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires, dont les réalisations successives déterminent les séries chronologiques étudiées (Paturel et al, 1995). Elles permettent de détecter un changement dans la moyenne de la variable traitée dans la série.

Pour caractériser d'éventuelles fluctuations d'ordre climatique dans les bassins, une analyse statistique de longues séries chronologiques de données pluviométriques a été réalisée

par le logiciel KRONOSTAT, qui ont été élaborés par l'IRD-Institut de recherche pour le développement (1998), Xlstat, Hyfran (Centre Eau-Terre et Environnement INRS-ETE, Québec). Il est possible de mettre en évidence la non-stationnarité des séries pluviométriques survenue pendant les périodes d'observation et d'isoler les périodes d'anomalies pluviométriques. Pour déceler d'éventuels changements dans le régime pluviométrique, nous avons utilisé quelques méthodes statistiques largement employées dans les recherches de variabilité climatique.

Les procédures concernées sont le Test de Pettitt, la Procédure Bayésienne de Lee et Heghinian, le Test du rapport de vraisemblance (test Buishand), la statistique U, et la procédure de segmentation des séries hydrométéorologiques d'Hubert.

Test de Pettitt (Pettitt, 1979)

Le test de Pettitt est non-paramétrique et dérive du test de Mann-Whitney (Lubes et al. 1994). L'absence d'une rupture dans la série (x_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle.

Le fondement de ce test est le suivant :

La série est divisée en deux sous-échantillons respectivement de taille m et n. Les valeurs des deux échantillons sont regroupées et classées par ordre croissant. On calcule alors la somme des rangs des éléments de chaque sous-échantillon dans l'échantillon total. Une statistique est définie à partir des deux sommes ainsi déterminées, et testée sous l'hypothèse nulle d'appartenance des deux sous-échantillons à la même population.

La formulation du test de Mann-Withney modifiée par Pettitt est la suivante :

La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t variant de 1 à N, les séries (x_i) , $i = 1, t$ et (x_i) , $i = 1, t+1, N$ appartiennent à la même population.

$$\text{Soit } D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j) \text{ avec : } \begin{cases} \text{sgn}(x) = 1 & \text{si } x > 0 \\ \text{sgn}(x) = 0 & \text{si } x = 0 \\ \text{sgn}(x) = -1 & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

$$\text{On considère } U_{t,N} \text{ telle que : } U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

$$i = +1 \quad j = t + 1$$

Soit K_N la variable définie par le maximum en valeur absolue de $U_{t,N}$ pour t variant de 1 à N.

À partir de la théorie des rangs, Pettitt montre que si k désigne la valeur de K_N prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur k est donnée approximativement par :

$$\text{prob}(K_N > k) \approx 2 \exp\left(\frac{-2k^2}{N}\right)$$

Pour un risque α de première espèce donné, si $\text{prob}(K_N > k)$ est inférieur à α , l'hypothèse nulle est rejetée. La série comporte alors une rupture localisée au moment τ où est observée K_N .

Le test est plus particulièrement sensible à un changement de moyenne.

La Procédure Bayésienne de Lee et Heghinian

Par ailleurs, l'approche bayésienne de Lee & Heghinian nous donne les estimations des dates et amplitudes de la rupture (à condition d'avoir démontré à l'aide de tests statistiques

l'existence d'une rupture). Avant de présenter cette méthode, nous rappellerons les principes des estimations de Bays.

- *Principe des méthodes bayésiennes*

Contrairement aux méthodes statistiques classiques, l'approche bayésienne ne s'appuie pas uniquement sur un échantillon de données. Elle incorpore également dans l'analyse, des connaissances a priori sur les paramètres des échantillons de données que l'on étudie. Cette information a priori peut provenir d'analyses statistiques antérieures ou des connaissances subjectives des experts. Ces connaissances se traduisent par des probabilités (a priori) d'occurrence pour les différentes valeurs possibles du paramètre, que l'on appelle loi a priori paramètre.

Ces distributions a priori sont ensuite actualisées à l'aide des données observées en utilisant la formule de Bayes (des probabilités conditionnelles). Nous obtenons ainsi *la loi a posteriori* du paramètre à estimer.

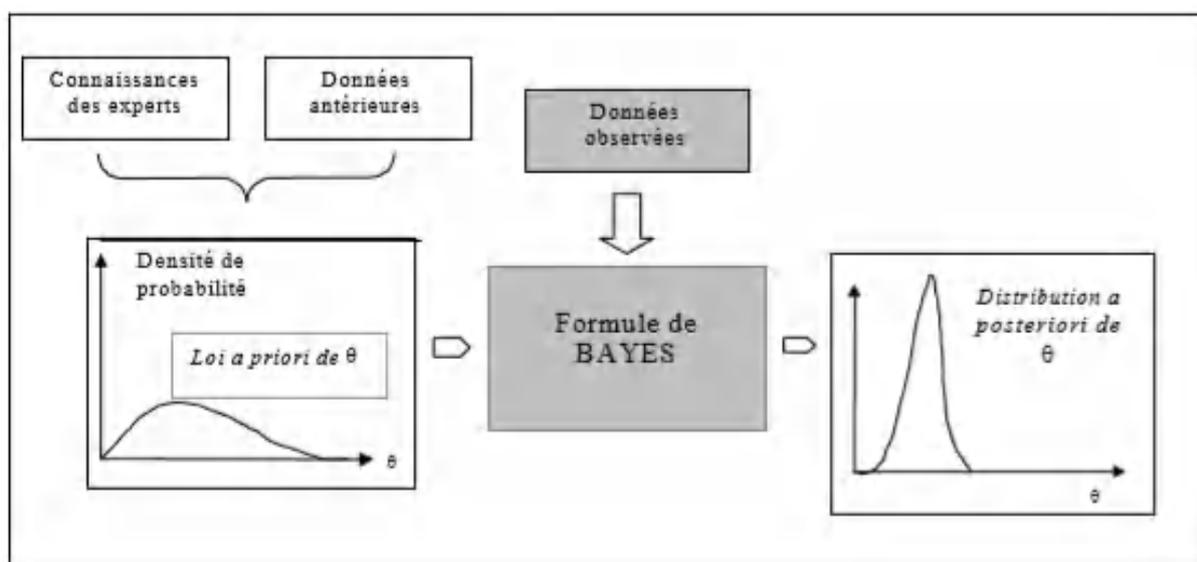


Figure III. 2: Principe de la méthode bayésienne (d'après Perreault (2000))

Avantages de l'analyse bayésienne :

- l'interprétation des résultats d'une analyse bayésienne est plus claire que celle des méthodes classiques. Une loi de probabilité est un outil d'aide à la décision plus subtil qu'un simple intervalle de confiance, notion pour le moins abstraite. En effet, la représentation graphique de la loi de posteriori est assez parlante.

- l'analyse bayésienne nous donne la possibilité de tirer parti des connaissances a priori des spécialistes sous la forme d'une loi a priori. Cependant, on peut reprocher le manque d'objectivité de cette méthode qui introduit des connaissances a priori. Il est toutefois possible de choisir comme loi a priori une probabilité uniforme.

- Autre inconvénient : la démarche bayésienne engendre des calculs assez lourds et fait appel à une méthode complexe.

- *Approche bayésienne de Lee & Heghinian (1977)*

La méthode bayésienne de Lee et Heghinian propose une approche paramétrique. Elle nécessite une distribution normale des valeurs de la série. L'absence de rupture dans la série constitue l'hypothèse nulle. Le modèle de base de la procédure est le suivant :

$$x_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i=1, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & i=\tau+1, \dots, n \end{cases}$$

Les ε_i sont des variables aléatoires normales de moyenne nulle et de variance σ^2 . τ , μ , δ et σ sont des paramètres inconnus et indépendants, $1 \leq \tau \leq N-1$, $-\infty < \mu \leq +\infty$, $-\infty < \delta \leq +\infty$, $\sigma > 0$.

τ et δ représentent respectivement la position dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de moyenne.

L'approche Bayésienne présentée ici est fondée sur les distributions marginales *a posteriori* de τ et δ (Lee et Heghinian, 1977).

Le changement éventuel, position et amplitude correspond au mode des distributions *a posteriori* de τ et δ . La méthode fournit la probabilité que le changement se produise au moment τ dans une série où on suppose *a priori* qu'il y a effectivement un changement à un moment indéterminé. De même elle donne une estimation de la probabilité que l'amplitude du changement ait la valeur δ .

La procédure Bayésienne de Lee et Heghinian a été déjà appliquée à l'étude de la structure de la saison des pluies en Afrique Soudano-Sahélienne (Chaouche, 1988) et elle a donné de très bons résultats.

Test du rapport de vraisemblance (Buishand, 1982, 1984)

Ce test d'hypothèse est basé sur les hypothèses de normalité et de constance de la variance de la série

Ce test fait référence au modèle simple qui suppose un changement de moyenne de la série :

$$x_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i=1, \dots, m \\ \mu + \Delta + \varepsilon_i & i=m+1, \dots, n \end{cases}$$

Les ε_i sont de variables aléatoires normales de moyenne nulle et de variance commune inconnue σ^2 . Le point de rupture m et les paramètres μ et Δ sont aussi inconnus.

Plusieurs méthodes statistiques ont été développées pour tester l'hypothèse nulle $\Delta=0$ contre l'hypothèse alternative $\Delta \neq 0$.

On s'intéresse aux termes du cumul d'écarts suivants :

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x}) \text{ Pour } k=1, \dots, N$$

$$S_0^* = 0$$

\bar{x} est la moyenne des valeurs x_1, x_2, \dots, x_N .

S_k^* est tel que :

$$E(S_k^*) = k(N-m)N^{-1}\Delta, \quad k=0, \dots, m$$

$$E(S_k^*) = m(N-k)N^{-1}\Delta, \quad k=m+1, \dots, N$$

$$\text{var}(S_k^*) = k(N-k)N^{-1}\sigma^2, \quad k=0, \dots, N$$

On observe que la moyenne des S_k^* est :

- *Nulle pour une série homogène ($\Delta=0$) ;
- * Positive pour $\Delta < 0$;
- *Négative pour $\Delta > 0$.

La variance est maximale si $k=N/2$. Même pour une série purement aléatoire, les valeurs de S_k^* peuvent différer de zéro, spécialement pour k au voisinage de $N/2$.

Le test du rapport de vraisemblance porte sur la variable :

$$V = \max_k \left| \frac{S_k^*}{D_x \sqrt{k(N-k)}} \right| \text{ Pour } 1 \leq k \leq N-1$$

Avec D_x écart-type de la série.

De grandes valeurs de V conduisent à rejeter l'hypothèse nulle. Les valeurs critiques de la statistique V peuvent être obtenues à partir des valeurs critiques de la statistique W telle

que :

qui ont été tabulées par Worsley (1979). La statistique V est fortement dépendante de l'hypothèse de normalité sur la distribution de la variable étudiée.

Statistique U (Buishand, 1982, 1984)

Le test ici présent est de nature Bayésienne. Il fait référence au même modèle de base et aux mêmes termes que le test précédent. En supposant une distribution a priori uniforme pour

la position du point de rupture m , la statistique U est définie par :

$$U = \frac{1}{N(N+1)} \sum_{k=1}^N \left| \frac{S_k^*}{D_x} \right|$$

Des valeurs critiques de la statistique U sont données par Buishand (1982) à partir d'une méthode de Monte-Carlo. De meilleures estimations sont parues ultérieurement (Buishand, 1984) (tableau III.1).

Tableau III. 1: Valeurs critiques et bornes de la statistique U pour tester $\Delta = 0$ contre $\Delta \neq 0$

Taille de l'échantillon	Borne inférieure U_{min}	Niveau de signification α			Borne supérieure U_{max}
		0.10	0.05	0.01	
10	0.023	0.333	0.416	0.574	0.929
20	0.012	0.340	0.440	0.659	1.934
30	0.008	0.343	0.447	0.688	2.944
40	0.006	0.344	0.451	0.702	3.956
50	0.005	0.345	0.453	0.710	4.968
100	0.002	0.346	0.457	0.727	10.033
∞	0	0.347	0.461	0.743	∞

La statistique U donne moins de poids que la statistique V (test précédent) aux premières et dernières valeurs de la série. En conséquence, la statistique V est supérieure à la statistique U pour détecter un changement de moyenne en début et en fin de série. Pour tout changement de moyenne survenant au milieu de la série, la statistique U s'avère plus performante.

En cas de rejet de l'hypothèse nulle, aucune estimation de la date de rupture n'est proposée par ce test.

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

Procédure de segmentation de P. HUBERT

La procédure de segmentation de séries chronologiques a été présentée par Hubert et Carbonnel (1987) et ensuite complétée par Hubert et al. (1989) in Kingumbi (2006). Le principe de cette procédure est de « découper » la série en m segments ($m > 1$) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s). Une telle méthode est appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne dans une série chronologique. La segmentation est définie de façon suivante :

Toute série $x_{(i)}$ $i = i_2$ avec $i_1 > 1$ et $i_2 < N$ où $(i_1 < i_2)$ constitue un segment de la série initiale des $(x_{(i)})$, $i = 1 \dots N$.

L'hypothèse nulle H_0 est « la série étudiée est stationnaire ». Si la procédure ne produit pas de segmentation d'ordre supérieur ou égal à 2, l'hypothèse nulle n'est pas acceptée.

- L'Indice standardisé de précipitation (SPI)

Cet indice permet de caractériser les déficits de précipitation pour une période donnée (des périodes inférieures à 12 mois). Il reflète l'impact de sécheresse sur la disponibilité des différentes ressources en eau. Cet indice est exprimé mathématiquement comme suit :

$$SPI = (P_i - P_m) / \sigma$$

SPI = Indice standardisé de précipitation ; P_i = Hauteur de pluie précipitée au cours de l'année (mm) ; P_m = Moyenne interannuelle des hauteurs de pluie sur la période observée (mm) ; σ = Écart type de la pluie moyenne interannuelle (mm)

Le SPI est établi pour quantifier le déficit des précipitations pour des échelles de temps multiples qui vont refléter l'impact de la sécheresse sur la disponibilité des différents types de ressources en eau. On effectue une classification de la sécheresse suivant les valeurs des SPI.

Tableau III. 2: Classification de la sécheresse avec la valeur

<i>Classe du SPI</i>	<i>Degré de la sécheresse</i>
<i>SPI > 2</i>	<i>Humidité extrême</i>
<i>1 < SPI < 2</i>	<i>Humidité forte</i>
<i>0 < SPI < 1</i>	<i>Humidité modérée</i>
<i>-1 < SPI < 0</i>	<i>Sécheresse modérée</i>
<i>-2 < SPI < -1</i>	<i>Sécheresse forte</i>
<i>SPI < -2</i>	<i>Sécheresse extrême</i>

I.2-Outils d'analyses spectrales

L'analyse spectrale représente un outil performant permettant le traitement et l'étude des signaux dans le domaine fréquentiel. Ces techniques offrent un potentiel important dans l'amélioration de la connaissance d'un signal par l'extraction de son spectre énergétique (Durnerin, 1999).

Dans le cadre de notre étude, l'intérêt d'utiliser cette méthode d'analyse réside dans le fait que les phénomènes hydrométéorologiques sont hautement non stationnaires et qui incluent de nombreux événements périodiques. Nous pouvons trouver dans la littérature scientifique plusieurs travaux de recherche qui ont adopté cette technique d'analyse sur des données climatiques et hydrométrique tels que Massei et al. (2011), Labat et al. (2004).

- Transformée en ondelettes

Contrairement aux méthodes spectrales couramment utilisées type transformée de Fourier, la transformée en ondelettes permet une localisation temporelle de la variabilité d'un signal donné. Cependant, la variabilité hydrologique ou climatique ne s'exprime pas uniquement sous forme de cyclicité ou de périodicité, en tous les cas pas nécessairement à

l'échelle de la décennie ou du siècle. La variabilité peut s'exprimer plutôt sous forme de « pics d'énergie » ou de « bandes d'énergie », recouvrant certaines échelles de temps. La transformée en ondelettes, qui décompose le signal à la fois en temps et en fréquence, permet donc de décrire correctement ces fluctuations hydrologiques ou climatiques, périodiques ou non, en considérant, contrairement à la transformée de Fourier, les changements dans le contenu spectral du signal analysé.

- Transformée de Fourier

La transformée de Fourier est une opération mathématique qui permet de décomposer les signaux qui dépendent du temps en une somme infinie de fonctions sinusoïdales.

Cette méthode nous permet de détecter des éventuelles périodicités présentes dans un signal analysée (George et Gwilim, 1979). En premier lieu, la procédure consiste à calculer la fonction d'autocorrélation des données brutes. En d'autres termes, cette fonction permet de comparer la série chronologique avec elle-même pour des décalages temporels de plus en plus grands.

- Analyse de la cohérence par ondelette

D'une manière générale, l'analyse de la cohérence par ondelette consiste en une mesure de la corrélation entre les deux signaux ou entre deux représentations de ces signaux suivant différentes échelles (fréquences) au cours du temps présentant des valeurs allant de 0 à 1 (Labat, 2005). Elle exprime la quantité de relation linéaire entre deux processus. La cohérence par ondelettes est définie par l'équation :

$$WC_n^{XY}(S) = \frac{W_n^{XY}(S)}{\sqrt{W_n^X(S) \cdot W_n^Y(S)}}$$

WC_n correspond à la cohérence en ondelettes entre deux signaux, W_n représente l'ondelette et S est le signal. X et Y correspondent aux deux variables étudiées. Cette méthode est utilisée dans notre travail afin d'essayer de mettre en valeur une éventuelle relation entre les hauteurs d'eau observées dans les différentes stations, avec différentes variables : les indices climatiques, la pluviométrie et les lâchers des barrages.

R Project est une suite logicielle intégrée de manipulation de données, de calcul et d'affichage graphique. Il comprend une installation de traitement et de stockage des données, une suite d'opérateurs pour les calculs sur les tableaux et une vaste collection d'outils intermédiaires pour l'analyse des données.

Il permet également de créer des installations graphiques pour l'analyse et l'affichage des données. Son langage de programmation simple et efficace inclut des conditions, des boucles, des fonctions récursives définies par l'utilisateur et des facilités d'entrée et de sortie. On peut considérer R comme un système de statistiques, mais également comme un environnement de programmation dans lequel l'utilisateur peut mettre en œuvre des techniques statistiques, qui implique en tant qu'environnement de développement, que R peut être étendu par l'intégration de paquets. Il existe 8 paquets fournis avec la distribution et d'autres sont disponibles sur des sites CRAN (Comprehensive R Archive Network).

R Project propose également des API, permettant ainsi à l'outil de s'intégrer à d'autres applications informatiques, afin notamment d'automatiser la collecte des données et leur envoi dans le logiciel de calculs statistiques.

Les résultats obtenus ont été faite par le logiciel R qui est permet d'exécuter des fonctions graphiques selon les données statistiques calculées. R est un langage de programmation qui est en capacité de traiter et d'organiser un ensemble de données. Il peut ensuite y appliquer des tests statistiques, mais aussi représenter ces données graphiquement. Ce langage est régulièrement utilisé par les statisticiens, ainsi que par la communauté scientifique et universitaire. R a plusieurs utilisations :

- Organiser et traiter rapidement un grand volume de données.
- Créer des graphiques pour visualiser ces données et les analyses.
- Créer une programmation procédurale.

I.3 Paramètres morphométriques quantitatifs

Les indices morphométriques ont été les premières mesures créées par les géomorphologues afin de quantifier l'influence de la morphologie des bassins versants sur leur réponse hydrologique. (Lambert.1996, robinson ; 2000)

L'objectif de ces analyses est caractérisé les nuances et les ressemblances morphométriques de chaque bassin versant .nous calculons les différents indices de forme et de relief. Les formules de calcul de ces paramètres utilisés dans cette étude sont regroupées dans le tableau III.3.

Tableau III. 3: Les paramètres morphométriques quantitatifs

Paramètres morphométriques	Méthode de calcul
La superficie (S) (km 2)	planimètre.
Le périmètre (P) (km)	Curvimètre
Indice de compacité de GRAVILLIUS. (Kc)	$KG = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$ *Si $KC \leq 1$: le Bv à une forme circulaire. *Si $KC = 1.12$: le Bv à une forme carrée. *Si $KC > 1.12$: le Bv à une forme allongée.
longueur du rectangle équivalent L (km)	$L = \frac{KG\sqrt{S}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{KG}\right)^2} \right]$
largeur du rectangle équivalent l (km)	$l = \frac{KG\sqrt{S}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{KG}\right)^2} \right]$
Courbe hypsométrique	la répartition de l'altitude en fonction de la surface du bassin versant exprimée en pourcentage. (H 5 % ,50 % et H 95%) en m.

Indice de pente de Roche	$IPR = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{n=1}^n \sqrt{ai} * di$ <p>L : longueur du rectangle équivalent ai : dénivelé entre deux courbes de niveau en m di : surface entre les tranches des courbes de niveau en %</p>
indice de pente globale(D)	$I_g = \frac{D}{L} = \frac{D(H\ 5\% - H\ 95\%)}{L}$
L'indice de pente moyenne (Im)	<p>Im = (H max-H min)/L ou : H max = l'altitude max du bassin versant (m) ; H min = l'altitude min du bassin versant (m) ; L = longueur du rectangle équivalent (km).</p>
La Dénivelée spécifique (Ds)	$Ds = I_g \sqrt{S}$
réseau hydrographique	<i>Automatique d'après MNT</i>
longueur du réseau hydrographique L (km)	<i>Automatique d'après MNT</i>
Densité de drainage (Dd) km / km²	$Dd = \sum_{n=1}^n L / S$ <p>DL : longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km ; S : aire du bassin en km².</p>
Le rapport de confluence (Rc)	$Rc = \frac{Nx}{Nx+1}$ Avec : Nx : Nombre de talweg d'ordre (x) Nx+1 : Nombre de talweg d'ordre (x+1).
rapport de longueur (Rl)	$Rl = L_{x+1} / L_x$
Coefficient de torrentialité (Ct)	$Ct = Dd \cdot FI$ avec : Dd : Densité de drainage FI : Fréquence de talwegs d'ordre 1
densité des talwegs	$FI = N\ 1 / S$ <p>N 1: nombre de cours d'eau d'ordre 1) nombre de talwegs d'ordre 1</p>
pente moyenne du cours d'eau principal (I) m/Km	$I = dH / L_p$ <p>dH = différence d'altitude Lp = longueur totale le du cours d'eau</p>
Temps de concentration (Tc) (heures)	<p>Formule de GIANDOTTI</p> $T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy}} - H_{min}}$ <p>S : superficie du bassin (km²), L : longueur du thalweg principal (km) H moy : altitude moyenne (m), H min : altitude minimale (m).</p>

II. DONNÉES UTILISÉES

Pour un bassin versant donné ou une région donnée, les stations fournissent des mesures ponctuelles. Elles sont installées dans des conditions propres et forment le réseau d'observation. Les données relatives aux stations sont d'une haute importance pour les statistiques climatiques, la planification, la gestion des ressources et les projets de construction.

La représentativité des précipitations par les mesures est une fonction du réseau d'observation. Plus elles sont denses, meilleure est l'information et plus l'ensemble des mesures est représentatif de la lame d'eau tombée sur une surface particulière. Sur notre terrain d'étude, les stations sélectionnées sont présentées dans le tableau III.4.

De toute évidence, garantir la fiabilité de cette information constitue une étape préalable à la réalisation d'une étude temporelle ou spatiale quelle qu'elle soit. Il n'existe pas de procédés générateurs d'information en dehors des procédés de mesure. Cet adage, vieux comme le monde, s'applique à toute démarche scientifique et à la climatologie en particulier. De ce fait, l'étude du climat et le suivi de son évolution nécessitent de longues et nombreuses séries d'observations. Malheureusement, nous ne disposons jamais de séries de données parfaitement continues.

La constitution d'échantillons, au sens statistique du terme est donc un processus long parsemé d'embûches et au cours duquel de nombreuses erreurs de nature fort différente sont susceptibles d'être commises.

II.1 Collecte et Contrôle des données

Les données utilisées dans ce travail de recherche sont essentiellement des précipitations, des débits, des températures et également des indices climatiques tels que :

L'indice NAO pour « **Oscillation Nord-Atlantique** », a été téléchargé à partir du site web du Climatic Research Unit (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm>), de la période 1969-1972

L'indice OMO pour « **Oscillation Méditerranéenne Occidentale** », a été téléchargé à partir du site web du Group of Climatology de l'Université de Barcelone (<http://www.ub.es/gc/English/wemo.htm>).

La variabilité hydrologique des Bassins versants étudiés (Medher, Chemora, Boulefreiss et Gueiss) et de leurs principaux affluents sera comparée aux modes de variabilité du climat connus pour influencer l'hydrologique.

Ces indices climatiques feront l'objet d'une présentation détaillée au titre de la synthèse bibliographique des relations observées entre la variabilité hydrologique et les fluctuations du climat à l'échelle des Hauts Plateaux Constantinois.

Les données climatiques proviennent des Agences Nationales des Ressources Hydrauliques (l'A.N.R.H) de Batna, Constantine et Alger et de l'Office National de la

Météorologie (l'ONM) de Constantine. Il s'agit des totaux mensuels et annuels de précipitations, débits d'écoulement et températures.

Avant de pouvoir les exploiter et bien qu'elles soient dans un format adéquat, il importe de contrôler leur fiabilité et leur précision. Le contrôle de la validité des données d'observation est un travail préalable indispensable à toute analyse correcte malgré les nombreux contrôles manuels intervenant dans la chaîne de traitement des données climatologiques.

Le contrôle manuel se fait à plusieurs niveaux, d'abord au niveau de la station, puis au niveau du service central où souvent encore des erreurs de nature fort différente sont susceptibles d'être relevées. Elles peuvent être dues au capteur mal entretenu ou à des erreurs de transcription des données du carnet d'observation sur les CRQ (compte rendu quotidien) et des CRQ sur les TCM (tableaux climatologiques mensuels) ou sur support informatique.

Il existe deux types d'erreurs :

- Les erreurs aléatoires (accidentelles) :

Elles affectent la précision des données, et sont dues à des raisons nombreuses et variées, généralement inconnues, affectant différemment chaque mesure individuelle. Ces erreurs étant inévitables, il faut en estimer l'importance afin de pouvoir en tenir compte lors de l'évaluation de l'incertitude finale.

- Les erreurs systématiques :

L'origine des erreurs systématiques est le plus souvent liée à la calibration de l'appareil de mesure qui n'est pas parfaite ou à un phénomène extérieur qui perturbe la mesure (erreur d'appareillage, changement d'observateur...).

Le contrôle manuel est basé sur l'expérience du correcteur par contre le contrôle automatique a pour but de trier les données en deux catégories :

- Données considérées comme correctes.
- Données considérées comme douteuses.

Il permet aussi de vérifier la concordance des résumés obtenus sur machines avec les résumés rédigés en amont (avant traitement). On considère (03) types de procédure de contrôle :

- **Les contrôles de cohérence interne,**

Ils ont pour but de déceler les contradictions qui peuvent exister entre plusieurs paramètres d'une même observation.

- **Contrôles de cohérence temporelle**

Ils ont pour but de vérifier la vraisemblance des variations dans le temps d'un paramètre météorologique à une station. Ce contrôle temporel n'est possible que pour les éléments ayant une variabilité diurne comme la température.

- **Les contrôles de cohérence spatiale.**

Ils ont pour but de vérifier la vraisemblance des écarts entre les valeurs d'un paramètre mesuré à des stations voisines.

Comme chacun le sait, la base des études climatologiques ou hydrologiques nécessite des séries de données régulières continues et de longue durée ; l'application des méthodes

statistiques sur ces séries impose un certain nombre de conditions entre autres, la continuité des observations dans le temps et la pérennité des méthodes d'observations.

L'historique du réseau climatique de l'ANRH et de l'ONM montre que la longueur des séries est inversement proportionnelle à leur nombre. Nous ne disposons que de successions de séries de courte durée, et ce pour plusieurs raisons dont les plus importantes sont :

- La fermeture de certaines stations.
- Les déplacements de certaines autres.
- L'implantation récente de nouvelles stations.

II. 2. Caractéristiques des stations

Pour pouvoir sélectionner un réseau de stations, nous avons commencé par l'historique des stations couvrant la zone d'étude. Cet historique montre que les premières observations existent depuis 1855 comme par exemple à Batna.

Pour un bon traitement des données recueillies, il est nécessaire et indispensable que la période de collecte soit suffisamment longue, autrement dit l'échantillon doit être suffisamment grand (El Ouissi A. 2004). Cependant, la réalité est différente à cause des lacunes que nous trouvons souvent dans les séries d'observations. (Azzaz H. 2001). Pour être utilisables, les observations doivent être aussi exactes que possible et comparables les unes aux autres, donc synchrones et faites dans les mêmes conditions.

- Choix de la période d'étude

Nous avons choisi de débiter notre période d'étude à partir de 1969, car c'est à partir de cette date que le réseau a commencé à avoir une certaine stabilité.

Les données pluviométriques sont disponibles pour l'ensemble des stations (16) sur une période de 43 ans, soit de 1969/70 à 2012/13, et pour 6 stations elles vont jusqu'à 2017/2018. (Tableau III.4, Annexe1) ; quant aux données hydrométriques, elles sont en majorité disponibles pour une période de 42 ans soit de 1969/70 jusqu' à 2011/12 à l'exception de la station de Fesdis qui ne dispose que d'une courte série de 17 ans de 1969/70 à 1985/86. (Tableau III.5, Annexe 2).

- Choix des stations

Deux critères nous ont permis de sélectionner les stations choisies : la longueur des séries et leur continuité dans le temps, puis la localisation géographique afin d'avoir une bonne représentativité spatiale. Nous avons ainsi retenu seulement les stations possédant les séries de données les plus complètes possibles.

Nous avons tenu compte de leur localisation de manière à couvrir au mieux la diversité géographique des versants Nord des Aurès. Les stations retenues sont représentées sur la Figure III.3.

Pour la pluviométrie, nous avons retenu 16 postes qui ont fonctionné sans arrêt depuis 1969 et pour l'hydrométrie nous avons 7 postes hydrométriques sauf les stations thermiques (Tableau III.6).

Pour assurer une représentativité objective de la région d'étude, nous avons jugé utile de commencer d'abord notre analyse par les 6 stations dont les données sont les plus longues (station de Seguin, Batna, Baiou, Timgad, Yabous et Ain Mimoun). Ces dernières pouvant être

considérées comme des stations « échantillon » correspondant aux différents milieux présents sur la zone d'étude (montagne, piedmont et plaine).

- Au niveau de la plaine, la station de Batna et la station de Timgad
- Au niveau des piedmonts, la station de Yabous et la station d'Ain Mimoun
- Au niveau de montagne, Baiou et Seguene

Tableau III. 4: les stations climatiques, coordonnées géographiques, période des données

Code station	Nom station :	Coordonnées			Période
		X :	Y :	Z :	
Bv. Medher					
07 03 03	TAZOULT	822,65	248,65	1200	1969/70-2013/14
07 03 04	ALI BEN TENOUN	827,4	254,9	1180	1969/70-2013/14
07 03 08	HAMLA	806,75	256,2	1174	1969/70-2013/14
07 03 09	SEGUENE	809,3	260,6	1400	1969/70-2017/18
07 03 16	BATNA	814,7	257,35	1040	1969/70-2017/18
Bv. Oued Chemora					
07 04 03	REBOA	847,98	250,1	1002	1969/70-2013/14
07 04 05	AIN TINN	839,6	237,5	1650	1969/70-2013/14
07 04 06	FOUM TOUB	849,8	241	1160	1969/70-2013/14
07 04 07	BAIOU	829,65	242,65	1510	1969/70-2017/18
07 04 08	BOUHMAR	837,15	244	1275	1969/70-2010/11
07 04 09	TIMGAD	841,75	250,9	1000	1969/70-2017/18
07 04 10	SIDI MANCAR	833,7	253,25	1112	1969/70-2013/14
Bv. Oued Boulefreiss					
07 06 04	YABOUS	858,45	239,65	1200	1969/70-2017/18
07 06 06	CHELIA CPR	858,85	237,1	1260	1969/70-2013/14
Bv. Gueiss					
07 07 04	AIN MIMOUNE	886,35	243,6	1180	1969/70-2017/18
07 07 20	FOUM EL GUEISS BG	884,5	250,15	945	1969/70-2013/14

Tableau III. 5: caractéristiques des stations hydrométriques

Bassins	Stations	Oued	Code	X	Y	Z	Période
Medher	Fesdis	Medher	70301	816,35	259,00	985	1969/ 1986
Oued Chemora	Timgad	Soultez	70401	841,65	250,85	1020	1969/ 2011
	Reboa	Reboa	70403	848,20	250,20	1010	1969/ 2004
	Morri	Morri	70404	832,45	252,65	1000	1969/2003
Garaet Ank Djmel	Chemora	Chemora	070501	855,10	264,50	890	1969/ 2011
Oued Boulefreiss	Yabous	Boulefreiss	70601	858,52	239,34	1210	1969/ 2008
Gueiss	Foum El Gueiss	Gueiss	70702	885,20	247,30	980	1969/ 2011

Tablrau III. 6: Caractéristiques des stations thermiques

Station	X	Y	Altitude	Période d'étude
Batna	814.7	257.35	1015	1975-2014
Khenchela	890	250	980	1985-2014

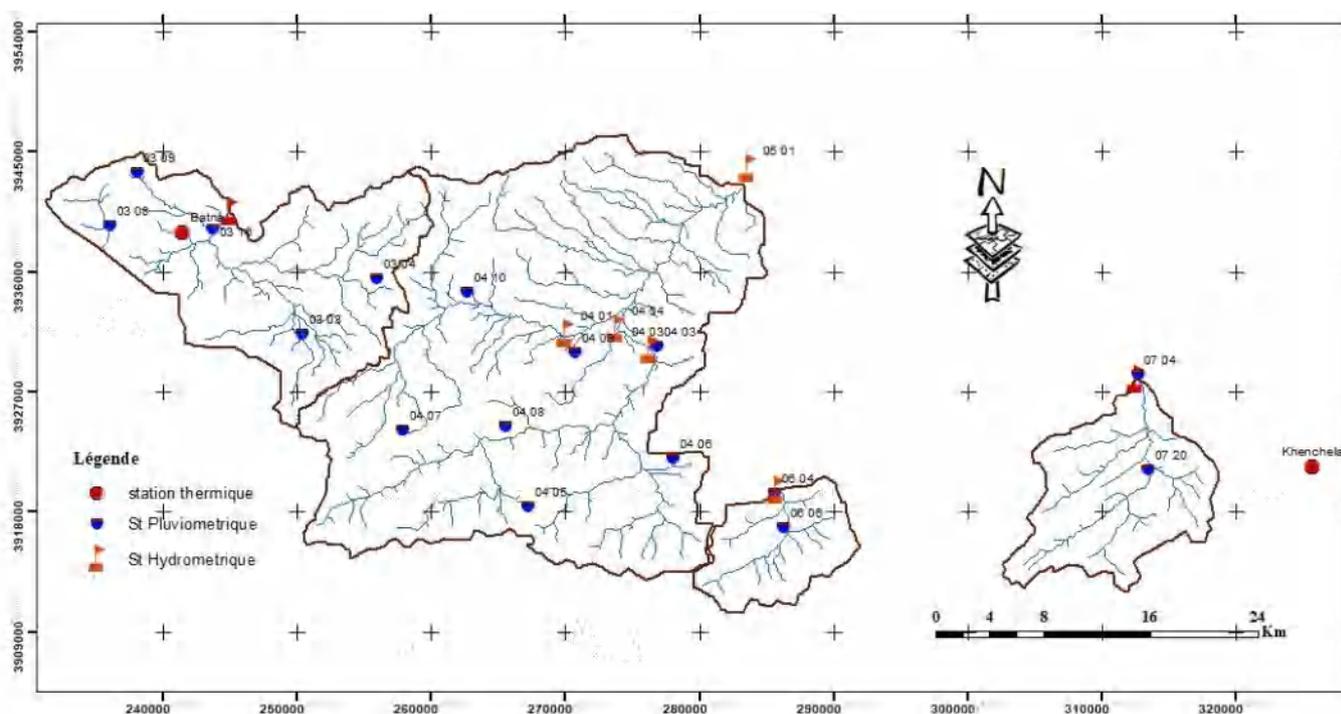


Figure III. 3: Localisation des stations retenues

II.3 Homogénéisation des données

- Contrôle de la fiabilité de la série d'observations

Toutes les études sont basées sur des séries de données d'observations, qui ne sont pas dépourvues d'erreurs et de lacunes. L'absence de certaines informations (absence de mesures, défaut de transmission, erreur de stockage, manipulation erronée...) peut occasionner au niveau des fichiers disponibles, certaines données erronées ou manquantes, aussi, chaque étude hydrologique nécessite une critique des données afin d'éliminer les données les plus suspectes.

Pour travailler sur une base fiable et loin des anomalies, l'étude de l'homogénéité est une étape indispensable pour s'assurer la fiabilité de ces données (Bobée, 1978 et Brunet-Moret, 1977, 1979). Pour cela, nous avons testé l'homogénéité d'une série temporelle par la méthode du simple cumul (méthode absolue) et appliqué la méthode du double cumul qui a été proposée par Kohler (1949) et du cumul des résidus (Bois, 1971, 1986).

La méthode « doubles cumuls » a été utilisée afin de vérifier l'homogénéisation des totaux annuels qui se situent en abscisses de la station de référence, et en ordonnées les totaux annuels en station à contrôler ;

- Lorsque la distribution des points est linéaire, la série est homogène.
- Lorsque la distribution connaît des ruptures, la série est hétérogène.

L'homogénéisation de cette série sera faite en affectant la valeur du rapport correctif, selon le cas, m/m' ou m'/m , aux totaux annuels considérés comme erronés (P. Dubreuil 1974).

Le principe de la méthode du double cumul est le même que celui de la méthode du simple cumul, seulement la droite des cumuls n'est plus obtenue en fonction du temps, mais en fonction d'une deuxième station de la même région qu'on appellera station de référence, cette dernière devra être homogène dès le départ.

Tableau III. 7: Coefficient de corrélation des pluies mensuelles mesures aux stations

Nom de la station référencé	Nom de la station comblé	R ²	Équation
Sidi Mancer	Ali Ben Tennoun	0,81	Y=1,35x-1,90
Batna	Hamla	0,67	Y=0,98x+4,15
Batna	Seguin	0,82	Y=1,08x+3,03
Baiou	Tazoult	0,8	Y=0,73x+7,67
Ain Tinne	Baiou	0,87	Y=0,91x-0,88
Sidi Mancer	Timgad	0,72	Y=0,91x+9,12
Timgad	Reboa	0,75	Y=0,94x+3,66
Timgad	Bouhmer	0,78	Y=1,18x+4,75
Foum Toub	Yabous	0,86	Y=0,64x+5,64
Yabous	Chélia	0,79	Y=1,24x+5,78
Ain Mimoun	Foum El Gueiss	0,94	y = 0,63x + 8,45

Tableau III. 8: Coefficient de corrélation des débits mensuels mesures aux stations

Station à combler	Station utilisée pour la régression	Type de régression	Coefficient R ²
Reboa	Timgad Gue	Tout linéaire	> 0.93
Morri	Timgad Gue	Tout linéaire	> 0.80
Chemora	Timgad Gue	Tout linéaire	> 0.80
Yabous	Foum el Gueiss	Tout linéaire	> 0.55
Foum el Gueiss	Yabous	Tout linéaire	> 0.55
Timgad Gue	Reboa	Tout linéaire	> 0.93

- Estimation des données manquantes

On a estimé les données manquantes ou les valeurs incorrectes des stations à partir des stations voisines situées dans la même zone géographique et soumises aux mêmes conditions climatiques. Il existe trois hypothèses distinctes pour extraire des données manquantes :

- Remplacer la valeur manquante par celle de la station la plus proche ;
- Remplacer la valeur manquante par la moyenne des stations voisines.
- Remplacer la valeur manquante par la méthode de régression (méthode efficace),

Dans notre recherche, nous avons rattrapé les données manquantes des stations contenant des lacunes la fonction bouche trous. Le traitement des données a été fait sur toutes les stations grâce au logiciel Hydrolab.

À l'échelle de la région, certaines stations de référence (Ali Ben Tennoun, Ain Yagout, Seguene, Batna ferme exp, Tazoult, Foug Toub) ont été choisies au titre de la série 1969/70-2012/13.

Le comblement des lacunes a été effectué mois par mois, grâce à des régressions établies entre des précipitations mensuelles des stations, prises deux à deux (figure III.4).

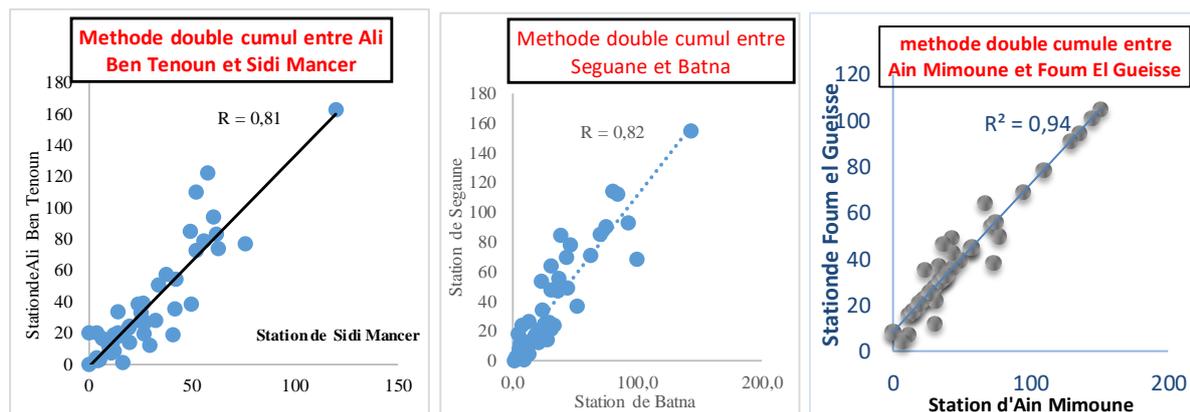


Figure III. 4: Régressions entre les pluies annuelles pour quelques stations à l'échelle annuelle des précipitations

- Le Test de normalité

La loi normale est la loi statistique la plus répandue et la plus adéquate à nos séries pluviométriques annuelles. De plus, de nombreuses autres lois statistiques peuvent être approchées par la loi normale, tout spécialement dans le cas des grands échantillons. Plusieurs travaux réalisés au niveau de plusieurs instituts (IHFR, ANRH...) ont montré que la loi normale ajuste bien les séries pluviométriques du nord de l'Algérie.

Dans notre cas, nous allons appliquer le test graphique sur les stations de Batna, Timgad, Yabous, Ain Mimoun, Baiou et Seguin, et ce en utilisant le logiciel Hydrolab (Laborde, 1928).

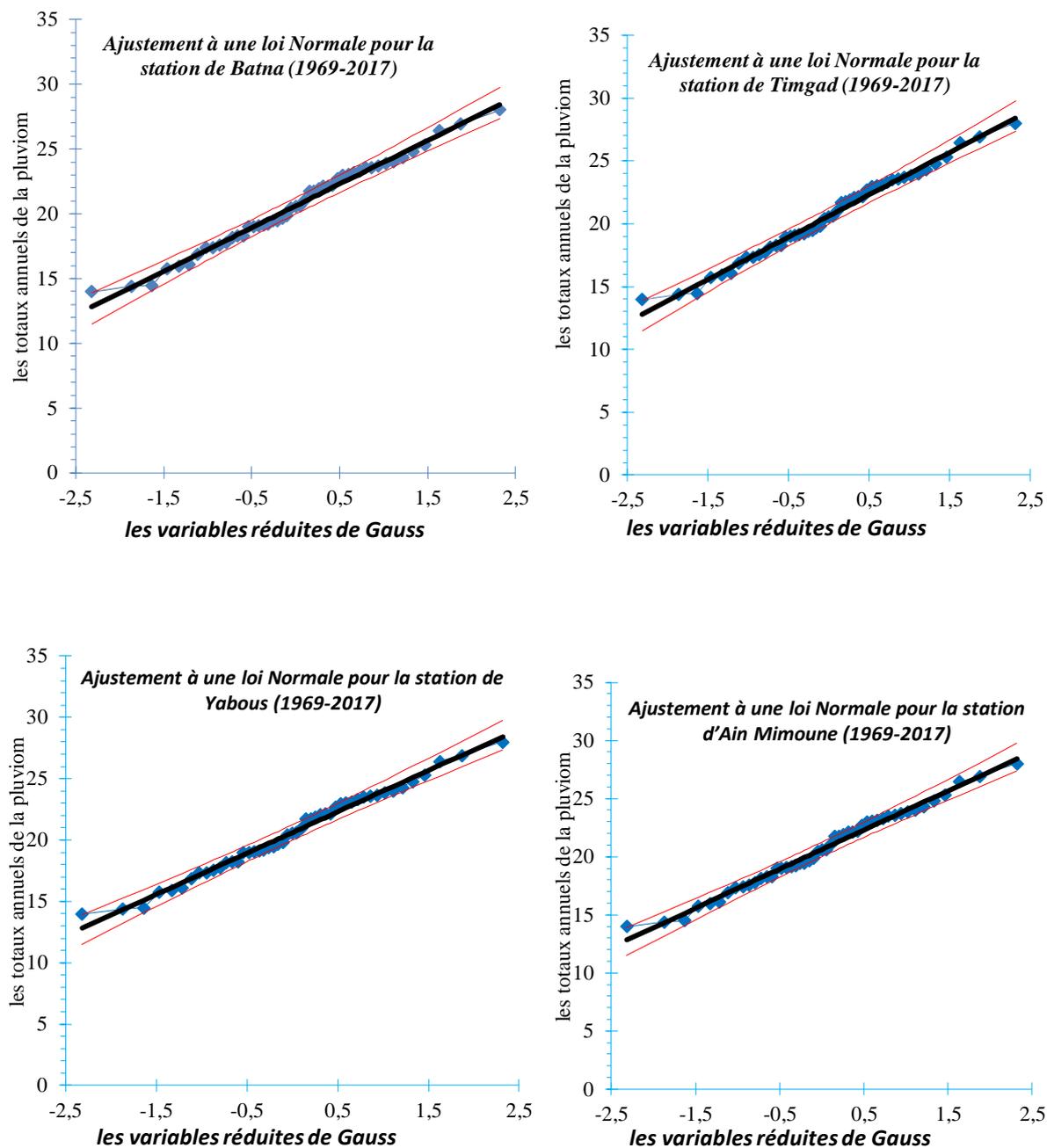


Figure III. 5: Ajustement à une loi normale pour les stations d'études

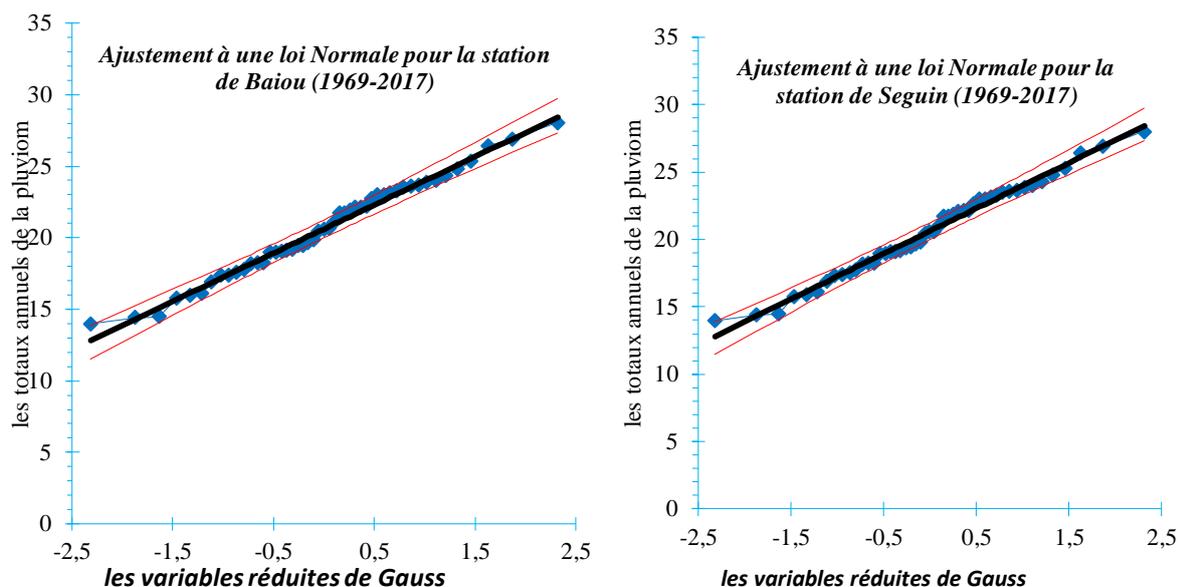


Figure III.5 (suite) : Ajustement à une loi normale pour les stations d'études.

À partir de la figure III.5, on remarque que la loi normale ajuste bien les séries de notre région à un seuil de probabilité égale à 0.05.

Conclusion

La méthodologie adoptée est bien définie, les méthodes et les tests statistiques sont utilisés pour déterminer l'évolution et détecter les ruptures au sein des séries de données pluviométriques. L'analyse statistique tel que « la méthode graphique chronologique de traitement de l'information (MGCTI), de type "matrice BERTIN va déterminer les périodes sèches et humides. L'analyse spectrale va représenter la fréquence de la variabilité temporelle des précipitations durant la période 1969/70-2012/13.

Les données se composent essentiellement de séries chronologiques de pluies, de débits et de variables météorologiques thermiques mesurées habituellement aux stations synoptiques. Ces séries chronologiques sont caractérisées par des informations qui définissent et situent les stations de mesures ainsi que les modes opératoires d'obtention de la donnée au court de 43 ans.

CHAPITRE IV : ANALYSE PLUIVIOMÉTRIQUE ET BILAN HYDRIQUE

I. LES PRECIPITATIONS DANS LA REGION D'ETUDE

« Plus encore que les facteurs morphologiques, lithologiques et biogéographiques, les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau » (Roche 1963, Cosande, 2001). Les précipitations influent sur la variabilité et l'intensité du cycle hydrologique.

L'analyse de l'évolution des précipitations est du plus grand intérêt pour une région où les ressources hydriques constituent un des aspects clés de la gestion de l'environnement. Les informations scientifiques sur le changement climatique mettent d'ailleurs, en évidence, le besoin de travailler à l'échelle régionale et insistent sur la dimension spatiale des tendances. Ces recommandations s'avèrent nécessaires dans les milieux méditerranéens, où les incertitudes sur la variabilité future des précipitations demeurent encore plus grandes.

Dans ce chapitre, nous nous consacrerons essentiellement à l'étude de ce paramètre qui constitue un facteur déterminant de l'écoulement des oueds.

La zone méridienne des Aurès « Est » est soumise à des variations pluviométriques spatio-temporelles très irrégulières, pour caractériser cette variabilité inter annuelle, nous avons défini les différentes caractéristiques descriptives des stations pluviométriques sur deux périodes d'observation (1969 à 2012) pour les 16 stations de notre région d'étude et de 1969 à 2017 pour quelques stations disposant de données plus récentes (Batna, Timgad, Yabous, Ain Mimoun, Baiou, Seguin). Pour ces dernières stations seule la recherche de tendance a été effectuée.

L'analyse pluviométrique permettra de caractériser et de mieux gérer l'incertitude, liée au caractère aléatoire des précipitations en milieu semi-aride, et de mieux prévoir les risques qui peuvent être engendrés. Cette étude est effectuée selon des pas de temps mensuel, saisonnier et annuel.

I.1. Une forte variabilité marque la pluviométrie moyenne

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.

Le niveau du déficit ou de l'excédent hydrique à partir duquel on peut dire qu'il y a une variation climatique a constitué souvent une difficulté majeure pour les chercheurs. Certains auteurs, qui ont étudié le changement climatique à partir de données climatiques, suggèrent des seuils arbitraires de pluviométrie : 10 % de la moyenne pour le Goff [1985], ou le dernier décile pour Meko [1985].

Le tableau IV.1 dévoile que les moyennes des 16 stations étudiées sont assez proches de la médiane, ceci montre que la loi de distribution est légèrement dissymétrique. Nous notons aussi que la moyenne annuelle des totaux précipités varie entre 263 mm et 505 mm (enregistrés respectivement à la station du Reboa et de Chelia). Ce dernier poste de mesure constitue le point le plus arrosé de l'Aurès.

Pour mieux évaluer la signification spatiale et temporelle des relations entre les précipitations et leur variabilité, nous avons utilisé une technique efficace pour présenter d'une façon simple des renseignements sur les caractères régionaux. Pour réaliser cette technique, on a mis en abscisses toutes les stations de l'Ouest vers l'Est et en ordonnées les précipitations (en mm) que le coefficient de variation (en %).

Le coefficient de variation annuelle des 16 stations est irrégulier d'une station à l'autre (tableau IV.1). Les coefficients de variation les plus faibles, soit 0.21 et 0.23 correspondent aux stations les plus pluvieuses, situées en milieu montagnard, (Chélia : 505.88 mm, Ain Tinne : 437 mm). Alors que les coefficients de variation les plus élevés sont observés dans les stations de plaine, où la pluviométrie est relativement faible. Les coefficients sont de l'ordre de 0.32 pour la station de Timgad et de 0.30 pour station de Hamla (tableau IV.1). Notons toutefois, pour la région ouest de la zone d'étude (bassin versant de Madher) un coefficient de variation relativement élevé enregistré à la station de Seguin (0.27) à cause de sa position géographique, en position d'abri par rapport aux flux d'Ouest.

Tableau IV. 1: caractéristiques descriptives des séries d'observations à l'échelle annuelle

Station	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Ecart-type	CV	max/min
Tazoult	369,59	352,05	176,30	551,70	90,74	0,25	3,13
Ali Bente Noun	329,89	317,15	131,50	590,00	96,16	0,29	4,49
Hamla	327,66	324,15	84,60	577,50	98,13	0,30	6,83
Seguin	444,36	433,65	195,60	785,00	118,05	0,27	4,01
Batna	381,05	368,65	185,80	603,80	90,99	0,24	3,25
Reboa	263,84	255,70	78,70	554,34	68,81	0,26	7,04
Ain Tinne	436,71	430,50	206,70	764,70	100,26	0,23	3,70
Foum Toub	446,25	451,70	203,80	741,30	114,34	0,26	3,64
Baiou	383,11	366,50	187,10	615,10	85,32	0,22	3,29
Bouhmer	331,85	324,55	69,20	704,10	117,86	0,36	10,17
Timgad	291,03	298,55	61,50	519,91	92,68	0,32	8,45
Sidi Mancer	327,06	314,75	156,19	550,20	90,96	0,28	3,52
Yabous	390,56	397,80	138,80	644,00	95,71	0,25	4,64
Chelia CPR	505,88	502,10	252,70	771,20	106,83	0,21	3,05
Ain Minoune	456,84	452,95	139,90	704,40	103,88	0,23	5,04
Foum El Guéiss	420,43	434,47	166,10	632,70	79,38	0,19	3,81

Afin de mieux visualiser la variabilité spatiale et temporelle des pluies, une comparaison des moyennes annuelles pluviométriques des différentes stations et leur coefficient de variation, a été réalisé. Les résultats montrent que ce dernier paramètre varie dans un rapport de plus de 50%, passant de 19 % à la station de Foum El Gueiss à 36 % à la station de Bouhmer. Il en est de même pour la pluviométrie moyenne, elle passe de 263,84 mm enregistrée à la station de Reboa à 505 mm le maximum atteint à la station de Chelia.

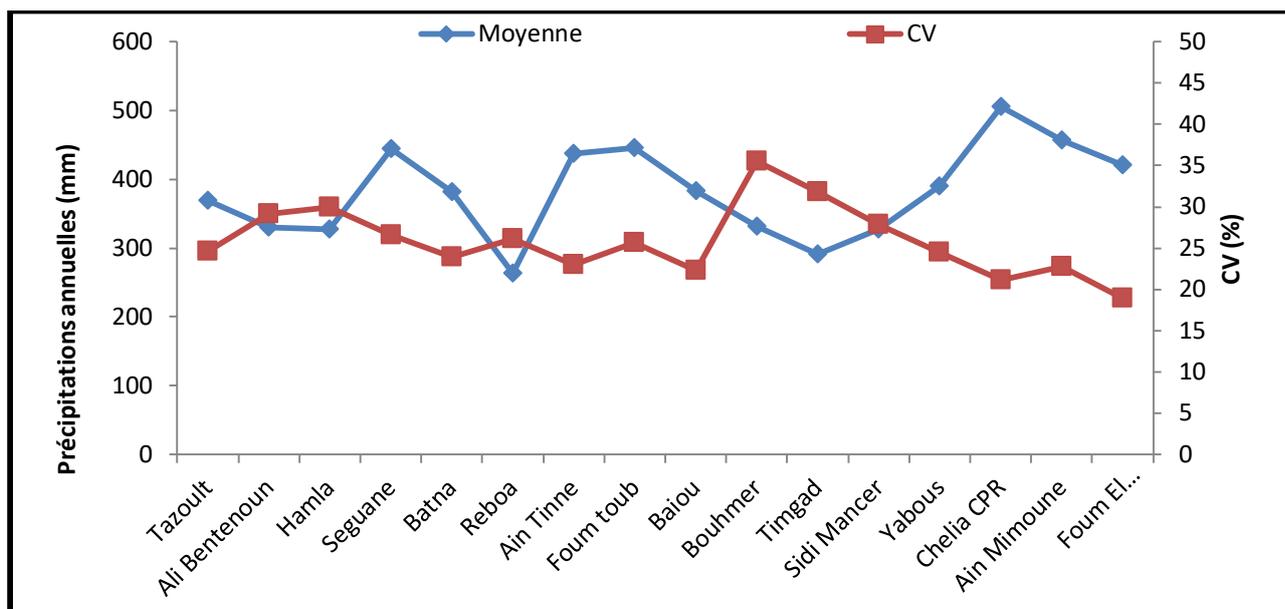


Figure IV. 1: Relation entre les pluies annuelles et leurs coefficients de variations

I.1.1. Analyse mensuelle

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, une grande partie des précipitations qui tombent en Algérie mais aussi dans tous les pays du Maghreb est observée entre les mois d'octobre et d'avril. Cependant, d'importantes variations sont observées, non seulement en termes de cumul précipité, mais également en rapport avec les périodes d'observations des pluies (Guidoum, 2017).

Les moyennes mensuelles de pluie (1969-2012) représentées par des histogrammes dans la figure IV.2 traduisent clairement les variations mensuelles de la distribution des précipitations à l'échelle de l'année pluviométrique et permettent de distinguer deux grandes périodes.

- ❖ Une période sèche où les précipitations sont inférieures à la moyenne mensuelle de l'année. Or il s'avère d'après le graphique que 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 ; Les mois d'octobre ou février sont aussi secs dans la quasi-totalité des stations. Alors que les stations de Reboa, Timgad et Sidi Mancer la totalité des mois sont secs.

❖ Une période humide où les précipitations sont supérieures à la moyenne mensuelle de l'année, elle débute en septembre et s'achève en mai, avec un premier maximum en septembre et un deuxième en mars ou avril dans la majorité des stations des bassins. Pour les stations de Ain Mimoun, Yabous et Timgad, le mois de mai est le plus arrosé de l'année- ; la station de Seguene en mars et Reboa en mai.

Sur le plan spatial, les pluies mensuelles enregistrent une grande variabilité dans les stations étudiées, variabilité relativement plus accentuée dans le nord.

Le phénomène de variabilité interannuelle des modules pluviométriques est bien exprimé par le coefficient variation (Cv) traduisant la dispersion relative des pluies (*annexe 3*). Au cours de l'année, une amplitude importante des valeurs pluviométriques entre les mêmes mois de la série étudiée, est mise en évidence par le coefficient de variation, à l'échelle annuelle le C.V oscille entre 0,89 et 1,61 ce qui suppose une variabilité forte dans l'ensemble, par rapport à la variabilité des précipitations mensuelles.

Les coefficients les plus élevés sont ceux des mois d'été, avec un maximum de 2,00 en juillet à la station de Bouhmer et un minimum les mois d'hiver de 0,6 à Reboa au mois de février. Ces coefficients en majeure partie, 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.

Cette variation est marquée 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.

En général, cette variation affiche globalement un profil d'une augmentation rapide de la pluviosité à partir de septembre jusqu'en mai ; Puis, s'amorce une décroissance jusqu'en août.

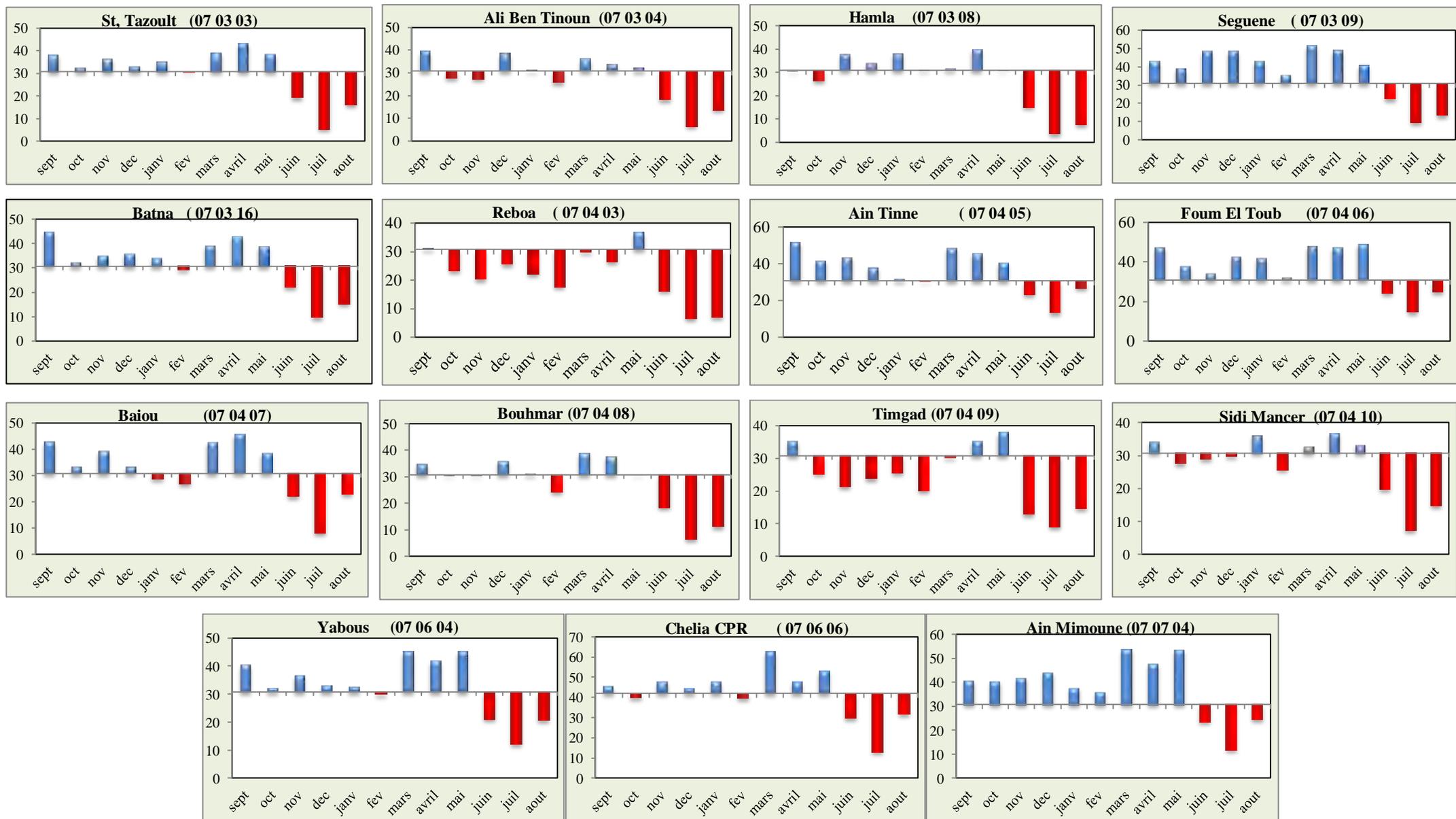


Figure IV. 2: Amplitude des précipitations moyennes mensuelles avec la moyenne (1969-2012)

1.1.2. Le régime pluviométrique saisonnier

Il est nécessaire de compléter notre analyse pluviométrique mensuelle par la détermination du régime saisonnier des pluies « rainfall pattern » et de ses variations (Nahal, 1981), grâce à une analyse établie sur les 43 ans (1969-2012).

Selon Musset (1935), le régime saisonnier 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 IV.2.

Tableau IV. 2: Régime pluviométrique saisonnier selon Musset (1935)

	Automne (sep, oct. nov.)	Hiver (déc. jan, fév.)	Printemps (mar., avr. mai)	Été (Jui, juit, aout)	Type
Tazoult	29,22	26,85	32,85	11,08	PAHE
Ali Bente Noun	28,54	28,89	30,91	11,65	PHAE
Hamla	28,94	31,61	31,40	8,05	HPAE
Seguene	29,34	28,65	31,76	10,26	PAHE
Batna	29,59	26,18	31,87	12,36	PAHE
Reboa	28,52	24,78	35,33	11,37	PAHE
Ain Tinne	31,48	23,05	30,94	14,53	APHE
Foum Toub	26,95	26,30	32,44	14,31	PAHE
Baiou	30,07	23,17	32,97	13,78	PAHE
Bouhmer	28,94	27,67	32,43	10,96	PAHE
Timgad	28,09	23,86	35,42	12,62	PAHE
Sidi Mancer	27,74	27,97	31,50	12,79	PHAE
Yabous	27,96	24,49	33,72	13,83	PAHE
Chélia CPR	26,50	26,22	32,51	14,78	PAHE
Ain Mimoune	27,02	25,92	33,94	13,12	PAHE
Foum El Gueiss	27,15	26,41	31,53	14,9	PAHE

Sur le piedmont Nord des Aurès, la période pluvieuse 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. (Guidoum ; 2017).

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 IV.2, Figure IV.3). Ce régime continental est caractérisé par une lame d'eau qui tombe en automne et qui est équivalente à peu près à la quantité de pluie printanière (environ 30% de moyenne annuelle). Le cumul de

pluie hivernale est moindre, il représente 25% des précipitations annuelles. Les pluies d'été ne représentent que 15% de la pluie annuelle. Il est surprenant d'observer qu'à Hamla située dans la plaine, le régime saisonnier est de type HAPE. La fiabilité des données, demeure raisonnablement la seule explication à envisager ici.

Le régime PAHE (le maximum survient en période printanière) se manifeste pratiquement partout sur la zone d'étude, à quelques exceptions comme Hamla (HPAE). L'automne 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 la moins arrosée, profitant des pluies orageuses d'été nées aux frontières du Sahara (Ghachi, 1986), plus fréquentes ici que sur la façade septentrionale comme l'ont souligné Meharzi (1994), la pluviométrie automnale représente en moyenne 33 % du total annuel.

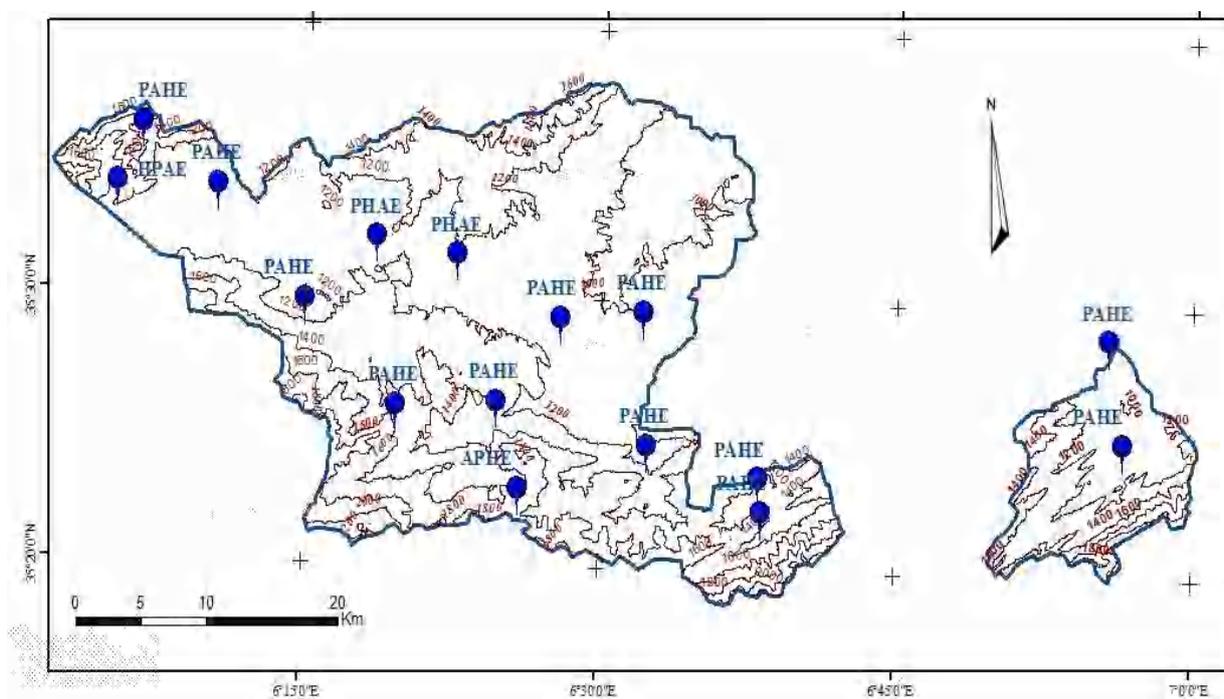


Figure IV. 3: Régime saisonnier des pluies dans les stations de la zone d'étude (1969-2012)

I.2. La tendance des précipitations dans la région d'étude

Les formes que risquent de prendre les tendances climatiques et les variances climatiques qui peuvent leur correspondre sont décrites de façon différente selon les auteurs. Dès 1966 l'organisation météorologique mondiale a essayé d'unifier la définition de la tendance.

La tendance climatique est un changement climatique caractérisé par une diminution ou un accroissement significatif régulier monotone des valeurs moyennes durant la période des relevés. Plusieurs tests existent pour mettre en évidence l'éventualité d'une tendance ; on peut citer ceux préconisés par la note 143 de l'organisation mondiale de la météorologie. On parle de corrélation des rangs, ou interviennent deux coefficients d'une grande importance qui sont des tests non-paramétriques : le test de Spearman et le test de Kendall et qui donne les mêmes résultats.

1.2.1. Analyse des cycles pluviométriques et de la tendance pour la période 1969 – 2012

Les graphiques de la figure IV.4 nous permettent d'apprécier l'évolution annuelle des précipitations. 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 et sont caractérisées par de fortes amplitudes d'une année sur l'autre. Elles subissent trois influences, celle de l'altitude, de la longitude et de l'éloignement à la mer (Bouanani, 2004).

L'utilisation de la moyenne mobile calculée sur 5 ans permet de lisser les données et d'atténuer l'effet de la variabilité interannuelle. Afin de visualiser la tendance et de cerner les disparités régionales nous avons classé les stations selon les profils des courbes.

Sur la figure IV.4 a nous pouvons distinguer trois principales périodes caractéristiques :

- Une période humide avant le milieu des années soixante-dix,
- Une période sèche à partir de cette dernière date et jusqu'au début des années deux-mille ponctuée d'un retour des pluies entre 1986 et 1992.
- Une période d'excédent au-delà du début des années deux-mille

Dans l'ensemble ces fluctuations sont marquées par les courbes des différentes stations, l'intensité des amplitudes est cependant différenciée.

On note ainsi une parfaite similitude des courbes pour les stations Bouhmer, Sidi Mancer et Batna. La variabilité est plus marquée lors de la période de sécheresse pour les stations Ain Mimoun, Foug El Gueiss et Tazoult et la reprise des pluies semble moins affirmée.

Le troisième groupe de stations est composé de Timgad, Foug Toub, Ali Ben Tennoun et Yabous. Les cycles affichés restent comparables avec les autres groupes étudiés nous notons, cependant, une plus grande intensité du retour des pluies enregistré lors de la période de sécheresse entre 1986 et 1992 pour les stations de Foug Toub et Ali Ben Tennoun.

La figure IV.4 b regroupe les stations dont le profil des courbes se démarque des tendances déjà étudiées plus haut.

Dans le détail nous pouvons voir pour les stations Seguene, Ain Tinne et Baiou deux période caractéristique une période plus arrosée qui se situe :

- Avant 1993 pour la première station
- Avant 1994 pour la deuxième station
- Avant 1998 pour la troisième station

Cette période est suivie d'une longue sécheresse pour les trois stations. Elle est cependant plus intense à Seguene. Pour Ain Tinne et Baiou, les valeurs restent proches des moyennes. Ces profils atypiques résultent probablement de l'effet d'altitude et de l'orientation des versants. En effet, nous sommes à des altitudes qui avoisinent 1400 m pour la première station, 1650 m pour la deuxième et 1510 m pour la troisième.

Le dernier groupe de stations étudiées est formé des stations Reboa, Hamla et Chelia. Dans ce groupe nous constatons une période de retour des pluies durant la période de sécheresse plus intense pour la station de Chélia. Nous constatons aussi que la période de déficit se prolonge jusqu'en 2003.

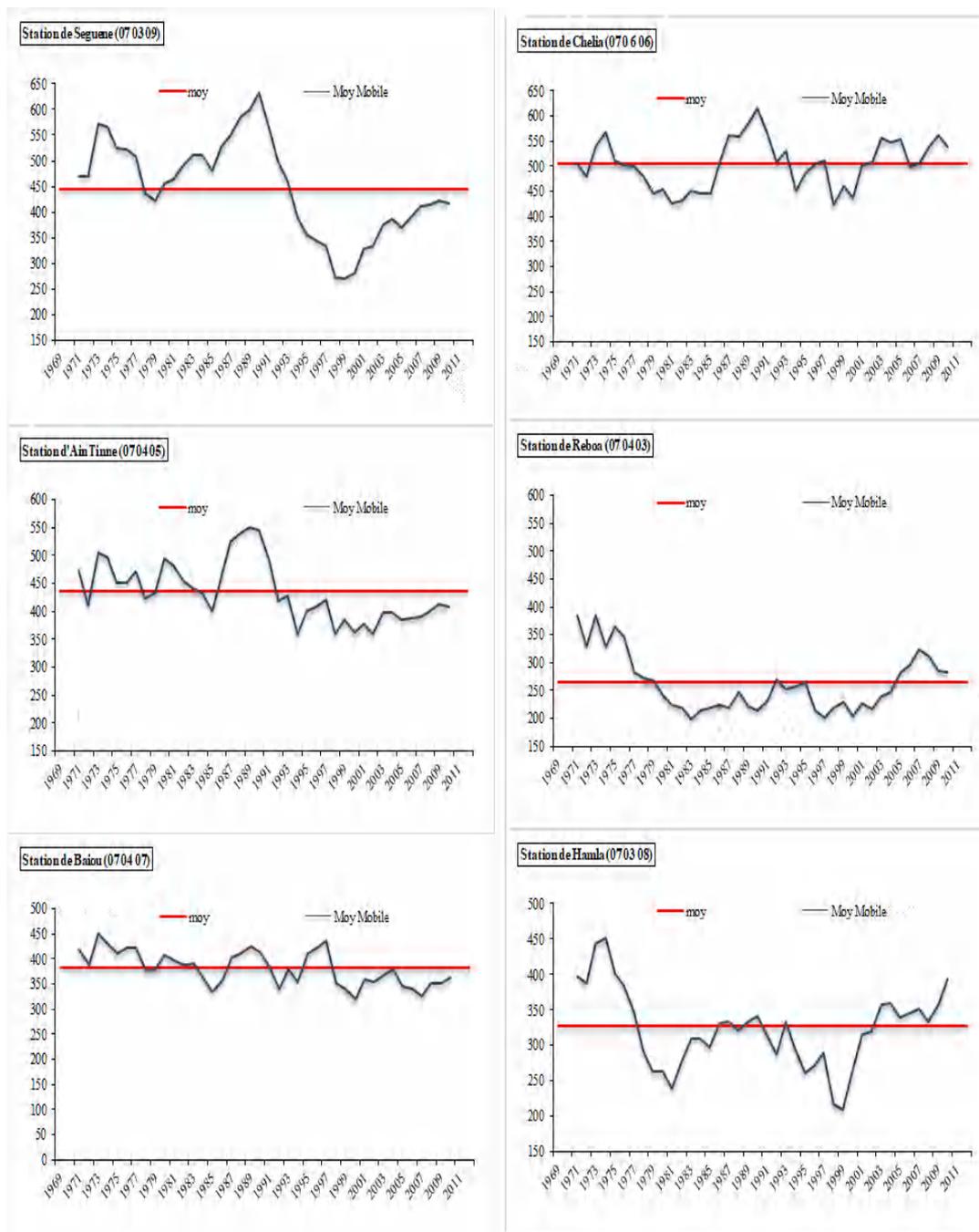


Figure IV. 4a : Variations interannuelles des précipitations (1969-2012)

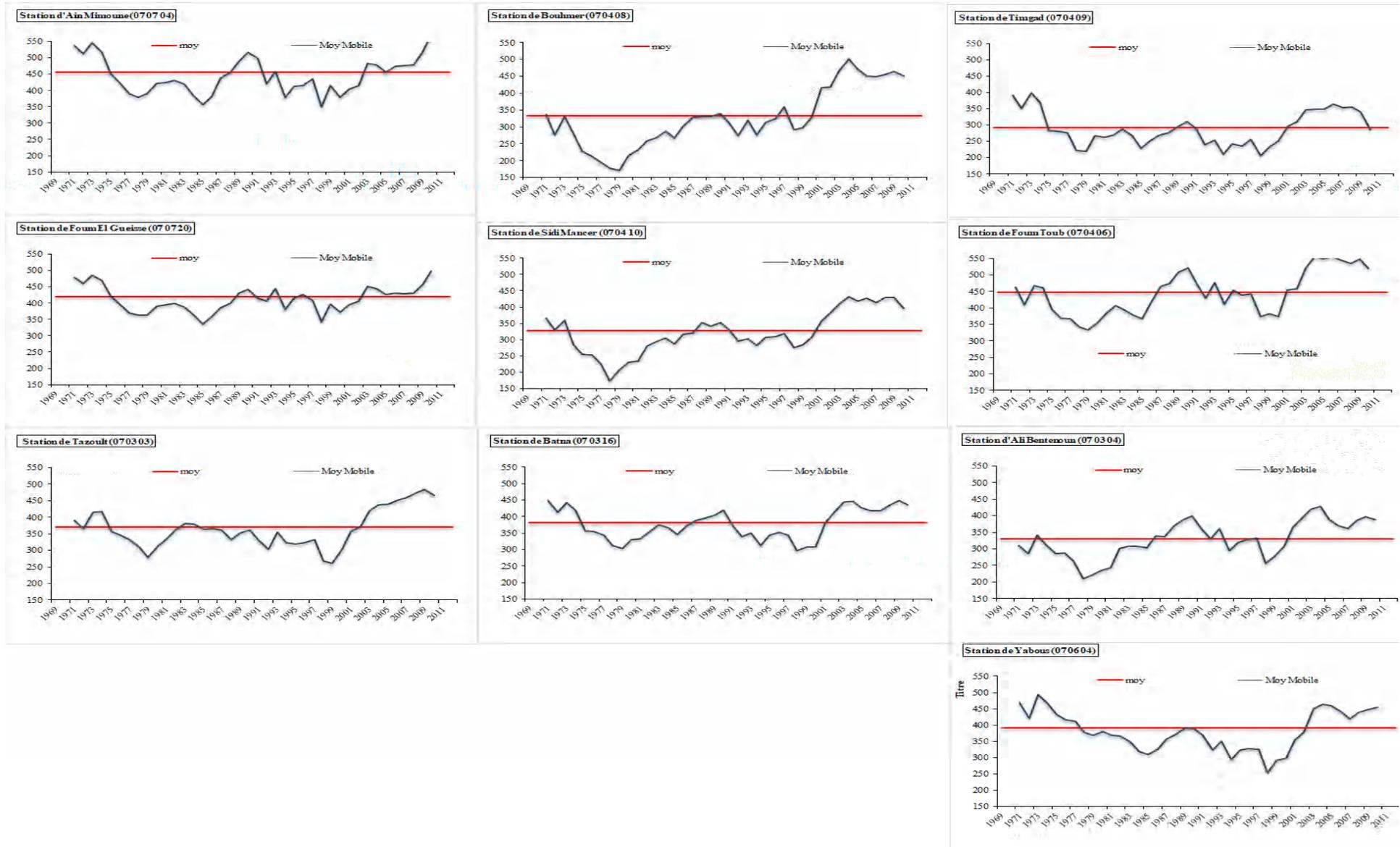


Figure IV.4.b : Variations interannuelles des précipitations (1969-2012)

L'analyse de la tendance annuelle dans notre région d'étude a permis d'une part, de définir les périodes caractéristiques qui ont marqué la pluviométrie (cycle humide, période de sécheresse et retour des pluies) et d'autre part, de montrer les disparités locales existantes. L'une des caractéristiques des climats méditerranéens est la forte variabilité pluviométrique. Ce caractère aléatoire difficile à cerner contrarie la rationalité des projets hydrauliques et la gestion des eaux pluviales.

Afin d'illustrer cette particularité nous citons par exemple, le cas de la station de Ali Ben Tennoun où l'année 2001/02 a enregistré 245 mm et la suivante 544 mm. Dans la station de Chelia pour deux années successives, 1995/96 et 1996/97 on totalise respectivement 690,20 mm et 278,20 mm. Dans la station Bouhmer on a relevé 570,92 mm en 2001/02 et 188,40 mm en 2002/03.

En utilisant l'indice de précipitation standardisé (SPI) nous pouvons cerner les cycles humides et secs. Cet indice est un paramètre simple, puissant et souple à la fois qui 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). Les calculs pour la période 1969 -2012 pour les 6 stations retenues sont présentés dans le tableau IV.3.

Un minimum de 2% d'années fortement humides est observé à Ain Tinne et un maximum de 23 % est noté à Tazoult. La fréquence des années de forte sécheresse varie en montagne, entre 0 % (Chelia) à 23 % à Sidi Mancer.

Les sécheresses extrêmes sont presque rares (le maximum est enregistré à la station de Yabous avec 5 % d'années extrêmement sèches) alors que le nombre d'années d'humidité extrême est relativement important (le maximum est signalé à la station de Ain Tinne avec 7 % d'années extrêmement humides).

Les années normales, à humidité modérée ou à sécheresse modérée représentent un minimum de 58% à Tazoult, et un maximum de 99% aux stations montagneuses (probablement à cause d'un forçage orographique très net).

Tableau IV. 3: Fréquence (%) des années sèches, normales et humides dans 16 postes pluviométriques

N°	Station	Degré de la sécheresse						
		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)
1	TAZOULT	0	23	23	7	28	19	0
2	ALI BEN TENOUN	2	16	23	9	33	16	0
3	HAMLA	2	14	30	5	33	14	2
4	SEGUENE	2	9	33	5	35	16	0
5	BATNA FERME EXP.	2	14	21	9	35	19	0
6	REBOA	5	7	30	9	35	14	0
7	AIN TINNE	7	2	30	12	35	14	0
8	FOUM TOUB	2	12	30	7	30	19	0
9	BAIOU	2	16	26	7	33	16	0
10	BOUHMAR	2	12	30	7	33	16	0
11	TIMGAD	2	16	30	5	28	16	2
12	SIDI MANCAR	2	9	26	14	26	23	0
13	YABOUS	2	12	30	14	33	5	5
14	CHELIA CPR	0	0	44	7	49	0	0
15	AIN MIMOUNE	0	0	44	9	47	0	0
16	FOUM EL GUEISS	0	0	47	12	42	0	0

1.2.2. Les précipitations extrêmes durant la période 1969 – 2012

La synthèse de l'étude de la pluviométrie annuelle présentée dans le tableau IV.4 révèle que :

- L'année la plus sèche de la série est 1996/97 (quatre stations affichent durant cette période un déficit pluviométrique supérieur à 70 %, Reboa (70,17 %), Hamla (74,18 %), Timgad (78,87 %) et Bouhmer (79,15 %).
- L'année la plus humide est 1995/96, l'excédent enregistré a dépassé 70 % dans cinq stations de la région. A Hamla on note 76,25 %, à Seguene on relève 76,66 %, à Timgad et à Ali Ben Tennoun, on retrouve aussi des valeurs très proches de celle de la station précédente (respectivement 76,84 % et 78,85 %). Enfin, la station qui a reçu le plus de pluies en cette année est Bouhmer où l'on note 112,17 %.
- La variabilité est très importante dans la plaine des Aurès, elle l'est moins dans les zones montagneuses.

Tableau IV. 4: Ecart à la moyenne des précipitations annuelle extrêmes (1969-2012)

Station	Moy. Annuelle (P mm)	Année sèche extrême	Pi	Ecart à la moyenne (IDP (%))	Année humide extrême	Pi	Ecart à la moyenne (IDP (%))	(max-min)
TAZOULT	369,59	<u>1977/78</u>	176,30	-52,30	<u>2008/09</u>	551,70	49,27	375,4
ALI BEN TENOUN	329,89	1979/80	131,50	-60,14	<u>1995/96</u>	590,00	78,85	458,5
HAMLA	327,66	<u>1997/98</u>	84,60	-74,18	<u>1995/96</u>	577,50	76,25	375,40
SEGUENE	444,36	2001/02	195,60	-55,98	1975/76	785,00	76,66	458,50
BATNA	381,05	1993/94	185,80	-51,24	2003/04	603,80	58,46	492,90
REBOA	263,84	<u>1996/97</u>	78,70	-70,17	1969/70	554,34	110,11	589,40
AIN TINN	436,71	<u>1977/78</u>	206,70	-52,67	1969/70	764,70	75,11	418,00
FOUM TOUB	446,25	<u>1977/78</u>	203,80	-54,33	<u>2008/09</u>	741,30	66,12	475,64
BAIOU	383,11	2000/01	187,10	-51,16	<u>1995/96</u>	615,10	60,55	558,00
BOUHMAR	331,85	1970/71	69,20	-79,15	2003/04	704,10	112,17	537,50
TIMGAD	291,03	<u>1977/78</u>	61,50	-78,87	1969/70	519,91	78,64	428,00
SIDI MANCAR	327,06	1976/77	156,19	-52,24	<u>2008/09</u>	550,20	68,23	634,90
YABOUS	390,56	<u>1996/97</u>	138,80	-64,46	1969/70	644,00	64,89	458,41
CHELIA CPR	505,88	<u>1977/78</u>	252,70	-50,05	1976/77	771,20	52,45	394,01
AIN MIMOUNE	456,84	<u>1997/98</u>	139,90	-69,56	1990/91	704,40	53,26	505,20
FOUM EL GUEISS	420,43	<u>1996/97</u>	166,10	-60,49	<u>1995/96</u>	632,70	50,49	518,50

I.3 Détection des ruptures dans les séries chronologiques

La détection d'une ou plusieurs ruptures renseigne sur l'évolution pluviométrique dans une région donnée. Cette rupture peut être considérée comme étant due à un changement des paramètres de la loi de probabilités des variables aléatoires dont les réalisations successives constituent les séries chronologiques étudiées.

En Algérie, les changements climatiques de ces dernières décennies ont eu une influence négative sur la ressource hydraulique (recharge des nappes et remplissage des barrages réservoirs) et sur le rendement agricole. Ces changements poussent actuellement les décideurs à revoir les types de cultures qui peuvent s'adapter à la nouvelle donne climatologique de certaines régions du pays et surtout de l'est de l'Algérie.

Nous espérons mettre ici en évidence cette évolution par la détermination de l'année ou des années de rupture des séries pluviométriques et de voir l'évolution saisonnière et mensuelle qui influence le renouvellement des ressources hydriques.

Nous traiterons la totalité de l'information contenue dans les séries chronologiques retenues. L'étude sera menée par l'application de tests statistiques de détection de ruptures des séries chronologiques de pluies à l'échelle de temps annuelle et mensuelle. Le choix des méthodes repose sur la robustesse de leur fondement.

En premier lieu, le problème qui se pose au sujet des séries chronologiques est celui du savoir si les valeurs qui les composent sont organisées dans le temps ou, au contraire, se succèdent d'une manière absolument fortuite. On appelle série purement aléatoire ou série « au hasard », toute série chronologique dans laquelle la probabilité pour que la variable X prenne la valeur x_{i+1} est indépendante de la valeur immédiatement précédente x_i ; dans le cas contraire, la série est dite « organisée ». (Khaldi.A ,2005)

1.3.1. Détection dans les séries pluviométriques annuelles

Nous avons utilisé le test de corrélation sur le rang pour vérifier le caractère aléatoire des séries chronologiques.

Les résultats obtenus (tableau IV.5) montrent un effet de tendance entre les valeurs successives des séries chronologiques ; on a conclu que les séries sont dépourvues du caractère aléatoire.

Tableau IV. 5: résultats du test de corrélation sur le rang appliqué aux séries pluviométriques annuelles

Nom de station	H0	intervalle de	U
TAZOULT	acceptée	99% - 95% - 90%	0,971
ALI BEN TENOUN	acceptée	99% - 95%	1,8813
HAMLA	acceptée	99% - 95% - 90%	-0,7889
SEGUENE	rejetée	99% - 95% - 90%	-2,6702
BATNA FERME EXP.	acceptée	99% - 95% - 90%	-0,0202
REBOA	acceptée	99% - 95% - 90%	-0,6675
AIN TINN	acceptée	99% - 95%	-1,6587
FOUM TOUB	acceptée	99% - 95% - 90%	1,2946
BAIOU	acceptée	99% - 95% - 90%	-1,3553
BOUHMAR	rejetée	99% - 95% - 90%	2,8118
TIMGAD	acceptée	99% - 95% - 90%	-0,7485
SIDI MANCAR	acceptée	99%	2,0633
YABOUS	acceptée	99% - 95% - 90%	0,0607
CHELIA CPR	acceptée	99% - 95% - 90%	0,3034
AIN MIMOUNE	acceptée	99% - 95% - 90%	0,4046
FOUM EL GUEISS	acceptée	99% - 95% - 90%	0,5259

La statistique U de Buishand, le test de Pettit, la méthode bayésienne de Lee et Heghinian et la procédure de segmentation d'Hubert ont été aussi utilisés pour détecter les ruptures (Niel et al 1998), (Hubert et al, 1998), (Meddi et Hubert P., 2003).

Les résultats des détections de ruptures sont consignés dans le tableau IV .6.

Tableau IV. 6: résultats des tests de détection de rupture appliqués aux séries pluviométriques annuelles

Station	Segmentation de Pierre Hubert				Buishand	Pettit	Lee et Heghinian
	début	fin	moyenne	écart-type	H0	Année	année
TAZOULT	1969	2001	341,1	100,29	acceptée	2001	2001
	2002	2012	455,05	67,17			
ALI BEN TENOUN	1969	2012	329,88	115,12	acceptée	1970	2001
HAMLA	1969	2012	327,66	118,82	acceptée	1976	1976
SEGUENE	1969	1992	518,27	126,55	rejetée	1992	1992
	1993	2012	355,67	108,03			
BATNA FERME	1969	2012	381,05	107,33	acceptée	1976	1972
REBOA	1969	1972	411,05	156,49	acceptée	1976	1972
	1973	2012	249,11	72,34			
AIN TINN	1969	1969	764,7	0	acceptée	1991	1970
	1970	2012	429,07	119,91			
FOUM TOUB	1969	2012	446,24	138,05	acceptée	1976	2001
BAIOU	1969	2012	383,11	105,74	acceptée	1991	1970
BOUHMAR	1969	2001	285,31	129,09	rejetée	2001	2001
	2002	2012	471,46	108,76			
TIMGAD	1969	1972	431,82	136,19	acceptée	1976	1972
SIDI MANCAR	1973	2012	276,95	102,92	rejetée	2001	2001
YABOUS	1969	2012	390,56	119,47	acceptée	1976	1970
CHELIA CPR	1969	2012	505,88	136,8	acceptée	1976	1970
AIN MIMOUNE	1969	2012	456,843	129,789	acceptée	1976	1970
FOUM EL GUEISS	1969	2012	446,24	138,05	acceptée	1976	1970

Au niveau de toute notre zone d'étude et pour l'ensemble des tests, la rupture s'est produite durant la première décennie 1970-1980 et au cours des années 1991, 1992 et 2001.

1.3.2. Détection dans les séries pluviométriques mensuelles

L'analyse à l'échelle mensuelle montre que ce sont les pluies d'hiver ; notamment les pluies de décembre et de janvier ; et les pluies de printemps (mars et avril) qui ont connu une rupture de stationnarité dans les séries chronologiques.

- Les pluies du mois de décembre ont connu une diminution comprise entre 10% et 70% pour la majorité des années. (figure IV.5).
- Les pluies du mois de janvier à leur tour ont enregistré des excès pluviométriques très importants variant entre 35% et 63% (figure IV.5).
- Concernant les mois de mars, les déficits ont dépassé les 57% (figure IV.6).
- Les variations du mois d'Avril oscillent entre 38% et 72% (figure IV.6).

Ce sont ces pluies de ces mois qui sont responsables du taux de ruissellement et de l'écoulement à l'échelle annuelle, cette variabilité nous donne une idée préliminaire sur l'évolution du régime hydrologique.

Tableau IV. 7: les années des ruptures des mois considérés

Station	décembre	Janvier	Mars	Avril
Tazoult	2010	2011	1970	2001
Ali Ben Tennoun	1979	1982	1970	1970
Hamla	1970	2007	1975	2001
Seguene	2008	2010	1991	2001
Batna	2010	1971	1970	1970
Reboa	1973	2011	1995	1970
Ain Tinne	2007	1998	1997	1970
Foum Toub	2008	1988	1970	1970
Baiou	2009	1970	1997	1970
Bouhmer	1998	2001	1972	2001
Timgad	2008	2011	1995	1970
Sidi Mancer	1985	1971	1970	2001
Yabous	1973	1988	1995	1997
Chelia CPR	2007	1988	1970	1970
Ain Mimoun	1973	2011	1995	2001
Foum El Gueiss Bg	1973	2011	1995	1970

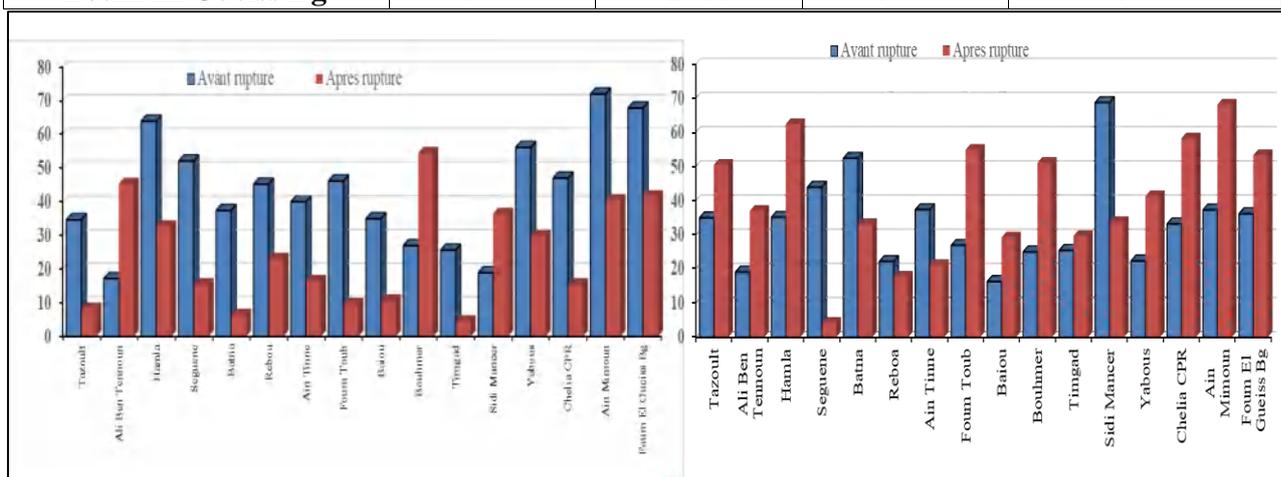


Figure IV. 5: variations des deux moyennes des séries pluviométriques à l'échelle mensuelle – (décembre et janvier)

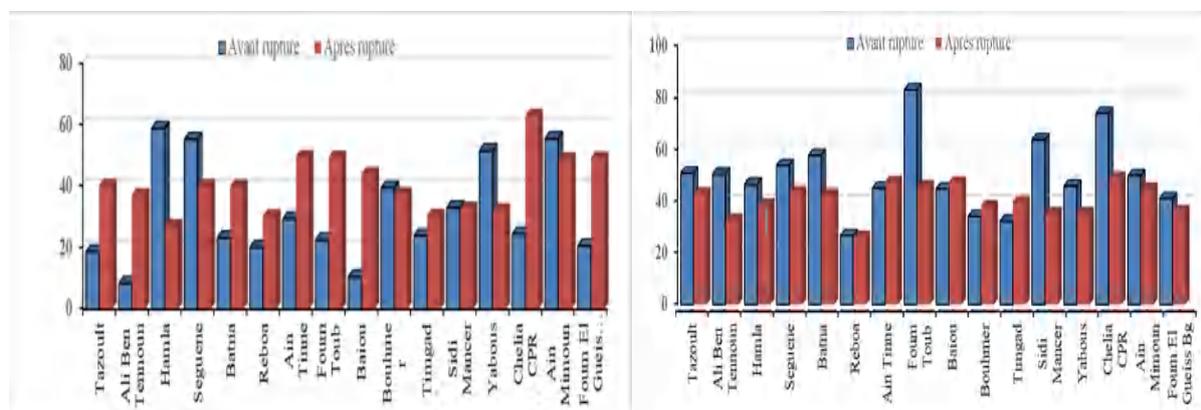


Figure IV. 6 : variations des deux moyennes des séries pluviométriques à l'échelle mensuelle – (mars et avril)

I.3.3. Détection dans les séries pluviométriques saisonnières

Dans l'année hydrologique, des essais de détection de rupture ont été effectués sur les séries pluviométriques saisonnières pour mieux comprendre leur apport dans la réduction de la pluviométrie annuelle. Nous avons également utilisé les tests statistiques cités précédemment.

Concernant les pluies d'automne et d'été, aucune rupture significative n'a été détectée.

Par contre ce sont les pluies d'hiver et de printemps qui contribuent à l'évolution du régime pluviométrique. La détection de rupture des pluies de printemps montre une rupture pour la majorité des stations en 2001, 2009 et 2011, ce qui confirme la baisse du changement du régime pluviométrique au niveau de la montagne et la hausse du régime au niveau de la plaine durant cette période. Les pluies de printemps ont connu une diminution comprise entre 60% à 90 % et une augmentation comprise entre 70% à 90 %. Les déficits atteignent les 94% (tableau IV.8). Les pluies de printemps présentent une rupture située entre les années 1970 et 2011 pour la plupart des postes pluviométriques.

Tableau IV. 8: La comparaison entre les deux moyennes de part et d'autre de la date de rupture à l'échelle saisonnière- printemps-

<i>Station</i>	<i>moy1</i>	<i>moy2</i>	<i>rapport</i>	<i>date de rupture</i>	<i>Déficit min</i>	<i>Excède max</i>
Tazoult	106.73	168.50	0.63	2001	93 % en 2008	71 % en 1982
Ali Ben Tennoun	102.88	62.4	0.60	2011	73% en 1996	85% en 1970
Hamla	100.08	196.4	0.51	2011	75% en 1983	91% en 2012
Seguene	174.44	104.6	0.60	1991	72% en 1990	81% en 1998
Batna	122.07	87.5	0.71	2011	71% en 2012	78% en 1989
Reboa	166.47	85.90	0.52	1972	84% en 1991	93% en 1970
Ain Tinne	209.3	133.37	0.63	1970	81% en 1989	92% en 1970
Foum Toub	133.09	184.35	0.72	2002	65% en 1998	79% en 2010
Baiou	159.08	119.02	0.74	1976	90% en 2008	90% en 1970
Bouhmer	91.75	155.18	0.60	2001	94% en 1977	84% en 2008
Timgad	168.28	96.58	0.57	1972	63% en 1977	89% en 1971
Sidi Mancer	92.14	135.6	0.68	2001	90% en 1976	82% en 2008
Yabous	217.80	125.39	0.57	1971	75% en 2010	89% en 1970
Chelia CPR	245.1	163.61	0.68	1970	78% en 2010	92% en 1970
Ain Mimoun	149.61	255.35	0.59	2009	84% en 1982	75% en 2011
Foum El Gueiss	128.45	188.85	0.68	2009	86% en 1996	83% en 2011

Les pluies d'hiver ont connu une hausse considérable dépassant les 93% pour la station de Ain Tinne ; les déficits pluviométriques au cours de cette saison sont considérables et importants par exemple : la station de Yabous a enregistré un déficit de plus de 95% (tableau IV.9).

Tableau IV. 9: la comparaison entre les deux moyennes de part et d'autre de la date de rupture à l'échelle saisonnière- Hiver-

Station	<i>moy1</i>	<i>moy2</i>	<i>rapport</i>	<i>date de rupture</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
Tazoult	100.85	65.15	0.64	2010	85 % en 2011	93 % en 1995
Ali Ben Tennoun	64.76	109.57	0.59	1982	73 % en 1982	95 % en 1995
Hamla	129.37	98.19	0.76	1976	75 % en 1997	74 % en 1974
Seguene	145.94	97.68	0.67	1995	62 % en 2001	65 % en 1984
Batna	101.75	58.1	0.57	2010	83 % en 2011	93 % en 2004
Reboa	88.72	62.39	0.70	1973	54 % en 1996	75 % en 1973
Ain Tinne	106.08	66.37	0.63	2006	69 % en 2008	93 % en 2012
Foum Toub	118.82	55.4	0.47	2011	80 % en 2012	91 % en 1995
Baiou	19.4	90.40	0.21	1970	93 % en 1970	89 % en 1995
Bouhmer	73.31	118.60	0.62	1994	68 % en 1978	93 % en 2002
Timgad	33.30	71.17	0.47	2010	87 % en 2011	92 % en 1995
Sidi Mancer	72.86	100.18	0.73	1982	75 % en 1982	87 % en 1984
Yabous	64.60	96.38	0.67	1970	95 % en 1970	93 % en 1995
Chelia CPR	134.70	60.47	0.49	2009	85 % en 2010	91 % en 1995
Ain Mimoun	113.25	158.79	0.71	2007	71 % en 1996	70 % en 2008
Foum El Gueiss Bg	137.52	103.88	0.78	1974	65 % en 2000	75 % en 1973

I.4 ANALYSE DE LA TENDANCE DES PRECIPITATIONS POUR LA PERIODE 1969 – 2017 DANS LES DIFFERENTS MILIEUX MORPHOLOGIQUES (MONTAGNE, PIEDMONT ET PLAINE).

I.4.1. L'étude de la tendance des pluies annuelles selon la méthode des écarts centrés réduits

L'une des caractéristiques principales de la pluviométrie, dans notre région, est sa grande variabilité interannuelle. En effet, d'une année à l'autre le total annuel peut varier fortement. Afin de bien cerner ce paramètre nous avons axé notre travail sur six stations considérées comme des stations représentatives des différents milieux (montagne, piedmonts et plaine) : Batna et Timgad pour la plaine, Yabous, Ain Mimoun pour les piedmonts, Baiou et Seguene pour la montagne. Tous ces postes de mesure possèdent des séries longues qui vont jusqu'en 2017.

Le tableau IV.10 montre bien cette variabilité interannuelle. Le rapport entre l'année la plus sèche et l'année la plus humide peut-être supérieur à 3 ; le coefficient de variation représente bien cette variabilité relative et peut dépasser les 30 % (à Seguene, Yabous et Timgad). Ce même tableau montre aussi que les moyennes des stations sont assez proches des médianes ce qui évoque une loi de distribution symétrique.

Tableau IV. 10: Analyse des précipitations interannuelles (période d'étude 1969-2017)

Nom de la station	Minimum	Maximum	écart type	Moyenne	médiane	Coefficient de variation
Batna	185,80	603,80	104,99	377,03	363,90	27,85%
Timgad	61,50	519,91	110,06	292,01	296,40	37,70%
Yabous	138,80	920,50	156,25	421,32	403,00	37,09%
Ain Mimoun	139,90	704,40	126,84	457,03	460,50	27,75%
Baiou	187,10	615,10	102,60	379,34	364,40	27,05%
Seguene	195,60	785,00	139,32	436,05	423,40	31,95%

Pour une analyse plus détaillée, la caractérisation de la variabilité interannuelle du régime pluviométrique est réalisée grâce à la méthode des variables centrées réduites. Ceci permet d'apprécier l'écart des valeurs annuelles par rapport à la moyenne de chaque série et de distinguer les différentes phases.

Les résultats sont présentés dans la figure IV.7. Les courbes montrent les différents cycles qui caractérisent les pluies dans les différents milieux géographiques.

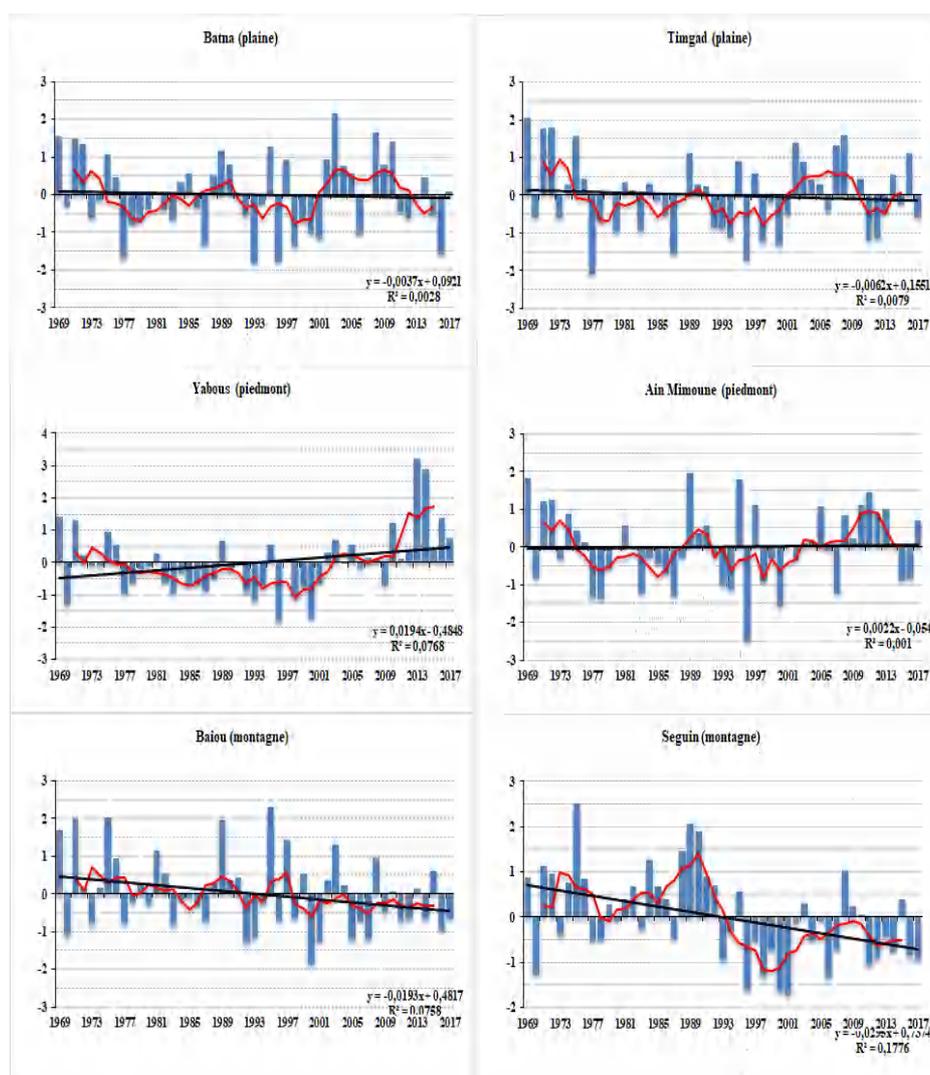


Figure IV. 7: variation interannuelle des précipitations au niveau de la montagne

En plaine, les courbes des moyennes mobiles calculées sur 5 ans permettent de définir plusieurs périodes caractéristiques :

- Une période humide en début de série (1969 – 1976)
- Une longue période sèche (1977 – 2001) ponctuée par une série de trois années humides (1987 -1988)
- Un retour des conditions pluvieuses entre 2002 et 2010
- Une nouvelle période de déficit pluviométrique à partir de cette dernière date

Sur les piedmonts, l'évolution de la pluviométrie montre :

- De mêmes périodes caractéristiques à Ain Mimoun :
 - o La première période humide (1969 – 1976)
 - o La période sèche entre 1977 et 2001 avec un léger retour des conditions humides entre 1987 et 1989
 - o Une période de retour des pluies est notée entre 2002 et 2010
 - o Un retour des conditions sèches entre 2011 et 2017
- Des fluctuations pluviométriques différentes pour la station de Yabous :
 - o La période humide en début de série est moins marquée, la courbe des moyennes mobiles montre une stabilité des valeurs avec une légère tendance humide (1969 – 1976)
 - o Une période de sécheresse plus longue (1977 – 2009)
 - o Un retour des conditions humides entre 2010 et 2017 (ce qui n'est pas observé dans les autres stations de plaine) et à Ain Mimoun

En montagne, l'évolution pluviométrique ne ressemble pas à celle observée en plaine et sur les piedmonts :

- Dans la station de Baiou on note clairement une importante variabilité interannuelle qui masque la lecture des différents cycles pluviométriques. Une observation approfondie des histogrammes nous permet cependant de distinguer :
 - o La phase humide du premier cycle pluviométrique (1969 – 1976)
 - o Une phase marquée par une importante variabilité (1977 – 2008). Cette période est caractérisée par des conditions sèches dans les autres stations de plaine et de piedmont

- Un cycle de sécheresse entre 2009 et 2017 (cette période est présente aussi dans les autres stations sauf à Yabous)
- Dans la station de Segouene le graphique montre une évolution de la pluviométrie atypique dans la région et qui se présente selon deux phases :
 - Un cycle humide entre 1969 et 1992
 - Un cycle sec entre 1993 et 2017

L'analyse de l'évolution de la pluviométrie selon différents milieux géographique a permis de montrer des disparités spatiales importantes, probablement dictée par les spécificités topographiques. La station de montagne Segouene (1400 m) se démarque par la faible variabilité interannuelle. Ceci permet de distinguer deux périodes extrêmes (humide et sèche). La station de Baiou (située plus haut en altitude à 1510 m) est soumise quant à elle à une forte variabilité. Dans le piedmont, cette différence est encore révélée dans l'évolution pluviométrique des stations de Yabous et Ain Mimoun. Les cycles pluviométriques détectés par l'analyse dans cette dernière station semblent plus en adéquation avec ceux qui marquent la pluviométrie des plaines (phase humide, phase sèche, retour des pluies et un nouveau cycle de sécheresse). A Yabous, par contre, la dernière phase de la série pluviométrique n'est pas observée puisque ce dernier cycle est clairement excédentaire.

Une certaine concordance des années humides et des années sèches aux différentes stations est à noter ; toutefois les années où les maximums pluviométriques ont été enregistrés diffèrent d'une station à l'autre, pour Batna, il s'agit de l'année 2003/04 (603,80 mm), pour la station de Timgad l'année 1996/97(519,91 mm), pour la station de Yabous l'année 2013/14 (920,50 mm), pour la station d'Ain Mimoun l'année 1989/90 (704,40 mm), pour la station de Baiou, l'année 1995/96 (615,10 mm) et pour la station de Segouene l'année 1975/76 (785,00mm).

Il est à remarquer aussi que les minimums pluviométriques ne se produisent pas à la même période pour toutes les stations : En ce qui concerne Batna c'est l'année 1993/94 (185,80 mm), tandis que pour Timgad la valeur minimale relevée sur plus de 40 années est intervenue en 1977 /78 (61,50mm), pour Yabous et Ain Mimoun l'année 1996/97 (138,80 mm et 139,90 mm) est la plus déficitaire, depuis les débuts de l'observation. Pour Baiou, le minimum a été observé l'année 2000/01(187,10 mm) et enfin, pour Segouene le minimum a été enregistré en 2001/02 (195,60mm).

Dans ce chapitre, l'analyse spatiotemporelle de la pluviométrie a été faite sur six stations considérées comme stations types (montagne, piedmonts et plaine). Chaque groupe de stations

décrit une zone plus au moins homogène de notre région d'étude, Batna et Timgad (au niveau de la plaine), Yabous et Ain Mimoun (au niveau des piedmonts), Baiou et Segouene (au niveau de la montagne).

L'analyse des données a permis de déterminer différents cycles pluviométriques :

- Pour la plaine et les piedmonts
 - Une première période humide entre 1969 et 1976,
 - Une forte sécheresse de 23 ans depuis 1977 et jusqu'en 2001
 - Un retour des pluies à partir de l'année 2002
- Dans la zone de montagne, nous avons constaté cependant deux périodes :
 - Une période humide de 1969 à 1991
 - Une autre période sèche qui commence en 1977 et se termine en 2017

1.4.2 L'étude de la tendance des pluies annuelles selon la méthode MGCTI

L'utilisation de la méthode de la Matrice Graphique Chronologique de Traitement de l'Information (MGCTI) permet de consolider cette analyse de tendance. Le tableau IV.11 résume les différents paramètres de dispersion utilisés pour cette investigation. On note que le seuil des années sèches (Q1) et très sèches (Q2) est plus proche pour les stations de Batna 337,40 mm (latitude 257,35) et Baiou 331,20 mm (latitude 242,65) situées respectivement dans la plaine et la montagne. Par contre, si l'on considère la station d'Ain Mimoun située au piedmont ces valeurs atteignent 339,30 mm (latitude 243,6) pour les années très sèches et 423 mm pour les années sèches. Pour les années normales, la plage varie d'une station à une autre. On constate cependant une diminution du seuil des années humides et très humides en allant de Batna vers Baiou et de Yabous vers Ain Mimoun.

Tableau IV. 11: seuils des années sèches, très sèches, humides et très humides ; par la méthode des quintiles, période (1969-2017)

Les stations	Années très sèches (Q1)	Années sèches (Q2)	Années normales	Années humides (Q3)	Années très humides (Q4)
Batna	293,00	337,40	337,40 < Xi < 476,20	386,70	476,20
Timgad	191,87	247,30	247,30 < Xi < 321,40	321,40	390,00
Yabous	303,30	383,40	383,40 < Xi < 509,90	439,80	509,90
Ain Mimoune	339,30	422,90	422,90 < Xi < 568,60	472,50	568,60
Baiou	298,66	331,20	331,20 < Xi < 441,10	393,96	441,10
Seguin	307,80	377,58	377,58 < Xi < 473,30	473,30	553,38

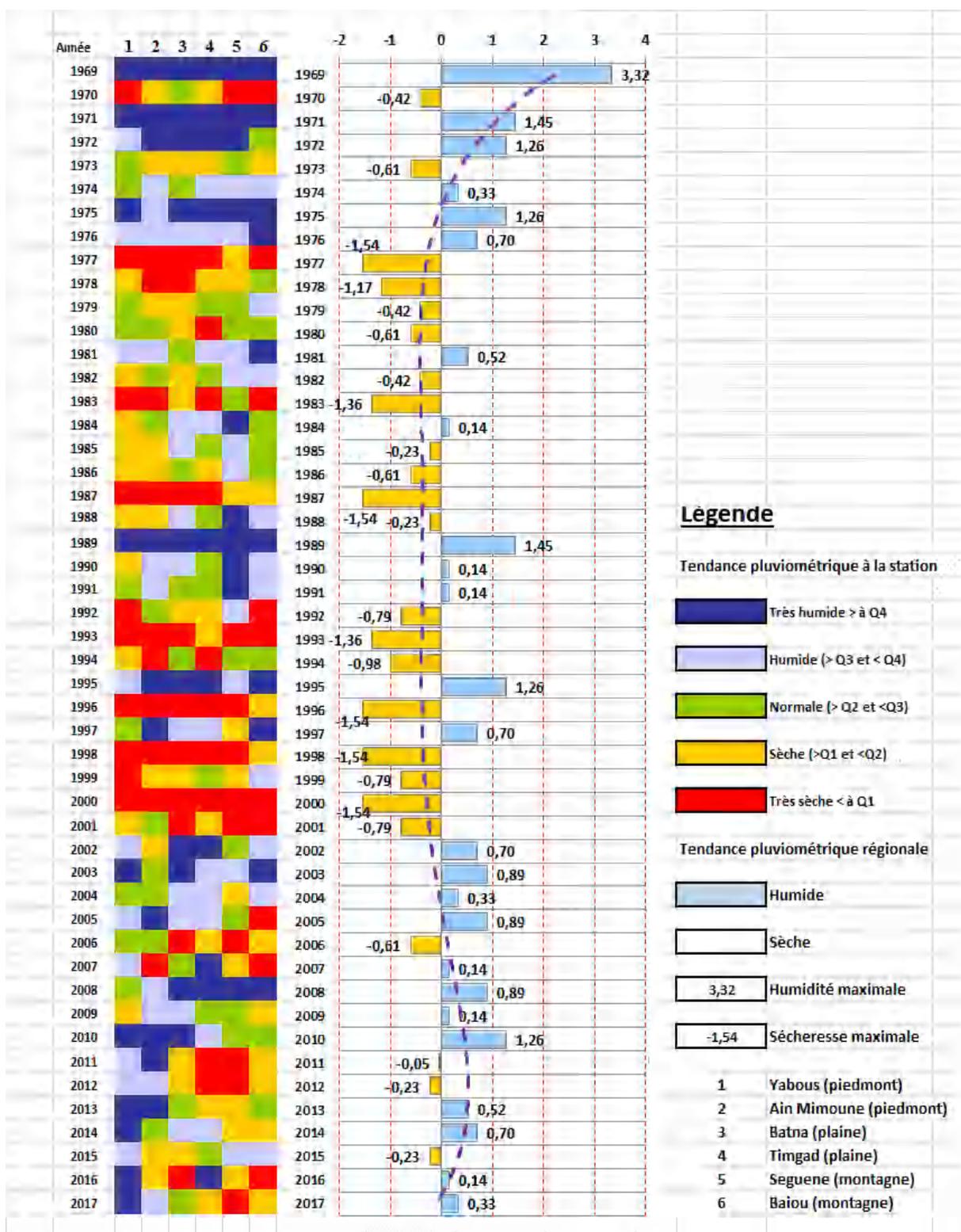


Figure IV. 8: Matrice MGCTI appliquée aux précipitations annuelles des différents étages géographiques sur la période 1969-2017

Le résultat de l'analyse de la tendance des précipitations du versant nord des Aurès (selon l'indice régional) montre que ce paramètre climatique a été caractérisé par différents cycles (figure 8).

* La première période est considérée comme humide. Elle est comprise entre l'année 1969 et 1976. Elle regroupe en fait, jusqu' à 60 % d'années humides et très humides, 20 % d'années sèches et très sèches, et 17 à 27 % d'années normales (tableau IV.12) pour le secteur géographique montagne, et plaine et, 68 % d'années humides et très humides, 10 % d'années sèches et très sèches, et 22 % d'années normales pour les piedmonts.

*La deuxième période se caractérise par une sécheresse climatique bien marquée, elle commence en 1977 et se termine en 2001. Elle ponctuée par un par un retour des conditions humides durant les années 1989, 1990, 1991. Une baisse significative des années humides et très humides se produit (24 à 30 % d'années humides et très humides, 16 à 20 % d'années normales et 50 à 72 % d'années sèches et très sèches) pour le secteur géographique montagne, et plaine. Pour les piedmonts 18 % d'années humides et très humides, 65 % d'années sèches et très sèches, et 17 % d'années normales.

Les années 1977,1978, 1983, 1987, 1993,1996, 1998, 2000 et 2001 se démarquent par un très fort pourcentage d'années sèches à très sèches (100 % en 1993,1996 et 2000 et plus de 80 % en 1977 ,1993 ,1996 et 1998) (tableau IV.12).

*La dernière est marquée par un retour significatif des pluies (selon l'indice régional) qui commence à partir de l'année 2002 et se poursuit jusqu' à la fin de la période d'étude 2017. On constate sur ce cycle une augmentation des années humides ou très humides (50 à 68 %) et des années normales (20 %). On note aussi le plus faible pourcentage d'années sèches et très sèches relevé depuis 1970 (tableau IV.12). Ce retour des pluies a été observé en plaine et sur le piedmont entre 2001 et 2009 mais pas dans le secteur montagneux. Dans les années suivantes, il n'a pas été confirmé ni en plaine, ni en montagne. Cet épisode a été largement relayé dans la presse locale et les médias algériens dans le cadre des campagnes agricoles et de la recharge des nappes souterraines. L'année 2008/2009, par exemple, a été qualifiée d'exceptionnelle et historique car les pluies ont eu un impact favorable sur les nappes phréatiques superficielles. Ceci a permis de porter la marge de sécurité hydrique, à cette époque, à près de deux années en eau potable et en eau pour l'irrigation. Les eaux dans les barrages ont atteint aussi des niveaux sans précédent, le taux de remplissage moyen s'établissait à 72 % en 2010. (Nouaceur et al .2013). Pour la campagne agricole 2009/2010, la production céréalière a été évaluée à 61,2 millions de quintaux assurant l'autosuffisance pour cette denrée de base (rfi, 2010). Dans ce contexte, on note aussi la déclaration du Ministre de l'Agriculture algérien "*Depuis 1876, année à laquelle des statistiques ont commencé à être établies en Algérie concernant la production agricole, jamais un tel exploit n'a été atteint*" (dz Presse, 2009).

Malheureusement cette situation n'a pas été confirmée dans les années suivantes pour notre région sauf sur le piedmont (notamment à Yabous).

Tableau IV. 12: statistiques des années sèches et pluvieuses par la méthode des quintiles

Les stations	Période	Années très sèches		Années sèches		Années normales		Années humides		Années très humides	
		Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%
Batna	1969/70-1976/77	0	0,0%	1	12,5%	2	25,0%	1	12,5%	4	50,0%
	1976/77-2001/02	8	32,0%	6	24,0%	4	16,0%	5	20,0%	2	8,0%
	2001/02-2017/18	2	12,5%	3	18,8%	3	18,8%	4	25,0%	4	25,0%
Timgad	1969/70-1976/77	0	0,0%	2	25,0%	0	0,0%	2	25,0%	4	50,0%
	1976/77-2001/02	8	32,0%	5	20,0%	7	28,0%	3	12,0%	2	8,0%
	2001/02-2017/18	2	12,5%	3	18,8%	2	12,5%	5	31,3%	4	25,0%
Yabous	1969/70-1976/77	1	12,5%	0	0,0%	2	25,0%	2	25,0%	3	37,5%
	1976/77-2001/02	9	36,0%	9	36,0%	4	16,0%	2	8,0%	1	4,0%
	2001/02-2017/18	0	0,0%	1	6,3%	3	18,8%	6	37,5%	6	37,5%
Ain Mimoun	1969/70-1976/77	0	0,0%	2	25,0%	0	0,0%	3	37,5%	3	37,5%
	1976/77-2001/02	9	36,0%	5	20,0%	5	20,0%	3	12,0%	3	12,0%
	2001/02-2017/18	1	6,3%	2	12,5%	4	25,0%	5	31,3%	4	25,0%
Baiou	1969/70-1991/92	3	13,0%	2	8,7%	6	26,1%	6	26,1%	6	26,1%
	1991/92-2017/18	7	27,0%	8	30,8%	3	11,5%	4	15,4%	4	15,4%
Seguene	1969/70-1991/92	1	4,4%	3	13,0%	4	17,4%	6	26,1%	9	39,1%
	1991/92-2017/18	9	34,6%	7	26,9%	5	19,2%	4	15,4%	1	3,8%

L'utilisation du Test de Kendall sur les séries étudiées (tableau IV.13) a permis de définir des tendances statistiquement significatives et différenciés. On note des tendances qui sont nettement à la baisse pour les stations de Baiou et Seguene (milieu montagnard) avec un degré de confiance de 5 %. Les autres stations, celles des piémonts et de la plaine montrent une tendance à la hausse (elle est fortement significative à Yabous, station de piedmont).

Tableau IV. 13: test statistique de tendance des séries pluviométriques

Nom de la station	La statistique $u(t)$	p-value	Début de la dernière tendance
Batna	3,6	0,8	2002
Timgad	4,9	0,82	2002
Yabous	16.2	0,04	2002
Ain Mimoun	3.4	0,25	2005
Baiou	-14.6	1,0	1992
Seguene	-30.3	1.0	1993

Ces résultats sont confortés par des études réalisées sur le Nord –Est de l’Algérie (RHISSA AG BILLAL et al, 2016), les résultats du test appliqué à la série des précipitations annuelles au nord-est de l’Algérie, y compris certaines stations de notre région d’étude, ont révélé une tendance à la baisse dans les stations de haute montagne ce qui confirme les résultats obtenus par notre étude. Selon une autre recherche réalisée à l’échelle régionale par Taïbi Sabrina (2011) dans le nord de l’Algérie, les résultats ont montré cette fois-ci, une tendance.

I.4.3. L’étude de la tendance des pluies selon les moyennes décennales

En Algérie, l’étude de variabilité décennale sur la période 1969-2017 pour la région des Aurès (figure IV.9) montre des disparités importantes entre les différents secteurs étudiés.

Les moyennes décennales révèlent aussi que dans l’ensemble pluviométrie est déficitaire dans la région, ce qui est conforme au caractère semi-aride de la zone. On note ainsi que les moyennes décennales sont la plupart du temps en dessous des valeurs moyennes (figure IV.9). Ceci est particulièrement les stations de Batna et Ain Mimoun. Une période de sécheresse concerne les décennies (1978-1987, 1988-1997, 1998-2007). Elle est particulièrement présente à Batna et Yabous et Ain Mimoun même si pour cette dernière station une légère hausse des valeurs est notée en milieu de période (1988-1997). Dans les stations de montagnes, l’analyse décennale montre ce qui a déjà été confirmé par l’étude de la pluviométrie annuelle. On retrouve deux périodes caractéristiques, la période excédentaire (pour les trois premières décennies) et la période déficitaire (pour les deux dernières). La station de Yabous se démarque par un retour des pluies particulièrement important sur la dernière décennie par rapport à l’ensemble de la zone étudiées.

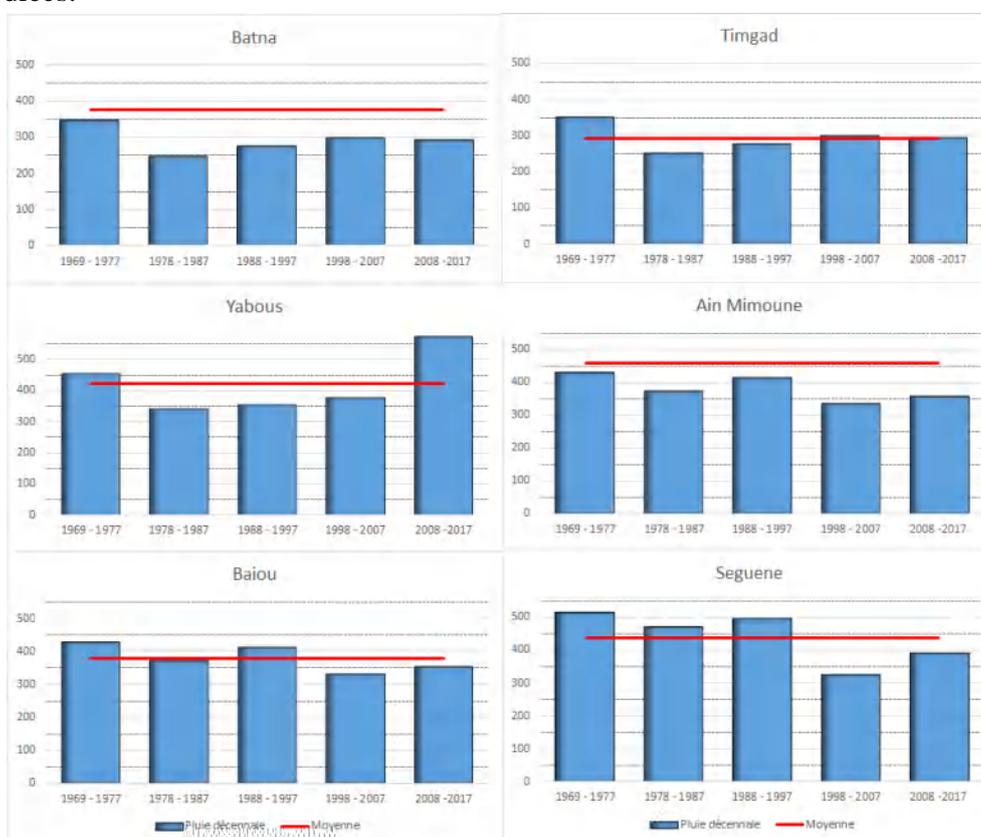


Figure IV. 9: Évolution décennale des pluies

I.4.4 L'étude de la tendance des pluies annuelles selon les principales saisons

L'étude de la variabilité saisonnière est indispensable, pour voir si la baisse ou la hausse de la pluviométrie est spécifique à une saison particulière ou à plusieurs saisons.

Cependant, si le phénomène de variabilité des précipitations saisonnières se prête facilement à l'analyse, vu son caractère tranché dans la zone d'étude, il est néanmoins malaisé de définir des saisons pluviométriques spatialement homogènes, et ce en raison des différences des régimes de précipitations déterminés eux-mêmes par des variantes à la fois géographiques et météorologiques. (Khalidi.A, 2005).

Le tableau IV.14 nous permet de voir que dans ce milieu semi-aride ce paramètre est bien marqué. Les coefficients de variation les plus hauts sont observés beaucoup plus en automne, ils concernent particulièrement la station de plaine (Timgad) où l'on note un coefficient proche de 69 %. Dans les stations de montagne (Baiou et Seguin) on enregistre respectivement 60,57 % et 59,47 %. Durant le printemps, seule cette dernière station se démarque avec une forte variabilité qui a atteint 60,34 %. Les moyennes pluviométriques baissent durant l'hiver et sont les plus élevées au printemps (155 mm pour la station d'Ain Mimoun sur le piedmont et 141 mm à Seguin pour la montagne). D'un milieu géographique à un autre les moyennes pluviométriques restent assez proches. Les plus fortes valeurs sont notées durant la saison de printemps et les plus basses sont caractéristiques de la saison hivernale.

Tableau IV. 14: principaux paramètres statistiques de la pluviométrie saisonnière

Milieu	Plaine	Plaine	Piedmont	Piedmont	Montagne	Montagne
Station	Batna	Timgad	Yabous	Ain Mimoun	Baiou	Seguin
Saison	Automne					
Moyenne	111,23	84,08	116,89	120,67	112,13	126,15
Médiane	107,10	74,40	104,90	122,50	98,70	112,10
Coefficient de variation	46,69	68,96	51,98	43,45	60,57	59,47
Ecart type	51,93	57,98	60,76	52,43	67,92	75,02
Saison	Hiver					
Moyenne	97,09	68,73	104,78	120,65	86,82	123,76
Médiane	83,80	60,10	86,10	112,00	82,00	117,80
Coefficient de variation	44,18	51,28	59,86	49,30	37,59	42,50
Ecart type	42,89	35,25	62,72	59,48	32,64	52,60
Saison	Printemps					
Moyenne	120,78	101,88	138,84	154,85	127,61	141,11
Médiane	104,40	109,30	129,20	150,40	123,90	130,54
Coefficient de variation	50,18	51,88	52,33	44,58	45,59	60,34
Ecart type	60,61	52,86	72,65	69,04	58,17	85,15

L'étude de l'évolution de la pluviométrie saisonnière (automne, hiver et printemps) va permettre de mieux connaître la tendance dans ces milieux géographiques différents, mais aussi de déterminer les différents cycles pluviométriques. Afin de lisser les données nous utilisons la moyenne mobile calculée sur 5 ans.

La figureIV.10 montre la très forte variabilité qui affecte les valeurs annuelles. Les stations situées dans la plaine sont particulièrement concernées par cette particularité. La station de montagne Seguin semble moins touchée par ce phénomène

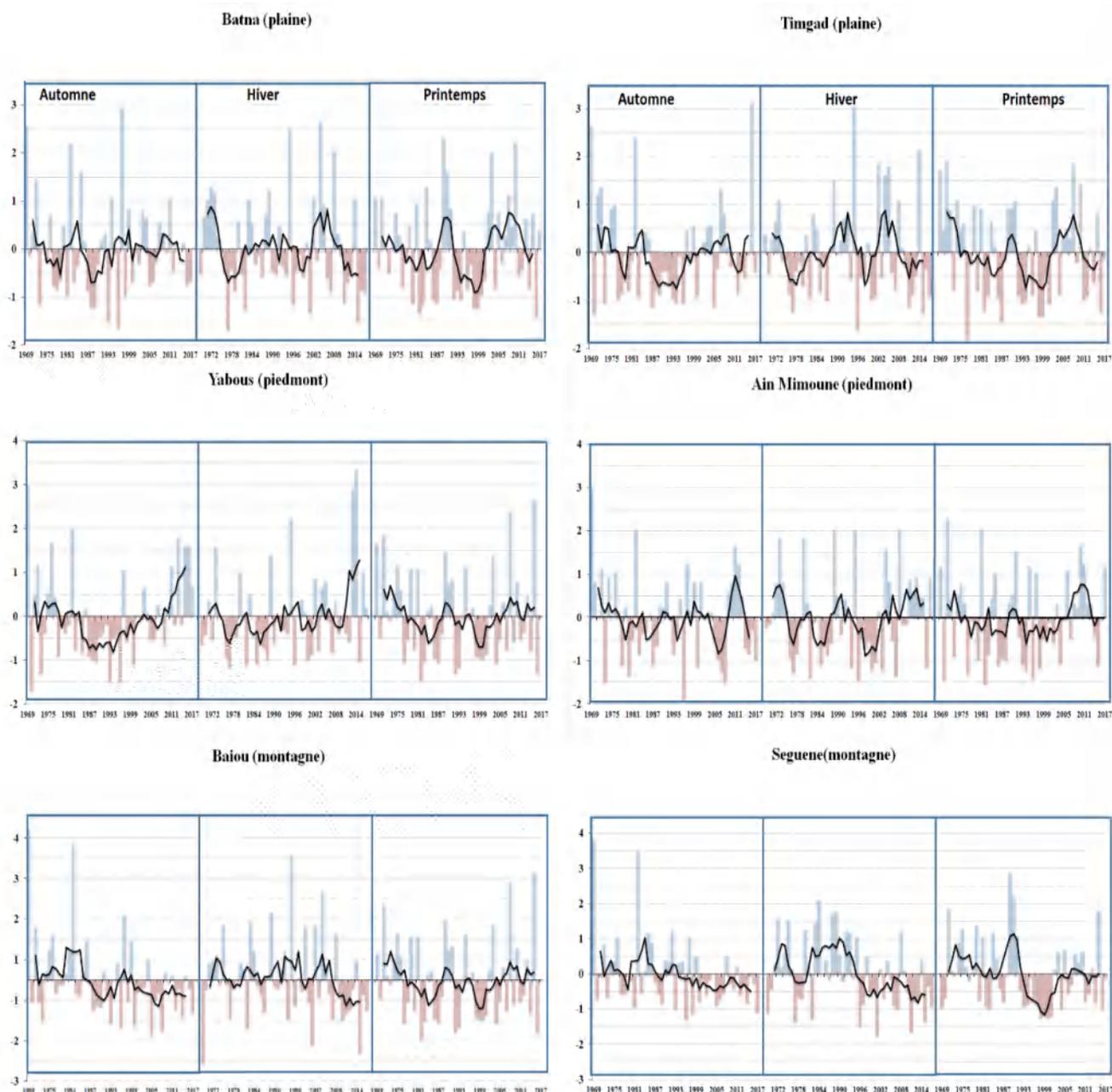


Figure IV. 10: Tendance saisonnière des pluies observés selon le milieu géographique (plaine, piedmont, montagne)

Les courbes de tendance montrent des cycles pluviométriques variables selon les stations et d'une saison à une autre. L'analyse des données par saison pluviométrique va nous permettre de mieux cerner les différentes fluctuations.

Pour la saison de l'automne, nous pouvons voir dans la plaine, une première phase stable au début de la série chronologique qui est suivie par une période de sécheresse. Celle-ci débute en 1986 et elle est plus marquée à Timgad. A partir de 1996, les courbes des moyennes mobiles montrent une situation pluviométrique stable avec une tendance plus sèche pour les dernières années de la série. Sur le piedmont la variabilité pluviométrique est moins marquée. A Yabous, trois périodes se distinguent clairement sur le graphique, une période stable (faiblement humide) de 1969 à 1985, une longue période sèche depuis cette dernière date jusqu'en 2009 et enfin, un cycle pluviométrique humide à partir de cette dernière date. Ces cycles sont moins bien marqués dans la station d'Ain Mimoun (la variabilité interannuelle masque les évolutions). On note cependant que seule la fin de la période sèche (2005 – 2008) est bien visible sur le graphique. Enfin, la dernière période est sèche contrairement à ce qui a été observé à Yabous. Dans la montagne on retrouve la période à tendance humide en début de série. A partir de 1987 la période de sécheresse débute et s'étale jusqu'en 2017 malgré un faible des pluies au milieu des années quatre-vingt-dix. A Seguin, la période à tendance humide se prolonge jusqu'en 1995 et la sécheresse s'installe à partir de cette dernière date.

Pour la saison hivernale, dans la plaine on note principalement une période plus humide entre 1981 et 2009 (contrairement à ce qui a été observé lors de la saison précédente). Dans le secteur du piedmont, la hausse de la dernière période de la série est confirmée aussi pour cette saison (les pluies d'hiver augmentent aussi). Enfin dans la montagne les hivers à Baiou sont marqués par une forte variabilité (avec une tendance légèrement humide) entre 1969 et 2008. Cette tendance est mieux affirmée à Seguin où un cycle humide est bien visible sur le graphique entre 1969 et 1995. La période de sécheresse à partir de cette dernière date est semblable à celle observée en automne.

Pour le printemps, dans la plaine, les courbes des deux stations (Batna et Timgad) dessinent les mêmes fluctuations. La période de sécheresse est comparable à celle observée en automne. Le cycle sec, en fin de période est aussi présent en cette saison. Dans le piedmont, la forte variabilité masque les principales fluctuations. On note cependant la période de sécheresse observée en hiver et la reprise des pluies en fin de période d'observation. Enfin, dans la montagne, cette saison est marquée par une forte variabilité à Baiou. On note aussi clairement la période de sécheresse qui est moins étalée en cette saison (1998 – 2001). A Seguin, cette période commence en 1992 et se termine en 2001. Après cette dernière date un nouveau cycle faiblement pluvieux est observé dans les deux stations (la courbe des moyennes mobiles reste très proche du zéro).

II. les bilans hydriques

Les variations climatiques a une influence négative ou positive sur l'ensemble du cycle des précipitations et les régimes d'écoulement et pour connaitre cet écart nous avons utilisé le bilan hydrique qui va nous a donnée l'évaluation détaillée de chaque paramètre hydrologique. Le déficit d'écoulement essentiellement est basé sur la quantité d'eau précipité, qui échappe l'écoulement, et l'évapotranspiration qui basé sur la température

II.1 analyse des températures

La température est l'un des éléments importants pour la caractérisation du climat (RAMADE, 1984 ; DAJOZ, 1985). Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évaporation et d'évapotranspiration, et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux, de même qu'elle joue un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique (GOUAIDIA, 2008). Mais avant tout, son étude est indispensable pour établir une synthèse climatique

L'étude des températures est basée sur les données recueillies de 2 stations thermiques, celle de Batna (côte ouest de la région d'étude) et Khenchela (côte est de la région d'étude). Les données sont fournies par l'O.N.M. de Constantine et Alger.

Les valeurs moyennes de la température de l'air de la période (1994-2015) consignées dans les tableaux suivants permettent de suivre l'évolution moyenne du régime thermique des Hauts plateaux

II.1.1 Température moyenne mensuelle

La température de l'air est un paramètre important qui régit les déperditions d'eau qui s'opèrent par le phénomène de l'évapotranspiration. L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est primordiale, car c'est elles qui nous permettent d'évaluer le déficit d'écoulement des bassins versants.

Tableau IV. 15: Régime thermique mensuel aux stations climatiques de la région d'étude (1995-2012)

		Automne			Hiver			Printemps			Eté		
		Sep.	oct.	nov.	déc.	Jan.	fév.	mar.	avr.	mai	Jui.	juil.	Aut.
Batna	T-maxi	38,1	36,5	24,2	25,8	21,2	25,7	32,7	39,6	41,8	42,4	43,2	41,1
	T-mini	7,8	5,1	1,4	-3,7	-3,9	-6,3	-4,3	-2,4	1,2	4,1	8,7	10,5
	T-moy	24,2	19,4	12,3	7,38	6,1	6,9	11,24	14,51	18,7	25,7	29,1	28,20
Khenchela	T-maxi	30,5	26,9	18,7	15,4	13,8	14,9	18,2	22,6	27,8	34,4	36,6	35,7
	T-mini	13,6	10,1	4,7	1,4	-0,5	-1,4	3,6	5,4	9,1	13,9	17,4	17,6
	T-moy	21,1	17,3	10,9	7,2	6,3	6,6	10,3	13,7	17,8	23,1	27	26,3

Source : Direction O.N.M

Au courant de l'année, la température minimale passe de -6,3 °C à 10,5 °C à Batna et de -1,4 °C à 17,6 °C à Khenchela. Les maximas passent de 21,2 °C au mois de janvier à 43,2 °C au mois de juillet au niveau de la station de Batna. Pour Khenchela, ils passent de 13,8° au mois de Janvier à 36,6 °C en juillet. L'amplitude thermique annuelle est de 27,5 °C à Batna et de 32,7 °C à Khenchela (Figure IV.11).

Les températures moyennes mensuelles (tableau IV.15), présentent ainsi de très

importantes variations saisonnières. L'été est très chaud, la température atteint son maximum au mois de juillet, avec 29,1 °C à Batna et 27°C à Khenchela. L'hiver est relativement doux les températures restent supérieures à 6°C et inférieure à 7 °C, janvier étant le mois le plus froid la température descend jusqu'à 6,1 °. Donc la station de Batna est plus influée par la température que Khenchela.

D'après la figure IV.12, la variation moyenne mensuelle les deux stations, sans surprise, montre une décroissance régulière des températures de septembre à janvier, suivie d'une croissance jusqu'à à Août qui exprime clairement l'influence des saisons.

L'amplitude thermique annuelle qui traduit la différence entre la température moyenne du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid, est environ 23°C à Batna et 21 °C à Khenchela, ce qui confirme la continentalité marquée de ce bassin (Figure IV.11).

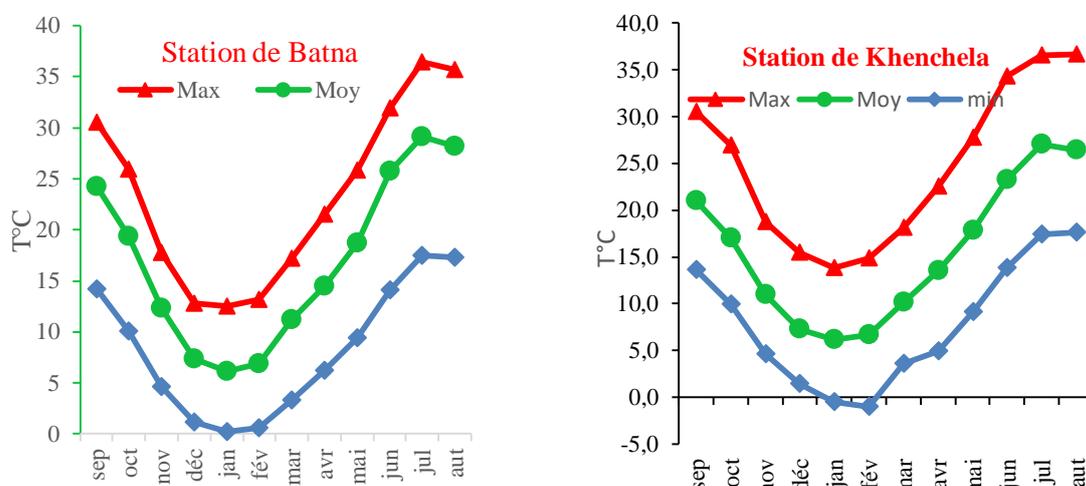


Figure IV. 11: Les Températures Moyennes, Maximales et Minimales, des stations (1995-2012)

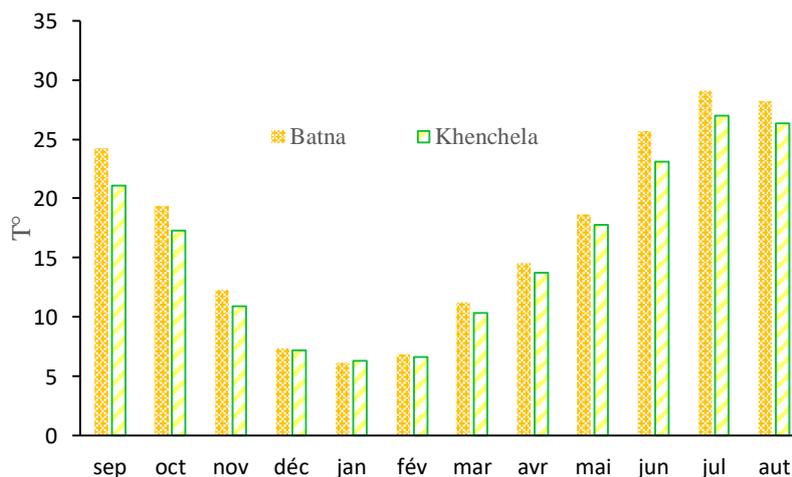


Figure IV. 12: La variation des températures moyennes mensuelles des stations (1995-2012)

II.1.2 Température moyenne annuelle

L'évolution de la température moyenne annuelle sur une période de quarante ans montre une hausse dès le milieu des années quatre-vingt et une autre augmentation au début des années quatre-vingt-dix au niveau des deux stations représentatives des Hauts plateaux constantinois (figure IV.13). Les indices MGCTI calculés par rapport à la normale font ressortir, de manière éloquent, le net décrochement des séries chronologiques à partir de l'année 1994. Entre les valeurs extrêmes possibles (+1,83 et -1,83), +0,91 constitue la limite au-dessus de laquelle les années sont considérées comme chaudes (chaleur partielle). (Nouaceur 2013).

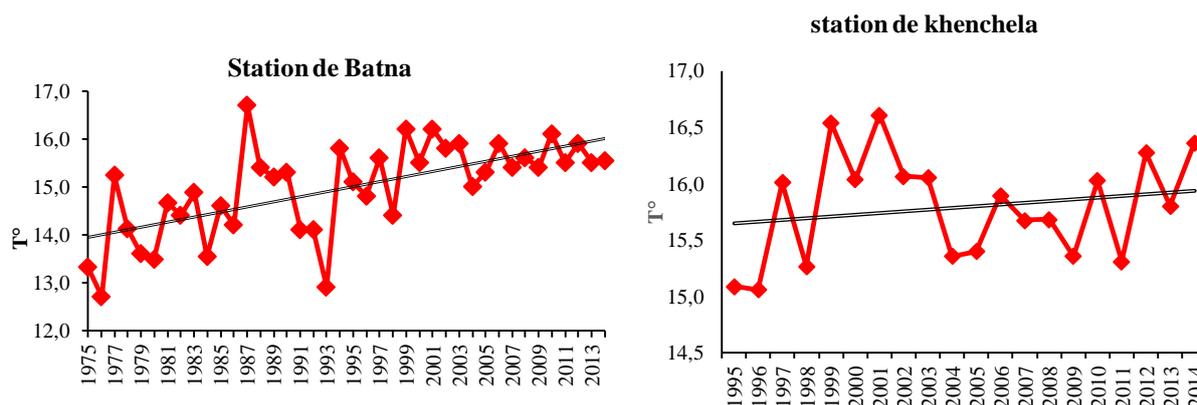


Figure IV. 13: La variation des températures moyennes annuelles des stations

Deux périodes caractérisent l'évolution des températures moyennes (figure IV.13) :

- Une période allant de 1995 à 2003, correspondant à une période de réchauffement. La catégorie des années chaudes et très chaudes est bien représentée sur les stations, surtout à partir l'année 2000. Ainsi on enregistre 16.6 °C.
- Une période s'étalant de 2004 à 2014 marquée par une prépondérance d'années très fraîches et fraîches. Cette catégorie regroupe 100 % les stations en 2005-2007-2009. Il a été relevé 15.3 °C.

La résultante de ces deux phases contrastées se traduit par une augmentation de la température annuelle moyenne d'environ 1.3°C sur l'ensemble des vingt années, ce qui est remarquable comparé au réchauffement global enregistré au cours de la même période. A titre de comparaison, Brohan et al. (2006) estiment à 0.33°C/décade (hémisphère nord) et à 0.27°C/décade (les 2 hémisphères) le réchauffement des surfaces continentales au cours de la période 1979-2005. Ces estimations à l'échelle planétaire sont bien moins importantes que celles relevées en zone semi-aride comme les Hauts plateaux constantinois où une élévation de l'ordre de 0.46°C/ décade a été enregistrée sur la période 1979-2004.

II.2 Déficit d'écoulement (Evapotranspiration)

On regroupe sous le terme de déficit d'écoulement, la quantité d'eau des précipitations, qui échappe à l'écoulement, soit par évapotranspiration ou par infiltration profonde dans les nappes souterraines. Le calcul du bilan hydrique sur plusieurs cycles hydrologiques, néglige le terme « infiltration » du fait que cette dernière est reprise dans le cycle de l'eau, soit par

évapotranspiration ou par l'écoulement. Et de ce fait le déficit d'écoulement sera égal à l'évapotranspiration réelle.

L'évapotranspiration à son tour regroupe tous les phénomènes physiques et biologiques, qui restituent l'humidité du sol à l'atmosphère. C'est un phénomène physico- biologique complexe, composé d'une évaporation physique (à partir des plans d'eau et du sol) et une évaporation biologique (transpiration), qui dépend du type de cultures et leurs étendues.

L'évapotranspiration dépend non seulement de la température, mais aussi des conditions météorologiques et de la disponibilité en eau des réserves du sous-sol. On distingue évapotranspiration potentielle et évapotranspiration réelle. Différentes formules ont été établies, pour l'évaluation du déficit de l'écoulement.

La connaissance du bilan d'eau d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations entre l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration. Ce dernier paramètre qui est le retour de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre (sols, végétaux eaux libres) à l'atmosphère. Il est utile de distinguer :

- Une évapotranspiration potentielle ETP, qui correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale, permise par les conditions climatiques.
- Une évapotranspiration réelle ETR, qui correspond à l'évapotranspiration se produisant dans les conditions réelles.

L'estimation de la lame d'eau évapotranspirée est possible grâce à des formules empiriques à caractère statistique que divers auteurs ont élaborées.

Les mesures d'évaporation de notre région proviennent de l'O.N.M. de Constantine pendant la période 1995-2012. Au niveau des stations des Batna et Khenchela.

II.2.1 Evapotranspiration Potentielle (ETP)

C'est la quantité d'eau maximum évaporée à partir d'un sol saturé. Elle constitue un facteur primordial dans l'évaluation du bilan hydrique.

Il y a plusieurs formules qui permettent l'estimation de l'évapotranspiration (TURC, Thornthwaite, Pen man et Serra) mais la plus utilisée en Algérie est celle de l'A.N.R.H calée sur la formule universelle de Pen Man qui est liée à plusieurs facteurs météorologiques pour le calcul de l'ETP.

II.2.1.1 Formule de Thornthwaite (1948)

C'est l'un des premiers auteurs à introduire la notion d'évapotranspiration potentielle, et à en présenter la formule de calcul convenable en 1948¹

$${}^1\text{ETP} = 16 * \left(\frac{10 * T^{\circ}}{I}\right)^a * K$$

ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle en (mm) ; T° : température moyenne mensuelle en ($^{\circ}$ C) ;

I : indice thermique annuelle soit la somme des indices de chaleur mensuelle $I = \sum_1^{12} i$; $i = \left(\frac{T^{\circ}}{5}\right)^{1,514}$

Les résultats des calculs de l'ETP mensuelles pour les stations, Batna, et Khenchela, sont répertoriés sur les tableaux (Tableaux IV.18 et IV 19).

La valeur annuelle de l'ETP pour la station de Batna est égale à environs 805.61 mm/an. En introduisant le facteur K, qui change de valeur selon le mois allant de 0.85 à 1.21, la valeur de l'ETP corrigée devient 900.92 mm/an. Pour la station de Khenchela, la valeur de l'ETP et l'ETP corrigée respectivement sont de 682.67mm/an et 751.52 mm/an.

III.2.1.2 Formule simplifiée de Serra

Selon les critiques formulées par certaines hauteurs la méthode de, L. SERRA² est inégalement valable selon les zones climatiques ; Elle donne par rapport aux mesures effectuées par les lysimètres, les résultats de cette formule donne les valeurs de l'ETP dans la station de Banta est 667.22 mm/an ; et dans la station de Khenchela est de 625.24 mm/an.

II.2.1.3 Formule de l'A.N.R.H

A partir de la formule de Pen Man, l'A.N.R.H³ a déterminé une formule pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle mensuelle à l'aide de la température moyenne mensuelle et de la position géographique.

Les valeurs de l'ETP selon cette formule, figurent sur les tableaux IV.17, IV.18 et IV.19. N Les valeurs annuelles de l'ETP pour Batna atteignent 1566.28 mm/an, et pour Khenchela 1456.57 mm/an

Le tableau IV.16, récapitule les valeurs de l'ETP données par différentes formules. Nous remarquons que les valeurs de l'ETP pour les formules de Thornthwaite et Serra sont assez proches, alors que la valeur par la formule de (A.N.R.H) représente le double.

Tableau IV. 16: ETP (par différentes formules au différent stations)

Formule / Station	Batna « région est »	Khenchela « région ouest »
Formule Thornthwaite	900.92	751.52
Formule Serra	667,22	625,42
Formule ANRH (Penman)	1566,28	1456,57

a : indice dépendant de la température, et calculé par la formule : $a = \left(\frac{1,6}{100}\right) * I + 0,5$

K : coefficient correctif dépend du mois et lieu.

² **ETP (mm)= 16*(10*T/I) a**

T : température moyenne mensuelle (°C)

$I = \sum i \Rightarrow i = 0.09 \times T$; $a = (1.6/100) * I + 0.5$

³ **ETP ANRH = Kr * Km * (H-187) * (0,032 * T° + 0,077)**

ETP ANRH : est exprimé en millimètres par mois ;

Kr : Coefficient correctif régional (lu sur une carte d'isolignes varient entre 0,85 et 1,25) ;

Km : est un coefficient correctif mensuel (compris entre 0,90 et 1,22) ;

H : est la durée théorique mensuelle d'insolation (en heures par mois), elle est calculée par la formule « H = ai Y +bi » en fonction de la longitude « Y » ;

T° : est la température moyenne mensuelle pour le mois considéré et exprimée en C°

II.2.2 Evapotranspiration Réelle

L'évapotranspiration réelle ETR est appelée souvent déficit d'écoulement (De) bien que celui-ci corresponde à l'évapotranspiration réelle et à l'infiltration. Pour le calcul de l'ETR, le calcul se fait selon les formules de Turc⁴ et de méthode du bilan Hydrique de THORNTWAITE

Les résultats Formule de Turc pour les deux stations sont reportés dans les tableaux IV.18 et IV.19. L'ETR est égale à 411.28 mm/an à la station de Batna et 478.91 mm/an à la station de Khenchela.

Les résultats du calcul du bilan hydrique (Tableau IV .17), selon Thornthwaite et Turc sont proches : l'ETR pour la station de Batna, représente 87 à 105 % des précipitations et pour la station de Khenchela, ils sont de 90 à 105%. Donc la différence de l'ETR entre les deux méthodes est insignifiante, environ de 15 %.

Tableau IV. 17: Récapitulatif des paramètres du bilan de Thornthwaite

	<i>Batna</i>	<i>Khenchela.</i>
Précipitations (mm/an)	390.74	455.26
Température (°C)	16.98	15.63
ETR Thornthwaite (mm/an)	342.56	412.08
ETR THORNTWAITE (%) des précipitations	87.67 %	90.51 %
ETR TURC (mm/an)	411.12	478,91
ETR TURC (%) des précipitations	105.21 %	105.19 %
Écoulement (mm)	48.12	40.72
Écoulement en (%) des précipitations	12.33 %	8.96 %

$$^4 \text{ETR} = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \text{ (mm/an)}$$

L = 300 + 25 T + 0.05 T³, P : Pluviométrie moyenne annuelle en (mm) ; T est la température moyenne annuelle (°C).

Tableau IV. 18: Calcul de l'E.T. P et l'E.T. R à la station de Batna

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	total	
T (C°)	24,20	19,40	12,30	7,38	6,10	6,90	11,24	14,51	18,70	25,70	29,10	28,20	16,98	
P (mm)	47,91	32,05	34,52	36,54	38,11	28,09	33,47	50,62	39,27	22,58	10,28	17,30	390,75	
THORNTWHAITE	i	10,89	7,79	3,91	1,80	1,35	1,63	3,41	5,02	7,37	11,92	14,39	13,72	6,36
	a	1,91												
	ETP mm Thornthwaite	110,3	72,4	30,4	11,5	7,98	10,10	25,59	41,63	67,51	123,7	156,8	147,7	805,61
	K ETP (mm) Thornthwaite corrigé	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,05	1,21	1,21	1,23	1,16	/
Serra	i	3,21	7,79	3,91	1,80	1,35	1,63	3,41	5,02	7,37	11,9	14,4	13,7	6,36
	a	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	/
	ETP	66,41	62,55	47,55	34,96	31,18	33,58	45,04	52,52	61,18	74,08	79,84	78,34	667,2
ANRH Penman	Kr	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	
	Km	0,98	0,90	0,90	0,86	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1,00	0,97	0,97	
	ai	0,0031	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	
	bi	370	351,00	311,00	308,00	315,00	307,00	371,00	389,00	429,00	429,00	436,00	414,00	
	H	370,8	348,9	306,2	301,7	309,4	304,2	370,7	391,5	434,2	435,4	441,9	417,7	4432,6
ETP ANRH	161,02351 17	106,8	53,03	32,43	33,58	44,70	93,49	136,0	178,8	234,6	261,8	230,1	1566,3	
ETR TURC	ETR	50,48	33,8	36,3	38,4	40,0	29,6	35,2	53,2	41,4	23,8	10,8	18,2	411,3

Tableau IV. 19: Calcul de l'E.T. P et l'E.T. R à la station de Khenchela

	Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	total
	T (C°)	21,10	17,30	10,90	7,20	6,30	6,60	10,30	13,70	17,80	23,10	27,00	26,30	15,63
	P (mm)	40,31	40,68	41,42	44,16	38,53	35,43	44,10	46,11	57,11	27,28	10,56	29,59	455,26
THORNTHWAITE	i	10,89	7,79	3,91	1,80	1,35	1,63	3,41	5,02	7,37	11,92	14,39	13,72	6,36
	a	1,90												
	ETP mm Thornthwaite	84,97	58,20	24,13	10,95	8,49	9,28	21,67	37,31	61,45	100,98	135,93	129,30	682,67
	K ETP (mm) Thornthwaite corrigé	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,03	751,52
Serra	i	2,62	6,55	3,25	1,74	1,42	1,52	2,99	4,60	6,84	10,15	12,85	12,35	5,62
	a	0,59	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	/
	ETP	50,12	58,38	44,21	34,45	31,79	32,69	42,73	50,73	59,39	69,48	76,32	75,12	625,42
ANRH Penman	Kr	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	
	Km	0,98	0,90	0,90	0,86	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1,00	0,97	0,97	12,06
	ai	0,0031	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	
	bi	370	351,00	311,00	308,00	315,00	307,00	371,00	389,00	429,00	429,00	436,00	414,00	
	H ETP ANRH	370,775	348,98	306,38	301,85	309,55	304,25	370,70	391,45	434,03	435,20	441,75	417,60	4432,50
		142,24	96,52	48,03	31,88	34,42	43,29	87,05	129,45	171,07	212,71	244,15	215,75	1456,57
ETR TURC	ETR	42,46	42,84	43,55	46,34	40,46	37,23	46,35	48,50	60,10	28,75	11,13	31,19	478,91

En revanche, un grand écart entre les valeurs de l'ETP calculée par la méthode de l'A.N.R.H et celles calculées par les autres méthodes atteint parfois le double.

II.3 Bilan Hydrique de THORNTWAITE

La méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU). On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (RFU), qui peut être reprise par l'évapotranspiration.

Cette quantité stockée dans le sol dépend du sol et sous-sol ainsi que du climat. Variant de 0 à 200 mm, elle est en moyenne de 100 mm. Pour le cas de notre étude nous optons pour une moyenne de 50 mm, étant donné le caractère minéral de ses sols.

On admet que la satisfaction du pouvoir évaporant de l'atmosphère a la priorité sur l'écoulement (ETP = ETR). Par ailleurs l'alimentation de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement. D'où :

$$\text{Si } P > \text{ETP} \Rightarrow \text{ETR} = \text{ETP}$$

L'excédent ($P - \text{ETP}$), est affecté en premier lieu à la RFU. Une fois la RFU pleine, il sera affecté à l'écoulement Q.

Si $P < \text{ETP} \Rightarrow$ toute la pluie sera évaporée et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR, soit :

$$\text{ETR} = P + \min(\text{RFU}, \text{ETP} - P)$$

$$\text{RFU} = 0 \text{ ou } \text{RFU} + P - \text{ETP}$$

Si $\text{RFU} = 0$, la quantité ($D_a = \text{ETP} - \text{ETR}$) représente le déficit agricole, qui est la quantité d'eau qu'il faut apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse.

Pour commencer à établir le bilan, on doit tenir en compte du raisonnement suivant :

Si la RFU doit être pleine un jour, ce sera à la fin de la période durant laquelle on a pu la remplir, c'est-à-dire à la fin du dernier mois où $P > \text{ETP}$.

Si la RFU doit être vide un jour, ce sera à la fin de la période durant laquelle, on a pu la vider, c'est-à-dire à la fin du dernier mois où $P < \text{ETP}$.

Tableau IV. 20: Bilan hydrique de Thornthwaite pour la station de Batna

	RFU	RFU	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Ms	Avr.	Mai	Juin	Jui	Aut	Année
	max	sept-01													
P			47,91	32,05	34,52	36,54	38,11	28,09	33,47	50,62	39,27	22,58	10,28	17,30	390,75
ETP			113,65	70,23	26,13	9,76	6,95	8,58	26,36	45,38	81,68	149,72	192,85	171,32	902,60
RFU	50	0	0,00	0,00	8,39	35,17	50,00	50,00	50,00	50,00	7,59	0,00	0,00	0,00	
ETR			47,91	32,05	26,13	9,76	6,95	8,58	26,36	45,38	81,69	30,17	10,28	17,30	<u>342,56</u>
Da			65,74	38,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	119,55	182,57	154,02	560,05
Ws			0	0	0	0	16,33	19,44	7,11	5,24	0	0	0	0	48,12

Tableau IV. 21: Bilan hydrique de Thornthwaite pour la station de Khenchela

	RFU	RFU	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Ms	Avr.	Mai	Juin	Jui	Aut	Année
	max	sept-01													
P			40,31	40,68	41,42	44,16	38,53	35,43	44,10	46,11	71,49	27,28	10,56	29,59	469,64
ETP			124,26	80,15	29,47	13,22	10,49	11,20	31,68	57,74	105,57	173,47	237,38	212,94	1087,57
RFU	50	0	0,00	0,00	11,95	42,89	45,62	50,00	50,00	38,37	4,29	0,00	0,00	0,00	
ETR			40,31	40,68	29,47	13,22	10,49	11,20	31,68	57,74	105,57	31,57	10,56	29,59	<u>412,08</u>
Da			83,95	39,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	141,90	226,82	183,35	675,50
Ws			0	0	0	0	0	20,56	12,42	7,74	0	0	0	0	40,72

Pour la station de Batna, partie ouest des sous bassin, (Tableau IV.20), Le déficit agricole a atteint la valeur de 560 mm/an, représentant ainsi 100 % des précipitations. Il s'étale du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre, et en conséquence, la réserve du sol (RFU), commence à se reconstituer à partir du mois de Novembre pour atteindre son maximum de Décembre à Avril. A partir de ce mois, elle commence à se vider, pour être totalement à sec, durant 5mois, de Juin à Octobre. L'écoulement(Ws), se limite à la période de Janvier à Avril.

Alors qu'à la station de Khenchela, le déficit agricole a atteint la valeur de 676 mm/an (Tableau IV.21), représentant 100 % des précipitations. Il dure du mois de Juin au mois d'Octobre. La réserve du sol (RFU), commence à se reconstituer à partir du mois de Novembre pour atteindre son maximum durant les mois de février et mars, et à partir du mois d'Avril, elle commence à se vider, pour être totalement tarie, de Juin à octobre. L'écoulement(Ws), se limite à la période de février à Avril.

En faisant la comparaison entre la partie Est et Ouest de la région d'étude, il y a lieu de remarquer que le bilan hydrologique présente les mêmes déficits. Ces chiffres nous ont permis de caractériser la permanence, évolution du caractère du climat dans la région. On remarque, ainsi, que la partie Est celle qui contribue efficacement à alimenter l'écoulement de surface ainsi que l'infiltration.

II.4 Ruissellement

Il s'agit ici de l'écoulement de surface provenant de l'excédent du bilan hydrique, et non pas de celui provenant des sources, forages ou drainage des nappes phréatiques.

II.4.1 Méthode de Thornthwaite

Le bilan hydrique (Thornthwaite), donne une valeur approximative du ruissellement. En admettant que cette valeur représente la moitié de l'excédent, donc nous avons pour

- La station de Batna, $R = 48.12/2 = 24.06$ mm/an,
- La station de Khenchela, $R = 40.72/2 = 20.36$ mm/an

II.4.2 Méthode de Tixeront-Berkaloff

Cette formule (**de Tixeront-Berkaloff**)⁵ est utilisée pour le calcul du ruissellement surtout en pays arides. $R = 24.43$ mm/an à Batna et $R = 29.23$ mm à Khenchela

En prenant une moyenne entre les deux méthodes, celle du bilan de Thornthwaite et celle de Tixeront-Berkaloff, le ruissellement à la station de Batna est de 24.24 mm/an ce qui représente 6.19 % des précipitations par rapport à Khenchela, il est de 27.79 mm/an de 5.91 % des précipitations.

II.5 Infiltration

Plusieurs auteurs ont donné des valeurs du coefficient d'infiltration sur différents massifs carbonatés tels que les Aurès. Néanmoins ces valeurs présentent une grande disparité. Ceci est dû à plusieurs paramètres, voir les conditions climatiques, ruissellement, végétation, relief....

Ce paramètre est calculé ici à partir du bilan hydrique. Cependant la valeur donnée reste à titre indicatif, car d'une part, jusqu'à ce jour aucune étude n'a entrepris des mesures de terrain pour donner des valeurs d'infiltration plus substantielles. D'autre part le bassin est constitué d'un empilement de réservoirs souterrains, et chaque réservoir à ses conditions d'affleurement particulières (aire d'affleurement, morphologie, degré de fissuration...). De ce fait on ne saura jamais la part d'infiltration qui va vers chaque réservoir, sans faire des mesures in-situ, comme les méthodes directes (alimentation de forages, débits des sources en fonction de la pluviométrie et le suivi des variations de la piézométrie...).

⁵ $R = P/3 - E/2$

R : ruissellement en (m) ; P : précipitations annuelles en (m) ; E : évapotranspiration potentielle annuelle moyenne en (m)

CONCLUSION

Les caractéristiques climatiques des bassins 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'irrégularité interannuelle 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. Les hauteurs moyennes annuelles et mensuelles enregistrés dans les stations retenues dans l'étude montrent clairement la variabilité spatiale des précipitations, elle est relativement plus accentuée dans l'ouest. Quant à l'évapotranspiration, elle évolue suivant les deux saisons pluviothermiques, 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.

Pour l'étude de détection de rupture nous avons appliqué aux séries chronologiques à échelle annuelle les tests statistiques suivants : la statistique U de Buishand, le test de Pettitt, la méthode bayésienne de Lee et Heghinian et la procédure de segmentation d'Hubert qui nous a permis de localiser une modification du régime pluviométrique durant la décennie 1970-1980 pour la plupart des stations pluviométriques étudiées. Nous avons conclu que ce sont les pluies d'hiver et de printemps qui ont enregistré une rupture dans les séries chronologiques durant la décennie 1970-1980. Ce sont les pluies d'hiver qui traduisent le mieux la rupture de stationnarité des séries pluviométriques annuelles. A une échelle de temps plus fine, celle du mois, nous avons remarqué que ce sont les mois de décembre, de janvier, de mars et d'avril qui ont enregistré les baisses les plus significatives et les plus importantes. L'étude du nombre de jours de pluies nous paraît également intéressante à considérer en raison de son intérêt pour les gestionnaires agricoles.

Une analyse spatiotemporelle de la pluviométrie a été faite sur six stations considérées comme stations types (montagne, piedmonts et plaine). Chaque groupe de stations décrit une zone plus au moins homogène de notre région d'étude, Batna et Timgad (au niveau de la plaine), Yabous et Ain Mimoun (au niveau des piedmonts), Baiou et Seguin (au niveau de montagne).

L'analyse des données a permis de déterminer différents cycles pluviométriques :

- ◇ Pour la plaine et les piedmonts
 - Une première période humide entre 1969 et 1976,
 - Une forte sécheresse de 23 ans depuis 1977 et jusqu'en 2001
 - Un retour des pluies à partir de l'année 2002
- ◇ Dans la zone de montagne nous avons constaté cependant deux périodes :
 - Une période humide de 1969 à 1991
- ◇ Une autre période sèche qui commence en 1977 et se termine en 2017.

Cette partie de notre travail met en avant l'évolution temporelle du régime pluviométrique ainsi que l'influence des pluies saisonnières et mensuelles sur cette évolution. Cependant, une étude temporelle s'avère indispensable pour connaître l'influence sur les ressources en eaux superficielles touchées par ce phénomène enregistré lors de ces dernières décennies. Ceci fera l'objet de la partie suivante.

CHAPITRE : V

LES PROCESSUS HYDROLOGIQUES ET LES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE

Introduction

D'une manière générale, les précipitations représentent la part essentielle de l'alimentation fluviale. Ces paramètres connaissent de fortes fluctuations qui se traduisent par l'existence de cycles secs ou humides (qui se marquent les régimes fluviaux). Les paramètres hydroclimatiques (températures, précipitations et drainage) représentent d'autres facteurs de contrôle des processus d'écoulement des bassins versants.

L'analyse des débits mensuels permet de mettre en lumière le régime du cours d'eau et ses variations interannuelles (cependant les 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). Afin d'étudier ce paramètre, nous proposons une analyse des séries hydrométriques sur un pas de temps long. Avant d'entamer cette analyse nous présentons ci-dessous les bassins versants étudiés.

I. DESCRIPTION DES BASSINS VERSANTS

I.1 Les caractéristiques morphométriques du bassin

Les différents paramètres morphométriques du bassin notamment, la forme, l'altitude caractéristique, la pente, et le relief, interviennent et souvent de façon combinée dans les modalités de l'écoulement, donc il convient de les préciser dès le début de toute étude :

- **La forme du bassin versant** influence fortement l'écoulement global et notamment le temps de réponse du bassin versant. C'est la configuration géométrique projetée sur un plan horizontal. Un bassin versant allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin ramassé s'ils sont placés dans les mêmes conditions météorologiques.
- **La densité de drainage** est étroitement liée à deux facteurs : la lithologie et les précipitations. Cet indice permet d'apprécier l'importance du réseau hydrographique dans le bassin versant, les géomorphologues l'appellent aussi, densité des talwegs, densité de drainage.

Le tableau V.1 synthèse les principales caractéristiques morphométriques et hydrographiques des bassins.

Tableau V. 1: Les caractéristiques Géométriques, Morphométriques et Hydrographiques

	PARAMETRES	B. V de O. Medher	B. V de O. Boulefress	B. V de O. Gueiss		B. V de Chemora Br,	
				Barrage	Station	Barrage	Station
Caractéristiques de forme	Superficie (Km ²)	286	77	141	134	593	761.88
	Périmètre stylisé (Km)	99	39	51	48	112,00	150,00
	Indice de compacité	1,64	1,24	1,20	1,16	1,29	1,52
	Longueur du rectangle équivalent (Km)	42,52	13,90	17,27	15,05	41,52	62,44
	Largeur du rectangle équivalent en (Km)	6,63	5,46	8,05	8,77	14,08	12,03
Caractéristiques topographiques	Dénivelée simple (m)	590	810	680	710	770	890
	Altitude moy (m)	1128	1552	1485	1493	1310	1290
	Altitude médiane (m)	1390	1690	1630	1650	1438	1395
	Altitude max (m)	2000	2300	2200	2200	2300	2300
	Altitude min (m)	1007	1162	964	986	959	892
	H50%	1390	1690	1620	1650	1200	1400
	H5%	1800	2210	2095	2120	1860	1980
	H95%	1210	1400	1370	1410	1090	1090
	Indice de pente globale (m /Km)	13,88	58,27	39,37	47,16	18,54	14,25
	Classification l'ORSTROM.	relief modéré	relief assez fort	relief fort	relief fort	relief modéré	relief modéré
	Indice de pente moyenne (m /Km)	23,36	81,87	71,57	80,64	32,29	22,55
	Indice de pente de roche (m/Km)	234,68	511,32	467,54	545,93	451,57	393,49
	Classe du relief	Relief assez fort	Relief très fort	relief fort	Relief fort	Relief fort	Relief fort
	Dénivelée spécifique (m)	234,68	511,32	467,54	545,93	451,57	393,49
	Caractéristiques hydrographiques	Longueur du talweg principale (Km)	25	15	24	19	40
Densité de drainage (Km/Km ²)		2,6	1,84	2,94	2,7	2,39	2,46
Coefficient de torentionnalité		8,8	7,62	12,2	12,2	9,64	26,7
Temps de concentration (Heure)		8,57	3,5	5,3	5,3	10,13	13,3
Vitesse d'écoulement (m/s)		2,92	4,29	4,53	3,58	3,95	4,89

Les tableaux V. 2 et V.3 récapitulent les principales caractéristiques morphométriques et hydrographiques des bassins aux stations hydrométriques et aux barrages.

Tableau V. 2: Classification, longueur, et nombre des cours d'eau des bassins versants

	Ordre "i"	Nombre "n"	Longueur totale	Rc	RI	Fi
Oued Medher	1	119	113420	0,99	1,00	0,42
	2	54	56	0,98	1,02	0,19
	3	30	24	0,97	1,04	0,10
	4	12	13	0,92	1,08	0,04
		215	113513			
Gueiss	1	38	54366	0,97	1,00	0,28
	2	21	25042	0,95	1,00	0,16
	3	5	6247	0,83	1,00	0,04
	4	12	3870	0,92	1,00	0,09
		76	89526			
Boulefreiss	1	23	30187	0,96	1,00	0,30
	2	13	15592	0,93	1,00	0,17
	3	6	4838	0,86	1,00	0,08
		42	50618			
Chemora	1	2968	964	1,00	1,00	3,88
	2	623	478	1,00	1,00	0,81
	3	144	211	0,99	1,00	0,19
	4	26	84	0,96	1,01	0,03
	5	5	52	0,83	1,02	0,01
	6	1	36,5	0,50	1,03	0,00
		3767	1826			

I.2 L'orographie dans la zone d'étude

Sur le plan géographique, le relief est la combinaison de deux facteurs : l'altitude et la pente.

I.2.1 L'altitude

La répartition générale des tranches d'altitude dans un bassin jouent un rôle indéniable sur la plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques. La pluviométrie, la température les écoulements sont fonction de l'altitude et des pentes. C'est d'elles en effet, que dépendent les gradients pluviométrique et thermique, ainsi que la vitesse d'écoulement qui sera en principe plus importante en montagne qu'en plaine. Tout relief d'un bassin versant est caractérisé par une courbe de répartition hypsométrique qui permet d'établir l'état de la répartition des altitudes. Elle est tracée en reportant en ordonnée les altitudes, et en abscisse les pourcentages de la surface du bassin. La répartition hypsométrique est donnée par le pourcentage de la surface comprise entre les différentes courbes de niveau à la surface totale.

La répartition du bassin versant (en km² et en % de la superficie totale) par tranches d'altitude est consignée dans le tableau V.3 et les figures V.1 et V.2

Tableau V. 3: Répartition altimétrique des bassins versants

	Tranche d'altitude	Centre	Superficie	Pourcentage	S Cumulé	SI*HI	H moy
	m	m	Km2	%			= $\frac{\sum(SI*HI)}{\sum S}$ (m)
Bv Medher	1007-1200	193	161,78	56,75%	0,27%	31224,08	196,03
	1200-1400	200	80,33	28,18%	4,40%	16065,35	
	1400-1600	200	30,44	10,67%	15,07%	6087,29	
	1600-1800	200	11,78	4,13%	43,25%	2355,22	
	1800-2000	200	0,77	0,27%	100,00%	154,10	
Totale			285,09	100,00%		55886,04	
Bv Boulefreiss	1162-1300	138	7,32	9,26%	1,72%	1009,66	181,47
	1300-1500	200	33,74	42,74%	11,06%	6747,42	
	1500-1700	200	19,86	25,15%	22,85%	3971,99	
	1700-1900	200	9,31	11,79%	48,00%	1862,78	
	1900-2100	200	7,38	9,34%	90,74%	1475,05	
	2100-2300	200	1,36	1,72%	100,00%	272,12	
Totale			78,96	100,00%		14329,36	
Bv Chemora	892-1000	108	83,80	11,02%	0,12%	9049,98	189,86
	1000-1200	200	283,10	37,24%	1,01%	56619,55	
	1200-1400	200	170,10	22,38%	3,54%	34020,79	
	1400-1600	200	120,25	15,82%	13,54%	24050,39	
	1600-1800	200	75,98	10%	29,36%	15196,23	
	1800-2000	200	19,24	2,53%	51,74%	3848,04	
	2000-2200	200	6,74	0,89%	88,98%	1347,71	
	2200-2400	200	0,88	0,12%	100,00%	176,61	
Totale			760,09	100,00%		144309,30	
Bv Gueiss	986-1000	14	0,73	0,54%	3,66%	10,16	199,00
	1000-1200	200	0,49	0,36%	8,55%	97,76	
	1200-1400	200	50,55	37,60%	23,88%	10110,33	
	1400-1600	200	50,58	37,62%	61,50%	10116,38	
	1600-1800	200	20,61	15,33%	99,10%	4121,97	
	1800-2000	200	6,57	4,89%	99,46%	1314,27	
	2000-2200	200	4,93	3,66%	100,00%	985,19	
Totale			134,46	100,00%		26756,08	

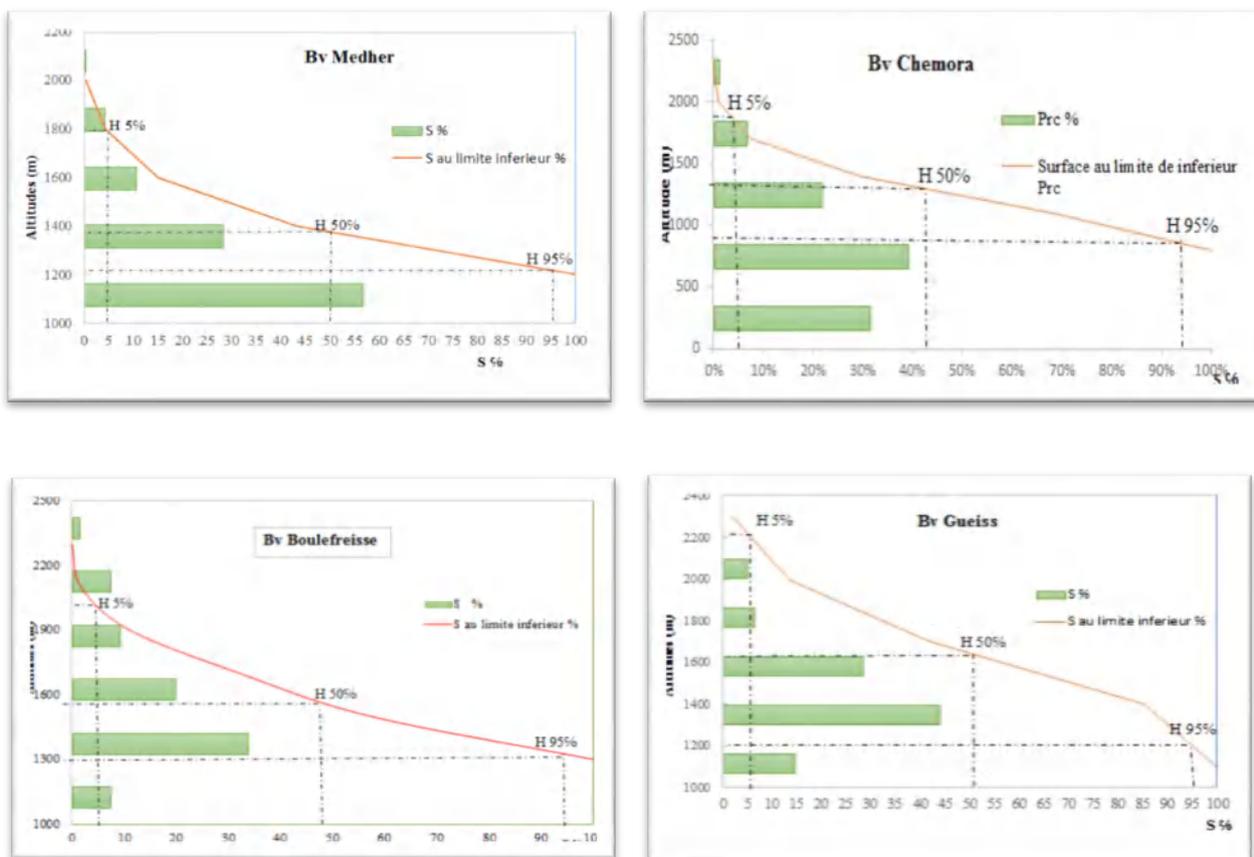


Figure V. 1: Courbe Hypsométrique et Histogramme des Fréquences Altimétrique des bassins versants

Le bassin de l'Oued Medher atteint 2000 m à son point culminant au sommet de Djebel Ich Ali, tandis que le point le plus bas correspond à la station de Fesdis située à une altitude de 1007 m, (la dénivelée totale est de 993 m). L'altitude moyenne sur l'ensemble du bassin est de 1128 m déduite de la courbe hypsométrique. La dénivelée dont dépend la pente hydraulique des vallées et des lits de l'oued est de l'ordre 590 m.

Dans le bassin de l'Oued Chemora le sommet de Djebel el Mahmel atteint 2300 m (point culminant du bassin). Le point le plus bas correspond à la station de Chemora située à l'altitude de 892 m, ce qui correspond à une dénivelée de 1408 m. L'altitude moyenne sur l'ensemble du bassin de l'Oued Chemora est de 1290 m déduite de la courbe hypsométrique, elle est plus forte dans le sous bassin de Reboa (1450 m), et n'est que de 1279 m sur le bassin de Timgad, et plus faible dans le sous bassin de Morri (1143m).

La dénivelée est plus forte dans les sous bassins de Reboa et Timgad, respectivement 1311 m et 813 m. Elle est la plus faible dans le sous bassin de Morri (351m).

Le bassin de l’oued Boulefreiss atteint 2300 m à son point le plus haut au sommet de Djebel Chélia, tandis que le point le plus bas correspond à la station hydrométrique située à l’altitude 1162 m, soit une dénivelée totale de 1132 m.

Dans le bassin de l’oued Gueiss le Djebel Bezez culmine à 2300 m au sommet du djebel Chenntegouma à la limite est du bassin versant, tandis que le point le plus bas qui indique 892 m correspond à la station hydrométrique de Gueiss. La dénivelée estimée de ces valeurs atteint 1236 m.

Le tableau et les figures ci-dessous montrent la répartition hypsométrique des bassins versants d’El Medher, Chemora, Boulefreiss et Gueiss en km² et en pourcentage de la surface partielle des cinq (5) classes d’altitudes, comprises entre moins de 1100 m à plus de 2000 m.

Tableau V. 4: Répartition des superficies selon les tranches d’altitude dans les bassins versants

Tranche d'altitude	Medher		Chemora		Gueiss		Boulefreiss	
	S(Km2)	S %	S(Km2)	S %	S(Km2)	S %	S(Km2)	S %
1100 >	19,59	24,00%	240,41	31,56%	19,59	16,39%	5,15	8,34%
1100-1400	59,01	41,87%	297,20	39,02%	59,01	43,87%	33,74	42,72%
1400-1700	38,22	24,11%	166,06	21,80%	38,22	28,41%	19,86	27,15%
1700-2000	8,66	6,50%	50,31	6,61%	8,66	6,44%	9,31	12,79%
2000 <	6,57	4,00%	7,72	1,01%	6,57	4,89%	7,38	9,34%

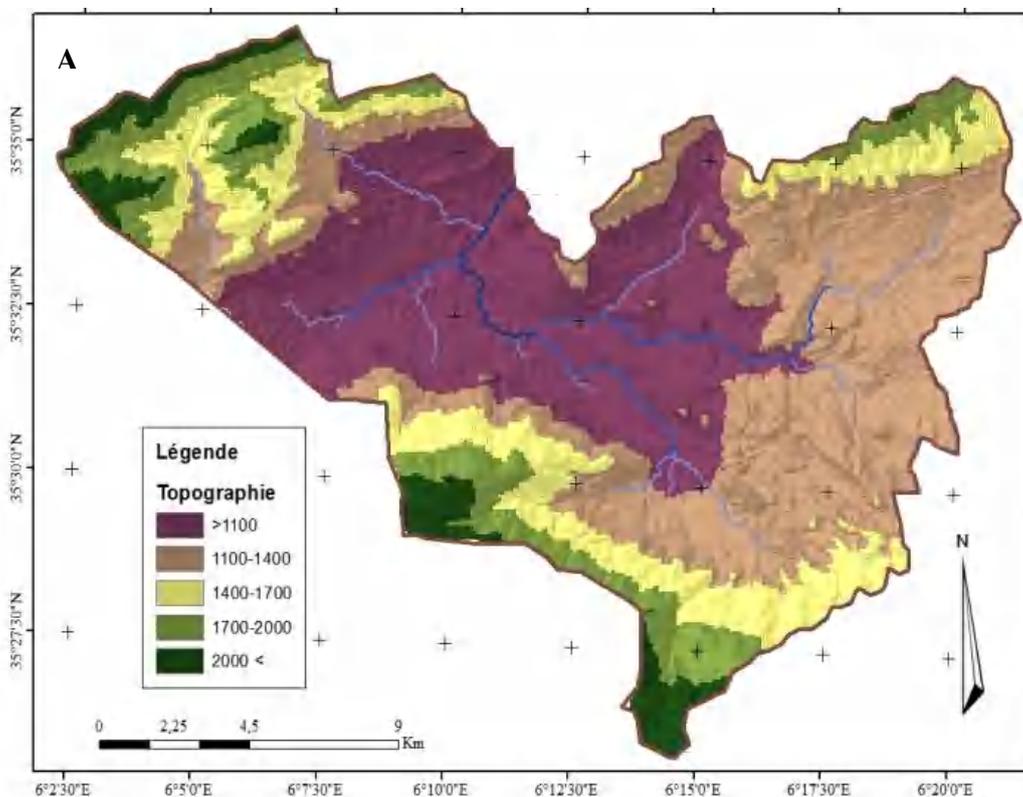


Figure V. 2: Carte des tranches d’altitude des bassins versants (MNT ,30m)
 A) Bassin versant de Madher

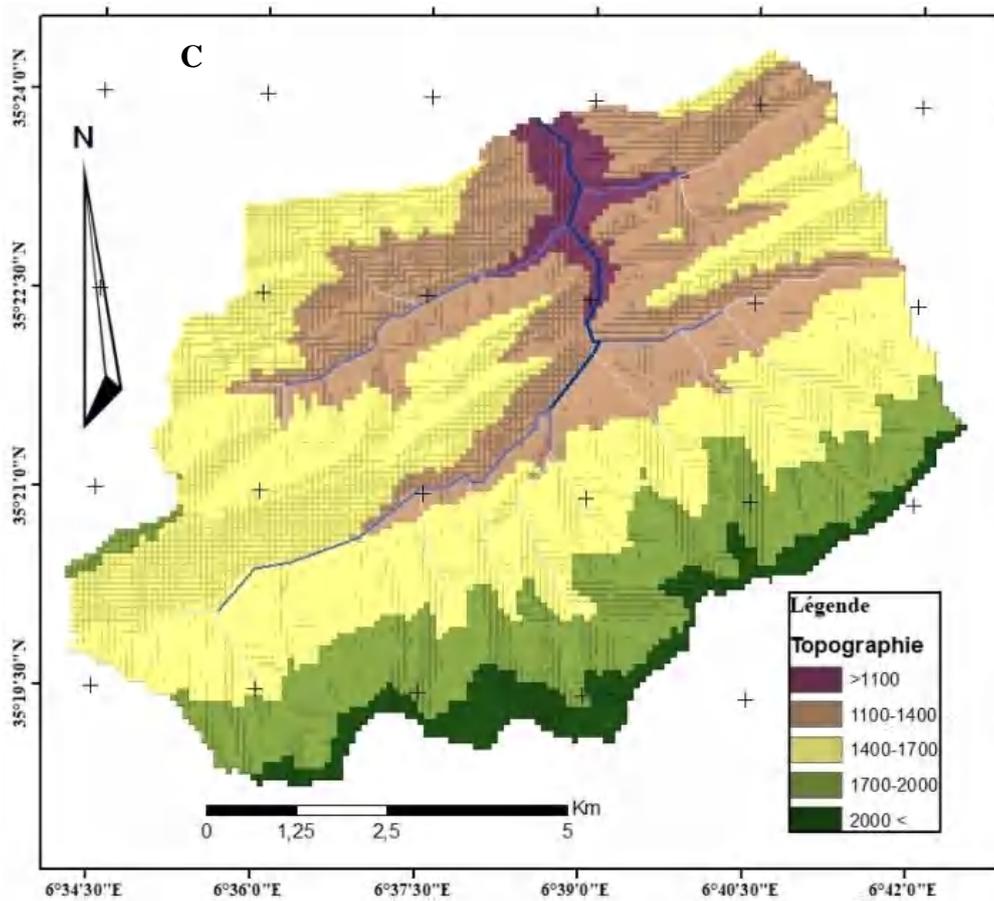
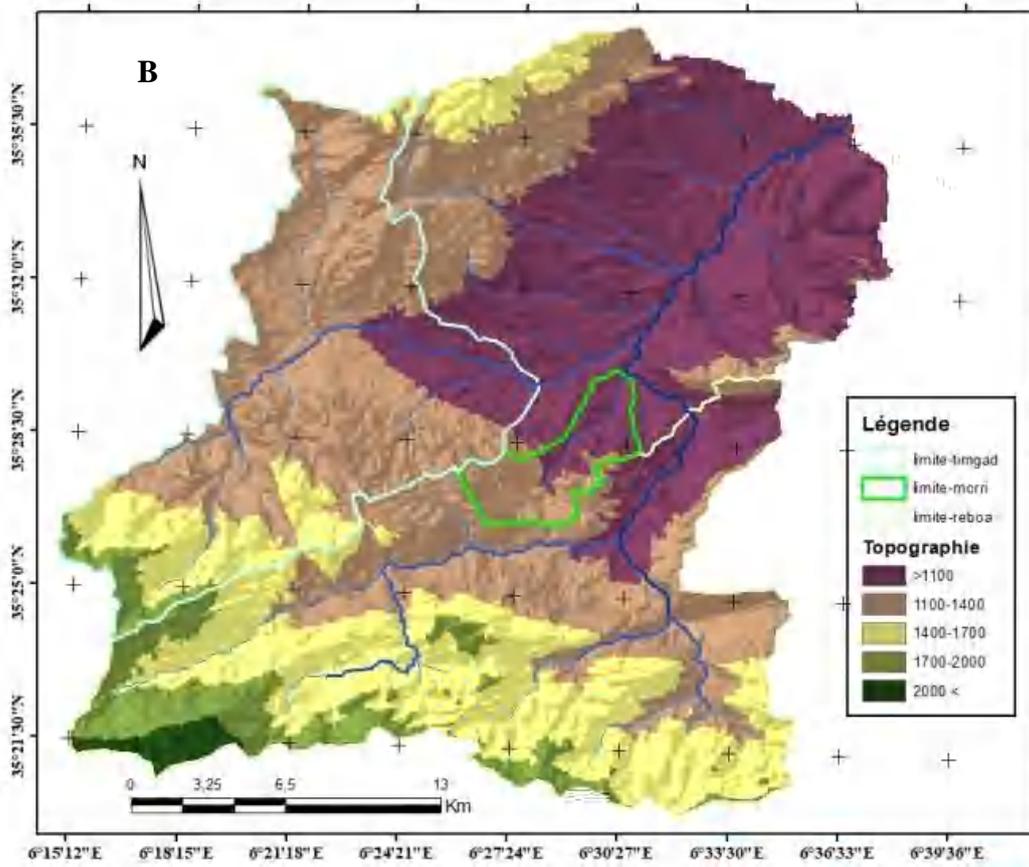


Figure suit: Carte des tranches d'altitude des bassins versants (MNT, 30m)
 B) Bassin versant de Chemora ;C) Bassin versant de Boulefreiss

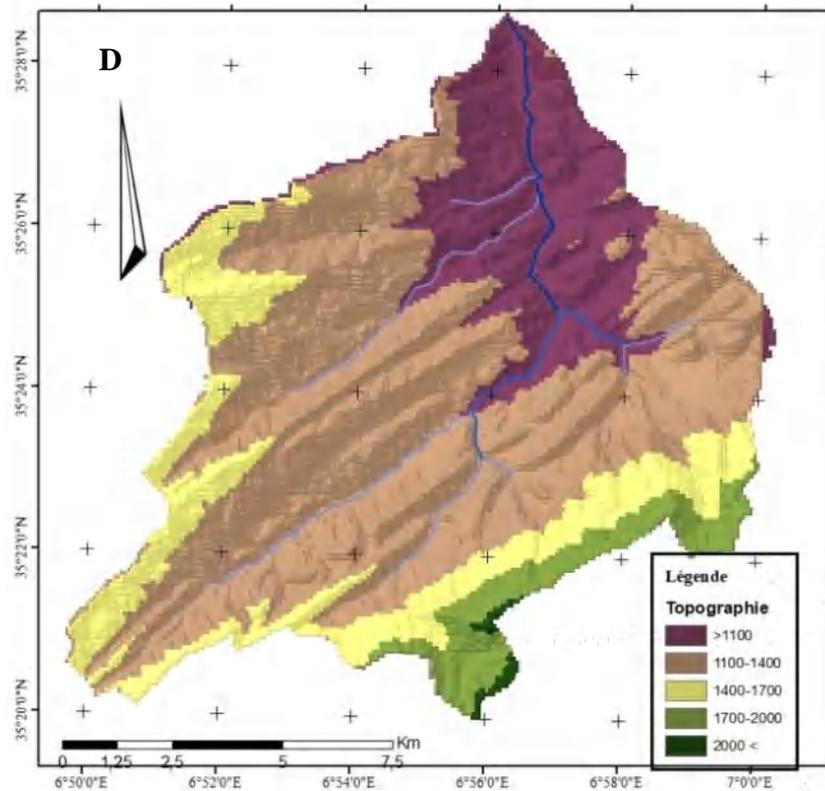


Figure (suit): Carte des tranches d'altitude des bassins versants (MNT, 30m)
D) Bassin versant de Gueiss

Ces paramètres moyens et extrêmes n'ont qu'une valeur indicative dont le rôle se limite à comparer les sous bassins entre eux, alors que la répartition hypsométrique de chaque secteur est plus significative, ces courbes montrent cependant l'importance et la distribution de chaque tranche d'altitude, dans les sous bassins et appellent les constatations suivantes :

Les secteurs de « haute altitude » sont représentés par la classe d'altitude supérieure à 1700 m. Ils correspondent à la partie nord des bassins où se trouvent les sommets des massifs montagneux des Djebels el Mahmel, Timagout, Aslaf et Chélia,

Le secteur « d'altitude moyenne » concerne la tranche 1400 - 1700 m, une grande partie de cette tranche concerne le bassin de Gueiss (72.28 % de la superficie totale du bassin versant).

Le secteur de « basse altitude » inférieure à 1100 m prédomine dans les bassins de l'Oued Chemora, au site du barrage de K. Medouar et de celui de la station de Chemora, avec respectivement 28.46% et 31.56% des surfaces.

I.2.2 – La pente

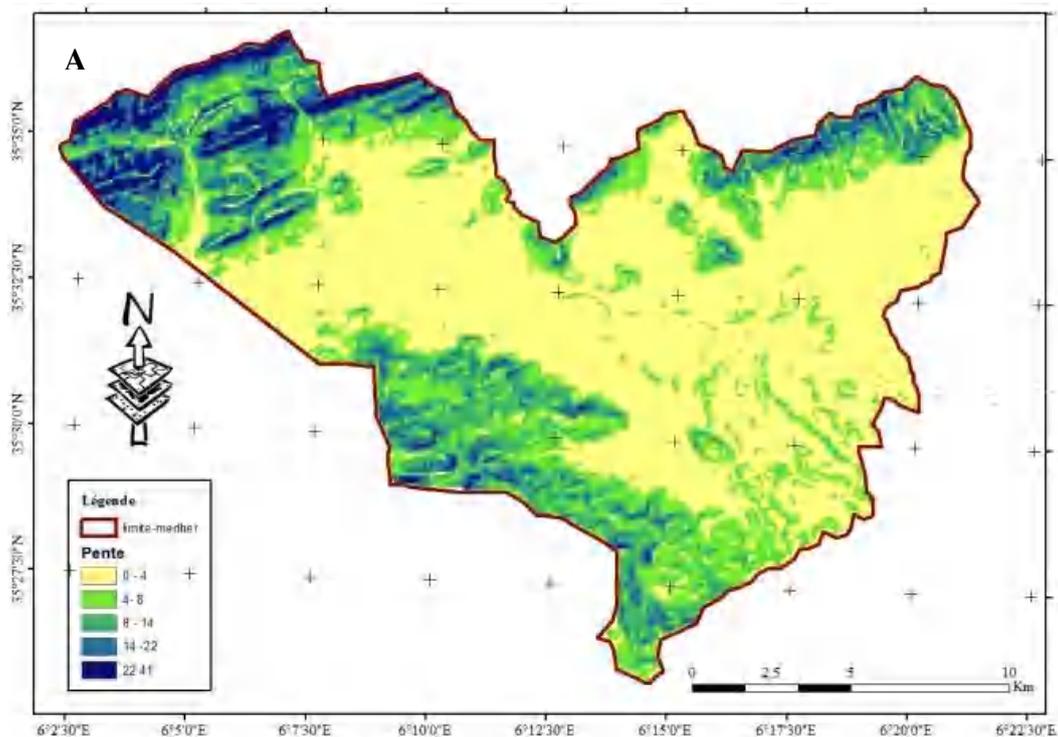
Le relief joue un rôle prépondérant dans le cheminement des ruissellements sur le terrain. Sa connaissance peut être faite à l'aide de l'indice de pente global (Ig). « Chapitre III. Page 68» .

Les calculs appliqués à nos bassins permettent de montrer que l'indice de pente global (Ig) et la dénivelée spécifique (Ds) traduisent bien l'importance des zones montagneuses et de la forte incision du relief dans ces secteurs (tableau V.1). Le bassin de Chemora et Medher sont caractérisés par un milieu relativement plat, malgré l'affleurement des reliefs des massifs des Aurès, les flancs Nord de Dj. Bou Arif, Dj Tagratine, et le relief de Belezma

L'approche cartographique permet de faire ressortir les nuances internes des bassins étudiés, la cartographie des bassins d'El Medher, Chemora, Boulefreiss et Gueiss, montre les principales classes de pentes et leur importance.

L'analyse cartographique permet de faire ressortir les nuances internes des bassins, ainsi, la cartographie des bassins d'El Medher, Chemora, Boulefreiss et Gueiss, montre de façon claire la distribution des principales classes de pentes.

Elle révèle pour les différents bassins, une répartition des classes de pente inégale. La majeure partie de la superficie est représentée par des pentes très faibles (< 3 %), à faible (comprises entre 3 – 9 %), situées au centre des bassins, correspondant à la haute plaine. La classe des pentes fortes (12 à 20 %) à très fortes (> 20 %) ne couvrent qu'une petite partie des bassins située au nord-est, au sud et au nord-ouest, correspondant aux régions montagneuses. (Figure V.3)



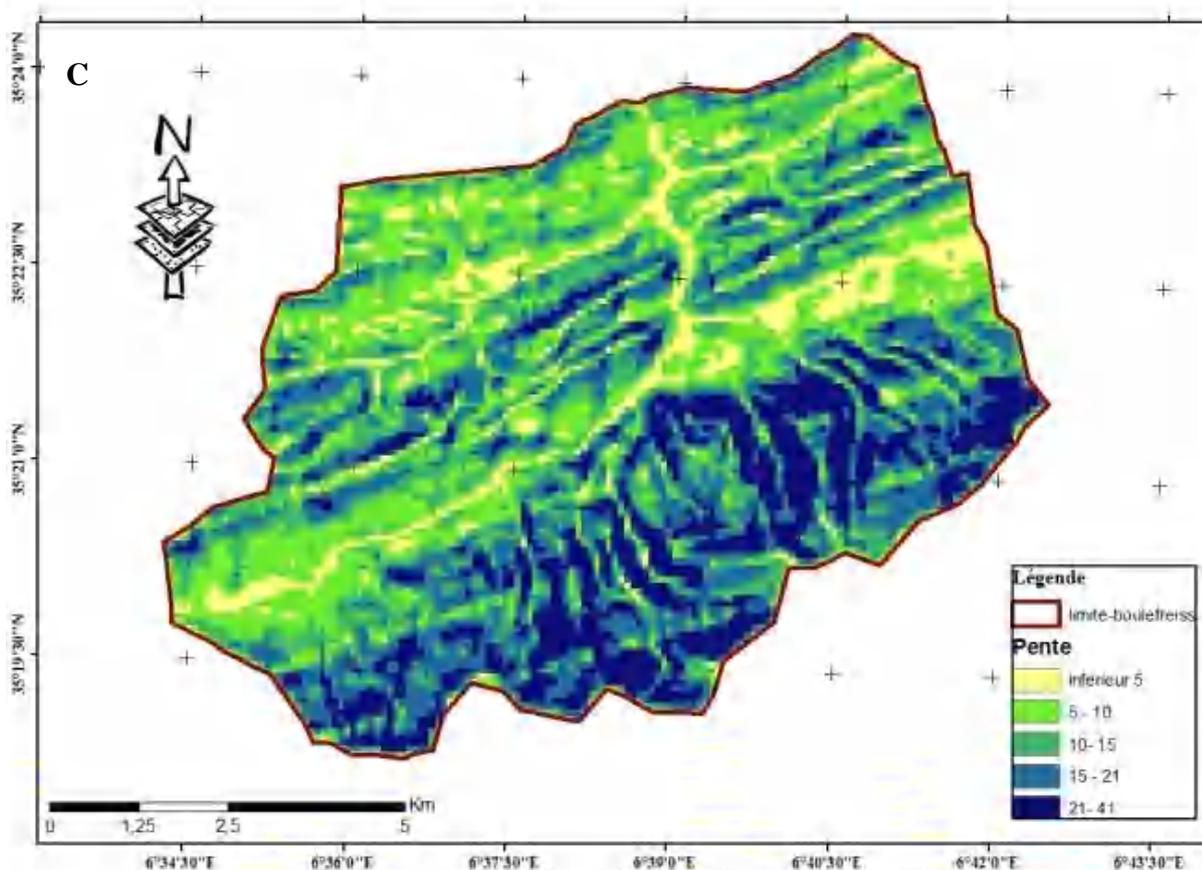
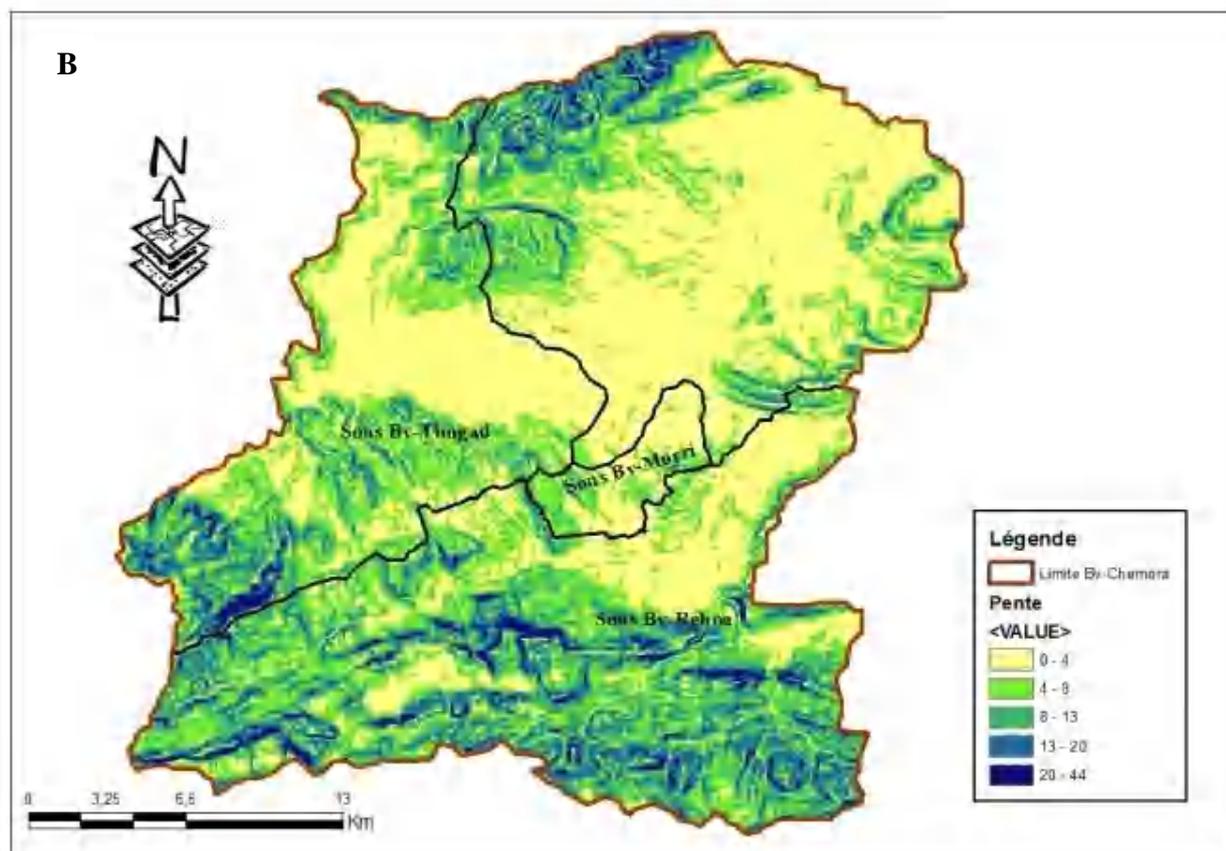


Figure (suit): Carte des pentes des bassins versants (MNT ,30m)
 B) Bassin versant de Chemora ;C) Bassin versant de Boulefreiss

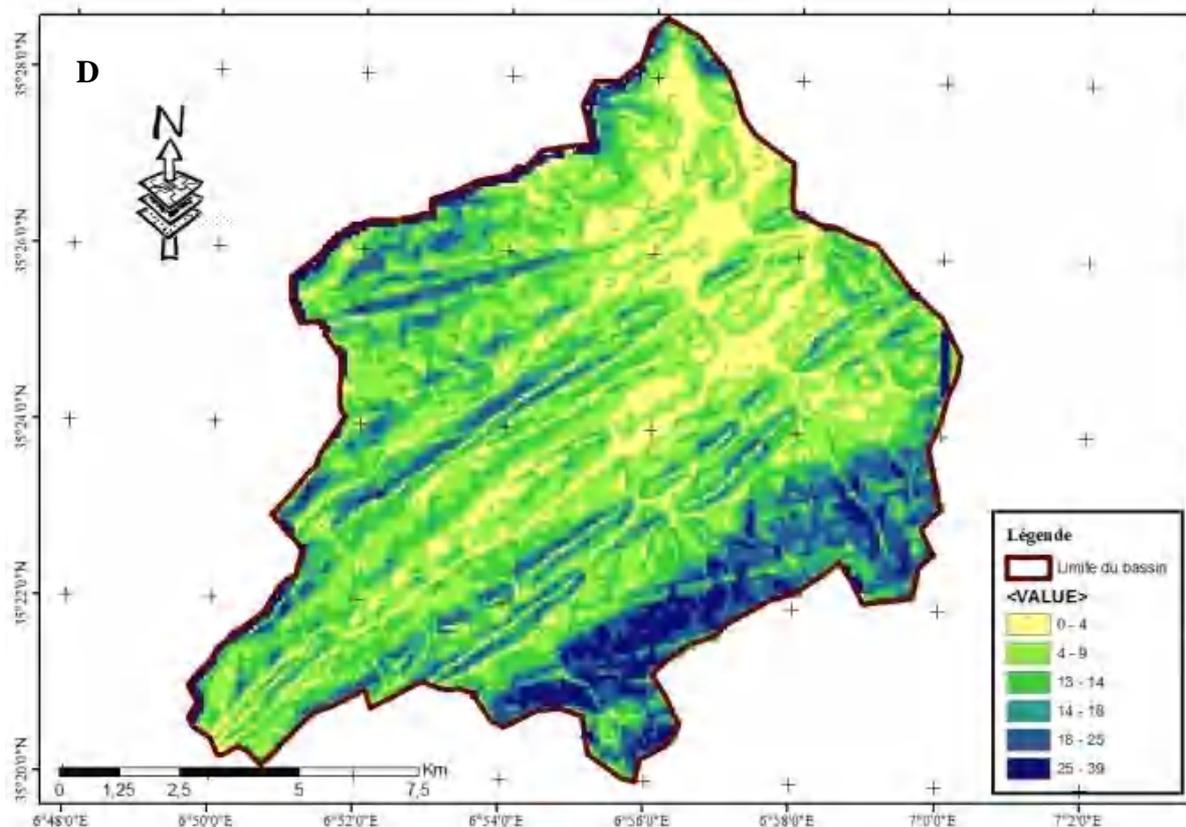


Figure (suit) : Carte des pentes des bassins versants (MNT, 30m)
D) Bassin versant de Gueiss

II. LE REGIME HYDROLOGIQUE CARACTERISTIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

L'étude de l'impact de l'évolution du climat sur le régime des débits d'écoulement de surface nécessite la connaissance des paramètres hydrologiques et leur variabilité spatiotemporelle. A cet égard, nous proposons une étude hydrologique, en vue d'évaluer les caractéristiques des écoulements superficiels des bassins (évaluation des ressources en eau et de leur variabilité et estimation des régimes saisonniers et journaliers).

Pour l'élaboration de cette étude nous avons utilisé les données journalières, mensuelles et annuelles des stations citées dans le tableau III.5.

II.1. Les variations spatiales de l'écoulement moyen annuel et ses nuances

L'écoulement de l'eau dans un bassin versant prend différentes formes selon le lieu où il se produit (sur les versants, l'écoulement peut être superficiel ou de subsurface. (Nemouchi ; 2001)). 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 atteint l'exutoire.

II.1.1. Les modules absolus et spécifiques

La variabilité des débits au cours de l'année est liée aux conditions météorologiques et géographiques. De ce fait, l'analyse des débits interannuels permet de mettre en évidence le régime du cours d'eau et ses variations. 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 $l/s/km^2$. Sa valeur moyenne peut servir notamment à l'estimation d'autres caractéristiques hydrologiques qui lui sont liées (CEMAGREF, 1989 in Mebarki, 2005).

En général, au niveau des bassins de système endoréique, comme ceux étudiés, les cours d'eau principaux s'écoulent des secteurs montagneux productifs de l'eau, perdant graduellement leur énergie vers les dépressions et les lacs salés où ils se déversent.

Leurs débits moyens annuels, se caractérisent par leurs nuances spatiales et temporelles remarquables (Figure V.4). La variabilité de leurs écoulements reflète étroitement les caractéristiques climatiques et physico-géographiques déjà analysées.

Ainsi, les valeurs des débits moyens annuels (Tableau V.5) dans tous les bassins versants concernés, se distinguent par leur faiblesse ; ce qui reflète bien la faiblesse des précipitations analysées dans le précédent chapitre. En plus de cette faiblesse, le débit se caractérise par des nuances spatiales très grandes liées non seulement à la taille du bassin, mais aussi et surtout à la variabilité spatiale de la topographie et du réseau de drainage.

Les débits, effectivement, ne sont pas influencés uniquement par l'étendue du bassin. Pour faire ressortir le rôle des autres facteurs d'écoulement, la notion de débit spécifique ($m^3/s/km^2$) est plus expressive car elle ne tient pas compte de la surface des bassins versant et permet de ce fait de comparer l'écoulement sur des bassins versants de tailles différentes (notamment ceux d'un même domaine bioclimatique).

Sur le versant Nord des Aurès, les apports sont généralement modestes en raison du caractère semi- aride, voire aride du climat, qui se manifeste par de faibles précipitations (moins de 400 mm) et par une évaporation élevée (voire chapitre IV).

Le module absolu augmente progressivement avec la surface drainée. (Tableau V.5).

Tableau V. 5: Variations des modules absolus et spécifiques des bassins.

Cours d'eau	Station de jaugeage	Superficie du B.V (km ²)	Module absolu Q (m ³ /s)	Module spécifique q (l/s/km ²)
Oued Medher	Fesdis	285.86	0.37	1.29
Oued Souttez	Timgad	191.48	0.16	0.84
Oued Reboa	Reboa	296.97	0.52	1.75
Oued Morri	Morri	22.49	0.02	0.89
Oued Boulefreiss	Yabous	77.18	0.25	3.24
Oued Chemora	Chemora	765	0.75	0.98
Oued Gueiss	Foum el Gueiss	134.49	0.24	1.78

Le tableau ci-dessus, indique une décroissance du débit spécifique de l'« est » vers l'ouest passant de 1,29 l/s/km² au bassin de Medher situé à l'ouest ; à 1,78 l/s/km² au bassin d'oued Gueiss situé sur la partie orientale. Ceci traduit la diminution des précipitations de l'est vers l'ouest, mais aussi le caractère montagneux des bassins. En effet, les stations hydrométriques sont implantées à l'aval immédiat des secteurs montagneux sauf dans le bassin de Chemora, où la station de la rocade est située en plaine et enregistre un débit spécifique relativement faible, car ce dernier, à l'inverse du débit brut, décroît d'amont en aval avec l'accroissement de la surface drainée.

A titre indicatif, Oued Chemora offre le plus important module brut de tous les oueds de la région d'étude, de l'Aurès Méridional (0,75 l/s/km²), mais avec une surface de drainage (761,88 km²). (Tableau V.5). Ce débit est le résultat des oueds :

- **Souttez**, qui devient l'Oued Chemora débitant 0,84 l/s/km² pour une aire de réception de 191,48 km².
- **Reboa**, qui draine une superficie de 296,97 km². Il est soumis à des conditions physico-géographiques favorables à l'écoulement et à une abondance relative des précipitations (432 mm), il apporte un débit spécifique annuel de 1,75 l/s/km² à la station du même nom).
- **Morri**, qui draine une surface de 22,49 km², ainsi que de nombreux petits affluents de la rive gauche, issus pour la plupart des revers sud-est du Djebel Bou Arif et qui débitent 0,89 l/s/km².

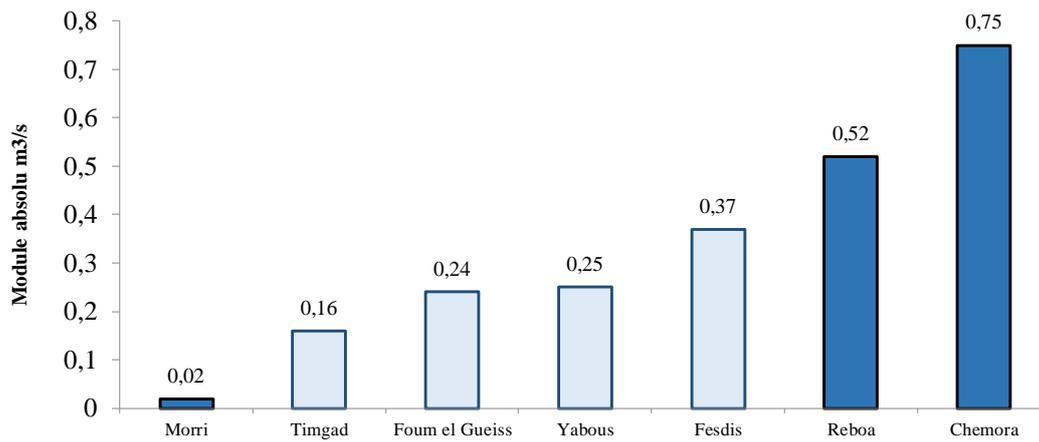


Figure V. 4: Écoulement moyen annuel absolu (1969/70-2012/13) par ordre croissant selon le module absolu

Les variations spatiales de l'écoulement superficiel à l'échelle des bassins peuvent être encore mieux caractérisées par les débits spécifiques. Ces derniers permettent en effet la comparaison de 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 0,84 l/s/km² au bassin de Timgad à 3,24 l/s/km² à la station de Yabous qui contrôle le petit bassin montagnard de l'Oued Boulefreiss (figure V.5). Cette variation s'explique par :

- Une augmentation sensible de la température et de l'évaporation et une diminution des précipitations en allant vers les montagnes.
- Le débit spécifique varie en fonction du comportement hydrologique de chaque bassin, à savoir la lithologie et la couverture végétale.

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

- **Une zone dominée par des débits faibles** (moins de 1 l/s/km²) et peu variables (l'Oued Soultz 0,84 l/s/km², l'Oued Morri 0,89 l/s/km², l'Oued Chemora 0,98 l/s/km²).

- **Une zone dominée par des débits moyens** (plus de 1 l/s/km²) et peu variables regroupant les bassins des Oued Medher (1,29 l/s/km²), Oued Reboa (1,75 l/s/km²), l'Oued Gueiss (1,78 l/s/km²) et Oued Boulefreiss à l'extrême Est, au mont Chelia. (3.24 l/s/km²).

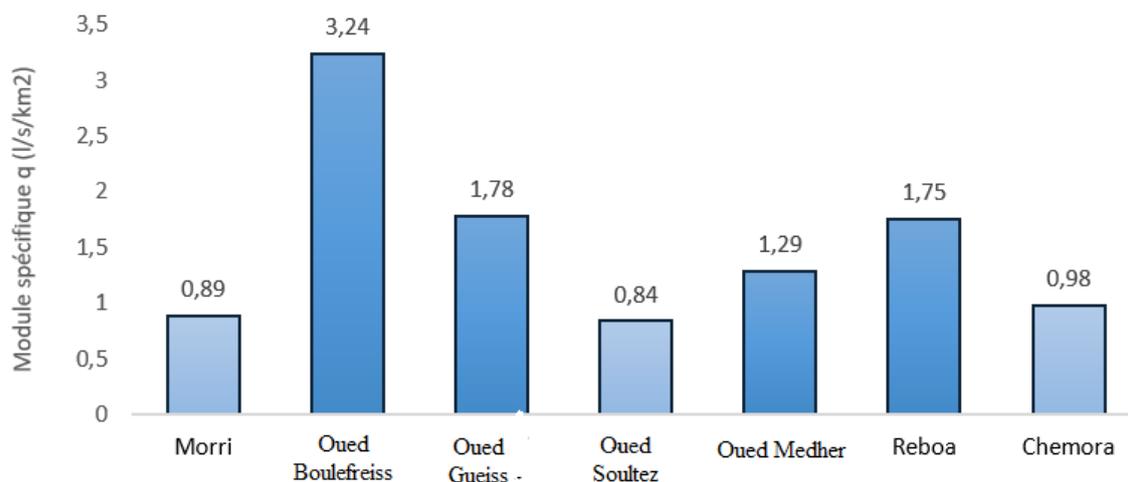


Figure V. 5: Écoulement moyen annuel spécifique (1972/73-1993/94) par ordre croissant selon la superficie contrôlée

II.1.2 Le bilan hydrologique et le déficit annuel d'écoulement

La présente analyse sera perçue sous l'aspect hydrologique (série de données hydrométriques communes disponibles pour la période 1969/70-2011/12).

Le bilan hydrologique moyen annuel permet de quantifier les transferts d'eau issus des précipitations. Aussi, on doit entendre par bilan moyen 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 Aout de l'année suivante.

Il comporte trois principaux termes : les entrées, les sorties et les stocks. Les entrées sont représentées par les précipitations (P) et les entrées souterraines (W). Les sorties se composent des eaux superficielles (Q), atmosphériques (E) et souterraines (W). Enfin les stocks sont des réserves souterraines (R). Pour ce dernier paramètre et pour une période s'étalant sur plusieurs années il y a une compensation entre les années humides et les années sèches, qui s'établit de sorte que la marge d'erreur tende vers zéro.

De même pour les entrées et les sorties souterraine (+/- W) qui sont très difficiles à évaluer sur les bassins versants de taille moyenne à grande et qui sont généralement hétérogènes, il y a une compensation qui s'effectue entre les secteurs à drainage externes et les secteurs drainés souterrainement. Cet équilibrage s'effectue entre les entrées et les sorties.

Dans l'hypothèse d'un cycle complet, l'équation du bilan pluriannuel moyen d'un bassin versant peut s'écrire :

$$P \text{ (mm)} = E \text{ (mm)} + D \text{ (mm)}$$

- P = lame d'eau annuelle moyenne précipitée.
- E = lame d'eau annuelle moyenne écoulée, soit :
 $E \text{ (mm)} = (Q_{m3/s} * 31,536.10^3) / S \text{ km}^2$

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

- D = Déficit annuel d'écoulement, soit : $D = P - E$.

Les composantes du bilan hydrologique ont été calculées pour les différents sous bassins contrôlés par des stations de jaugeage (figure V.6).

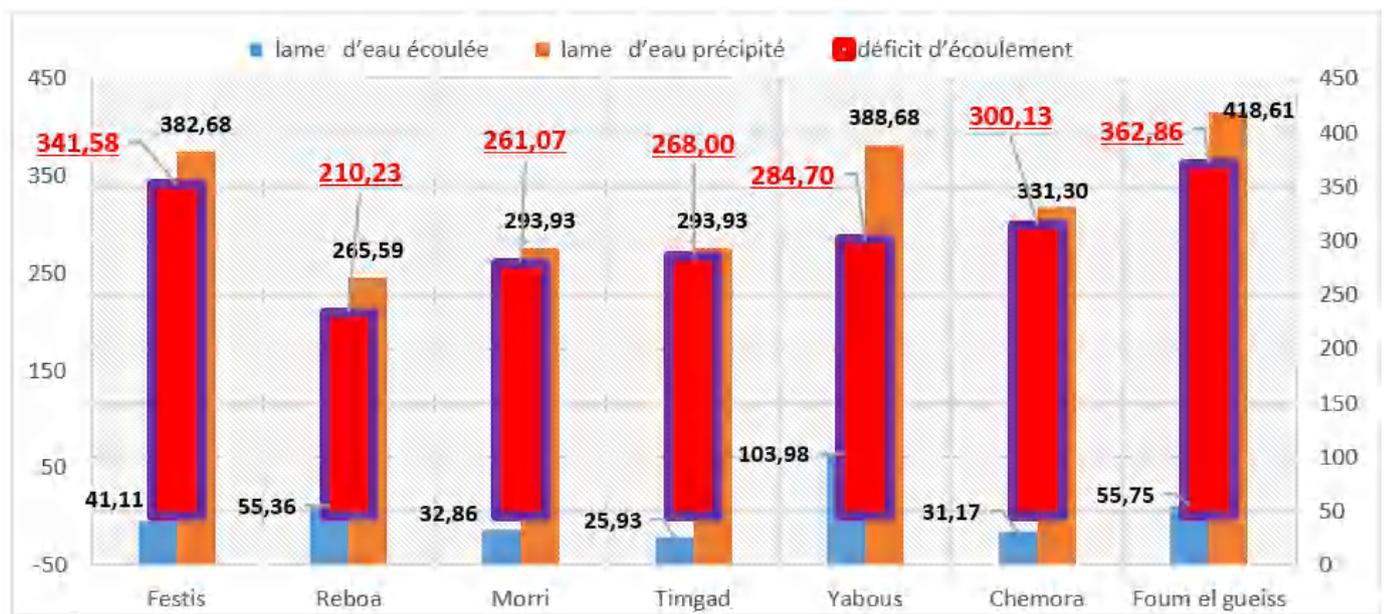


Figure V. 6 : Relation lame d'eau moyenne écoulée- lame d'eau moyenne précipitée (en mm) (1969-2011)

Ainsi, la tranche d'eau moyenne écoulée qui traduit le comportement hydrologique des bassins étudiés, varie de 25,93 mm pour le bassin de Timgad à 103,98 mm pour Yabous. Les résultats de calcul pour chaque bassin versant sont consignés dans la (Figure V. 3)

Les zones d'écoulement moyen, 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 la lame d'eau écoulée, qui se manifeste par une variation spatiale presque synchronique (figure V.6). Généralement, les bassins les plus arrosés sont les plus abondants en écoulement.

Nous notons aussi que le déficit d'écoulement est généralisé à toute la zone d'étude traduisant ainsi le fort pouvoir de l'air spécifique au climat semi-aride d'une part, mais aussi dans une moindre mesure, la réalimentation (par infiltration) des nappes souterraines, d'autre part. Ce rapport est

cependant difficile à estimer, compte tenu de la diversité de la couverture végétale du sol et de la lithologie locale.

Le déficit moyen annuel d'écoulement oscille au niveau des bassins étudiés entre un minimum de 208 mm à Reboa et un maximum de 365 mm au bassin de Foug El Gueiss (Figure V.7). Ces variations entre bassins mettent bien en valeur le rôle déterminant de l'apport pluviométrique, des températures et par conséquent de l'évapotranspiration.

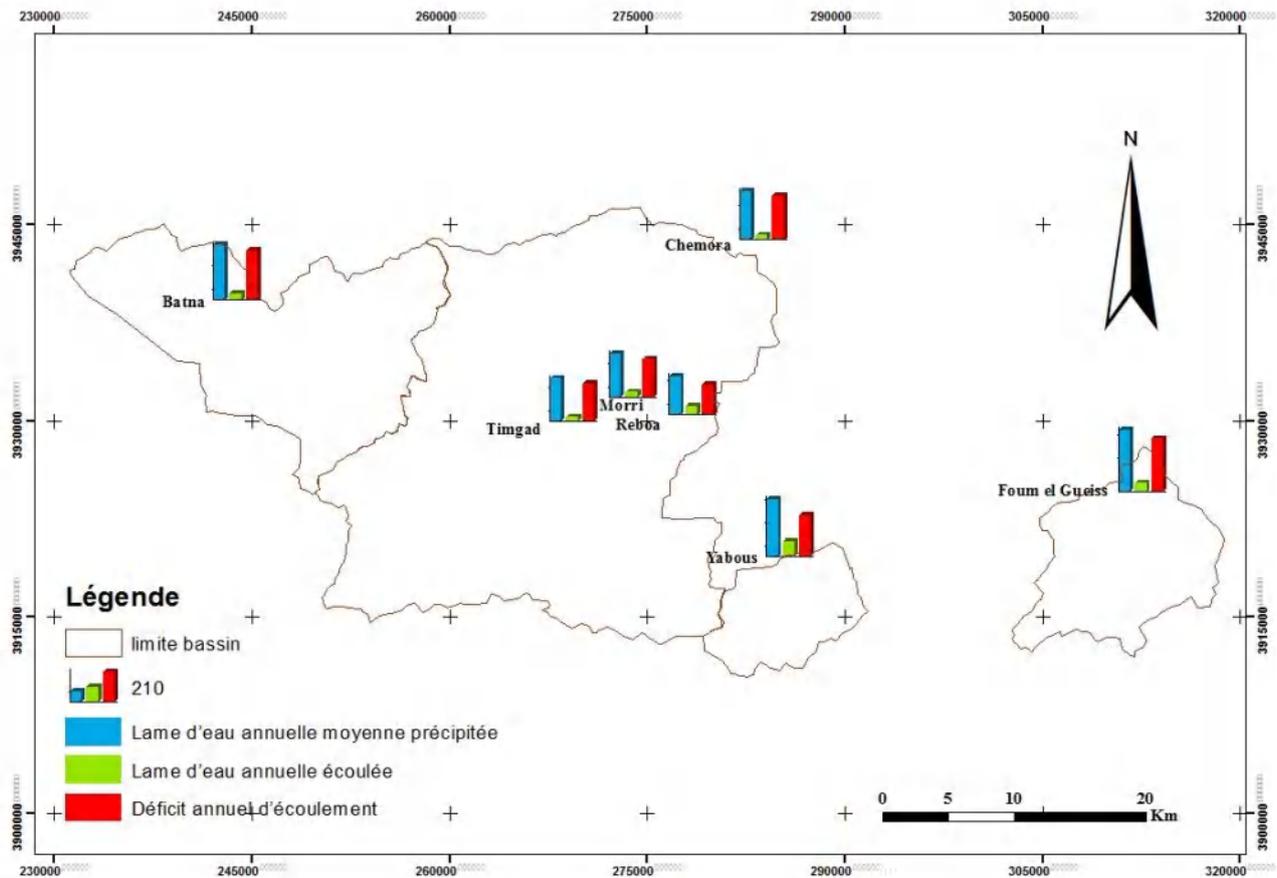


Figure V. 7: Bilan moyen annuel de l'écoulement à différentes stations de la zone étudiée

II.1.3 Les variations interannuelles de l'écoulement

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

II.1.3.1 le coefficient d'immodération ou d'irrégularité

C'est le rapport des modules extrêmes (R) ou coefficient d'immodération (Parde 1968, in : Frécaut R., 1974) correspondant à la période (1969/70-2011/12). Ce coefficient a été calculé pour les six séries de débits moyens annuels disponibles.

Les valeurs de (R) sont assez disparates et variés et s'échelonnent entre 29,79 et 35,98 (Tableau V.6) sauf pour deux bassins (Foum el Gueiss et Timgad) où l'on a relevé des valeurs records avec respectivement (159,72 et 110,73). Ces chiffres montrent l'irrégularité accentuée des débits interannuels et leur variation spatiale. En effet, cette variabilité s'explique par le comportement hydrologique de chaque bassin qui est fonction du couvert végétal de la rétention-restitution et de la lithologie.

Tableau V. 6: Débits moyens annuels

Bassins	Medher		Oued Chemora		Oued Chemora		Oued Chemora		Oued Boulefreiss		Geraet Annk		Geraet	Et
Stations	Festis		Reboa		Morri		Timgad		Yabous		Chemora		Foum	el
Module	Q (m3/s)	q (l/s/km2)	Q (m3/s)	q (l/s/km2)	Q (m3/s)	q (l/s/km2)	Q (m3/s)	q (l/s/km2)	Q (m3/s)	q (l/s/km2)	Q (m3/s)	q (l/s/km2)	Q (m3/s)	q (l/s/km2)
1969 /70	0,42	1,46	1,75	5,90	0,04	1,71	0,89	4,63	0,18	2,38	1,76	2,30	0,36	2,71
1970 /71	0,10	0,35	0,17	0,56	0,06	2,81	0,06	0,33	0,07	0,85	0,33	0,43	0,20	1,49
1971/72	0,22	0,77	1,09	3,67	0,06	2,80	0,18	0,92	0,51	6,58	1,40	1,83	0,83	6,17
1972 /73	0,36	1,24	1,53	5,16	0,03	1,50	0,43	2,27	0,53	6,86	1,95	2,56	0,75	5,59
1973 /74	0,21	0,73	0,73	2,46	0,03	1,40	0,11	0,56	0,23	3,02	0,74	0,97	0,27	1,99
1974 /75	0,18	0,63	0,36	1,20	0,04	1,77	0,14	0,72	0,24	3,17	0,37	0,49	0,31	2,34
1975 /76	0,22	0,78	0,87	2,93	0,02	1,03	0,34	1,77	0,38	4,94	1,35	1,78	0,41	3,08
1976 /77	0,44	1,54	0,77	2,59	0,02	0,70	0,06	0,34	0,22	2,85	0,98	1,29	0,24	1,79
1977 /78	0,42	1,48	0,18	0,60	0,03	1,34	0,02	0,13	0,02	0,26	0,23	0,30	0,07	0,50
1978 /79	0,49	1,70	0,27	0,90	0,04	1,56	0,14	0,76	0,08	0,99	0,20	0,26	0,09	0,68
1979 /80	0,43	1,49	0,34	1,15	0,02	1,00	0,07	0,35	0,13	1,75	0,44	0,58	0,13	0,97
1980 /81	0,41	1,42	0,37	1,25	0,04	1,66	0,07	0,37	0,30	3,94	0,60	0,79	0,11	0,85
1981 /82	0,46	1,61	0,30	1,00	0,03	1,50	0,13	0,65	0,30	3,84	0,75	0,98	0,26	1,97
1982 /83	0,83	2,89	0,58	1,95	0,03	1,47	0,37	1,92	0,22	2,87	1,07	1,41	0,16	1,16
1983 /84	0,42	1,48	0,16	0,55	0,04	1,66	0,01	0,06	0,34	4,44	0,45	0,59	0,16	1,18
1984 /85	0,41	1,43	0,70	2,34	0,02	0,72	0,07	0,37	0,37	4,79	0,19	0,25	0,37	2,75
1985 /86	0,33	1,15	0,35	1,19	0,01	0,49	0,02	0,11	0,22	2,79	0,52	0,68	0,16	1,17
1986 /87	*	*	0,36	1,20	0,01	0,50	0,02	0,09	0,38	4,87	0,46	0,60	0,15	1,12
1987 /88	*	*	0,06	0,20	0,01	0,47	0,04	0,21	0,12	1,50	0,10	0,13	0,02	0,17
1988 /89	*	*	0,31	1,03	0,01	0,30	0,12	0,63	0,09	1,11	0,31	0,41	0,07	0,55
1989 /90	*	*	1,20	4,03	0,01	0,45	0,18	0,97	0,27	3,53	1,34	1,76	0,39	2,88
1990 /91	*	*	0,45	1,52	0,01	0,57	0,03	0,13	0,27	3,48	0,91	1,19	0,42	3,13
1991 /92	*	*	0,50	1,68	0,01	0,51	0,04	0,18	0,26	3,42	1,11	1,46	0,40	3,01
1992 /93	*	*	0,36	1,21	0,01	0,29	0,01	0,04	0,14	1,78	0,37	0,49	0,18	1,32
1993 /94	*	*	0,08	0,26	0,01	0,32	0,01	0,08	0,10	1,35	0,11	0,15	0,04	0,33
1994 /95	*	*	0,15	0,49	0,01	0,50	0,02	0,08	0,10	1,25	0,42	0,55	0,05	0,39
1995 /96	*	*	0,90	3,03	0,01	0,58	0,17	0,87	0,45	5,80	2,30	3,01	0,32	2,38
1996 /97	*	*	0,08	0,26	0,01	0,38	0,03	0,14	0,10	1,34	0,09	0,11	0,01	0,04
1997 /98	*	*	0,26	0,88	0,01	0,44	0,15	0,79	0,32	4,16	0,74	0,98	0,21	1,54
1998 /99	*	*	0,14	0,46	0,02	0,87	0,06	0,31	0,09	1,20	0,29	0,38	0,09	0,68
1999 /00	*	*	0,75	2,54	0,03	1,24	0,08	0,41	0,73	9,44	0,69	0,91	0,19	1,45
2000/01	*	*	0,14	0,49	0,02	0,78	0,07	0,39	0,71	9,25	0,38	0,50	0,07	0,51
2001 /02	*	*	0,28	0,95	0,01	0,34	0,22	1,15	0,15	1,97	0,45	0,59	0,06	0,47
2002 /03	*	*	0,58	1,97	0,02	1,05	0,19	0,98	0,33	4,32	0,45	0,59	0,35	2,63
2003 /04	*	*	0,96	3,24	0,05	2,27	0,28	1,44	0,04	0,57	0,24	0,31	0,19	1,40
2004 /05	*	*	0,95	3,19	0,05	2,23	0,58	3,01	0,52	6,71	2,91	3,81	0,50	3,74
2005 /06	*	*	0,57	1,92	0,02	0,93	0,15	0,80	0,23	2,99	0,76	1,00	0,23	1,73
2006 /07	*	*	0,29	0,97	0,02	0,75	0,05	0,24	0,14	1,82	0,39	0,51	0,18	1,36
2007 /08	*	*	1,05	3,54	0,03	1,14	0,82	4,28	0,14	1,80	1,94	2,55	0,11	0,83
2008 /09	*	*	0,68	2,29	0,02	0,89	0,27	1,40	0,41	5,31	1,33	1,74	0,59	4,42
2009 /10	*	*	0,27	0,91	0,01	0,49	0,03	0,14	0,11	1,40	0,34	0,44	0,06	0,41
2010 /11	*	*	0,25	0,85	0,01	0,55	0,02	0,08	0,24	3,13	0,30	0,39	0,27	2,02
2011/12	*	*	0,29	0,98	0,02	0,84	0,04	0,23	0,15	1,98	0,34	0,45	0,15	1,11
Moy	0,37		0,52		0,02		0,16		0,25		0,75		0,24	
Max	0,83		1,75		0,06		0,89		0,73		2,91		0,83	
Min	0,10		0,06		0,01		0,01		0,02		0,09		0,01	
Ecart type	0,16		0,40		0,01		0,20		0,17		0,64		0,19	
Cv	0,44		0,76		0,63		1,27		0,66		0,86		0,78	
n>moy	10		17		18		13		18		13		16	
n<moy	7		25		24		29		24		29		26	
R	8,21		29,79		9,59		110,73		35,98		33,62		159,72	

R= Max/min : coefficient d'immodération ou d'irrégularité

II.1.3.2 Variabilité interannuelle de l'écoulement estimée selon les coefficients d'hydraulicité et de variation (C_v)

Le coefficient d'hydraulicité

Le coefficient d'hydraulicité est un indice hydrologique qui exprime la variabilité interannuelle de l'écoulement, c'est le rapport du débit d'une année particulière au débit moyen d'une longue série d'observation.

L'évolution de l'hydraulicité sur la période 1969/2011 est présentée par la figure V.8. Elle indique une forte variabilité interannuelle, témoin de l'irrégularité de l'écoulement de tous les oueds. Aussi, malgré un certain parallélisme d'ensemble de toutes les courbes, on relève de multiples discordances de détail qui témoignent des nuances spatiales de l'écoulement. Les hydraulicités annuelles de ces oueds subissent donc des variations concomitantes résultant de causes communes auxquelles se superposent d'autres variations dues à des causes propres à chaque sous bassin versant.

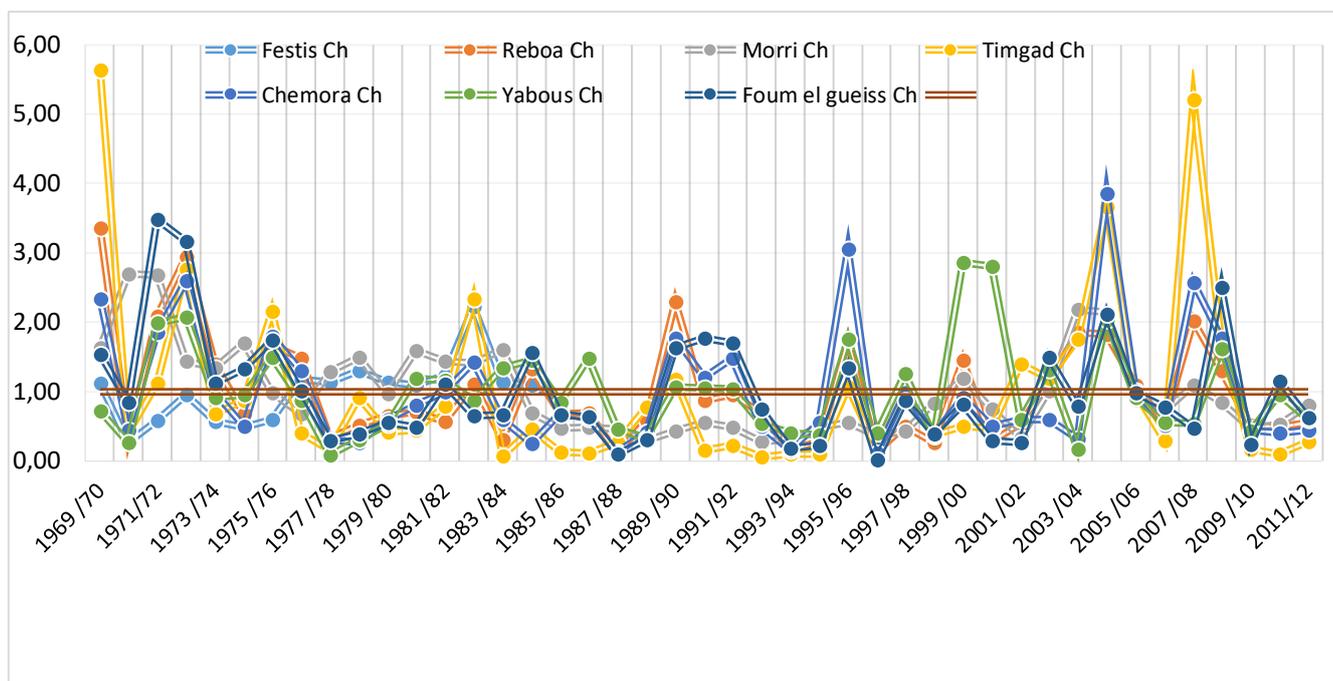


Figure V. 8: Evolution du coefficient d'hydraulicité 1969/70-2011/12

Il se dégage en premier lieu, des années hydrologiques déficitaires avec des taux se situant entre 53 et 72 %, dans les différentes stations et pour une période de 43 ans (1996/70 à 2012/13) confirmé par la tendance climatique observée pendant cette période (Chapitre IV). On note l'année 1972/73 apparait la plus abondante avec le coefficient d'hydraulicité (Ch) le plus élevé enregistré dans les cinq stations, alors que l'année 1987/88 est la plus déficitaire dans 60 % des stations analysées. 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.

Ce coefficient atteint des valeurs extrêmes durant les années les plus pluvieuses ce qui peut se traduire par de fortes crues. On relève ainsi le coefficient 2,86 pour l'année 1999/2000 au niveau de la station de Yabous et, 3,36 pour la station de Reboa durant l'année 1969/70. Nous notons aussi 2,70 pour la station de Morri durant l'année 1970/71 et 3,49 à la station de Foug el Gueiss pour l'année 1971/72. A la station de Timgad on enregistre 5,64 durant l'année 1969/70. Enfin, dans la station de Chemora et de Fesdis nous pouvons noter respectivement des coefficients de 3.86 (pour l'année 2004/05) et 2.22 (pour l'année 1982/83.).

Les valeurs de coefficient les plus faibles sont associées aux années les plus sèches et à fort déficit. On relève ainsi le coefficient 0.08 pour l'année 1977/78 au niveau de la station de Yabous et, 0.11 pour la station de Reboa durant l'année 1982/83 -1987/88. A Morri et Timgad on observe 0,28 et 0,05 (en 1992/93). Enfin, les valeurs de 0,02 et 0,11 ont été relevées en 1996/97 successivement à Foug el Gueiss et Chemora.

Les valeurs de l'hydraulicité (Tableau V.7) qui sont en majorité inférieures à la moyenne annuelle confirme l'hypothèse formulée au chapitre II quant à la tendance climatique "sèche" de ces deux dernières décennies. En effet, plus de 50% des années hydrologiques sont déficitaires. Certaines valeurs des modules annuels sont cependant élevées, elles résultent des fortes crues observées dans ces bassins durant la saison froide.

-Le coefficient de variation

Pour confirmer le caractère irrégulier de l'écoulement, le coefficient de variation (CV) est un bon indicateur.

L'analyse de l'irrégularité interannuelle de l'écoulement, peut être complétée par le coefficient de variation, c'est un paramètre statistique qui permet de mesurer la dispersion des modules particuliers autour de la moyenne globale et de comparer entre les 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).

Les résultats obtenus dans le tableau V.7 font apparaître un comportement hydrologique inattendu de certains oueds. Les plus fortes valeurs de CV sont enregistrées pour les oueds Soultz (1,71) et Foug el Gueiss (1,43) ; ceci peut être interprété par la surface restreinte de leur bassin versant, car un petit bassin est alimenté plus irrégulièrement d'une année à l'autre qu'un grand bassin ; l'effet compensateur de la distribution spatiale des averses s'y faisant moins sentir. Le CV le plus faible est enregistré sur l'oued Medher à cause de l'importance des zones d'inondation (sebkhas), l'épaisseur des alluvions, et la faible pente du cours de l'oued qui favorisent l'autorégulation de l'écoulement dans le cours même de l'oued.

Cette variabilité, forte dans l'ensemble, est liée à l'alimentation essentiellement pluviale des cours d'eau. Le faible apport des réserves en eaux souterraines accentue encore le phénomène d'autant plus qu'il s'agit d'une période climatique « sèche ».

Tableau V. 7: Valeurs de l'hydraulicité (Ch) et CV aux différentes stations (1969/70-2011/12)

Bassins	Medher		Oued Chemora						Geraet Annk Djemel		Oued Boulefreiss		Foum el Gueiss	
	Festis		Reboa		Morri		Timgad		Chemora		Yabous		Foum el Gueiss	
	Ch	CV	Ch	CV	Ch	CV	Ch	CV	Ch	CV	Ch	CV	Ch	CV
1969 /70	1,12	1,49	3,36	1,10	1,64	0,62	5,64	1,96	2,33	1,16	0,72	0,94	1,53	1,01
1970 /71	0,27	0,41	0,32	0,61	2,70	0,67	0,41	1,76	0,44	1,50	0,26	0,94	0,84	2,13
1971/72	0,59	0,69	2,09	0,90	2,68	1,04	1,12	1,55	1,85	0,99	2,00	1,01	3,49	1,54
1972 /73	0,95	0,84	2,94	0,98	1,44	1,70	2,76	1,01	2,59	0,98	2,08	1,47	3,16	1,16
1973 /74	0,56	0,34	1,40	0,75	1,34	0,56	0,68	0,86	0,98	1,01	0,92	1,10	1,13	1,17
1974 /75	0,48	0,18	0,68	1,05	1,70	0,87	0,88	0,56	0,50	1,01	0,96	1,53	1,32	1,35
1975 /76	0,60	0,23	1,67	0,88	0,98	1,06	2,15	1,33	1,80	0,98	1,50	1,35	1,74	1,11
1976 /77	1,18	0,17	1,48	0,66	0,67	0,75	0,41	0,97	1,30	0,78	0,87	0,72	1,01	0,98
1977 /78	1,14	0,25	0,34	0,90	1,28	0,92	0,16	1,40	0,31	1,04	0,08	0,60	0,29	2,17
1978 /79	1,30	0,29	0,51	0,53	1,50	0,69	0,92	2,15	0,26	2,47	0,30	1,54	0,39	1,80
1979 /80	1,14	0,30	0,65	2,38	0,96	0,90	0,42	2,83	0,59	2,07	0,53	1,28	0,55	1,79
1980 /81	1,09	0,31	0,71	1,27	1,59	0,43	0,45	1,11	0,80	0,95	1,19	1,35	0,48	1,59
1981 /82	1,24	0,47	0,57	1,06	1,44	2,49	0,79	1,55	0,99	1,20	1,16	1,00	1,11	1,58
1982 /83	2,22	1,56	1,11	1,88	1,41	0,25	2,34	2,85	1,42	1,79	0,87	1,53	0,66	2,52
1983 /84	1,13	0,64	0,31	1,66	1,60	2,43	0,07	1,85	0,60	1,73	1,35	2,21	0,66	1,80
1984 /85	1,10	0,30	1,33	1,13	0,70	2,08	0,45	2,92	0,25	3,46	1,45	0,88	1,56	1,22
1985 /86	0,88	0,40	0,68	1,63	0,47	1,23	0,13	1,53	0,69	1,34	0,85	0,96	0,66	1,63
1986 /87	/		0,69	0,83	0,48	0,40	0,11	2,08	0,61	0,95	1,48	0,69	0,63	0,90
1987 /88	/		0,11	1,82	0,46	1,46	0,26	1,29	0,13	1,76	0,45	0,60	0,10	1,76
1988 /89			0,59	0,94	0,29	2,01	0,77	2,52	0,41	1,08	0,34	0,92	0,31	1,29
1989 /90	/		2,30	0,87	0,43	1,14	1,17	1,83	1,78	1,08	1,07	1,03	1,63	1,00
1990 /91	/		0,87	1,35	0,55	1,10	0,16	1,18	1,21	1,40	1,06	1,20	1,77	1,39
1991 /92	/		0,96	1,35	0,49	2,00	0,22	1,47	1,47	1,44	1,04	1,58	1,70	1,75
1992 /93	/		0,69	1,07	0,28	2,27	0,05	1,05	0,49	1,15	0,54	2,03	0,75	1,40
1993 /94	/		0,15	1,18	0,31	0,46	0,09	2,20	0,15	1,21	0,41	1,38	0,19	1,43
1994 /95	/		0,28	1,72	0,48	1,06	0,10	3,14	0,55	1,28	0,38	1,30	0,22	1,44
1995 /96	/		1,73	1,98	0,56	0,42	1,06	1,37	3,05	1,31	1,76	1,57	1,35	1,73
1996 /97	/		0,15	0,60	0,37	2,90	0,17	2,35	0,11	1,79	0,41	2,62	0,02	1,74
1997 /98	/		0,50	1,24	0,43	0,20	0,96	1,64	0,99	1,62	1,26	1,75	0,87	1,23
1998 /99	/		0,26	1,47	0,83	0,91	0,37	2,20	0,38	1,70	0,36	1,00	0,38	1,57
1999 /00	/		1,45	1,93	1,19	0,84	0,50	1,59	0,92	1,05	2,86	0,66	0,82	1,07
2000/01	/		0,28	1,98	0,75	1,60	0,47	1,83	0,50	1,90	2,80	0,32	0,29	1,42
2001 /02	/		0,54	1,18	0,33	0,10	1,40	1,78	0,60	1,67	0,60	0,79	0,26	1,48
2002 /03	/		1,12	1,06	1,00	1,06	1,19	1,22	0,60	1,26	1,31	0,87	1,49	1,24
2003 /04	/		1,85	0,86	2,18	0,68	1,75	1,61	0,32	1,36	0,17	0,91	0,79	0,84
2004 /05	/		1,82	0,91	2,14	1,77	3,66	1,71	3,86	2,37	2,04	1,04	2,11	1,11
2005 /06	/		1,09	0,90	0,89	1,71	0,98	1,28	1,01	0,88	0,91	0,88	0,98	1,30
2006 /07	/		0,55	1,18	0,72	0,42	0,30	2,56	0,52	1,08	0,55	1,26	0,77	1,55
2007 /08	/		2,02	1,29	1,10	0,76	5,20	2,25	2,58	1,44	0,55	0,30	0,47	0,98
2008 /09	/		1,31	1,53	0,85	1,14	1,71	1,89	1,77	1,17	1,61	0,92	2,50	1,25
2009 /10	/		0,52	0,87	0,47	0,46	0,17	0,81	0,45	0,53	0,43	0,77	0,23	0,91
2010 /11	/		0,48	0,91	0,53	0,47	0,10	0,39	0,40	0,51	0,95	1,55	1,14	1,65
2011/12	/		0,56		0,80	0,55	0,28	2,26	0,45	0,59	0,60	1,21	0,63	1,47
moy		0,52		1,20		1,08		1,71		1,35		1,15		1,43

II.2 Les variations mensuelles des débits et leurs nuances spatiales

-Analyse de la variabilité mensuelle

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 leurs variations interannuelles ou inter-saisonnières. 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 (Guidoum, 2004).

Ces régimes peuvent être traduits par divers critères numériques et graphiques parmi lesquels on retiendra, principalement les coefficients mensuels de débits (C.M.D). Leur variabilité dans le temps sera cernée à partir du coefficient de variation, comme cela a déjà été le cas dans le cadre de l'étude de l'irrégularité inter-annuelle des modules. Ainsi, cette étude nous conduira à déterminer les disponibilités saisonnières en eau de surface du bassin et leur amplitude.

La variabilité mensuelle des débits se caractérise par la non concordance des maximas et des minimas entre les différents bassins versants : en effet les mois dont le débit est le plus faible ou plus fort ne sont pas les mêmes dans toutes les stations.

L'examen des figures V.9 ci-dessous, montrent que les régimes moyens de ces bassins à alimentation essentiellement pluviale ne comportent généralement que les maximas mensuels qui sont observés au mois de septembre et novembre (avec un débit plus important durant ce dernier mois). Ceci est en parfaite adéquation avec la saison pluviale du climat méditerranéen qui commence en automne. On note aussi une augmentation du débit en mars correspondant aux pluies orageuses qui affecte la région durant le printemps. Enfin, les minimas mensuels sont enregistrés en juillet-août lors de la saison sèche estivale.

Le débit moyen mensuel se caractérise par un minimum correspond au mois de juillet 0,1 m³/s à Foug El Gueiss, 0,008 m³/s à Morri et 0,076 m³/s à Timgad, et un maximum situé en Novembre pour Foug El Gueiss 0,92 m³/s et Fesdis 0,91 m³/s, alors que les autres stations enregistrent un maximum au mois de Mars, le grand débit moyen mensuel est enregistré à Chemora de 1,88 m³/s toujours au mois de Mars.



Figure V. 9: Variations des débits moyens mensuels des oueds

-La variabilité mensuelle estimée selon le coefficient de variation et l'écart-type

L'irrégularité mensuelle et saisonnière des débits (Tableau V.8) est estimée à travers les valeurs calculées du Cv pour les différentes stations et pour les différents mois de l'année. Le coefficient de variation et l'écart-type permettent de saisir les fluctuations des modules dans le temps.

Les valeurs des coefficients de variations mensuels des bassins varient entre 0,66 et 3,97. Ces coefficients atteignent un maximum en automne et en été (Foum El Gueiss - 2,76 - et Reboa 2,58 en Août ; Chemora 2,35 en Novembre). (Tableau V.8, figure V.10)

La variabilité inter mensuelle des débits est accentuée, elle reflète dans l'ensemble une pluviosité irrégulière qui tombe sous forme d'averses intenses engendrant des crues brutales et localisées (caractère du climat méditerranéen).

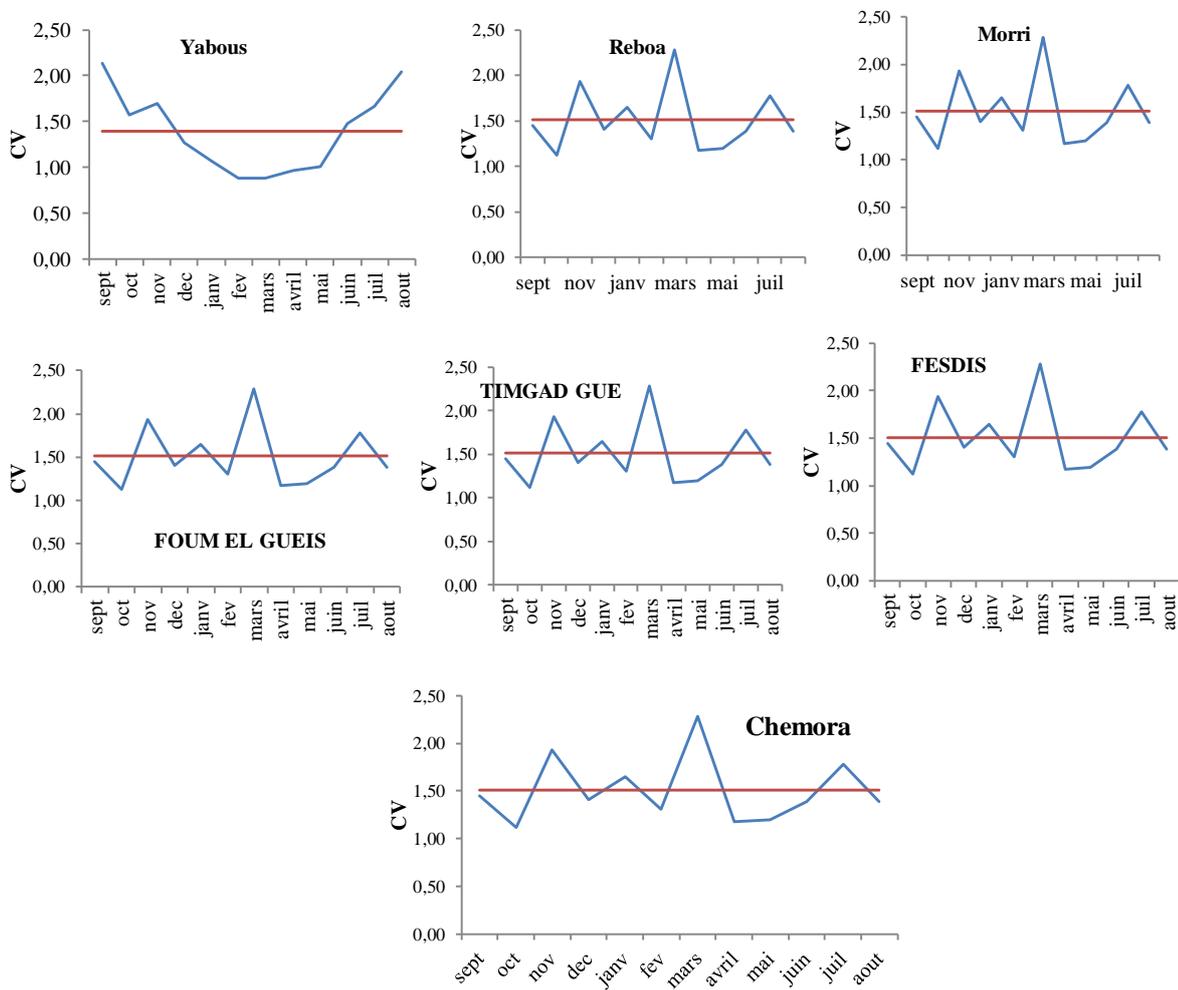


Figure V. 10: Variations mensuelles du coefficient de variation des bassins versants

L'analyse à titre indicatif de l'évolution des débits mensuels des six oueds représentatifs de la zone d'étude, sur une période de 43 ans successifs (1969/70-2011/12), (figure V.11), montre que les maximas peuvent s'observer à n'importe quel mois de l'année sauf en Juillet et Août. Ces deux derniers mois connaissent certes des débits bas, 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 de Décembre à Mai caractérisant ainsi le régime fluvial méditerranéen. Néanmoins, il est intéressant de remarquer que le maximum à Chemora 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 de l'été et du début d'automne caractérisant le versant Nord des Aurès.

L'évolution interannuelle de l'écoulement se caractérise donc par une grande variabilité spatio-temporelle, et une grande irrégularité.

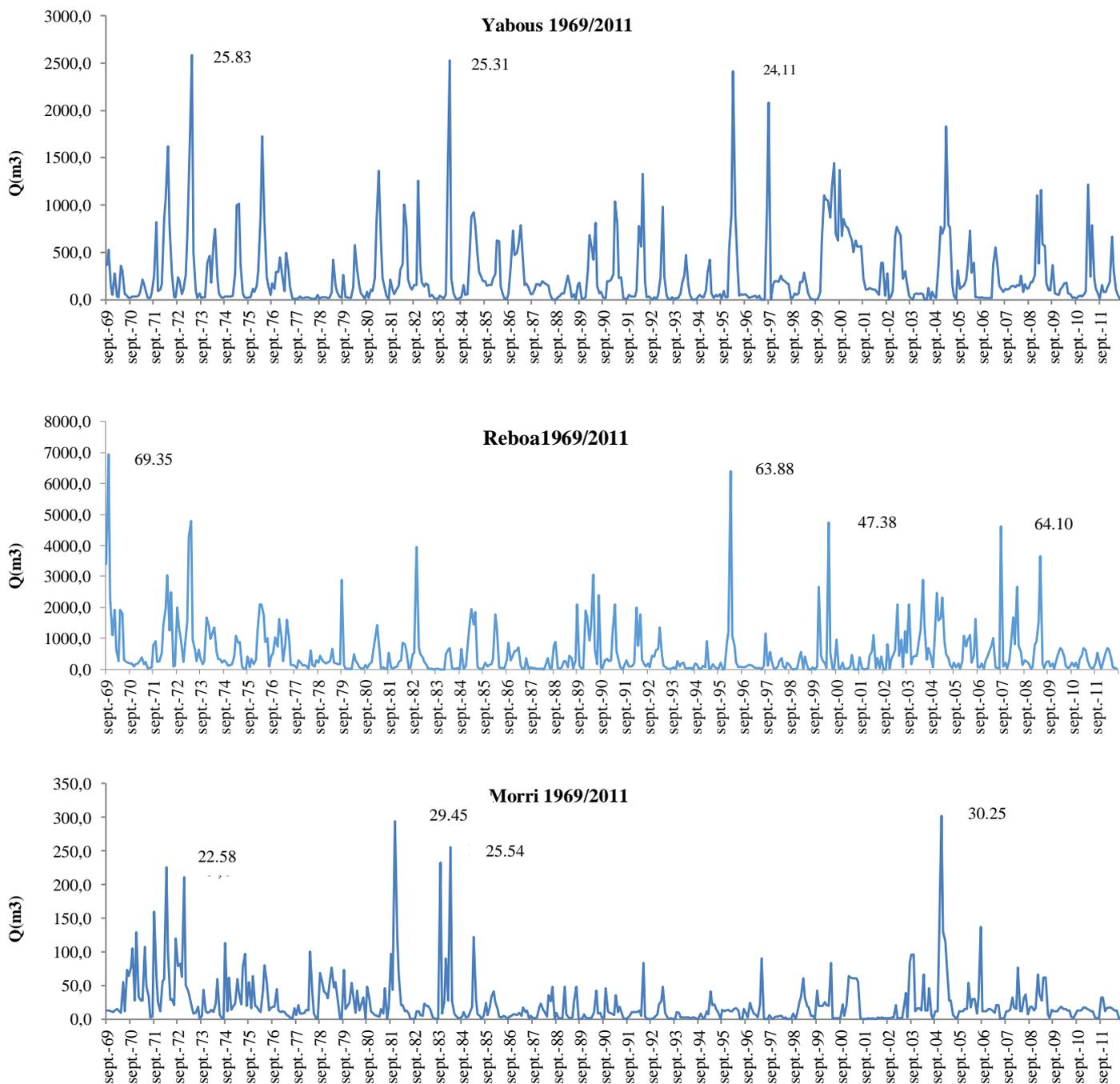


Figure V. 11: Variations mensuelles des débits

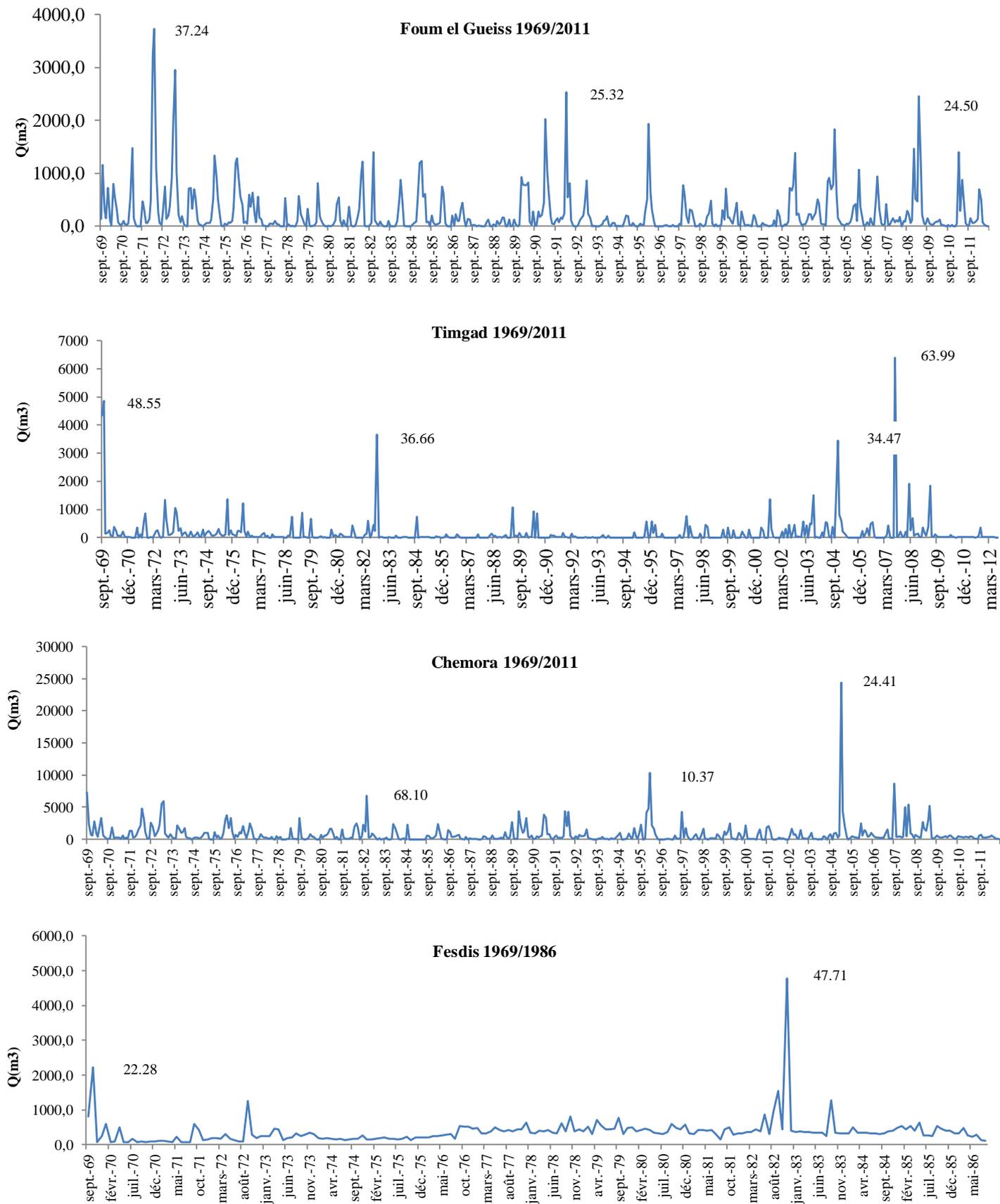


Figure V.11 (suite) : Variations mensuelles des débits

Tableau V. 8: Moyenne, Écart-type, Coefficient de variation et coefficient mensuel des débits

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année	
Yabous (1970/2012)														
Q (m3/s)	0,17	0,11	0,14	0,15	0,25	0,35	0,68	0,52	0,33	0,16	0,09	0,09	0,25	
CMD	0,65	0,44	0,57	0,60	1,00	1,42	2,73	2,09	1,32	0,63	0,35	0,36		
σ	0,37	0,17	0,24	0,19	0,27	0,31	0,60	0,51	0,33	0,23	0,14	0,19		0,30
CV	2,13	1,57	1,69	1,27	1,07	0,88	0,88	0,97	1,00	1,47	1,66	2,04		
MAX	2,08	0,82	1,26	0,78	1,10	1,11	2,53	2,58	1,33	1,44	0,70	0,96		1,39
MIN	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Reboa (1970/2012)														
Q (m3/s)	0,60	0,44	0,36	0,32	0,43	0,59	1,02	0,90	0,91	0,34	0,12	0,23	0,52	
CMD	1,14	0,84	0,68	0,62	0,83	1,14	1,96	1,73	1,74	0,65	0,23	0,43		
σ	0,98	1,10	0,69	0,60	0,51	0,49	1,17	0,93	1,09	0,46	0,19	0,47		0,72
CV	1,64	2,51	1,95	1,84	1,19	0,82	1,15	1,04	1,20	1,36	1,54	2,06		
MAX	4,61	6,94	3,94	2,67	1,93	1,71	6,39	4,78	4,74	2,48	1,00	2,40		1,52
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Morri (1970/2012)														
Q (m3/s)	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	
CMD	1,14	1,14	1,08	1,31	1,15	0,99	1,55	1,14	1,09	0,65	0,43	0,55		
σ	0,04	0,04	0,05	0,06	0,03	0,02	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03		0,03
CV	1,40	1,56	1,92	1,92	1,01	0,98	1,49	1,05	0,96	1,25	2,03	2,44		
MAX	0,16	0,23	0,29	0,30	0,13	0,12	0,26	0,11	0,09	0,08	0,10	0,14		1,50
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
FOUMEL GUEIS (1970/2012)														
Q (m3/s)	0,09	0,10	0,14	0,14	0,23	0,29	0,73	0,59	0,34	0,14	0,04	0,04	0,24	
CMD	0,39	0,40	0,57	0,57	0,98	1,23	3,06	2,47	1,43	0,58	0,19	0,15		
σ	0,13	0,21	0,28	0,21	0,31	0,28	0,77	0,79	0,39	0,15	0,07	0,09		0,31
CV	1,39	2,23	2,04	1,56	1,33	0,95	1,05	1,34	1,15	1,12	1,66	2,56		
MAX	0,46	1,16	1,39	0,92	1,46	1,20	3,24	3,72	1,22	0,55	0,41	0,53		1,53
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
TIMGAD GUE (1970/2012)														
Q (m3/s)	0,50	0,28	0,16	0,12	0,07	0,05	0,09	0,13	0,23	0,11	0,08	0,07	0,16	
CMD	3,19	1,79	1,05	0,75	0,43	0,30	0,55	0,83	1,49	0,73	0,49	0,44		
σ	1,17	0,78	0,59	0,52	0,16	0,10	0,18	0,22	0,43	0,23	0,18	0,14		0,39
CV	2,32	2,77	3,57	4,46	2,34	2,21	2,06	1,66	1,85	1,99	2,36	2,03		
MAX	6,40	4,86	3,67	3,45	0,82	0,60	1,06	0,90	1,92	1,21	0,86	0,55		2,47
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
CHEMORA (1970/2012)														
Q (m3/s)	1,23	0,59	0,56	0,36	0,63	0,72	1,78	1,21	1,17	0,46	0,13	0,18	0,75	
CMD	1,64	0,78	0,75	0,48	0,84	0,96	2,36	1,61	1,56	0,61	0,18	0,24		
σ	1,78	0,66	1,09	0,50	1,05	0,94	4,06	1,42	1,41	0,64	0,24	0,25		1,17
CV	1,45	1,12	1,94	1,40	1,65	1,31	2,28	1,17	1,20	1,39	1,78	1,39		
MAX	8,61	2,31	6,81	2,45	4,35	4,79	24,42	5,96	5,44	3,33	1,16	0,96		1,51
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
FESDIS (1970/1986)														
Q (m3/s)	0,60	0,49	0,57	0,35	0,32	0,30	0,32	0,36	0,31	0,30	0,25	0,29	0,37	
CMD	1,61	1,31	1,54	0,94	0,87	0,80	0,86	0,96	0,84	0,81	0,67	0,78		
σ	0,42	0,48	1,09	0,16	0,13	0,13	0,14	0,14	0,16	0,19	0,11	0,23		0,28
CV	0,69	0,98	1,90	0,45	0,41	0,43	0,43	0,40	0,50	0,61	0,43	0,79		
MAX	1,55	2,23	4,77	0,63	0,60	0,51	0,53	0,70	0,63	0,86	0,44	0,94		0,67
MIN	0,09	0,08	0,07	0,08	0,12	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07		

Q : débit moyen (m3/s), *CMD* : coefficient mensuel de débit, *MAX* : débit maximum du mois,
MIN : débit minimum du mois, σ : écart type, *CV* : coefficient de variation

II.2.1 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 débits très différents et aux bassins versants de taille différente.

Le CMD est le rapport des débits moyens mensuels au module annuel moyen de la période considérée. Les mois dont le CMD est supérieur à 1 représentent la ou les périodes dites de hautes eaux, et les mois dont le CMD est inférieur à 1 représentent la ou les périodes dites de basses eaux.

Le calcul du CMD pour différents stations (figure V.12) permet de cerner quelques aspects du régime de ces oueds.

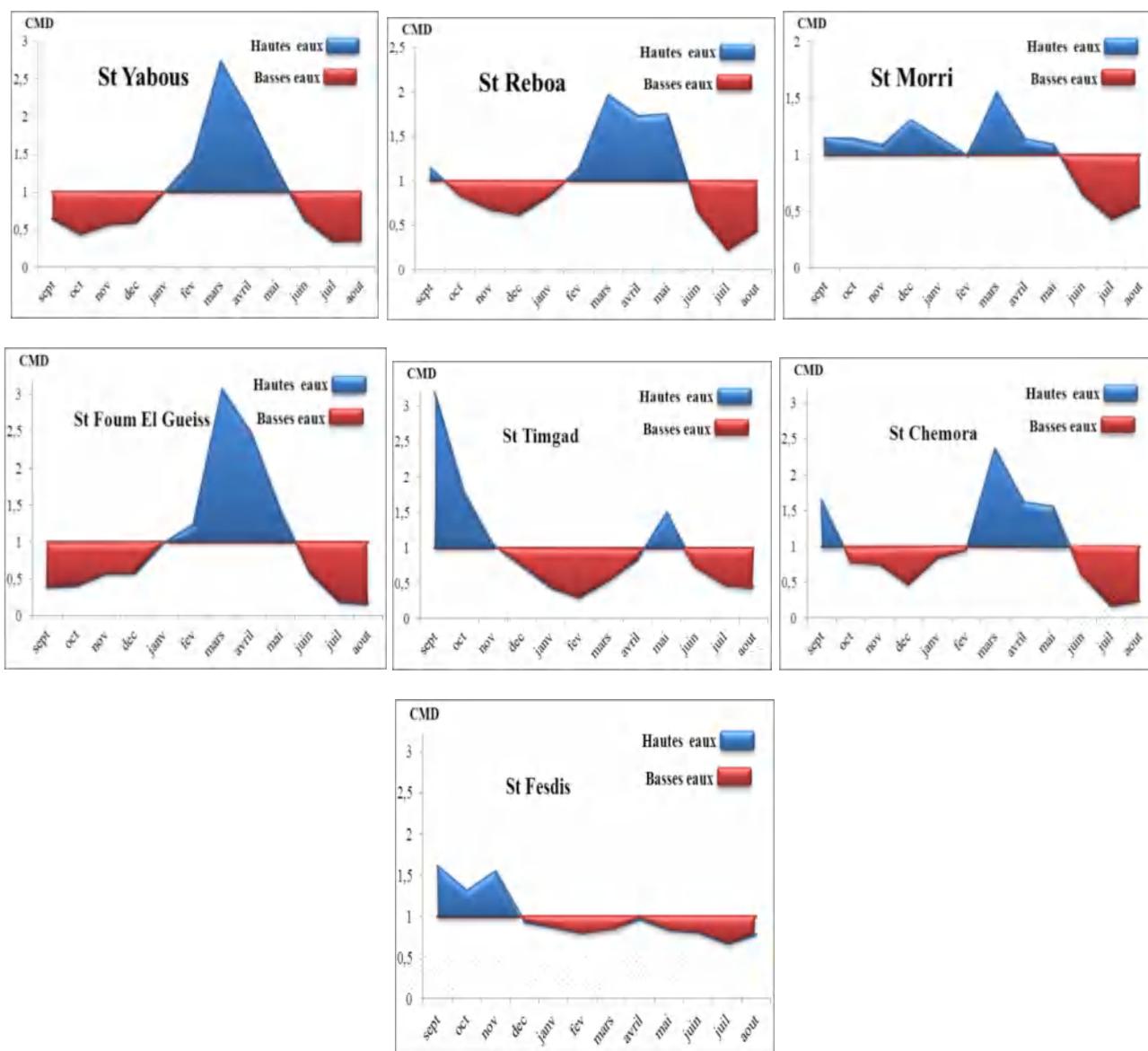


Figure V. 12: Courbe des coefficients moyens mensuels de débits

Le régime moyen des oueds au niveau des stations considérées comporte une période de hautes eaux et une, de basses eaux :

Pour les oueds Boulefreiss, Reboa et Gueiss, les hautes eaux ont lieu de Janvier à Mai. Le mois de Septembre présente une période des hautes eaux en raison des fortes pluies du début de l'année hydrologique. et une période de basses eaux de Juin à Décembre.

Pour l'Oued Morri, la période de hautes eaux intervient entre Septembre et Mai à cause de la faible déclivité de l'oued, et la superficie 22.5 km² de drainage. La période de basses eaux est enregistrée au cours de trois derniers mois de l'année hydrologique, juin, juillet, et août

Pour l'Oued Medher, la période de hautes eaux est illustrée au cours de trois premiers mois de l'année hydrologique : Septembre, Octobre et Novembre à cause des fortes crues d'Automne qui peuvent produire des débits moyens mensuels très importants atteint 1.61 m³/s.

Pour l'oued Soultez, la période de hautes eaux apparait en deux périodes (Septembre, Octobre et durant le mois de Mai). La période des basses eaux se produit quant à elle de Novembre à Mars et de Juin à Août.

Pour l'Oued Chemora, les hautes eaux sont signalées généralement entre février et Juin, et parfois, au mois de Septembre en raison des pluies orageuses. Le retard de la réponse de bassin de cette période des hautes eaux est exprimé par la réponse de la confluence entre cet oued et ses affluents de même qu'il est dû à la forte étendue de la superficie drainée.

L'approche classique des régimes est basée sur la moyenne annuelle des débits, or cette dernière ne reflète pas souvent la réalité de l'écoulement des oueds, notamment en milieu semi-aride dont la caractéristique principale est l'irrégularité saisonnière. Afin de pallier à ces insuffisances, une méthode géographique pour l'étude des régimes a été mise au point par R. Lambert, (Nemouchi, 2001), basée essentiellement sur le débit journalier

- La variabilité mensuelle estimée selon l'approche géographique des régimes des oueds : R. Lambert

Cette méthode tient compte de l'évolution de débits journaliers (hydrogramme) d'une année réelle située par rapport à une longue série d'observation, et des données pluviométriques (diagramme ombrothermique) de la même année.

Le régime se définit par quatre types de paramètres :

- L'abondance moyenne qui représente la lame d'eau écoulée annuellement,
- L'évolution des débits quotidiens au cours de l'année et la limite des saisons hydrologiques.

- La pondération ou l'excessivité du régime qui dépend de la structure hydrologique du bassin versant
- La variabilité inter annuelle de l'écoulement qui commande la régularité ou l'irrégularité du régime.

Le principe de la méthode et les règles d'emploi sont les suivantes :

- On représente graphiquement en échelle logarithmique l'évolution des débits journaliers avec en ordonnée le débit, absolu (m^3/s), spécifique ($l/s/km^2$), et en (mm) et 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 utilisé la méthode géographique, pour une station représentative Chemora, de l'année humide 1972/73 et l'année sèche 1987/88.

Oued Chemora

Le régime de l'Oued Chemora est illustré par les figures V.13 et V.14 qui présentent l'hydrogramme de l'année 1972/73. L'abondance moyenne est de $2,75m^3/s$, alors que le module est de $0,71m^3/s$. C'est une année de forte hydraulité ($Ch= 3,89$). 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, elles 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 4 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 hausse continue 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, le maximum de 33,7 m³/s se situe 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)**, elle 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 augmente périodiquement le débit de l'oued.
- **La deuxième (Eté-Automne)**, elle s'étend de Juin 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.

L'analyse de l'année déficitaire 1987/88 (Ch=0,12) illustrée par la figure V14 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 dû à la structure lithologique dans le nord qui est perméables. Dans cette zone, la déclivité est atténuée et le déficit hydrique est prolongé ce qui diminue l'intensité des crues et engendre de longs processus de tarissement.

En somme, les oueds des Aurès comme tous les oueds Algériens subissent des variations journalières importantes. Ces variations que nous venons de voir ne sont pas toujours généralisables sur le plan géographique. Il peut y avoir opposition entre les bassins de la zone d'étude au sein d'une même année.

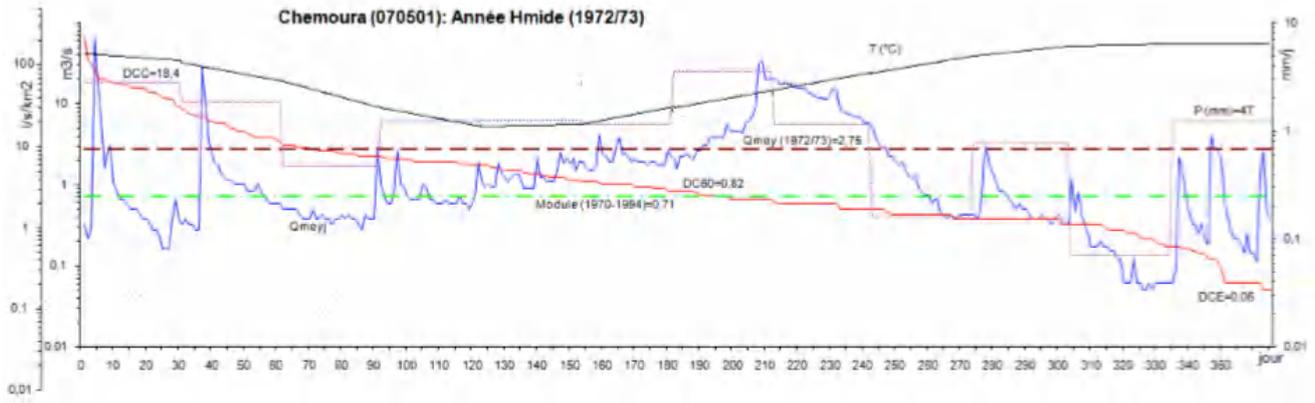


Figure V. 13: Application de l'Approche géographique des régimes d'oued Chemora pendant l'année humide 1972/73

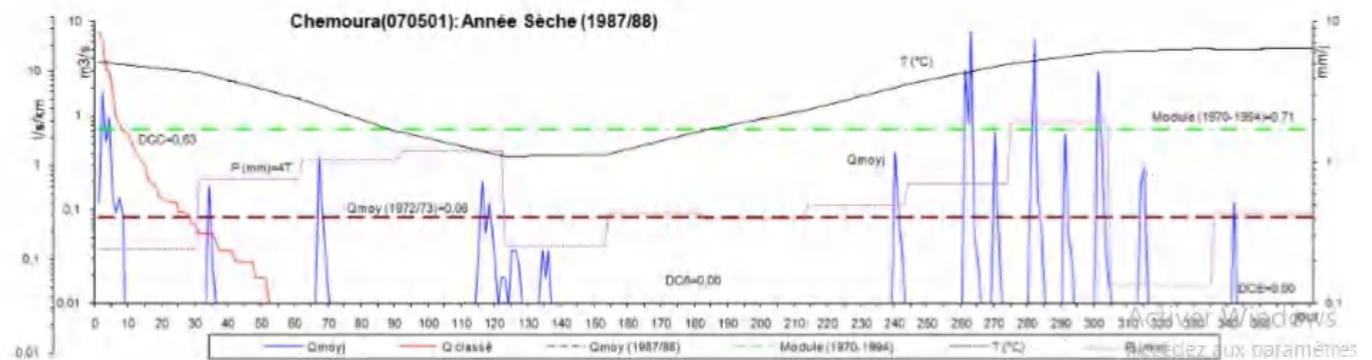


Figure V. 14: Application de l'Approche géographique des régimes d'oued Chemora pendant l'année sèche 1987/88

II.2.2 Quelles sont les conséquences hydrologiques de tels régimes ?

Le rythme de l'écoulement des oueds étudiés a influé sur le régime d'alimentation des nappes phréatiques et des lacs salés (Sebkha, Garâ, Chott). Cet impact est plus perceptible dans la partie aval constituant 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. 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 s'affaiblit, 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 à travers le développement de l'irrigation par dérivation des eaux pérennes ou par épandage des crues. En effet, des étendues de céréales, de cultures maraîchères, et d'arbres fruitiers sont irriguées par les eaux pérennes et celles des crues, mais ces dernières sont souvent plus dévastatrices que bénéfiques.

Les barrages comme celui de Foum El Gueiss érigés dans la région devraient permettre une régularisation de l'écoulement de ces oueds, et le développement d'une irrigation moderne et efficiente.

Conclusion

En dépit de données de débits incomplètes, particulièrement pour les bassins de Fesdis et Gueiss, nous avons pu néanmoins, dégager les grands traits du régime d'écoulement de notre région d'étude. L'analyse 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 l'Aurès.

Les séries de débits mesurés et homogénéisés 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 faire une comparaison bassin par bassin et de faire apparaître les zones plus homogènes.

Ces débits annuels moyens n'ont cependant qu'une signification théorique, en raison de la forte variabilité interannuelle de l'écoulement mis en lumière par les valeurs de l'hydraulicité et des coefficients d'immodération et de variation, ainsi que par les résultats des estimations fréquentielles.

Les ressources en eau superficielle dans la région d'étude des 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 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. 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 dans un milieu continental caractérisé par une grande amplitude de l'hydraulicité. 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 étudié 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 : APPORT DE LA COHERENCE
PAR ONDELETTES CONTINUES POUR
DETERMINER LES LIENS LES PLUIES ET LES
DEBITS**

Introduction

Le climat varie en raison de facteurs astronomiques (rayonnement solaire, atmosphère) (Christoph *et al.*, 2004), et de facteurs géographiques (topographie, océan) (Bigot *et al.*, 2005). Dans des études récentes notamment celle du Groupe d'Experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (2013), l'impact des changements climatiques aura pour effet l'élévation du niveau de la mer, une plus grande désertification (Seguin, 2010, Puigdefabregas et Mendizabal, 1997), la diminution des ressources de la biodiversité et d'eau douce (Middelkoop *et al.*, 2001, Hadria *et al.*, 2005, Greene et Pershing, 2000; Parsons et Lear, 2001; Lomas et Bates, 2004), et l'accentuation des phénomènes hydrologiques extrêmes tels que les inondations et les sécheresses (Boukrin, 2011, Salama and Tahiri, 2010).

Dans ce chapitre, notre étude vise à analyser la variabilité climatique au niveau de la région d'étude et à comprendre son impact sur les ressources en eau superficielle des bassins versants grâce à l'analyse de séries chronologiques (précipitations, débits) en relation avec les fluctuations climatiques (représentées par des indices climatiques tels que la NAO et MO «expliqué dans le chapitre I »).

Ce travail concerne les quatre bassins versants (Madher, Chemora, Boulefreiss et Gueiss). Afin de mieux comprendre l'évolution temporelle (du long au court terme) de la variabilité hydrologique dans la région d'étude nous utilisons la transformée en ondelettes continues afin de pouvoir distinguer les éventuelles périodicités, ruptures ou discontinuités temporelles susceptibles d'affecter les séries de débits et de précipitations, signaux probablement très instationnaires. Les spectres en ondelettes sont réalisés sur des signaux débarrassés de leur tendance, et montrent la distribution de la puissance du signal au cours de la période d'étude.

Pour décrire correctement ces fluctuations, il est donc nécessaire d'identifier des pics d'énergies ou des bandes d'énergie recouvrant certaines échelles de temps, ce qu'autorise-la transformée en ondelettes. Cette méthode constitue donc un outil particulièrement adapté à l'étude des variables non-stationnaires, comme les paramètres climatiques ou hydrologiques.

Les analyses en ondelettes continues sont donc ici utilisées pour identifier les principaux modes de variabilité des débits et des précipitations au niveau des bassins et pour détecter d'éventuelles ruptures temporelles dans la structuration de cette variabilité.

Tableau VI. 1: Les stations pluviométriques et hydrométriques choisies

Station	Bv. Madher	Bv. Chemora			Bv. Boulefreiss	Bv. F.Gueiss
		Bv. Morri	Bv. Reboa	Bv. Timgad		
Pluie	Batna	Timgad	Reboa	Timgad	Yabous	F.Gueiss
Débit	Fesdis	Morri	Reboa	Timgad	Yabous	F.Gueiss

I. DETERMINATION DES MODES DE VARIABILITES PLUVIOMETRIQUES

Plusieurs bandes d'énergie peuvent être distingués sur le spectre d'ondelettes locales (figure VI.1). On relève ainsi :

Une bande de 1 an, L'intensité du signal dépend de la variabilité pluviométrique. Lorsque le signal est continu et ne présente pas de discontinuité, la variabilité saisonnière est bien marquée. En période sèche des discontinuités apparaissent.

La baisse de fréquence est particulièrement observée dans le bassin du Foug el Gueiss et du Medher. Ce phénomène est moins apparent dans le bassin de Reboa et du Timgad, qui est marqué par plusieurs ruptures, une forte atténuation du cycle annuel est identifiée approximativement entre 1980 et la fin de la décennie 1990, dans la station considérée, sauf la station Yabous dans le Sud, le cycle annuel apparaît mal structuré et moins puissant.

Une bande de 2-4 ans qui apparaît au courant de la période 1990 - 2000 dans les stations de Medher et de Foug el Gueiss ; vers 1970 dans la station de Reboa et Yabous et vers l'année 1980 à la station de Timgad.

Cette bande semble changer vers **une bande de 4-8 ans** dans la station de Foug el Gueiss et Timgad autour de la décennie 1990.

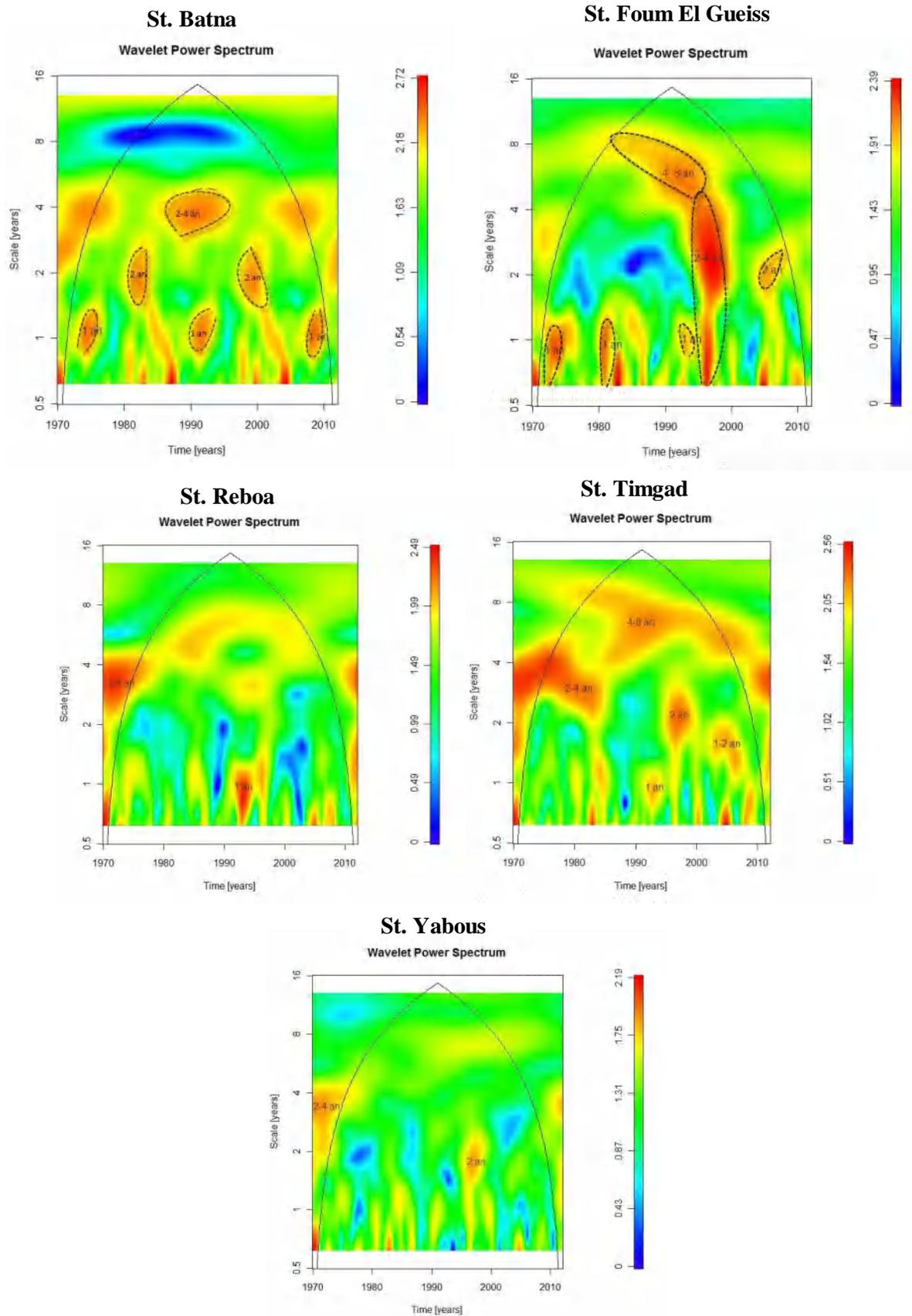


Figure VI. 1: Spectres de l'analyse en ondelettes continues des précipitations

II. DETERMINATION DES MODES DE VARIABILITES HYDROLOGIQUES

Les analyses en ondelettes continues sont donc ici utilisées pour identifier les principaux modes de variabilité des débits des zones d'études afin de détecter d'éventuelles ruptures temporelles dans la structuration de cette variabilité.

La réalisation des spectres en ondelettes continues des chroniques de débits permet de déterminer l'organisation et la structure des signaux (Labat 2006, Massei *et al.* 2007). Les spectres en ondelettes sont réalisés sur des signaux débarrassés de leur tendance, et montrent la distribution de la puissance du signal au cours de la période d'étude.

Le spectre d'ondelettes des débits dans les bassins versant étudiés (figure VI.2) présente plusieurs bandes de fréquences, de l'annuelle aux fréquences interannuelles fortement puissantes. Nous identifions :

Une bande annuelle qui correspond au cycle hydrologique ; l'alternance saisonnière dans ce cas est légèrement exprimée, des spots de forte puissance sont identifiés en 1970 et 1995 à Foum el Gueiss, en 1970 à Timgad et à Yabous, en 1973, 1985, 1995, 2005. **Une bande de 1-2 ans** est détectée aux stations de Timgad et Morri vers 2005.

Une bande de 2-4 ans qui a une forte puissance est identifiée dans les années 1970 et 2011 aux stations du Reboa et de Timgad, autour les années 2000 à Yabous et en 1985 à Morri.

Une bande de 4 ans, caractérise clairement la station de Fesdis en 1985 et 2000 ; celles de Morri en 2005, de Reboa en 2012 et de Yabous en 1975

Une bande 4-8 ans dont la structure est puissante ; elle ne se produit qu'à Yabous autour de 2000.

Une dernière bande de basse fréquence **de 8-16 ans** est identifiée uniquement dans le bassin de Yabous et Morri, Cette bande se situe entre 1970/ 1985 et 2005 /2012 dans le bassin (Morri), et tout au long de la période d'étude dans le bassin (Yabous).

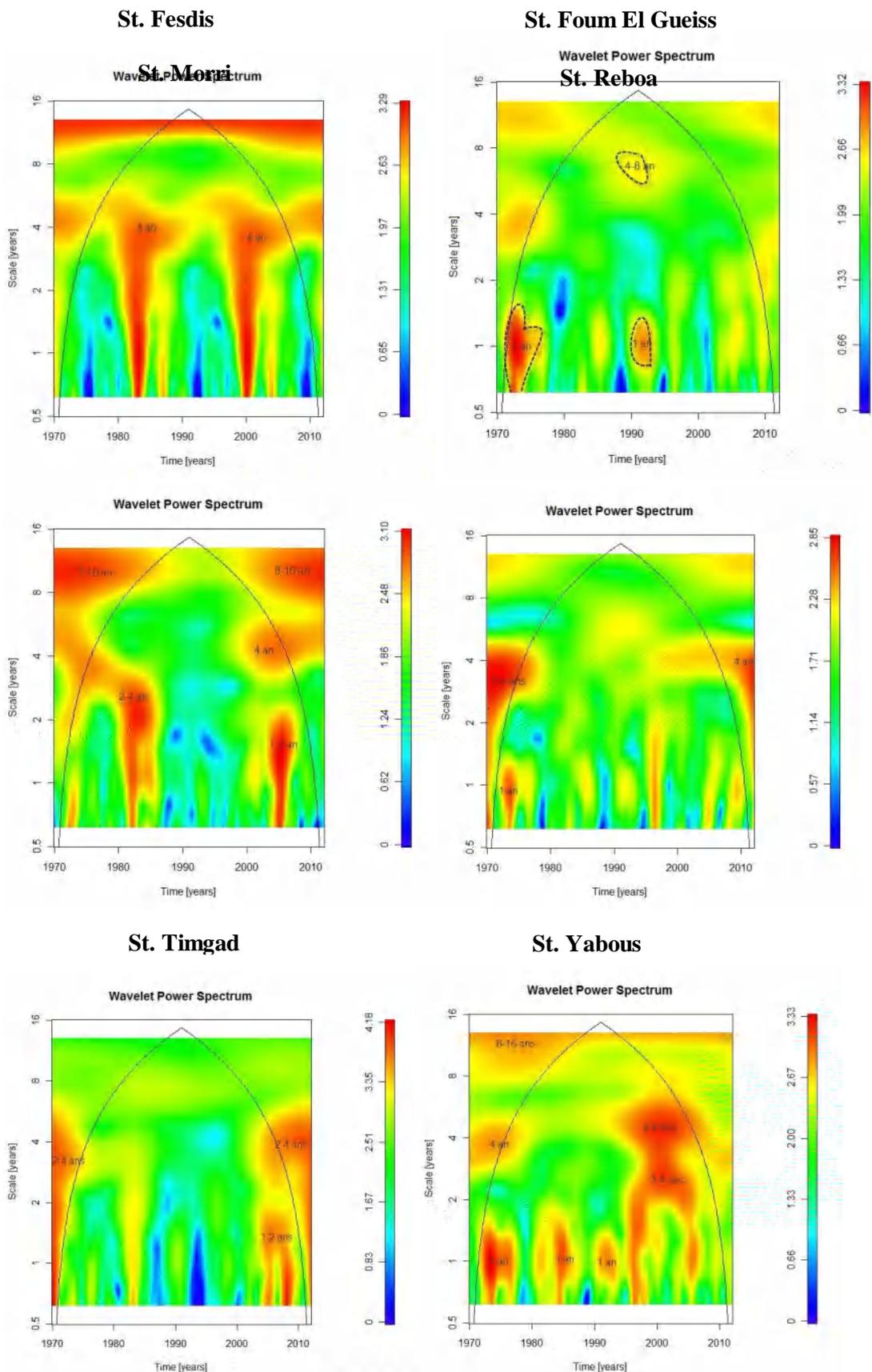


Figure VI. 2: Spectres de l'analyse en ondelettes continues la variabilité hydrologique

III. RELATION ENTRE LES MODES DE VARIABILITE DES DEBITS ET DES PLUIES

Afin de déterminer l'origine de la structuration de la variabilité des débits, les principaux modes de variabilité observés sont en première approche, comparés à ceux observés dans les précipitations. Cette comparaison dont le but est de permettre dans un premier temps de savoir si les modes observés sont soit d'origine climatique, ou d'origine interne liée aux conditions propres des bassins versants (milieu physique).

La caractérisation et l'identification par la méthode des ondelettes des principaux modes de variabilité des pluies et débits, permettra donc de comparer la structuration de la variabilité des précipitations avec celle des débits.

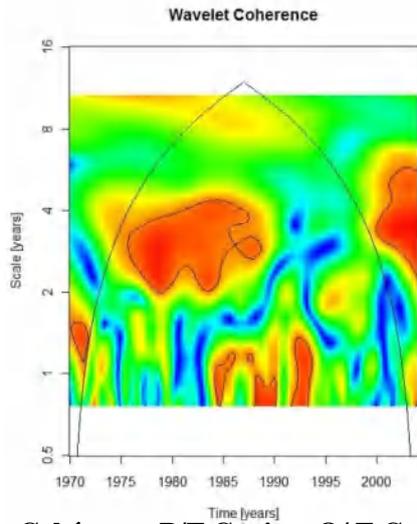
Les résultats issus des analyses en ondelettes continues ont montré certaines relations existantes entre les modes observés dans les débits et les précipitations sur la zone d'étude avec toutefois des différences.

Il serait intéressant de pouvoir caractériser plus précisément la variabilité commune (ou différente) entre ces deux paramètres, et surtout de pouvoir estimer l'impact des modes de variabilité des précipitations sur la variabilité des débits. En ce sens, l'analyse de la cohérence par ondelettes permet de caractériser le degré de linéarité entre deux processus, suivant les différents niveaux d'échelles, au cours du temps.

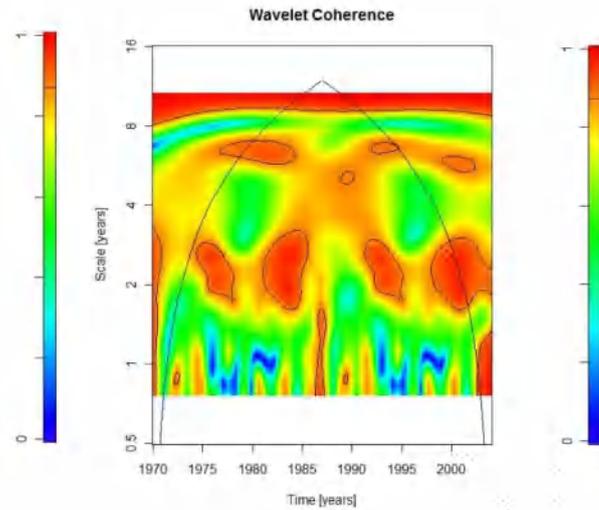
Pour chaque station des bassins, l'analyse de la cohérence existant entre la variabilité des débits et des précipitations est proposée sur la figure VI.3.

La variabilité des débits montre globalement une forte cohérence avec les précipitations, observées essentiellement Foug el Gueiss et Yabous plus précise sur la bande annuelle 2-4 ans.

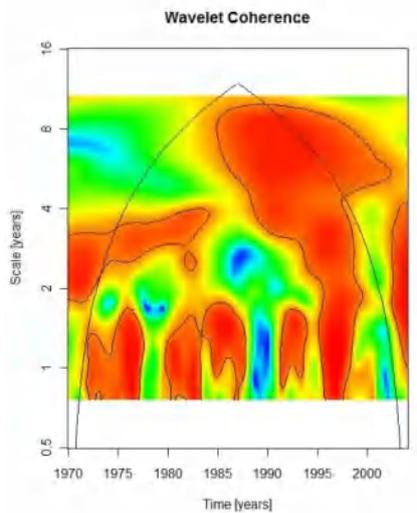
Cohérence P/Timgad –Q/Morri



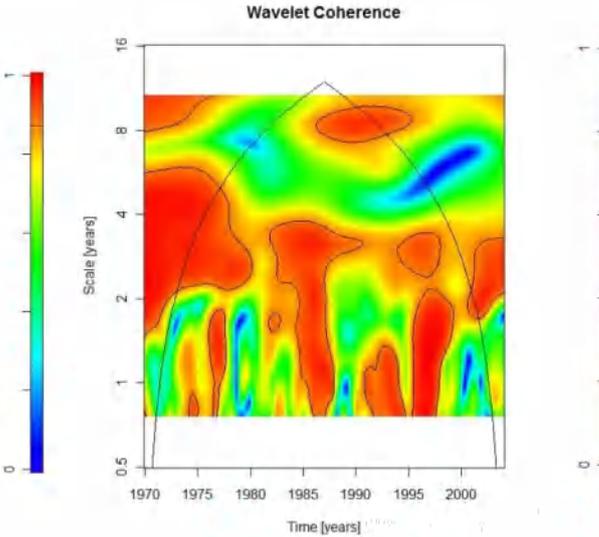
Cohérence P/ Batna–Q/Fesdis



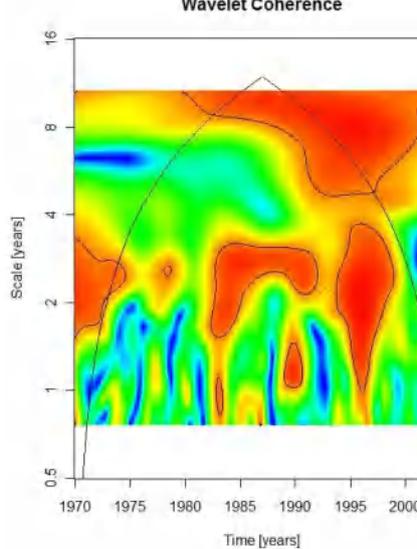
Cohérence P/F.Gueiss –Q/ F.Gueiss



Cohérence P/Reboa –Q/ Reboa



Cohérence P/Timgad –Q/Timgad



Cohérence P/Yabous –Q/Yabous

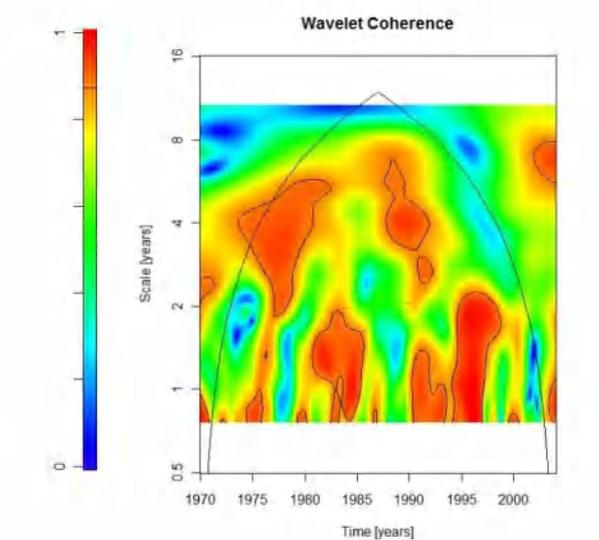


Figure VI. 3: Spectres locaux de l'analyse de la cohérence des débits/précipitations par ondelettes sur les principales stations des bassins d'étude

On notera toutefois des pertes de cohérences (signifiées en bleu sur les spectres) aux échelles interannuelles, observées à Morri (début des années 1996 la fin de 2010). Chaque station présente une variabilité différente de l'autre, liée peut-être à sa position géographique au niveau de la région. A la station de Morri et Timgad, la cohérence présente une certaine diminution mais de façon moins marquée que pour les autre (la cohérence reste à un niveau >50%, en vert sur les spectres). Ces pertes (ou diminutions) de cohérence peuvent être dues aux données choisies elles-mêmes, ou dues à d'autres facteurs d'origine diverse (physiographie des bassins, impact anthropique, autres composantes du cycle de l'eau, autres facteurs climatiques...).

Il sera donc nécessaire d'approfondir ces résultats ultérieurement afin de déterminer l'origine de ces différences. La forte cohérence observée entre la variabilité des débits et des précipitations suggère une influence de la variabilité du climat sur la réponse hydrologique de la région d'étude.

Cette influence peut être estimée globalement en calculant la cohérence moyenne débits/précipitations sur la période de temps (tableau VI.2)

Tableau VI. 2: Quantification des relations entre débits et précipitations à l'échelle du bassin versant

Bassins	Cohérence P/Q
Bv. Madher	70.9 %
Bv. Morri	60.7 %
Bv. Reboa	74.5 %
Bv. Timgad	61 %
Bv. Boulefreiss	72.8 %
Bv. F.Gueiss	76.7 %

Les résultats indiquent qu'il existe une très forte cohérence entre la variabilité des débits et les précipitations dans le bassin de Foum el Gueiss et Reboa, allant de 76.7% et 74.5% respectivement. Le bassin de Morri et Timgad enregistre des cohérences plus faibles avec un minimum de 60.7% et 61 %. Malgré les pertes de cohérences ponctuellement observées, il apparaît que la variabilité des débits est fortement influencée par une variabilité d'origine climatique. Autrement dit, seulement 20% à 30% (en fonction des bassins) de la variabilité observée dans les débits ne sont pas directement reliées aux variations de précipitations (ce qui n'implique pas nécessairement que ce ne soit pas d'origine climatique, d'autres facteurs comme la température ou l'évapotranspiration peuvent également influencer la réponse hydrologique).

Comme suggéré par les spectres locaux des analyses en ondelettes continues, les principaux modes de variabilité sont faiblement similaires entre les débits et les précipitations, que ce soit en termes de fréquence, d'occurrence temporelle ou d'amplitude. Ces différences

peuvent être imputées à plusieurs facteurs (structuration propres des signaux...), ou encore par l'effet de filtrage exercé par les sous-bassins versants, ou encore par d'autres facteurs internes aux bassins (occupation des sols, constructions de barrages et réservoirs...).

VI. DETERMINER LA COHERENCE ENTRE LES INDICES CLIMATIQUES ET PLUIES, DEBITS

VI.I Détermination des modes de variabilités des indices climatiques par ondelette

Le climat terrestre fluctue sur une très large gamme d'échelles temporelles, depuis les fluctuations à court terme, qui concernent la variabilité mensuelle et saisonnière, aux fluctuations interannuelles à inter-décennales. La variabilité du climat local des différentes régions du globe est mesurée à l'aide d'indices climatiques comme l'Oscillation Arctique (AO), le phénomène El Nino/Oscillation Australe (ENSO), l'Oscillation Nord Atlantique (NAO), l'Oscillation Pacifique Décennale. Ces indices, largement décrits dans la littérature ([Kiehl et Trenberth 1997](#), [Trenberth 1999](#), [Hurrell et al. 2003](#)), mettent en jeu l'interaction entre l'atmosphère et l'hydrosphère continentale et océanique.

Les signaux de précipitations et de débits sont marqués par des modes annuelles et interannuelles à la fois en termes de fréquences et de périodes d'occurrences de ces modes. Puisque ces structures d'oscillations sont présentes à la fois dans les débits et dans les pluies, ils peuvent être liés à des fluctuations climatiques. Nous utiliserons ici d'envisager ces fluctuations au moyen de deux indices climatiques, la NAO (Oscillation Nord-Atlantique) et l'OMO (Oscillation Méditerranéen Oscillation), ces indices climatiques ayant un impact reconnu sur le nord d'Afrique.

Bien que la variabilité de la réponse hydrologique soit liée à une tendance générale, il est important de distinguer si ces variations sont connectées à des phénomènes d'ampleurs spatiales et temporelles, ou seulement une expression des effets locaux. Plusieurs études ont relié les variations hydrologiques (débits des rivières, précipitations) aux fluctuations du climat ([Collins, 2009](#) ; [Coulibaly, 2006](#) ; [Coulibaly et Burn, 2004](#) ; [Kahya et Dracup, 1993](#) ; [Küçük et al., 2009](#); [Labat, 2006, 2008, 2010](#) ; [Massei et al., 2007, 2009, 2010](#) ; [Tootle et al., 2005](#)) dans le but de comprendre les changements abrupts, les fluctuations et les tendances observées. Par exemple, [Labat \(2006, 2008, 2010\)](#) a identifié les fluctuations récentes du cycle hydrologique de surface dans les débits de plusieurs grands fleuves mondiaux, en relation avec les principaux modes de variabilité du climat (ENSO, NAO, PDO). À l'échelle de l'Amérique du Nord, des fluctuations sont également détectées dans la variabilité interannuelle des débits et des précipitations du Canada ([Ancil et Coulibaly, 2004](#) ; [Coulibaly et Burn, 2004](#) ; [Coulibaly, 2006](#)), en relation avec l'ENSO, la NAO, la NAM et la PNA.

Les principaux modes de fluctuations du climat possèdent des caractéristiques d'évolution et une variabilité propres à chaque mode. Afin d'identifier les liens existants entre la variabilité hydrologique et les principaux indices climatiques, il est préalablement nécessaire d'identifier les échelles de temps caractéristiques de la variabilité de ces fluctuations du climat.

Les données des indices climatiques utilisés sont des données mensuelles (NAO/1930-2008 « <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.data.html#naostatmon> ») (MO / 1936-2011 <http://www.ub.edu/gc/English/wemo.htm> »)

Les résultats obtenus présentent les mêmes caractéristiques (périodicités, phases positives et négatives). (Figure VI.4).

- La NAO présente une tendance en phases positives sur les périodes 1940-1960 et depuis la fin des années 1970/milieu des années 1990, entrecoupées d'une tendance en phase négative.
- La MO, présente une évolution assez différente, elle présente une tendance des valeurs positives sur une longue période de 1850 jusqu'à fin 1990, et commence une phase négative.

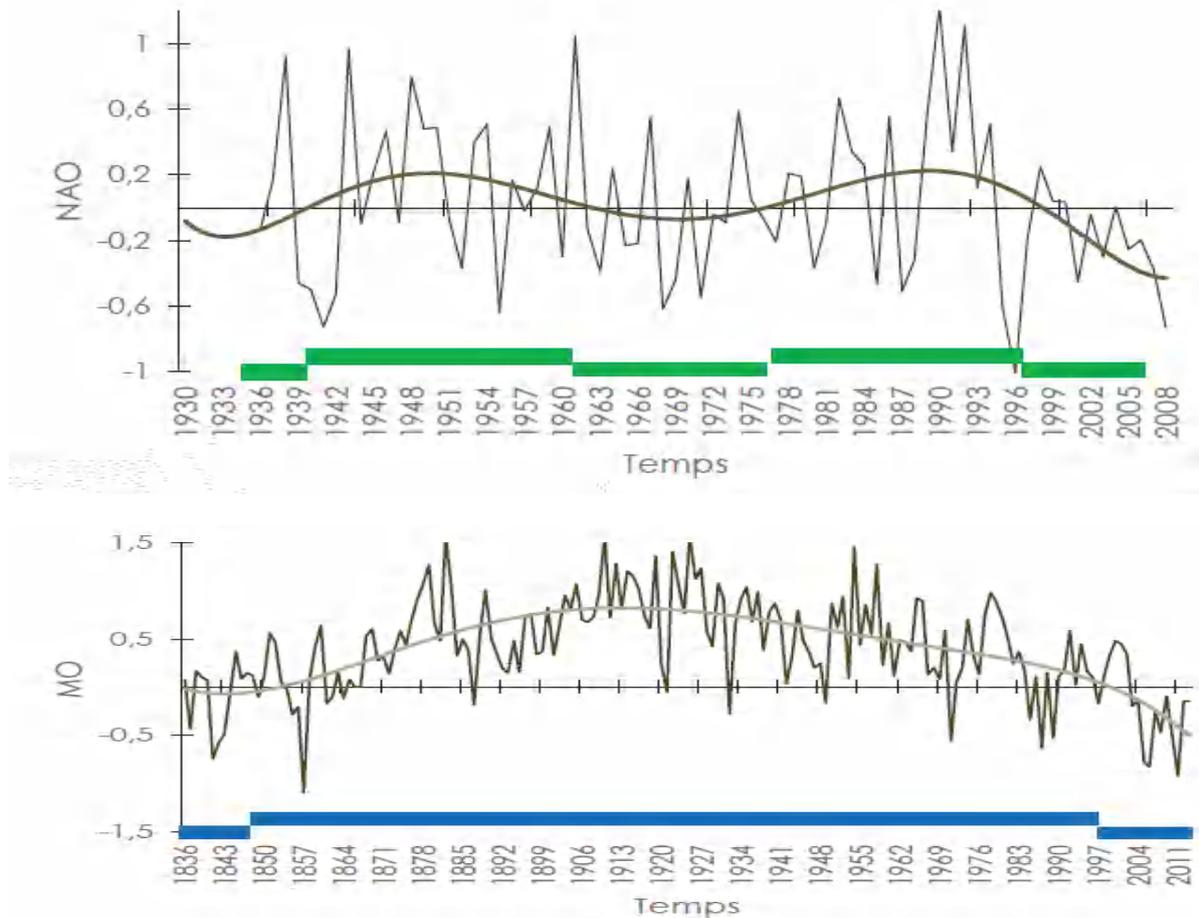


Figure VI. 4: Évolution à long terme des indices climatiques Les phases globalement positives ou négatives des indices climatiques sur la période 1836-2011

Pour chaque indice climatique, une description des principaux modes de variabilité est proposée selon les différentes échelles de temps, la significativité statistique.

○ La NAO (figure VI.5 a) est dominée par des modes de fréquences, de l'échelle décennale (8-16 ans, 10-16 ans) et pluri-décennale (30-60 ans). Une instationarité est observée à l'échelle décennale, avec un changement de la fluctuation à 10-16 ans vers une fluctuation à 8-16 ans en 1910-1950.

Cette période de transition correspond également à l'apparition d'une fluctuation de 4-10 ans. Les fluctuations d'échelle interannuelle (1 an, 2-3 ans, 2-4ans, 4-10 ans) ces fluctuations s'organisent différemment au cours du temps.

Les fluctuations à 2-4 ans sont notées après 1930, l'absence des fluctuations à 2-3 ans durant la période 1930-1990, les différents modes de variabilité détectés dans la NAO ne sont pas statistiquement significatifs à un niveau de confiance de 90% (Rossi, 2010).

En effet, comme définit dans différents travaux, les analyses spectrales (incluant les analyses en ondelettes) ne montrent pas d'échelle de temps préférentielle de la variabilité de la NAO.

Le spectre d'énergie de la NAO se définit comme étant un bruit légèrement « rouge », avec une puissance qui augmente avec les fréquences (Fernández *et al.* 2003 ; Hurrell *et al.* 2003)

○ Le MO (figure VI.5 b), est dominée par des fluctuations basses-fréquences, de l'échelle multi décennale (30-60 ans, 16-60 ans) à décennale (8-20 ans).

Le principal mode de variabilité, estimé. La fluctuation de 8-20 ans est seulement exprimée sur la période 1950- 2011. Les fluctuations d'échelles interannuelles (2-3 ans, 3-6 ans, 3-8 ans, 8-10 ans), qui représentent une variabilité faible, s'organisent différemment entre 1850 et 1950 au cours du temps. Les bandes d'énergies de 3-6 ans et 8-10 ans apparaissent en 1930.

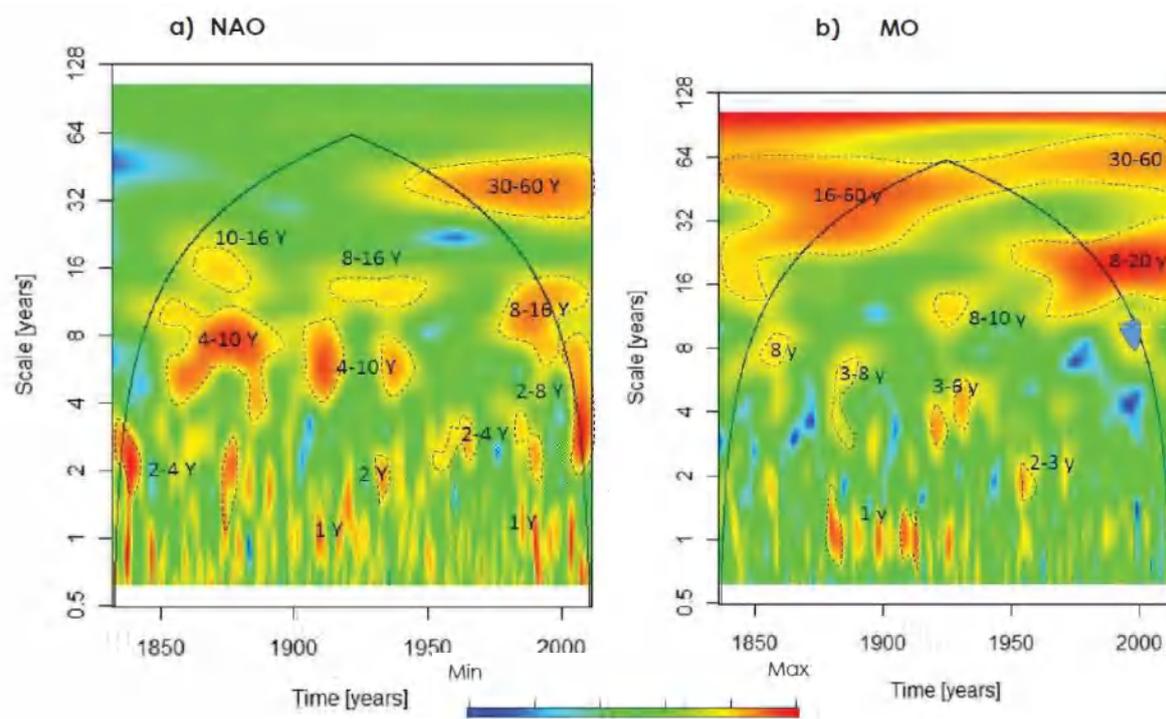


Figure VI. 5 : Spectres locaux de l'analyse en ondelettes continues des principaux indices climatiques (a) NAO (b) OMO.

V.2 Cohérences par ondelettes continues pour la période (1969-2012)

V.2.1 Relation entre indices climatique et pluies

○ Bassin de Madher

➤ NAO

L'indice NAO montre une cohérence essentiellement distribuée sur l'échelle interannuelle (figure VI.6). Les bandes de fréquence 2-4 ans et 4-8 ans expriment une forte cohérence au niveau de la station. La cohérence est faible à l'échelle annuelle sur tous les spectres. Elle apparaît toutefois très variable à la fois en échelle et au cours du temps, une perte de cohérence et aussi identifiée en mi 1975 à 1985 et 1995 à 2005. La contribution de la variabilité du NAO sur les précipitations est très proche pour la station de Batna de 56.52%, sauf pour le mode 8-12 ans dans cette dernière qui est faible (28,9%).

➤ **MO**

La cohérence entre L'indice MO et les pluies présente une cohérence importante à l'échelle annuelle (figure VI. 6). Toutefois elle a été légèrement affectée entre 1970 et 1975 et 1985 à 2008.

Une faible cohérence est détectée pour des échelles de temps de 2-4 ans essentiellement distribuée avant 1975.

L'influence de MO sur le bassin de Madher est variable, il fluctue entre un minimum de 55.9% et un maximum de 64%.

○ **Bassin de Chemora**➤ **NAO**

La NAO montre une cohérence essentiellement distribuée sur l'échelle interannuelle (figure VI.9). Les bandes de fréquence 2-4 ans et 4-8 ans expriment une faible cohérence au niveau des stations de Reboa et Timgad. On marque un spot de la bande 4-8 ans à la station de Timgad en 2003 et en mi 1980a Reboa.

La cohérence est forte à l'échelle annuelle sur tous les spectres. Elle apparaît toutefois très variable à la fois en échelle et au cours du temps, une perte de cohérence et aussi identifiée à partir de 2002 à Timgad et mi 1975 à mi 1985 à la station de Reboa.

La contribution de la variabilité du NAO sur les précipitations varie entre 60.23 et 56.36% à la station de Reboa et Timgad.

➤ **MO**

La cohérence entre Le MO et les pluies présente une cohérence moins importante de l'échelle annuelle jusqu'au interannuelle (figure VI. 9). Une forte cohérence est signalée en mi 1985 distribuée essentiellement pour des échelles de temps de 8-16 ans à Timgad et 4-8 ans à Reboa.

Le cycle annuel est affecté sous forme des spots en 1985-1990 et 1995-2000 dans les stations

La contribution de la variabilité du NAO sur les précipitations varie entre 57.83 % et 55.93% à la station de Reboa et Timgad.

○ **Bassin de Boulefreiss**➤ **NAO**

Le lien entre la NAO et les précipitations sur la période d'étude peuvent être grossièrement étudiés par le calcul de la fonction de corrélation essentiellement distribuée à l'échelle interannuelle (figure VI.8). Une forte cohérence de la bande de 2-8 ans est détectée aux alentours des années 197.En revanche une cohérence faible est identifiée à l'échelle

annuelle pour l'ensemble dans les stations, Elle a été identifiée vers le mi 1970, et l'année 1990 avec une cohérence de 60.68%.

➤ **MO**

Le MO montre une cohérence essentiellement distribuée de l'échelle interannuelle (figure VI.8), Une forte cohérence est détectée sur des échelles de temps à 2-4 ans en 1970-mi 1985 et après les années 2000 ; la bande 8-16 ans essentiellement identifiées dans les années 1980. Le cycle annuel est seulement affecté avant 1990. Tandis que l'influence totale est de 54.72%.

○ **Bassin de Foum El Gueiss**

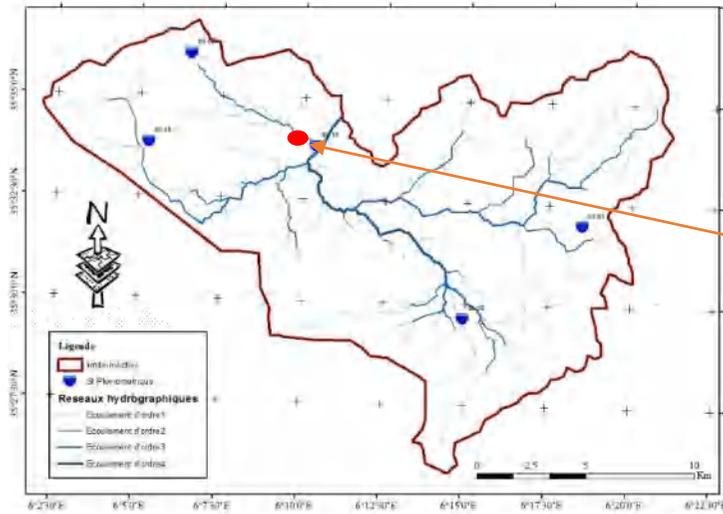
➤ **NAO**

L'analyse de la cohérence entre la NAO et la pluie définissant le bassin versant du Foum el Gueiss représente une forte cohérence (figure VI.7), distribuée essentiellement de l'échelle interannuelle. Une forte cohérence est détectée sur la bande d'énergie 1-2 ans entre 1975 et 1985 et autour les années 2000 ; et 4-8 ans en 1985 et 2005. La cohérence sur le cycle annuel est exprimée sur toute la période avec des pertes de cohérence en 1972, 1997 et fin 2008 de cohérence 58.73%.

➤ **MO**

Le Mo montre une cohérence distribuée essentiellement à l'échelle interannuelle (figure VI.7). Une forte cohérence est détectée la bande 2-4 ans essentiellement identifiées en 1971, 2008 et la décennie 1980 à 1990 viennent après la variabilité 8-16 en 1982.

Bassin de Medher



St. Batna

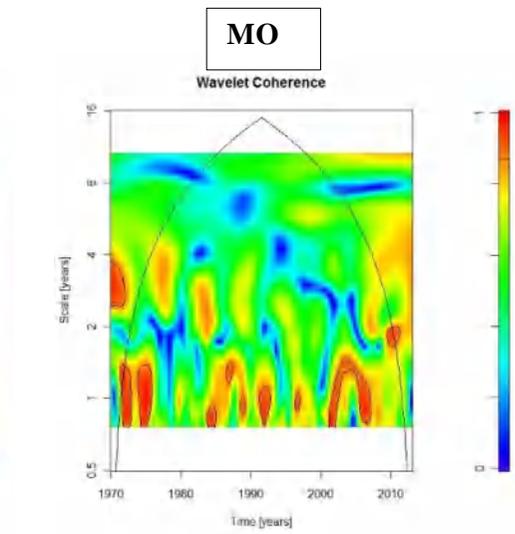
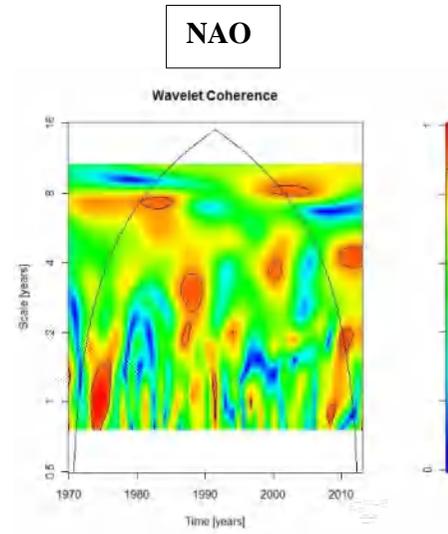
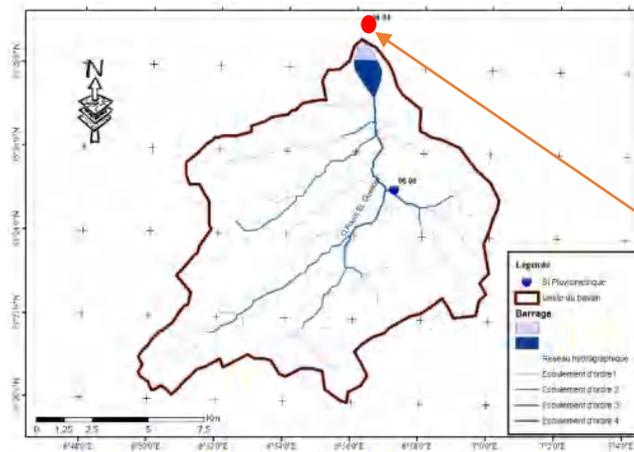


Figure VI. 6: Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et pluies dans le bassin de Madher a la station de Batna

Bassin de F. Gueiss



St. F. Gueiss

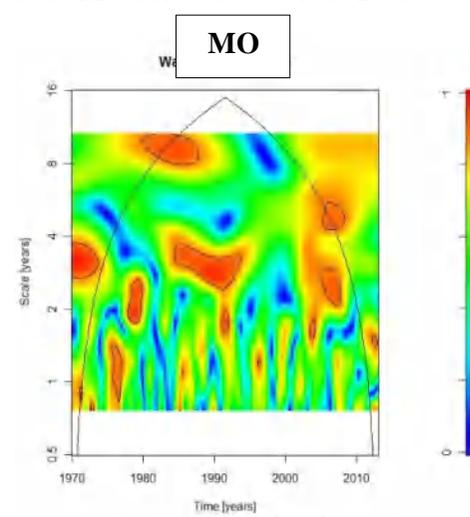
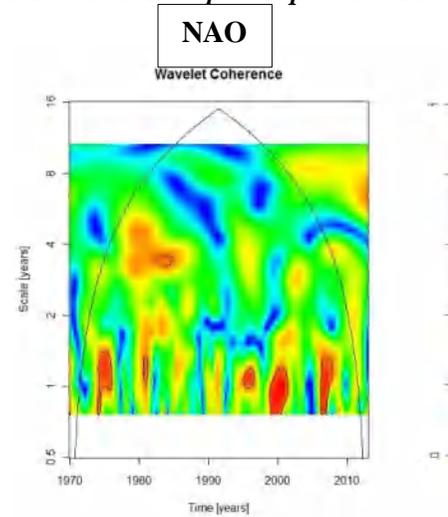
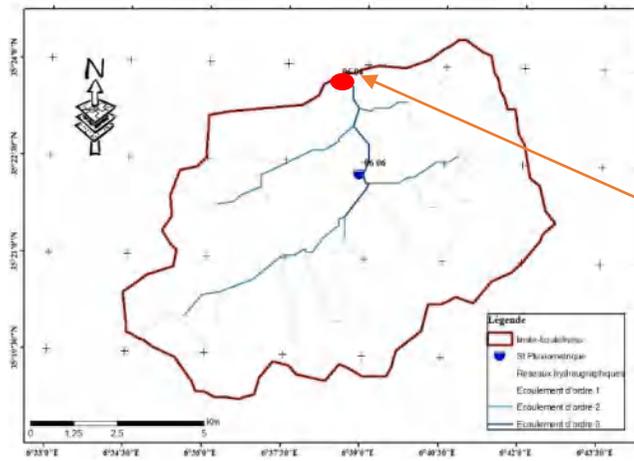


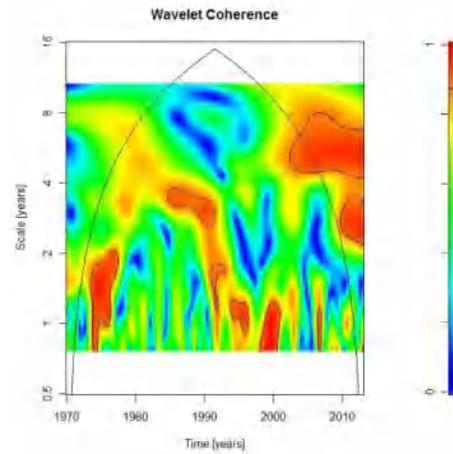
Figure VI. 7: Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et pluies dans le bassin de F. Gueiss a la station de F. Gueiss

Bassin de Boulefreïss



St. Yabous

NAO



MO

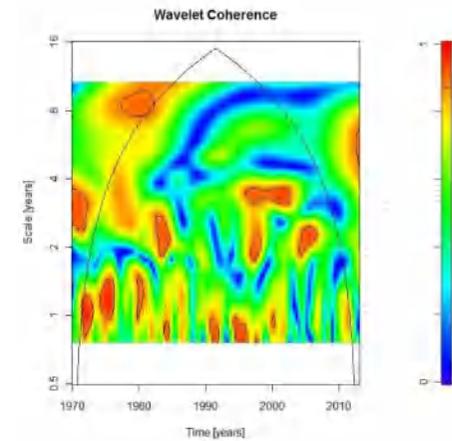


Figure VI. 8: Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et pluies dans le bassin de Boulefreïss à la station de Yabous.

Bassin de Chemora

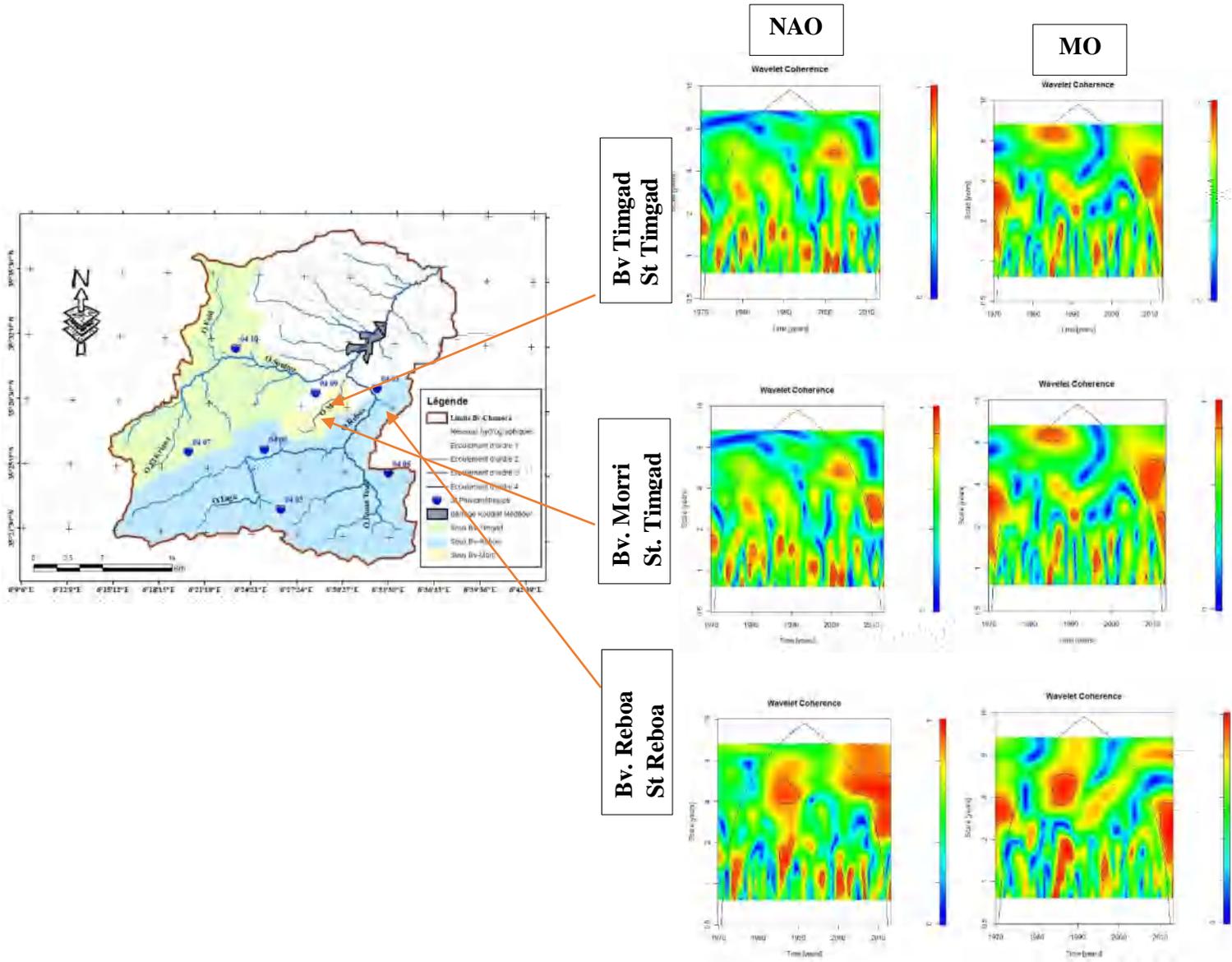


Figure VI. 9: Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et pluies dans le bassin de Chemora a différent stations.

V.2.2 Relation entre indices climatique et Débit

○ Bassin de Madher

➤ NAO

Sur le bassin de Madher, le Nao présente une cohérence à l'échelle interannuelle (Figure VI.10). Une tache de cohérence est détectée pour des échelles de temps de 2-4 ans en 2000 ; de 4-8 ans en 1980. Le cycle annuel est affecté durant la période considérée.

La contribution de la variabilité NAO sur les débits (Annexe 2) dans le bassin est de 59.01%.

➤ MO

Le MO montre une cohérence essentiellement distribuée à l'échelle interannuelle (Figure VI.10). Elle est repérée à 4-8 ans en 1998 ; un spot de 2 ans en 1984. Le cycle annuel est affecté au cours de la période d'étude, La contribution de la variabilité MO sur les débits du bassin est 57.02%.

○ Bassin de Chemora

➤ NAO

Le Nao montre une cohérence essentiellement distribuée aux échelles interannuelle (Figure VI.13). Elle est repérée à 4-8 ans pour la période considérée à l'exception de Reboa ; à Timgad en mi 1980 et Morri en 1990 et sur toute la période dans ces dernières une perte d'énergie. Le cycle annuel est également affecté, surtout entre 1985 à 2008 pour toutes les stations.

La contribution de la variabilité NAO sur les débits du Chemora est variable d'une station à l'autre en fonction des modes de variabilités, elle varie de 53.4% à Reboa ,56.37 à Timgad % et 57.37% à Morri.

➤ MO

Le MO montre une cohérence essentiellement distribuée aux échelles interannuelle. (Figure VI.13). Une forte cohérence est détectée à 4-8 ans avant 1990 dans toute les stations ; une faible énergie est signalée à 2-4 ans sauf à la station de Timgad indiquée en 1975. Le cycle annuel est affecté le long de la période considérée.

La contribution du MO sur les débits dans le bassin est variable, tandis que l'influence totale est presque identique à Morri, Reboa avec 56.21%, à Timgad avec 51.62%

○ Bassin de Boulefreiss**➤ NAO**

L'analyse de la cohérence entre la NAO et le débit définissant le bassin versant du Boulefreiss représentent une forte cohérence (figure VI. 12), distribuée essentiellement de l'échelle interannuelle. Une forte cohérence est détectée sur la bande d'énergie 2-4 ans entre 1985 à 2008 ; et 4-8 ans après 2000.

La cohérence sur le cycle annuel est exprimée sur la période avec des pertes de cohérence entre mi 1975 à 1985 et en 1995 à 2000. Elle est correspond de contribution de 58.89 %.

➤ MO

Le MO présente une cohérence distribuée de l'échelle annuelle (Figure VI.12). Une forte cohérence est détectée pour des échelles de temps de 4-8 ans sur fin des années 1990. Le cycle annuel ainsi que la cohérence à 2-4 ans sont affectés sur deux périodes (mi 1975 à 1985, et après mi 1990 à 2008) de cohérence 60.68%.

○ Bassin de Foum El Gueiss**➤ NAO**

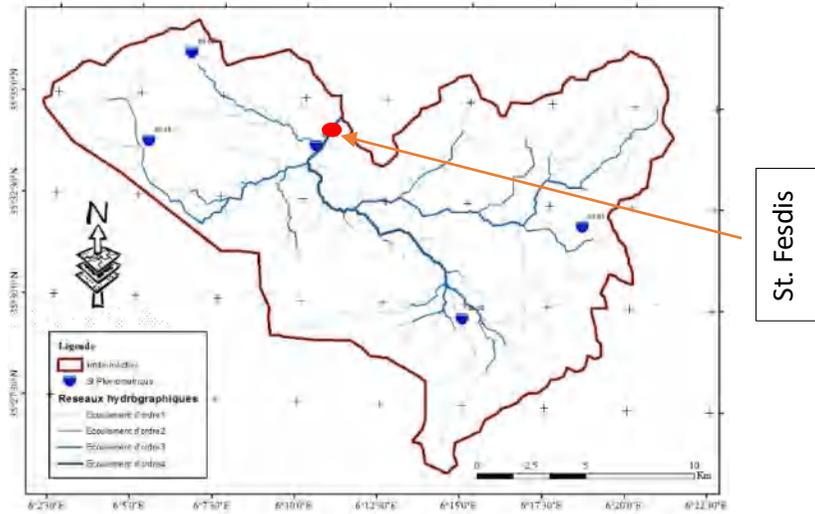
Le NAO montre une faible cohérence essentiellement distribuée aux échelles interannuelle (Figure VI.11). Une cohérence est détectée à 2-4 en 2002. Le cycle annuel est affecté mi 1985 jusqu'au la fin de la période.

La contribution de la variabilité NAO sur les débits dans le bassin est 56.15 %.

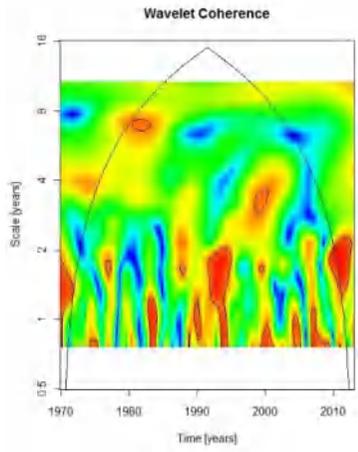
➤ MO

Le MO présente une cohérence de l'échelle interannuelle (Figure VI.11). Une cohérence est détectée pour des échelles de temps de 2-4 ans sous formes des spots essentiellement distribuée à 1975 ; 1985 et 2003. Une cohérence plus faible est également détectée à l'échelle annuelle identifiée en 1978-1988 et 1995. La contribution de la variabilité MO sur les débits dans le bassin de Foum el Gueiss est de 58.14%.

Bassin de Medher



NAO



MO

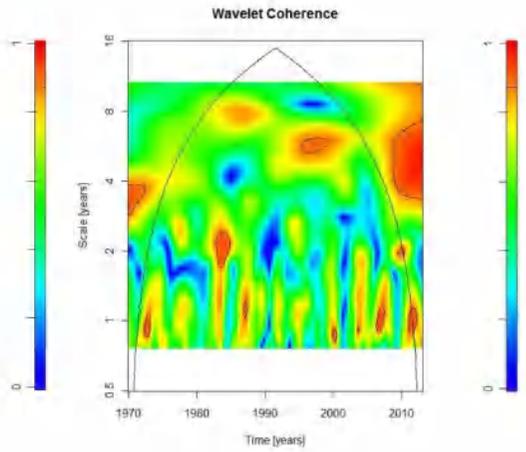
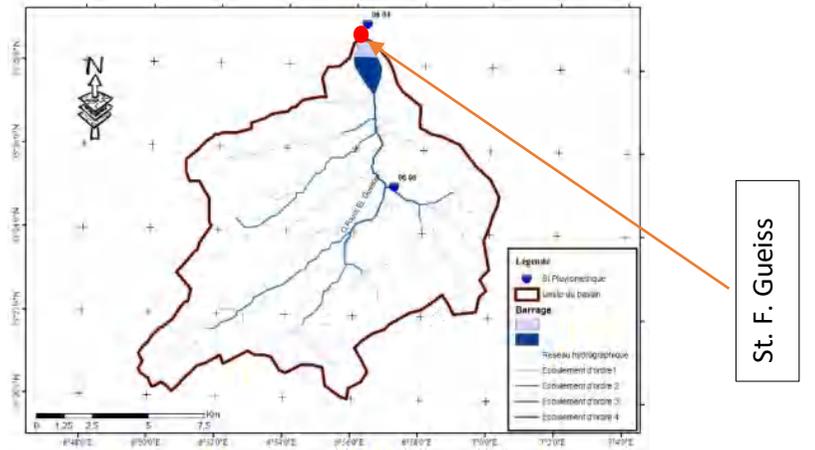
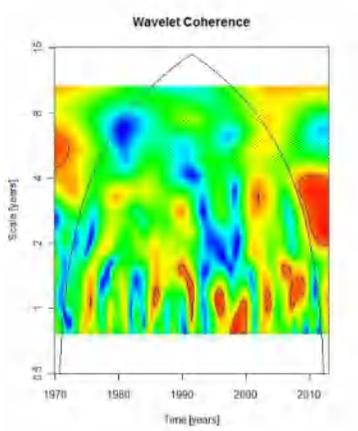


Figure VI. 10: Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et débits dans le bassin de Madher a la station de Fesdis

Bassin de F. Gueiss



NAO



MO

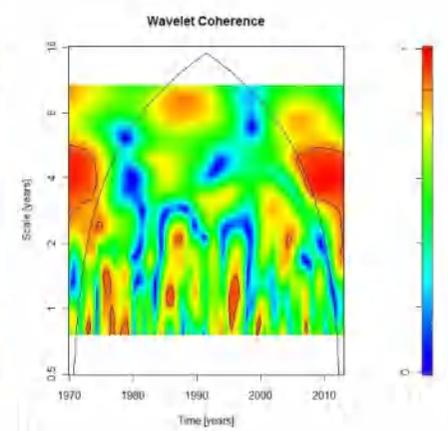
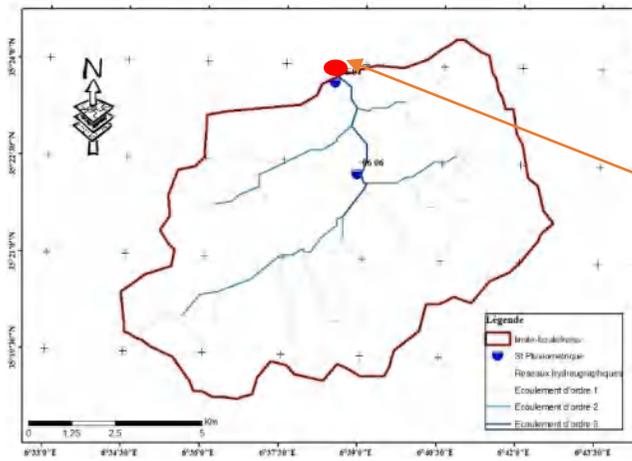


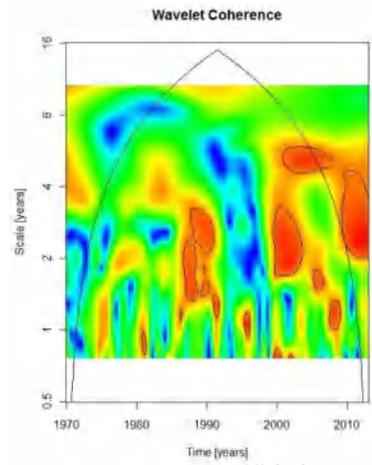
Figure VI. 11: Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et débits dans le bassin de F. Gueiss a la station de F. Gueiss

Bassin de Boulefreiss



St. Yabous

NAO



MO

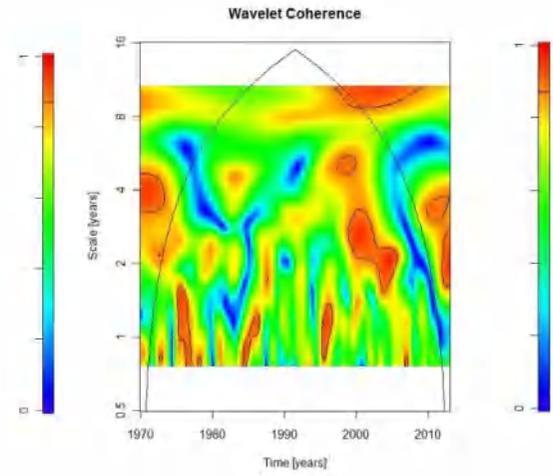
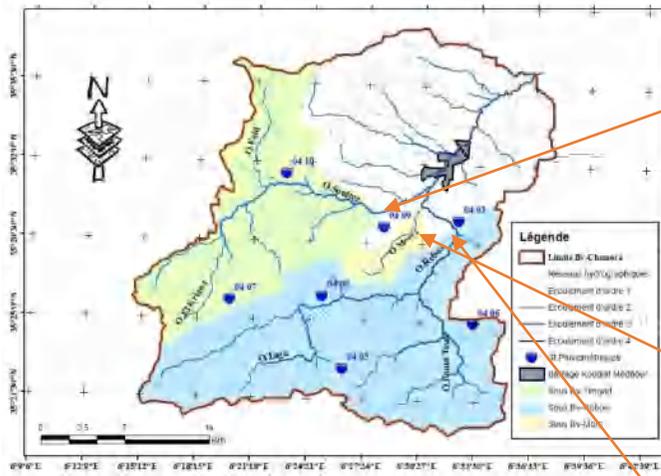


Figure VI. 12: Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et débits dans le bassin de Boulefreiss à la station de Yabous.

Bassin de Chemora



Bv. Tingad
St. Tingad

Bv. Morri
St. Morri

Bv. Reboa
St. Reboa

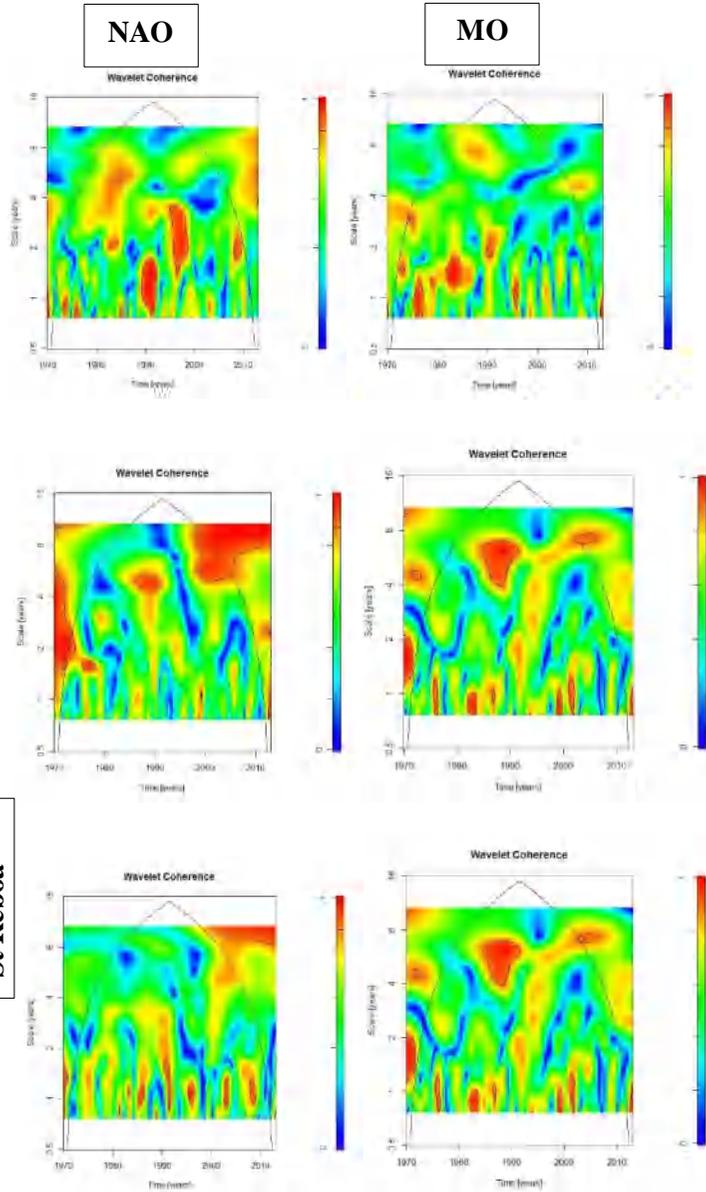


Figure VI. 13: Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et débits dans le bassin de Chemora a différent stations.

Conclusion

L'analyse de la cohérence indique une influence assez importante des différents indices climatiques sur la variabilité des pluies et des débits à l'échelle annuelle jusqu'au pluriannuelle.

Dans les pluies, le mode de variabilité interannuelle 2-4 ans est dominés par des modes de variabilité détectés dans la NAO, et le MO après 1985 et avant 2000. L'échelle 4-8 ans est essentiellement dominée par la NAO dans le bassin du Madher en 1980 et dans le bassin de Reboa a Chemora en 1985, on a une perte de cohérence dans les reste bassin.

Des modes communs peuvent être identifiés par la cohérence en ondelette pour les composantes des Pluies d'échelle interannuelle (2-8 ans, incluant les modes de variabilité à 2-4 ans et 4-8 ans).

La période entre 1970-2010 est influencée par la NAO et MO (en fonction du bassin), la perte de cohérence pour MO est enregistrée après les années de 2000.

L'analyse de la cohérence indique une forte influence des différents indices climatiques sur la variabilité des débits de la zone d'étude. A l'échelle interannuelle (bande 2-8ans) est dominée par la NAO (après 1985, et avant 2010 fonction de la station), le MO (la période d'influence est différence d'une station à l'autre au sein du même bassin du Chemora) avec une période commune d'influence entre mi 1970-mi 1995.

On peut dire que l'influence de indice climatiques MO est assez important que NAO, la contribution moyenne et généralement entre 50% et 80% dans tous les bassins. On observe un changement du comportement à partir de 1985 et de 1995, caractérisé par l'augmentation de la corrélation entre les fluctuations des indices climatiques et celles des signaux hydrométéorologiques.

Bien que les spectres en ondelettes aient montré l'existence de ces changements dans la distribution de la variance des indices climatiques et des débits, Les pertes de cohérence chevauchent la sécheresse qui a eu lieu au nord algérien entre 1980 et 1985, [Mahé et al.\(2010\)](#) ont identifié une rupture des précipitations annuelles en Algérie entre 1979 et 1980, on ajoute que des discontinuités majeures ont été observées à environ 1970 et 1990 sont liées à des discontinuités mondiales observées dans les indices NAO, SOI et PDO ([Laignel et al. 2010](#)).

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, mené sur quatre bassins versant dans les Hauts Plateaux Constantinois dans l'Est algérien, aux nuances climatiques variées, nous avons essayé de dégager les grands traits de la distribution des précipitations et le phénomène de la variabilité climatique, du point de vue persistance, étendue, causes et conséquences. Cependant, l'insuffisance des données pluviométriques et hydrométriques récentes n'a pas fait obstacle à la réalisation de ce travail, notamment pour l'étude de l'impact sur les ressources en eau.

Se basant sur l'évolution des écoulements de surface, il est admis que le climat subit sans cesse des fluctuations significatives dans le temps comme dans l'espace, en présentant des oscillations plus ou moins irrégulières à caractère cyclique. C'est dans ce cas précis que les potentialités des ressources en eau, se faisant bien sentir, sont de plus en plus affectées.

L'eau qui est devenue une denrée rare et précieuse, constitue un élément indispensable pour la vie et l'équilibre de l'individu. Elle représente un facteur déterminant pour le développement économique et social d'un pays. Du fait de sa précarité et de sa fragilité, voire de son irrégularité, cette ressource nécessite notamment une attention très particulière quant à sa mobilisation et sa gestion.

Durant les dernières décennies cet élément " l'eau " s'est changé, un déficit important s'est fait sentir. Notre étude serait un complément à celles menées dans ce domaine. Elle va nous permettre d'analyser la pluviométrie à l'échelle spatiale, temporelle et ses conséquences sur les ressources en eau.

En premier chapitre, est dressé une synthèse bibliographique qui présente brièvement quelques informations sur le changement climatique, son impact sur le cycle hydrologique et les ressources en eau, les projections climatiques à l'échelle mondiale et régionale dans le but d'offrir les éléments clés pour la lecture du reste du travail.

En deuxième chapitre de cette étude, est focalisé nos efforts sur l'analyse du complexe physique des bassins versants sélectionnés «bassins hydrographiques de Madher, Chemora, Boulefreiss et de Gueiss » qui s'étalent sur une superficie 1261.84 km², notamment la lithologie, l'occupation du sol et la couverture végétale.

Les secteurs montagneux des 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 plaines, très accusées, présentent des conditions défavorables à l'écoulement.

Cette dissymétrie reflète bien la disposition du réseau hydrographique. Ce dernier est très dense dans les zones à formation lithologique tendre notamment dans les zones de marne ou d'argile siliceuses, associées souvent à des fortes pentes. Alors qu'il est moins dense sur les formations perméables et organisées en pente douces. En outre, les paramètres morphométriques et hydrographiques calculés nous ont servi 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 quatre bassins étudiés a été établie, pour mettre en relief leur impact sur l'hydrologie de surface. Les formations végétales qui assurant une protection seulement partielle à médiocre, sont les plus représentées. 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.

Le troisième chapitre, est basé sur l'analyse des données pluviométriques et hydrologiques observés au niveau de notre région qui s'étale sur quarante-trois ans. Nous avons choisi à partir de l'historique des stations 16 postes pluviométriques, couvrant d'une manière plus au moins uniforme la plus grande superficie des bassins et ayant fonctionné sans interruption depuis 1969 sauf la station de Madher. Ceci a permis de caractériser le régime pluviométrique de la région et d'en ressortir les éventuels changements de ce dernier.

En dépit de ce tri de stations, l'examen visuel des séries d'observation récoltées auprès de L'ANRH, montres que certaines séries présentent un nombre de lacunes et d'autre une hétérogénéité. Pour tester l'homogénéité de nos séries nous avons utilisé la méthode de double cumul, et afin de restituer les données manquantes, nous avons utilisé la méthode de composantes principales des racines carrées des valeurs de pluies mensuelles observées sous « hydrolab ».

L'étude de la variabilité des précipitations à partir des variables centrées réduites des totaux annuels, a été faite sur trois zones représentatives (piedmont, plaine et montagne).

Les résultats obtenus par l'étude de la tendance pluviométrique, en utilisant différentes méthodes comme celles du test de Mann Kendall et la méthode graphique chronologique de traitement de l'information (MGCTI), de type "matrice BERTIN", confirment la persistance et la variabilité climatique durant les deux dernières décennies pour la région d'étude.

Cette analyse a mis en évidence l'excédent pluviométrique au niveau des milieux plaines et piedmonts qui présentent une tendance climatique vers l'humidité à partir de l'année 2002 alors qu'en milieu montagnard une tendance nette vers la sécheresse se dessine depuis l'année 1992.

Les pluies d'hiver durant la dernière période ont connu généralement une baisse pour deux milieux types (plaine et montagne), alors que les pluies de printemps sont devenues plus élevées durant les deux dernières décennies.

Le quatrième chapitre, est consacré à l'étude des précipitations annuelles des stations 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.

La pluie annuelle moyenne ramenée à la surface des bassins pour la période (1970-2012), oscille entre 263 mm dans le bassin de Reboa et 506mm dans le bassin de Chelia. Elle subit les influences de l'orographie, la continentalité. L'analyse des valeurs mensuelles sur les 43 années d'observation (1970-2012) a montré que les mois de Mars, Avril et Mai sont les mois les plus humides, 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, indiquent que les écarts les plus élevés sont ceux des mois d'Eté, avec un maximum en Juillet ou en Août. Les amplitudes minimales sont observées tous les mois à l'exception de juin et juillet, avec une fréquence élevée en mars et avril. Sur le plan spatial, les hauteurs moyennes mensuelles enregistrent une grande variabilité, variabilité relativement plus accentuée dans le nord.

En ce qui concerne le régime thermique, les températures moyennes annuelles de la région d'étude varient entre 16,6°C à Batna et 17,3°C à Khenchela. Les variations interannuelles sont faibles avec un coefficient de variation ne dépassant pas 1%. La combinaison des deux principaux facteurs climatiques, températures et précipitations, exprimée à travers les diagrammes ombrothermiques, nous a permis de déterminer le régime climatique saisonnier moyen. Ce dernier est caractérisé par une saison sèche qui s'étend de 4 à 5 mois en allant vers l'Ouest. 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 32 ans (1970- 2012).

Les zones d'écoulement potentiel ont été esquissées, en calculant le déficit d'écoulement potentiel avec la formule de Turc : la lame d'eau écoulee potentielle excède 48 mm sur la partie Ouest et à l'Est, elle n'est que de 43 mm en raison de son exposition aux vents humides. Quant à l'évapotranspiration, elle évolue suivant les deux saisons pluviothermiques, elle est très élevée en saison chaude et sèche, et de cette façon, 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 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 600 mm. L'excédent enregistré, varié entre 6 et 22 mm et apparaisse pendant les mois de janvier, février et mars. 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.

L'étude de détection de rupture a permis de localiser une modification du régime pluviométrique durant la période 1970-2012 pour les stations pluviométriques étudiées.

L'application des tests statistiques aux pluies saisonnières, nous a permis de conclure que se sont les pluies d'hiver et de printemps qui ont enregistré une rupture dans les séries chronologiques durant la période 1970-2012. A l'échelle mensuelle, nous avons remarqué que se sont les mois des deux saisons pluvieuses qui ont enregistré les baisses les plus significatives et les plus importantes notamment les mois de : décembre, janvier, mars et avril.

Le cinquième chapitre, est basée sur les caractéristiques morphométriques des bassins versants qui sont à écoulement endoréique, d'une superficie de 1262 km², il se présente comme une plaine encadrés par les monts des Aurès ; ce sont des bassins fermé et dont l'écoulement se déverse dans les lacs salés caractérisant les hautes plaines algériennes. Cet endoréisme résulte des conditions tectoniques et des variations climatiques cycliques ayant prévalu durant le Quaternaire.

Les bassins se caractérise par une nette dissymétrie topographique, qui se traduit par une cuvette constituée d'un piedmont et d'une vaste plaine qui descend jusqu'à moins de 600 m ; La cuvette est entourée principalement par les monts des Aurès qui culminent plus de 2150 m au sud, et les reliefs de Djebels Bou Arif (1745 m) au Nord-Ouest.

Le réseau hydrographique est très dense dans les zones à formation lithologique marneuse ou argileu-siliceuse, associées souvent à des fortes pentes : La partie Est des monts des Aurès, la vallée de Gueiss, Boulefreiss et Reboa, le relief de Gloua et Trab, et Djebels Tagratine ; Alors que dans le reste des bassins, le réseau hydrographique est moins dense, en raison des formations perméables traversée et organisée en pente douces.

La diversité lithologique est une autre caractéristique de ce bassin : Le secteur montagnard est constitué essentiellement des formations calcaires et marno-calcaires du Crétacé qui représentent 56% de la superficie totale des bassin ; Alors que dans la cuvette, ce sont les formations marines et continentales du Miocène qui s'alternent, recouvertes par des dépôts Quaternaires. De cette disposition des formations lithologiques, il apparaît que les terrains à forte capacité aquifère sont plus ou moins restreintes et ne représentent qu'environ 30 % de la surface des bassins.

La diversité topographique des bassins a un impact évident sur l'écoulement qui varie avec l'orographie, et ils sont très nuancés sur le plan spatial. 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-géographique 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 Madher (0,72 m³/s) et l'Oued Gueiss (0,71 m³/s). Le débit spécifique varie de 0,15 l/s/km² sur l'oued de Morri, de 0,76 l/s/km² à 1,68 l/s/km² sur

le Boulefreiss et Gueiss. Cette variabilité spatiale est liée à l'augmentation sensible de l'évaporation et la diminution des précipitations en allant vers l'Ouest. Elle traduit aussi le caractère « déprédatif de l'écoulement » des bassins endoréiques des Aurès en allant vers les 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 (1969/70-2011/12) 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 discutés 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 expliquée par une variation de la 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.

Alors que l'étude du régime des oueds, basée sur les débits moyens qui est une donnée abstrait (méthode de C.M.D), occulte la réalité de l'écoulement dans les oueds, car ces valeurs moyennes laminent les fluctuations des débits.

Le sixième chapitre, est essentiellement proposé d'étudier l'influence des indices climatique sur la variabilité hydrologique et climatique. Les principaux objectifs étaient donc de déterminer et quantifier les principaux modes de la variabilité (débits et pluies), et quantifier les relations entre les fluctuations climatiques dans les quatre sous bassin des hauts Plateaux Constantinois.

L'analyse des caractéristiques des signaux de sortie (débit) du bassin versant en comparaison aux composantes d'entrée climatiques (pluie, indices climatiques d'origine atmosphérique pertinents pour les régions d'étude, tels que NAO et MO) permet l'identification de la variabilité climatique.

L'identification et la quantification des principaux modes de variabilité des débits et des pluies par méthodes spectrales (notamment par transformée en ondelettes continues) ont permis de compléter et de pouvoir appréhender l'ensemble des caractéristiques de cette variabilité hydrométéorologique. L'analyse des débits et pluies mensuels de la zone d'étude par transformée en ondelettes (notamment) montre que cette évolution est effectivement structurée par plusieurs modes de variabilité, s'exprimant sur différentes échelles de temps :

de l'échelle annuelle aux échelles interannuelles (2-4 ans et 4-8 ans). En outre, la variabilité de fréquence inférieure ($> 2-4$ ans) est identifiée dans la majorité des stations le long de la série chronologique.

A partir de la variabilité des précipitations on identifie une variabilité plus importante au niveau des stations (1 an, 4-8 ans et parfois 2-4 ans), qui nous renseigne plus sur la variabilité dans l'espace au niveau de chaque bassin versant, permettant de subdiviser ses derniers. Les modes de variabilités identifiés dans les débits sont différents d'un bassin à l'autre, surtout au niveau du bassin de la Yabous et Morri où on trouve des modes de variabilités spécifiques. On note dans les bassins une variabilité de l'annuelle au pluriannuelle. Les modes 8-16 ans avec plusieurs d'autres fréquences interannuelles comme 1-2 ans et 4-8 ans.

Dans l'autre bassin la fréquence est moins importante que celle dans la Yabous. Les modes 2 ans, 4 ans et 1-4 ans. La cohérence estimée entre la variabilité des débits et des précipitations suggère effectivement une très forte influence d'origine climatique dans la structuration observée de la variabilité des débits.

La variabilité des débits et des pluies s'inscrit plus largement dans un cadre de la variabilité climatique à l'échelle globale, marquée notamment par une période de plus forte variabilité observée. Ces modifications s'associent également à des changements dans la composition spectrale des paramètres hydrologiques et climatiques (précipitations, indices climatiques). La rupture de 1970 identifiée également dans notre étude par l'analyse spectrale.

La détermination des relations possibles entre modes de variabilité des débits et précipitations et oscillations climatiques sont étudiée au moyen de la comparaison avec deux indices pertinents des fluctuations du climat dans les trois régions d'étude : la NAO (Nord Atlantic Oscillation) et le MO (Mediterranean Oscillation).

Dans les pluies, les modes de variabilité interannuelle (2-8 ans, incluant les modes de variabilité à 2-4 ans, 4-8 ans) sont dominés par des modes de variabilité détectés dans la NAO et le MO avant 1980 et après 1990. L'échelle décennale (8-12 ans, 4-16 ans et 8-16) est essentiellement dominée par la NAO tout au long de la période d'étude dans le bassin du GUEISS, avant 1970 dans le bassin du MORRI et entre 1985 et 1995 on a une perte de cohérence dans la YABOUS.

L'influence du MO caractérise toute la période d'étude. Des modes communs peuvent être identifiés par la cohérence en ondelette pour les composantes des Pluies d'échelle interannuelle (2-4 ans, incluant les modes de variabilité à 2-4 ans et 4-8 ans). La période entre 1970-2012 est influencée par la NAO et MO (en fonction des bassins). L'analyse de la cohérence indique une forte influence des différents indices climatiques sur la variabilité des débits de la zone d'étude.

A l'échelle interannuelle (bande 2-8ans) est dominée par la NAO (avant 1970, 1970-1990 en fonction de la station), le MO (la période d'influence est différente d'une station à l'autre au sein du DES bassin) avec une période commune d'influence entre 1970-1980. Pour l'échelle (4-12 ans, 8-12 ans), la dominance du NAO varie d'un bassin à l'autre (une influence

sur tout le bassin du TIMGAD et après 1985 dans la YABOUS), elle est déterminé aux alentours de 1980 pour le MO.

Généralement, l'indice MO est le plus approprié dans la région d'étude que NAO

Finalement, Cette analyse nous a donné une idée sur notre écosystème qui est une évolution générale à la baisse circonscrite au massif des Aurès, dont le poids très fort de la décroissance marquée dans les montagnes et continue de la dernière décennie de des séries pluviométriques a influencée considérablement la tendance produite sur la période (1970/2012). Par ailleurs, la quasi-totalité des stations de la plaine et piémonts, 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 l'histoire des variations « normales » des précipitations dans la région d'étude vulnérable à un éventuel de la variabilité climatique, il est donc indispensable d'encourager et de promouvoir les efforts entrepris dans le domaine de la recherche scientifique pour aboutir à des travaux pluridisciplinaires sur le problème l'impact du changement climatique sur les ressources en eau.

PERSPECTIVES

Ce travail de thèse ouvre un certain nombre de perspectives de travail, dans le but notamment de pouvoir comprendre plus spécifiquement l'impact des facteurs climatiques on ajoute également l'impact des facteurs internes au bassin versant sur la réponse hydrologique. Une analyse plus approfondie visant à améliorer les résultats obtenus pourra être effectuée en étudiant plus spécifiquement les facteurs externes (autres facteurs climatiques...) et les facteurs internes au bassin versant (occupation des sols, aménagements, géomorphologie...). Certains facteurs hydrologiques peuvent également avoir une influence sur l'évolution de la réponse hydrologique, comme l'évolution des quantités de précipitations sous forme de neige pourra notamment renseigner sur l'évolution de la contribution de ce type de précipitations au débit total, l'évolution des ressources en eaux superficielles et leur utilisation, ou la consommation d'eau pour l'irrigation, pourront être pris en compte. Enfin, l'approche méthodologique peut être complétée par l'utilisation de nouvelles méthodes pouvant améliorer les résultats obtenus par exemple, l'étude de la phase correspond donc à un outil pouvant améliorer la compréhension de ces relations. Ce travail de thèse s'est focalisé sur l'étude de l'évolution à long terme des paramètres hydrologiques et climatiques, en utilisant essentiellement des données à l'échelle annuelle. Cependant, les différents facteurs climatiques peuvent s'exprimer préférentiellement sur certaines échelles de temps. Par exemple, certains modes de variabilité du climat peuvent s'exprimer préférentiellement à une échelle saisonnière (comme la NAO en hiver), ayant donc une influence marquée sur une période au cours de l'année. Il serait intéressant d'étudier ces relations à une plus grande échelle de temps, à l'échelle pluri centennale voire millénaire, ce qui pourrait permettre d'estimer à plus grande échelle de temps l'impact des aménagements. Cette étude pourrait être étendue sur tout l'Algérie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

AIDARA K., 1996. Etude de l'oscillation Nord-Atlantique, mémoire d'ingénieur, I.H.F.R, 1996.

AKA A-A., SERVAT E., PATUREL J-E., LUBES H. ET MASSON J-M. (1996) : Analysis of the temporal variability of runoff in Ivory Coast: statistical approach and phenomena characterization. Journal des sciences hydrologiques, 41(6).

ALLALOU M., GASBAOUI Y., 1991. Éléments d'analyses des séries chronologiques stationnaires et non stationnaires. Mémoire d'ingénieur,

I.H.F.R, 1991. ANDIONE J., 1994. Variation du bilan hydrique au Sénégal oriental (1961-1990). Publications de l'association internationale de climatologie, volume 12, 1994.

ASSANI A. (1999) : Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916-1996) à Lubumbashi (Congo-Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation atmosphérique (oscillation australe) et océanique (El Nino/La Nina). Sécheresse N°4, volume 10, décembre 1999, pp 245-252.

AUSSENAC G., GUEHL J-M., 2000 - Impacts sur la forêt et la sylviculture. Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIe siècle. Minist. Aménagement du Territoire et de l'environnement, Paris, 81-87.

AZZAZ H., 2001. Impact du climat sur les ressources en eau superficielles et souterraines dans les bassins versants de la haute et la moyenne Tafna. Mémoire de magister, C.U.Mascara, novembre 2001.

B

BELKHODJA N., 2000. Etude des précipitations et des débits dans le bassin versant de l'oued Tafna. Mémoire d'ingénieur, université des sciences et de la technologie Mohammed Boudiaf Oran, 2000.

BENDJOUDI H., 2002. Impact du changement du régime pluviométrique sur les ressources en eau dans le Nord-Ouest de l'Algérie. Hydrologie des régions méditerranéennes et semi-arides, 1-4 avril 2002, Montpellier, France.

BENZATER B., 1992. Détermination des cycles pluviométriques dans la région de Mascara, Thèse d'ingénieur, Centre Universitaire de Mascara.

BERGAOUI M., ALUOINI a. (2001) : Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : cas du bassin versant de Siliana en Tunisie. Sécheresse N°4, volume 12, décembre 2001, pp 205-220.

BOUACHERIA N., 2000. Etat de la pluviométrie en période de sécheresse sur quelques stations d'Algérie. Mémoire d'ingénieur, I.H.F.R, 2000.

BOUANANI A., BABA AHMED K. ET MANIA F. (2003) : variations climatiques et conséquences hydrologiques : cas du bassin versant de la Tafna. Le journal de l'eau et de l'environnement, ENSH.

BRIATITE F. 1982 Traitement et Analyse des relevés météorologiques utilisés par la Dendroclimatologie en région méditerranéenne Française. Univ. De Droit, d'Econ et sci. Aix-Marseille, France.

BRICQUET J-P., BAMBA F., MAHE G., TOURE M., ET OLIVRY J-C. (1997) : Evolution récente des ressources en eau de l'Afrique Atlantique. Revue des sciences de l'eau, 3, 321-337.

C

CEMAGREF. DJEBLI S. 1991. Etude fréquentielle des précipitations dans la région de Mascara, Thèse d'Ingénieur, Centre Universitaire de Mascara.

D

DOUGREDEDOIT, A., (1997), "Le climat du bassin méditerranéen" In: Le climat, l'eau et les hommes, Ouvrages en l'honneur de Jean Mounier, Presses Universitaires de Rennes, Rennes, 251 – 280.

DAKICHE A., 1993. Etude statistique multidimensionnelle du régime pluviométrique et des crues, application au bassin versant de la Tafna. ANRH, juin 1993.

DEBRI B., (1993) : variations spatio-temporelles des précipitations dans le nord d'Algérie. Mémoire d'ingénieur INRF.

DECHEMI N, AIT MOUHOUB D, SOUAG D, 2000 Contribution à l'analyse du régime pluviométrique sur le littoral algérien. Sécheresse, volume 11, N 01, mars 2000

DINDAR L. (JUILLET, 2003) : analyse comparative de la puissance de tests de détection de ruptures dans des séries chronologiques de débit. Rapport de stage de DESS SITN,

DJEDIAI H., décembre 1997, Etat de la qualité des eaux superficielles du bassin versant de la Macta. Projet de coopération Algéro-Français.

DJOUAD M., ROUINI M., 1995. Etude de la sécheresse hydrologique dans l'ouest algérien à travers les données de trois stations hydrométriques. mémoire d'ingénieur, I.H.F.R, 1995.

DUBREUIL P. (1974) : Initiation à l'analyse hydrologique. Masson et Cie, 216p.

DUBREUIL V., 1996. Synthèse géographique de la sécheresse dans les régions océaniques. La météorologie, 8eme série, N015, septembre 1996.

E

EL KHADDAR S., 1995. Contribution à l'étude du changement climatique en Algérie (1936-1990). Mémoire d'ingénieur, I.H.F.R, 1995.

EL MAHI A. (2002) : Déficit pluviométrique des dernières décennies en Algérie du Nord et son impact sur les ressources en eau. Mémoire de magister, C.U.Mascara.

ELOUISSI A. (2004) : impact des changements climatiques sur les ressources hydriques et la diversité biologique. Mémoire de magister, C.U.Mascara.

ELOUISSI. A. 1992, Contribution à la formation des micro-régions climatiques pour la région de Mascara, Thèse d'Ingénieur, Centre Universitaire de Mascara.

F

FORTIN J-P., Lardeau J-P., Morin G., Sochanska W.,1978. Analyse des précipitations du bassin versant de la rivière Eaton. Université du Québec, janvier 1978.

FRECAUT R., 1971. La Moselle et son bassin contribution à l'hydrologie et la dynamique fluviales en milieu tempéré océanique. Thèse doct. Etat – Brest – Reprod - Univ. Lille .III

GAUME, E. (2001-2002), Hydrologie de versants et de bassins versants et modélisation pluie débit, cours à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

G

GHACHI A., 1986. Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie, OPU - Alger.

H

HOFF C., ET RAMBAL S., 2000 - Les écosystèmes forestiers méditerranéens face aux changements climatiques. Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIème siècle. Minist. Aménagement du Territoire et de l'environnement, Paris, 88-98.

HUBERT P. (1997): Change points in meteorological time series. Extrait de "applications of time series analysis in astronomy and meteorology. Chapman and Hall édition, Londres.

HUBERT P., CARBONNEL J-P. ET CHAUCHE A. (1989) : Segmentation des séries hydrométéorologiques – application à des séries de précipitation et de débits de l’Afrique de l’Ouest. Journal of hydrology 110, 349-367.

J

JOHN L D.,2001. L’oscillation El-Nino méridionale (ENSO). 3 décembre 2001.

K

KENNETHHARE F., 1983. Les variations climatiques, la sécheresse et la désertification. OMM, janvier 1983.

KERROUCHE M., 1998. Changements climatiques et prévision climatique cas de l’Algérie. mémoire d’ingénieur, I.H.F.R , 1998.

KHENSOUS S., (2003) : détection éventuelle d’un changement climatique au Nord d’Algérie. Mémoire d’ingénieur INRF 2003.

KETROUCI K. (2002) : la sécheresse dans le Nord-ouest algérien et son incidence sur la production de blé dur. Mémoire de magister, C.U. Mascara.

KHODJA H., LUBES H., SABATIER R., MASSON J-M., SERVAT E., PATUREL J-E. (1998) : Analyse spatio-temporelle de données pluviométriques en Afrique de l’Ouest : Recherche d’une rupture en moyenne. Revue statistique appliquée, XLVI(1), pp 95-110.

L

LAMARQUE PH. ET JOURDAIN S. (1994) : Elaboration de longues séries climatologiques homogènes pour l’étude de l’évolution climatique. La météorologie 8° série– N°7.

LASTENNET R., PUIG J.-M. (1994) : Localisation des réserves des aquifères karstiques complexes. Prise en compte pour l’exploitation des ressources. Coll. du Comité Français de l’AIH "La gestion active des aquifères", nov. 1994.

LATROUS H., 1997. Contribution à l’explication de la sécheresse sur l’ouest algérien. mémoire d’ingénieur, I.H.F.R, 1997.

LE GOFF Y., 1985. Variabilité interannuelle des précipitations au Maroc (1913-1985).

LEFEBVRE, (1980) : Introduction aux analyses statistiques multidimensionnelles. Masson (Paris), 259 p.

LUBES H., GAUTIER F., MASSON J-M., SERVAT E. ET PATUREL J-E., (1998) : Variabilité du régime pluviométrique de l'Afrique de l'Ouest non sahélienne entre 1950-1989. Journal des sciences hydrologiques, 43 (6).

LUBES H., MASSON J-M., SERVAT E., PATUREL J-E. ET SERVAT E. (1998) : Variabilité climatique et statistique : Etude de simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. Revue des sciences de l'eau, 383-408.

LUBES H., MASSON J-M., SERVAT E., PATUREL J-E., ET BOYER J-F (1994) : Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques. Etude bibliographique, Rapport 3, Programme ICCARE. ORSTOM, Montpellier, France.

LUBES H., SERVAT E. ET PATUREL J-E., KOUAME B. MASSON J-M. ; TRAVAGLIO M. ET MARIEU B. (1997) : Variabilité pluviométrique en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne durant les quatre dernières décennies. Projet FRIENDAOC/UNESCO. Acta hydrotechnica 15/19.

M

MALOBA M. DAMIEN J.,1997. Organisation pluviométrique de l'espace Congo-Gabon. Sécheresse volume 8, N0 1, mars 1997, pages 39-45.

MALOBA M.J, SAMBAG.,1999. Caractéristiques pluviométriques de l'Afrique équatoriale. Publications de l'association internationale de climatologie, volume 12, 1999.

MARC V. (1994) : Etude de la relation pluie-débit sur bassin versant en climat méditerranéen par le traçage géochimique naturel de l'eau. Thèse Doct., U.S. TL Montpellier, 293 p.

MARON V., variabilité spatio-temporelle des précipitations en Afrique sahélienne et guinéenne (1993-1990). Centre de recherche de climatologie tropicale.

MATARI A., KERROUCHE M., BOUSID H., DOUGUEDROIT A., 1999. Sécheresse dans l'ouest algérien. Publications de l'association internationale de climatologie, volume 12, 1999.

MAXWELL T. & COSTANZA R., 1997. An open geographic modeling environment. Simulation, 68 (3), pp. 175-185.

MEBARKI A., (1984) : ressources en eau et aménagement en Algérie ; le bassin du Kebir Rhumel. Edition : office des publications universitaires.

MEDDI H., 2001. Quantification des précipitations : application au Nord-Ouest de l'Algérie (Méthodologie de Pluvia). Mémoire de magister, C.U.Mascara, novembre 2001.

MEDDI M. ET HUBERT P. (2003) : Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. Hydrology of the Mediterranean and semiarid Regions. IAHS publication N° 278.

MEDDI M., HUBERT P. ET BENDJOUDI H. (2002) : Evolution du régime pluviométrique du Nord-Ouest de l'Algérie. Actes du colloque international sur l'eau dans le Bassin Méditerranéen : Ressources et développement Durable. Tunisie

MEDDI M., HUBERT J., 2002. Changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau. Forum international organisé par ACMAD sur les changements climatiques dans les pays méditerranéens et de l'Afrique. Alger du 14 au 18 avril 2002.

MEDDI M., HUBERT J., 2000. Variabilité pluviométrique dans l'ouest Algérien durant les cinq dernières décennies. 13ème colloque de l'Association Internationale de climatologie. 6 au septembre 2000 Nice, France.

MEDDI M., HUBERT P., BENDJOUDI H., 2002. Evolution du régime pluviométrique du Nord-Ouest de l'Algérie. L'eau dans le bassin méditerranéen : ressources et développement durable Monastir, Tunisie, 10-12 octobre 2002.

MEDDI M., HUBERT P., BENDJOUDI H., 2002. Impact du changement du régime pluviométrique sur les ressources en eau dans le Nord-Ouest de l'Algérie. Hydrologie des régions méditerranéennes et semi-arides, 1-4 avril 2002, Montpellier, France.

MEDDI M., MEDDI H., 2002. Sécheresse météorologique et agricole dans le Nord-Ouest de l'Algérie, colloque méditerranéen, eau et environnement. Alger le 7-9 octobre 2002.

MEKO DM., 1985. Temporal and spacial variabilisation of drought in Marocco. Proceeding of conference on drought, water management and food production, 21-24 november 1985. Agadir Maroc, 1985: 55-82.

MOKSSIT A., 1996. La sécheresse dans le climat marocain. Atelier sur la prévention et la gestion des situations de sécheresse dans les pays du Maghreb, juin 1996, pages 107-124.

MORAN V., 1996. Régionalisation et évolution des précipitations tropicales annuelles (1961-1992). Sécheresse, volume 07, N° 01, mars 1996, pages 25-32.

MOUSSA, R., 1991. Variabilité spatio-temporelle et modélisation hydrologique, Application au bassin de Gardon d'Anduze. Thèse, Université de Montpellier II, 314 p.

P

PATUREL J-P., SERVAT E., DELATTRE M.O., LUBES H. ET FRITSCH J.M. (1997) : Etude de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'ouest et centrale non

sahélienne. Regional hydrology: Concepts and models for sustainable water resources management. IAHS publication N° 246.

R

RAGON P. 1996. La sécheresse et aridité : leur impact sur la désertification au Maghreb. Sécheresse N04, volume 07, décembre1996, pp 287-297.

ROGNON R. (1996) : sécheresse et aridité : leur impact sur la désertification au Maghreb. Sécheresse N°4, volume 7, décembre 1996, pp 287-297.

T

TAYEB E., 1996. Impact de la sécheresse sur la production Agricole et implications agronomiques. Atelier sur la prévention et la gestion des situations de sécheresse dans les pays du Maghreb. Juin 1996, pages 97-106.

X

XOPLAKI E. (2002) - Climate variability over the Mediterranean. Thèse de Doctorat de l'Université de Berne (Suisse), 193 p.

Y

YACOUBI M., EL MOURID M., CHBOUKI N., STOCKLE C., 1998. Typologie de la sécheresse et recherche d'indicateurs d'alerte en climat semi-aride marocain. Sécheresse, volume 09, N0 4, décembre 1998, pp 269-276.

LISTE DES FIGURES

Figures	Pages
Figure I 1: Le système climatique. Description schématisée des composants du système climatique et de leurs principales interactions (GIEC, 2007).	21
Figure I 2: évolution des concentrations du dioxyde de carbone durant la période 1960-2020 en ppm source : https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/	22
Figure I 3: évolution de la température durant la période 1860-2019.....	23
Figure I 4: variation du niveau moyen des océans et des mers durant la période 1860-2016.....	23
Figure I 5: Classement de 181 pays selon l'indice global d'adaptation aux changements climatiques d'après Chen et al, 2015.....	24
Figure I 6: Représentation schématique des conditions météorologiques en Europe associées aux phase positives (à gauche) et négatives (à droite) de l'Oscillation Nord-Atlantique. Adapté de Visbeck (2007).	34
Figure I 7: NAO moyenné sur les mois d'hiver (mois de décembre à mars) et calculé pour les stations de Lisbonne (Portugal) et Stykkisholmur (Islande). L'indice est présenté pour les hivers 1870 à 2019.....	36
Figure I 8: Représentation schématique des conditions météorologiques en Europe associées aux phase positives (à gauche) et négatives (à droite) de l'Oscillation Nord-Atlantique. Adapté de Visbeck (2007).	37
Figure II. 1: Les sous bassins versants étudiés	38
Figure II. 2: Situation de Garaet Guellif, Garaet Ank Djemel et El Marhssel	41
Figure II. 3: Situation de Garaet El Tarf	41
Figure II. 4: Les diagrammes ombrothermiques des différentes stations (1995-2012)....	43
Figure II. 5: Réseau Hydrographique des bassins versants	48
Figure II. 6: Réseau Hydrographique des bassins versants	49
Figure II. 7: carte géologique des bassins versants.....	51
Figure II. 8: carte géologique des bassins versants	52
Figure II. 9: carte géologique des bassins versants	53
Figure II. 10 : Lithologie de bassin versant de Chemora (Guidoum, 2012)	55
Figure II. 11 : Lithologie de bassin versant de Chemora (Guidoum, 2012)	56
Figure II. 12: Occupation des sols des bassins versants (Guidoum, 2012).....	58
Figure II. 13: Occupation des sols des bassins versants (Guidoum, 2012).....	59
Figure II.14: Couvert forestier :	60
Figure II. 15: carte de la couverture végétale du bassin (Mebarki ; 2005).....	61
Figure III. 1: Méthodologie de travail utilisée.....	65
Figure III. 2: Principe de la méthode bayésienne (d'après Perreault (2000)).....	70
Figure III. 3: Localisation des stations retenues	82

Figure III. 4: la méthode du double cumule pour quelques stations à l'échelle annuelle des précipitations.....	84
Figure III. 5: Ajustement à une loi normale pour les stations d'études	85
Figure IV. 1: Relation entre les pluies annuelles et leurs coefficients de variations.....	90
Figure IV. 2: Amplitude des précipitations moyennes mensuelles avec la moyenne (1969-2012)	92
Figure IV. 3: Régime saisonnier des pluies dans les stations de la zone d'étude (1969-2012)	94
Figure IV. 4a : Variations interannuelles des précipitations (1969-2012)	97
Figure IV. 5: variations des deux moyennes des séries pluviométriques à l'échelle mensuelle – (décembre et janvier)	103
Figure IV. 6 : variations des deux moyennes des séries pluviométriques à l'échelle mensuelle – (mars et avril).....	103
Figure IV. 7: variation interannuelle des précipitations au niveau de la montagne	106
Figure IV. 8: Matrice MGCTI appliquée aux précipitations annuelles des différents étages géographiques sur la période 1969-2017	110
Figure IV. 9: Évolution décennale des pluies.....	113
Figure IV. 10: Tendances saisonnières des pluies observés selon le milieu géographique (plaine, piedmont, montagne).....	115
Figure IV. 11: Les Températures Moyennes, Maximales et Minimales, des stations (1995-2012).....	118
Figure IV. 12: La variation des températures moyennes mensuelles des stations (1995-2012)	118
Figure IV. 13: La variation des températures moyennes annuelles des stations	119
Figure V 1: Courbe Hypsométrique et Histogramme des Fréquences Altimétrique des bassins versants.....	134
Figure V 2 : Carte des tranches d'altitude des bassins versants (MNT ,30m).....	135
Figure V 3: Carte des pentes des bassins versants (MNT ,30m).....	138
Figure V 4: Écoulement moyen annuel absolu (1969/70-2012/13) par ordre croissant selon le module absolu.....	143
Figure V 5: Écoulement moyen annuel spécifique (1972/73-1993/94) par ordre croissant selon la superficie contrôlée.....	144
Figure V 6 : Relation lame d'eau moyenne écoulee- lame d'eau moyenne précipitée (en mm) (1969-2011).....	145
Figure V 7 : Bilan moyen annuel de l'écoulement à différentes stations de la zone étudiée.....	146
Figure V 8: Evolution du coefficient d'hydraulicité 1969/70-2011/12.....	148
Figure V 9: Variations des débits moyens mensuels des oueds.....	152
Figure V 10: Variations mensuelles du coefficient de variation des bassins versants ...	153
Figure V 11: Variations mensuelles des débits.....	154
Figure V 12: Courbe des coefficients moyens mensuels de débits.....	157

Figure V 13: Application de l'Approche géographique des régimes d'oued Chemora pendant l'année humide 1972/73.....	161
Figure V 14: Application de l'Approche géographique des régimes d'oued Chemora pendant l'année sèche 1987/88.....	161
Figure VI. 1: Spectres de l'analyse en ondelettes continues des précipitations	167
Figure VI. 2: Spectres de l'analyse en ondelettes continues la variabilité hydrologique	169
Figure VI. 3: Spectres locaux de l'analyse de la cohérence des débits/précipitations par ondelettes sur les principales stations des bassins d'étude	171
Figure VI. 4: Évolution à long terme des indices climatiques Les phases globalement positives ou négatives des indices climatiques sur la période 1836-2011.....	174
Figure VI. 5 : Spectres locaux de l'analyse en ondelettes continues des principaux indices climatiques (a) NAO (b) OMO.....	176
Figure VI. 6: Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et pluies dans le bassin de Madher a la station de Batna	179
Figure VI. 7: Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et pluies dans le bassin de F. Gueiss a la station de F. Gueiss.....	179
Figure VI. 8: Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et pluies dans le bassin de Boulefreiss à la station de Yabous.	179
Figure VI. 9: Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et pluies dans le bassin de Chemora a diffèrent stations.	181
Figure VI. 10 : Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et débits dans le bassin de Madher a la station de Fesdis	184
Figure VI. 11: Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et débits dans le bassin de F. Gueiss a la station de F. Gueiss.....	184
Figure VI. 12: Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et débits dans le bassin de Boulefreiss a la station de Yabous.	185
Figure VI. 13: Spectres de cohérence par ondelettes entre indices climatiques et débits dans le bassin de Chemora a diffèrent stations.	186

LISTE DES TABLEAUX

Titre	Page
TABLEAU I. 1: LES POTENTIALITES EN EAU SUPERFICIELLE DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES DE L'ALGERIE (MRE, 2012).....	26
TABLEAU I. 2: CAPACITE DES BARRAGES ET LE VOLUME REGULARISE (MRE.2012)	27
TABLEAU I. 3: Estimation des populations horizons 2025.....	29
Tableau II. 1: Détermination du régime climatique par la méthode d'Euverte (1995-2012)	44
Tableau II. 2: Le Quotient Pluviométrique des stations (1995-2012).....	44
Tableau II. 3: Indice mensuel d'aridité	45
Tableau II. 4: Répartition en % des types d'occupation du sol.....	57
Tableau III. 1: Valeurs critiques et bornes de la statistique U pour tester $\Delta=0$ contre $\Delta \neq 0$.....	73
Tableau III. 2: Classification de la sécheresse avec la valeur	74
Tableau III. 3: Les paramètres morphométriques quantitatifs.....	76
Tableau III. 4: les stations climatiques, coordonnées géographiques, période des données	81
Tableau III. 5: caractéristiques des stations hydrométriques.....	81
Tableau III. 6: Caractéristiques des stations thermiques.....	82
Tableau III. 7: Coefficient de corrélation des pluies mensuelles mesures aux stations ...	83
Tableau III. 8: Coefficient de corrélation des débits mensuels mesures aux stations	83
TABLEAU IV. 1: CARACTERISTIQUES DESCRIPTIVES DES SERIES D'OBSERVATIONS A L'ECHELLE ANNUELLE.....	89
TABLEAU IV. 2: REGIME PLUVIOMETRIQUE SAISONNIER SELON MUSSET (1935).....	93
TABLEAU IV. 3: FREQUENCE (%) DES ANNEES SECHES, NORMALES ET HUMIDES DANS 16 POSTES PLUVIOMETRIQUES.....	99
TABLEAU IV. 4: ECART A LA MOYENNE DES PRECIPITATIONS ANNUELLE EXTREMES (1969-2012).....	100
TABLEAU IV. 5: RESULTATS DU TEST DE CORRELATION SUR LE RANG APPLIQUE AUX SERIES PLUVIOMETRIQUES ANNUELLES	101
TABLEAU IV. 6: RESULTATS DES TESTS DE DETECTION DE RUPTURE APPLIQUES AUX SERIES PLUVIOMETRIQUES ANNUELLES	102
TABLEAU IV. 7: LES ANNEES DES RUPTURES DES MOIS CONSIDERES	103
TABLEAU IV. 8: LA COMPARAISON ENTRE LES DEUX MOYENNES DE PART ET D'AUTRE DE LA DATE DE RUPTURE A L'ECHELLE SAISONNIERE- PRINTEMPS-	104
TABLEAU IV. 9: LA COMPARAISON ENTRE LES DEUX MOYENNES DE PART ET D'AUTRE DE LA DATE DE RUPTURE A L'ECHELLE SAISONNIERE- HIVER-	105
TABLEAU IV. 10: ANALYSE DES PRECIPITATIONS INTERANNUELLES (PERIODE D'ETUDE 1969-2017).....	106
TABLEAU IV. 11: SEUILS DES ANNEES SECHES, TRES SECHES, HUMIDES ET TRES HUMIDES ; PAR LA METHODE DES QUINTILES, PERIODE (1969-2017)	109

TABLEAU IV. 12: STATISTIQUES DES ANNEES SECHES ET PLUVIEUSES PAR LA METHODE DES QUINTILES	112
TABLEAU IV. 13: TEST STATISTIQUE DE TENDANCE DES SERIES PLUVIOMETRIQUES	112
TABLEAU IV. 14: PRINCIPAUX PARAMETRES STATISTIQUES DE LA PLUVIOMETRIE SAISONNIERE.....	114
TABLEAU IV. 15: REGIME THERMIQUE MENSUEL AUX STATIONS CLIMATIQUES DE LA REGION D'ETUDE (1995-2012)	117
TABLEAU IV. 16: ETP (PAR DIFFERENTES FORMULES AU DIFFERENT STATIONS).....	121
TABLEAU IV. 17: RECAPITULATIF DES PARAMETRES DU BILAN DE THORNTHWAITE	122
TABLEAU IV. 18: CALCUL DE L'E.T. P ET L'E.T. R A LA STATION DE BATNA.....	123
TABLEAU IV. 19: CALCUL DE L'E.T. P ET L'E.T. R A LA STATION DE KHENCHELA.....	124
TABLEAU IV. 20: BILAN HYDRIQUE DE THORNTHWAITE POUR LA STATION DE BATNA	126
TABLEAU IV. 21: BILAN HYDRIQUE DE THORNTHWAITE POUR LA STATION DE KHENCHELA	126

Tableau V. 1: Les caractéristiques Géométriques, Morphométriques et Hydrographiques.....	131
Tableau V. 2: Classification, longueur, et nombre des cours d'eau des bassins versants	132
Tableau V. 3: Répartition altimétrique des bassins versants.....	133
Tableau V. 4: Répartition des superficies selon les tranches d'altitude dans les bassins versants	135
Tableau V. 5: Variations des modules absolus et spécifiques des bassins.....	142
Tableau V. 6: Débits moyens annuels	147
Tableau V. 7: Valeurs de l'hydraulicité (Ch) et CV aux différentes stations (1969/70-2011/12).....	150
Tableau V. 8: Moyenne, Écart-type, Coefficient de variation et coefficient mensuel des débits	156
Tableau VI. 1: Les stations pluviométriques et hydrométriques choisies	166
Tableau VI. 2: Quantification des relations entre débits et précipitations à l'échelle du bassin versant.....	172

Annexe 1 : Les données pluviométriques

Tazoult 070303	sept	oct.	nov.	déc.	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout
1969	90	140,8	15,2	41,2	28,3	5,8	18,2	101,4	47,3	4	15,5	2,3
1970	23,6	25,4	0	35,9	16,37	13,03	19,16	0	62,9	1,7	2,4	0
1971	37,1	56,4	66,4	29,5	46,8	32,8	38,4	72,4	36,5	25,9	0	29,3
1972	79,6	66,1	22,2	25,8	57	41,8	88,7	41,8	4	28,5	3,2	17,1
1973	15,7	2,4	23,2	69,5	2,3	32,2	46,6	68,8	4,7	32,8	0	0
1974	19,3	36,5	48,6	4,1	32,1	69	42,3	49,7	64,3	0	6,1	10
1975	33,8	5,7	82,5	2	10,2	72,1	84,58	4	45,7	80,3	11	16,5
1976	76,4	39,4	70	32,02	39,21	6,27	28	61,3	65,1	33	0	32,2
1977	1,5	0	51,5	6	20,4	36,4	12,5	41	2	4	0	1
1978	3	46,4	0	4	34,4	39,5	26,5	54	10,5	17,5	0	2
1979	53	30,5	8	6	19,5	54	43,5	32,2	60	5	0	2,5
1980	41,5	3	87,3	66,9	8	34,5	40	13,5	3	19,8	0	18,5
1981	31,5	30,5	2	23	43,7	23	24,5	85,5	42,5	30,5	0	0
1982	28,5	75	139,5	11	0	20,5	22,5	0	10	18	0	10
1983	40	14	10,5	27	50	96	27	35	0	15	4	28
1984	10	79,5	6	54	61	21	116,5	22	88,5	0	0	0
1985	60	72	51	21	51	25	102,5	24,5	10	4,5	0	12
1986	60	38	39,5	39	21	33	13	10	31	13,5	28	0
1987	0	27	39	61	7	7,5	30	18,5	23	40	0	3
1988	2	8	49,9	74,5	8,4	37,5	17	48,5	58,3	17,6	0,7	33
1989	28	14	5	8,5	110	0	38	32,5	103,5	0	10	88
1990	45,1	4,5	28,5	44	5	27	53	35	13	21	1	7,5
1991	22,6	66,4	19,1	12,6	37,8	27,4	78,5	31,8	106,4	0	0	27,9
1992	12,9	8,4	70,6	58,1	21,9	42,5	26,7	8,2	32,3	12,9	0	3,7
1993	14,2	9,5	24,8	46,2	22,8	23,2	34,1	14,2	5	2,2	3,3	3
1994	47,2	53,4	12,1	12,3	62,7	9,9	37,7	15,6	6,6	28,6	9,4	2,3
1995	62	19,2	4,7	19,4	110	90,3	69,3	54,4	42,3	33,7	18,9	23,6
1996	0	0	5,1	21,4	23,1	5,2	17,5	45,8	19,5	18,8	5,1	113,2
1997	57	20,9	94,3	11,3	13,8	21,3	3,8	8,6	23,8	14,5	0	2,8
1998	11,5	9,7	26,3	20,8	46,9	5,7	17,1	6,9	27,8	21,7	17,4	12,5
1999	39,3	32,5	80,8	80,9	10,6	3	1,4	6,5	63	30,7	0	0
2000	12,4	4,8	14,3	51,6	50,7	5,1	4,2	14,6	49,7	0,4	2,4	8,8
2001	28,5	11,4	4,8	11,5	13,2	8,5	24,1	41,6	13,3	18	5,8	56,7
2002	0,8	24	61	16,2	123,1	22,9	29,1	97,2	25,8	48	5,4	30
2003	18,5	91,2	15,7	31,9	19,3	24,7	69,3	61,4	96,3	37,4	3,7	31,2
2004	10,9	34	90,7	135,7	12,7	48,8	25,4	39,2	10,5	13,4	4,8	0
2005	21,7	6,7	42	62,1	61,5	42,1	21,3	66,5	79,8	15,6	21,8	13,8
2006	39,4	2,8	25,2	41	19	25,5	51,2	98,7	10,7	0	0	12,8
2007	228,1	32,3	14,8	60,1	8,5	1,2	25,2	12	65,5	18,5	22,1	0
2008	47,1	35	18,3	24,1	98,7	9,6	66,2	142,1	78,5	8,3	4,6	19,2
2009	99,6	19,3	5,2	34,7	49,7	70,5	54,4	71,2	28,5	34,4	4,2	4,7
2010	27,6	32,2	43,8	18,3	19,9	66,8	74,7	70,8	114,7	37,1	15,3	2,2
2011	47,4	111,4	28,7	8,1	7,2	26,5	28,2	89,2	3,2	26	0	6,8
2012	57,9	9,6	66,8	8,6	50,5	29,4	38,1	60,3	15,4	14,4	16,8	23,9

Ali Benteoun 070304	sept	oct.	nov.	déc.	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout
1969	98,04	83,3	18,5	27,6	19	3,7	9	90,6	32,1	0	1,8	0
1970	23	8,5	3,55	13,49	21,7	69,44	7,8	10,16	45,6	8,05	2,63	5,85
1971	44,7	63,6	23,4	13,8	44,9	18,4	67,2	62	70,2	14,8	0	30,4
1972	68,4	52,5	0	24	19,5	16,6	86,3	34	0	0	0	24,4
1973	17,7	2,8	16,2	54,1	0	8,6	14	29,6	0	28,7	0	0
1974	4,7	19,6	43,5	3,7	15,8	64,2	32,5	22,2	44,5	0	0	7,7
1975	56,3	1,5	44,1	20	43,1	29,4	85,7	38,5	35	78,1	46,3	24
1976	19	42	22,6	27,3	48	0,6	58	20,1	54,7	0	0	15,6
1977	7,1	24,1	71,5	2	0,1	40,5	0	8	0	7,9	0	28
1978	21,8	36,3	0,7	0	3,8	25,6	15,8	44,5	16,9	15,3	0	0
1979	19,5	15,7	3,3	2,7	4,8	17,5	19,5	7,8	37,1	0,6	0	3
1980	20,5	0,5	53,9	85	0,9	6,44	36	15,9	4,5	17,3	0	0
1981	42,6	19,7	8	12,4	46,2	35,6	27,6	92,1	36,3	21	0	24,2
1982	59,46	42,83	63,39	11,8	0	4,4	28	12,9	9,3	4,6	0	11,8
1983	22,8	13,5	12,8	18,5	60,4	44,9	8,5	17,4	0	12,3	0	14,4
1984	0	69,5	19,7	110,2	57,9	10,3	80,4	1,6	70,8	0	7,1	0
1985	31,6	25,4	26,2	19,7	27,6	9,4	96,3	17,5	9,5	6,3	0	0
1986	49,7	47,3	41,5	72,4	12,3	33	12,6	17,8	32,6	17	37,6	0
1987	5,7	27,5	13,4	39,2	18,9	15,5	11	29,5	14	46,2	0	1,7
1988	9,8	0	19,8	93,9	7,7	24,4	18,5	34,9	82	66,2	0	43,3
1989	30,8	9,7	1,1	8,3	106,2	0	20,2	63,4	73,9	0	50,9	49,9
1990	59	0	31,1	18,8	2,2	34,2	127,5	38,7	42	38,2	33,2	12,2
1991	52,1	92,1	18,5	33,7	34,7	32,8	70,5	28,4	92,3	0	15,9	0
1992	13,2	3,5	94,4	74,1	8	40,8	8,7	0	35	0	0	0
1993	8,2	6,5	12,6	83,2	15,9	25,2	40,5	0,7	1,7	0	0	1,9
1994	28,2	50,3	16,8	1,2	86,4	0	49,2	4,3	7,2	28,9	0	0
1995	82	33,6	9,7	23,2	152,2	102,4	85	49,8	26,2	10,3	0	15,6
1996	2	0	0,8	18,2	3,3	0	17,4	24,8	7,9	16,7	1,8	42
1997	139,2	30,3	44,5	38,2	1,3	22,4	38,9	57,8	8,6	13,4	0	1,3
1998	35,9	8	27,7	19,4	81,3	15,9	27	4,7	23,3	5,4	0	1,8
1999	31,7	20,9	55,9	78,7	9,5	4,5	2,5	0,5	52,5	25,3	0,2	7,4
2000	25,7	1,8	20,4	26,7	32	3,4	9,1	15,4	42,4	0	13,2	16,9
2001	73,4	3,3	19,5	8,4	9,6	8,6	22	44,9	7	11,6	4,6	32,1
2002	3,8	21	76,5	50,6	108,9	19,6	29,8	122,5	29,8	71,1	6,4	4,5
2003	29,4	89	20,3	76,8	21,5	16,3	53,2	37,1	127,1	53	0	19,2
2004	30,7	22,3	111,3	162,9	10,9	15,7	21,3	30,2	0	19,1	0	0
2005	9,6	9,2	12,6	57,4	49,5	53,2	0	62,5	49,4	13	9,3	9
2006	82,4	10,9	16	35,1	10,3	31,1	58,8	49,5	2	0	0	1,9
2007	94,8	19,5	0	122,1	0,6	5,3	13,8	0	30,9	27,2	14	16,5
2008	73,7	48,3	12,4	38,3	80,8	28,9	36,2	41,5	33,8	0	13,5	46
2009	89	15,4	0	15,7	60,2	24,4	32,3	45,9	45,3	25,3	13,9	4
2010	15,8	19,3	24,2	6,8	6,2	88,2	43,4	95,7	72,7	62,1	0,7	27,2
2011	38,6	106,2	18	19,8	10	51,2	47,3	23,1	0	8,7	0	27
2012	52,9	0	51,2	16,4	24,5	27	12,2	39,8	10,4	26,7	12,6	34,9

Hamala 070308	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969	81,33	84,6	13,3	91,9	36,5	0	18,5	85,2	46,4	0	22	0
1970	20,44	19,49	11,65	35,97	23,8	30,8	17,4	0	42,2	0	5,4	0
1971	35,9	6,1	47,1	39,6	51,8	38,8	43	65,9	29,35	19,9	0	27
1972	121,5	47,3	24,4	27,3	56,3	59,9	94,1	62,8	5,1	21,5	0	16,8
1973	33,4	6,2	20,7	91,7	0	43,6	101,7	36,8	1,3	21,3	0	2,4
1974	6	26,71	81,3	10,6	33,2	119,6	69,5	26,2	54,8	0	0	3,8
1975	40,4	1,2	71,1	11,3	29	81,4	66,9	48	56,8	42,2	20,4	12,1
1976	48,6	42,2	75,6	41,6	79	1,3	8,2	48,1	72,9	8,1	0	26,4
1977	0	0	78,9	10,6	19,1	31,9	15,6	63,5	27	0	0	34,3
1978	3,9	70,9	4	9,1	29,8	40,3	19,6	51,3	6,1	26,1	0,8	6,2
1979	30,3	16,8	16,8	1,4	11,9	36,4	37,3	37,9	51,1	0	0	1,6
1980	19,1	0,9	37,6	32,8	8,4	31,1	31	14,3	1,6	26,2	0	11,7
1981	44,2	15,5	5,7	18,1	43,5	30	28,2	58,4	24,8	42	0	5,4
1982	24,94	51,73	111,7	16,2	0	15,2	7,1	3,6	24,8	14,2	0	4,3
1983	6,5	3,6	8,9	10,1	16,3	98	6,8	5,1	0	0	0	0
1984	3,5	78,1	11,4	22,8	93,6	26,6	81,5	25,55	71,6	0	0	0
1985	57,7	36,9	73,9	41,1	29	44,6	86,9	21,7	0	0	0	0
1986	38,4	54,8	43,4	37,1	20,5	43,5	19	15,2	24,6	11	4,13	1,84
1987	14,75	20	53,7	47,5	3,5	6,8	15,5	19,5	19,54	11	0	0
1988	9	0,3	20,5	60	19	21	26,5	19	20	40	16,4	74,5
1989	33,2	7,5	18,5	15,7	89	0	30	92	117	0	9	7
1990	27,4	0	53	42,5	9,4	31	99,4	33,5	16	28,5	0	0
1991	8	79	7	28	52,1	24,1	48,9	49,5	68,5	0	6,4	1,2
1992	34	3,5	69,7	40	12,5	43,3	5,8	0	40	4,3	0	0
1993	7	0	20	62	28,5	39,6	23		9	0	0	0
1994	90	50,5	1,5	11,8	45,5	0,5	36	19	0	24,5	0	0
1995	47,5	22	0,5	21	108	143	38	92	40,5	42	10	13
1996	16,5	8,5	3	16,5	30,5	6	15	51,5	6,5	19,5	4,5	2,5
1997	23,5	8,5	14,7	5	0,8	4	0,4	3,2	15,5	9	0	0
1998	12	8,5	51,5	27,5	53	29	11	0	4	11,7	0	25
1999	38,5	79,5	75,5	77,8	6	0	0	10,5	49	28,5	0	3,5
2000	35,5	7	9,5	40	95,5	0	1,5	1,5	31,5	0	0	1,3
2001	43	12	17,5	3	16,5	4,5	3,5	30	0,5	7	0	2
2002	0	18,5	41,4	29,6	95	23	7,5	55	21	26,8	2,7	16,3
2003	28	68,3	93	90,5	30,3	15,5	38	37,5	42,5	53,5	0	15,5
2004	11,5	7	135,5	132	17,11	3,5	11	27	4	27	0	4,5
2005	22,5	1,5	69	44	51	36,3	16	115	46,3	0	16,9	0
2006	4,9	0	17,5	19,8	15	19	16,3	44	12	0	0	4,7
2007	56,7	22,6	4,9	23,1	10,2	0	12	0	72,5	9,2	18	0
2008	7,1	16,9	28	72,5	169,1	27,6	48,4	104,5	64,2	1,2	1,8	1,6
2009	119,6	38,4	24	10,2	55	28,7	35,5	54,1	7,9	37,9	4,8	0
2010	5,1	26,2	38,5	5,8	8,5	31,5	14,8	77,8	74,8	39,1	0	0
2011	20,6	75,39	21,3	16,8	47,6	22,9	34,1	34,1	0,3	5,7	0,3	2,4
2012	13,7	23,4	43,3	11,9	31,8	50,4	75,3	80,1	41	7,8	16,3	8

Batna 070316	sept	oct.	nov.	déc.	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout
1969	92,2	143,0	9,0	39,9	28,9	5,6	19,0	109,5	56,7	3,2	22,4	9,7
1970	9,6	36	57	36,8	53,5	36,0	27,3	5,5	64,3	3,6	6,9	5,7
1971	58,8	21,5	49,4	36,1	74,9	29,8	42,5	81,5	62,3	28,5	1,9	43,3
1972	94,8	70,3	21,5	65,2	44,1	43,0	75,6	43,4	5,0	28,5	5,2	20,9
1973	19,1	7,8	23,0	102,2	7,2	37,8	52,0	34,5	3,4	14,1	2,2	6,6
1974	22,4	23,2	66,3	12,8	22,4	73,1	50,5	21,2	51,1	0,2	4,4	14,0
1975	45,5	3,4	49,9	16,4	24,1	57,6	67,6	43,1	56,4	68,1	41,3	15,5
1976	54,8	31,2	63,5	25,3	48,7	2,7	18,3	43,5	76,6	26,0	0,0	34,1
1977	4,5	1,9	65,4	4,5	10,6	9,4	26,5	32,2	12,6	7,0	9	18
1978	16,7	46,5	4,5	3,9	37,0	39,1	19,7	71,0	13,7	24,3	8,3	8,3
1979	26,0	31,2	20,0	3,6	15,6	39,6	57,9	38,0	54,8	6,7	0,1	12,8
1980	59,2	9,9	68,3	87,6	5,7	29,6	34,7	10,8	6,3	11,7	0,0	13,6
1981	28,4	28,5	3,0	21,7	23,9	29,0	41,5	91,6	44,7	52,2	0,3	13,6
1982	64,8	43,5	117,5	21,0	1,5	20,0	25,0	6,0	7,7	18,1	0,5	10,4
1983	51,3	13,2	10,0	12,7	42,2	86,5	17,6	31,5	0,7	13,8	0,0	28,2
1984	4,9	80,9	6,7	47,9	55,4	16,9	100,3	17,0	82,2	0,1	0,0	0,0
1985	94,8	52,0	48,6	22,8	46,4	14,6	97,2	18,1	16,5	19,7	0,3	4,8
1986	65,6	31,3	23,0	29,2	25,1	38,0	14,5	14,3	26,9	14,5	56,3	0,1
1987	14,1	24,1	27,3	61,5	4,0	6,3	17,1	19,7	15,9	36,7	1,8	9,6
1988	13,8	6,3	28,8	90,9	9,2	27,6	14,5	39,6	40,8	93,9	3,3	63,4
1989	39,2	4,7	3,7	20,4	129,6	0,0	53,7	90,6	117,1	7,9	18,0	14,3
1990	44,2	8,0	42,1	42,2	5,0	30,4	103,2	50,8	63,8	28,0	40,4	4,6
1991	21,1	84,2	14,9	13,5	36,0	24,4	63,3	46,6	63,4	2,0	12,8	1,2
1992	38,2	13,2	77,4	60,1	11,7	47,0	22,5	4,6	30,1	11,2	0,9	0,8
1993	4,8	4,6	22,6	39,3	16,4	25,9	37,5	16,5	14,5	0,0	1,8	1,9
1994	121,2	37,3	8,5	9,1	52,4	12,5	26,6	8,8	20,3	44,8	5,8	4,7
1995	63,0	38,7	5,4	20,4	97,5	87,3	60,5	43,3	40,2	27,6	6,8	19,8
1996	14,5	5,4	5,6	16,2	25,6	5,4	12,5	51,7	5,7	34,5	6,9	7,8
1997	137,2	33,9	93,4	52,5	14,0	11,7	13,0	58,6	31,1	14,2	0,0	16,6
1998	19,5	13,4	27,2	15,2	60,4	16,9	15,1	10,5	20,3	12,1	6,2	17,4
1999	43,8	36,4	74,6	63,6	6,0	2,7	4,6	3,6	38,8	7,3	2,9	22,5
2000	53,9	5,5	15,2	46,6	40,6	16,3	5,0	8,1	48,6	0,0	10,3	19,3
2001	69,1	19,2	18,9	9,3	15,5	14,2	16,8	36,5	28,2	11,0	6,5	9,5
2002	3,0	22,9	70,0	35,2	89,1	19,6	22,8	112,6	32,7	42,1	8,1	18,1
2003	37,1	100,3	15,1	52,0	21,1	13,6	73,7	64,2	104,0	63,8	4,5	54,4
2004	19,8	26,5	98,1	122,8	15,1	73,3	30,3	32,9	6,9	25,3	1,9	3,4
2005	24,3	8,7	39,2	31,7	59,1	45,6	15,1	108,2	45,4	6,9	46,1	5,5
2006	44,0	5,0	26,0	35,7	18,8	16,6	54,6	35,2	14,0	5,1	1,3	9,1
2007	64,9	29,5	2,3	51,8	5,5	1,2	50,1	10,8	76,4	32,7	18,1	32,4
2008	46,6	75,5	18,0	47,8	105,5	31,9	42,7	99,9	46,6	1,3	9,0	25,8
2009	93,3	29,0	6,5	22,8	40,0	48,5	63,8	43,3	42,7	49,6	15,7	7,1
2010	28,8	24,4	54,7	21,2	22,0	47,8	48,1	92,8	115,2	47,2	12,6	10,1
2011	58,9	93,3	13,8	9,3	10,6	29,0	44,0	42,7	0,8	7,4	4,1	14,2
2012	40,7	9,3	37,4	3,6	39,6	24,1	29,8	56,2	9,2	18,4	24,1	18,4
2013	52,4	44	14,5	37,6	31,4	5,9	106,7	0,5	52	13,7	0	5,2
2014	38,3	55	18,5	37,9	53	51,4	34,5	8,9	27,2	20,2	6,4	74,7
2015	50,6	42,1	25,5	0	12,8	18,6	18,6	101,4	46,1	1,8	0	1,9
2016	18,1	11,8	42,3	36,6	20,4	3,6	0,8	19,7	13,2	31,2	0	14,8
2017	14,8	33,6	28,4	25,9	3,6	28,8	14	39,6	90,9	40,4	63,4	3,3

Baiou 070407	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969	216,8	147	3,1	8,3	7,9	3,2	11,1	88,1	67,1	0	0	0
1970	18,14	57,46	0	24,8	24,8	29,6	9,9	19,8	70,4	0	0	12,99
1971	41,56	81,09	79,15	16,36	38,21	45,51	98,79	87,04	50,13	16,15	1,34	28,74
1972	40,84	24,07	10,91	58,84	12,4	31	78,2	47,6	7,7	39,2	9	34,2
1973	6,8	15,3	21,3	76,6	5,3	24,5	60	59	3,5	21	2,5	3,7
1974	38,1	41	47,8	11,5	18,4	52,3	60,7	27,8	69,7	1	15,8	10,4
1975	75,3	10	78,8	20,8	41,5	69,5	74	46,8	73,2	46,9	27,8	22,7
1976	69,1	30,5	88,5	21,5	50,22	11,49	45,66	81,65	34,84	12,78	1,34	28,29
1977	11,21	10,6	69	11,86	12	32	10	25,79	30,7	4,5	0	81
1978	13,5	57,9	32,5	3,2	33,3	43,1	30,2	50,9	14,8	62,5	2,2	10
1979	62,9	21,2	22	10,5	18,9	56,5	71	46	73,3	5,4	2	11,4
1980	30,5	0	93,6	51,3	3	46,1	45,6	32,1	6	24,2	0	18
1981	131,9	19,3	7,5	25	42,7	28,5	43,5	102,4	44,4	24,7	5,8	22,3
1982	71,5	79,5	188,8	16,2	2	29,5	24,2	7,1	11,1	4,4	0,5	0
1983	61,93	15,9	8,8	25,7	68,7	39,5	32,9	31	4	0	0	7,4
1984	4,5	79,3	1,1	47,2	35,4	28	45,4	14	76,2	3,6	8	21,7
1985	55	39,2	31,7	29,3	29,5	23,7	101	36,8	4,1	9,6	3,3	5,4
1986	76,8	63,4	39	32,8	16,7	25,6	19,5	19,8	32,2	9,2	0	11
1987	5,5	38,7	62,8	35,2	10,9	15,1	19	17,5	29,9	66,9	1,1	2,5
1988	16,9	7	38,2	63,4	9,5	14,8	21,8	45,8	36,6	59,2	4	91,5
1989	45	12,5	13	18	123,5	0	45,4	74	93,4	5,8	22,7	126,5
1990	17,2	7,4	42,3	48	7,7	26,3	108,8	45,4	17,1	15,2	16,9	64,4
1991	53,8	60,3	14	19,9	30,6	29,2	52,4	34,9	88,9	4,2	27,6	6,5
1992	12,7	11,2	62,4	48,4	8,9	38	11,6	13,8	26,3	6,1	0	5
1993	8,5	10,2	20,7	68,3	23,6	18,7	35,4	11,2	12,5	3,2	14,1	34,4
1994	43,9	53,6	14,1	13,8	33,7	7,7	105,4	18,5	0	39,3	15	9,9
1995	56,5	76,3	7,2	30,3	65,9	91,7	67,8	75,8	50	59,9	11,7	22
1996	22,5	4,6	4,7	27,7	30,3	8,3	50,9	66	7,7	49,8	8,9	22,3
1997	103,5	46,4	71,2	55,9	6,3	25,9	47,6	66,9	24,2	20,1	0	55,6
1998	16,8	23	36,8	15,9	46,3	15,7	21,7	10,2	42,1	43,2	32,7	7,3
1999	44,8	23,8	109,7	116,6	5,9	7,9	19,2	2	51,9	50,6	0	1
2000	17,7	7,6	11,5	29,2	33,7	5,2	4,4	6,5	59,2	0	1,3	10,8
2001	49,1	13	29,2	9,9	16,4	7,7	19,5	40,4	17,5	15,7	9,1	22,2
2002	1,3	24,3	71,7	23,3	83	24,8	6,4	112,5	23,8	21,5	9,2	14,9
2003	13,9	73,4	13,3	45,6	10,1	17,2	53,6	48,2	105,7	64	11,5	58,5
2004	18,4	12,6	114,8	113,9	12,7	31,7	14,8	40,5	10	32,3	0	0
2005	1,5	0	19,3	27,8	37,1	34	7,9	55,1	34,9	8	24,6	7,7
2006	43,2	7,5	28,6	41,4	21,77	13	55,1	74	16,9	2	0	1,5
2007	61,8	22	7,01	36,5	10	9	14	15,5	54	15	8,5	4,4
2008	8,7	10,9	7,9	28,42	77	18,2	61,3	106,1	100,1	7,5	16,2	38,1
2009	110,7	12,7	1,7	24,1	38,7	11,1	29,7	38,4	25,6	23,7	12,1	2,7
2010	18,2	19,7	69,6	8,9	12,4	33,5	42,7	56,1	75,4	28,7	8,2	13,3
2011	22,2	88,4	10,3	17,5	9,7	33,1	47,3	49,7	0	21,7	0	6,6
2012	38,7	7,5	17,3	6	34,7	22,2	43,8	54,1	8,7	18,5	15,9	46,2
2013	27	34,6	36,9	47,8	17	14,7	124,5	2,3	29,1	57,6	0	0
2014	22,9	15,6	11,8	17,5	20,1	64,6	54	2,3	24,6	11,1	8,8	58,2
2015	35,6	39,3	44,2	0	18,6	9,4	22,7	216,7	42,5	0,6	0	11,5
2016	43,1	4,6	51	42,7	26,1	6,3	4,4	36,3	10	41,9	0	9,9
2017	13	23,9	21,5	24,6	6	32	16	79,25	30,7	45,5	0	18

Seguane 070309	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969	89,99	155,09	167,2	54,5	11,7	0	15,3	31,6	13,3	0	17	0
1970	0	71,06	0	10	46	45	17,5	1,6	64	0,5	0	3,5
1971	55	12,3	52,2	42,7	59	37,9	125,7	110	64,8	8	0	23,5
1972	90	85	16,1	90,7	61	56,5	110	35,7	5	0	6,6	13,2
1973	35,5	13,5	26,8	99,4	8,3	26,3	72,2	59	5,9	23,9	2,5	5,5
1974	22,9	53,8	75,7	15,3	41	99,7	69,3	44,9	104,6	0	10,9	4,6
1975	42,1	2,9	109,3	30,9	70,3	103	95,2	61,2	95,2	92,6	74,3	8
1976	55,6	47,6	100,9	49,8	75,4	6,4	25,6	68,8	64,7	29	2,38	27,2
1977	1,7	0	81,2	8,4	13	30,8	26,5	58,9	38,9	4,7	0	96,5
1978	0	77,9	5,7	4,8	44,5	41,3	33,7	99,1	13,4	44,7	0,4	0,4
1979	71,4	21,6	33,7	8,4	20,7	56,7	141,6	48,1	69,4	0	0	1,7
1980	39,1	1	72	147,8	4,2	38,5	48,3	17,9	11,5	28,3	0	16,6
1981	31	14,4	9,9	26,9	53,3	56,9	62,4	88,2	81,4	56,4	0,4	9,1
1982	84,6	69,6	233,1	31,3	1,7	23,8	40,5	11,2	10,4	16,8	1,6	5,7
1983	42,1	26,2	17,8	21,1	55,3	124,6	24,2	29,7	2,9	24,6	0	25,4
1984	6,5	113,9	12,2	104,3	89,6	40,5	95,5	47,7	100	1,3	0	2,7
1985	114,6	37,1	63,6	47,1	59	16,1	139,4	33,8	7,5	5,6	0,3	4,3
1986	58,1	63,7	71,1	55	31	58,5	26,7	33,7	45,2	21,1	21,4	6,3
1987	9,8	34,2	65,7	82,2	18,5	16,3	31,3	29,4	13,3	60,3	3,4	4,7
1988	25,3	11,3	47,3	160,8	21,1	31,7	42,3	58,5	36,2	122,1	17,2	67,1
1989	35,4	18	8	37,6	179,3	0	99,6	108,8	180,4	8,3	25,8	22,8
1990	65,8	24,2	65,8	91,7	14,3	46,6	190,6	98,4	41,8	27,5	13,1	18,9
1991	22,4	112,5	18,7	15,9	59,4	37,8	75,3	56,3	101,3	4,7	52,3	4,6
1992	51	4,8	162,3	107,2	15	66,7	27,8	5,8	69,4	3,8	20	1,2
1993	23,9	2	24,6	99,5	42,8	43	36,2	15,3	10,8	0,4	1,3	2
1994	83,1	55,8	12	27	70,2	20,6	47,4	16,1	4,5	40,4	5,7	3,7
1995	66,3	84,8	3,4	18,7	75,2	85,3	54,6	34,7	43,2	31,4	6,1	11,4
1996	13,5	7,8	7	15,3	24,6	5,6	11,1	55,4	9,9	27	12,2	20,2
1997	99,4	24,2	79,9	49,5	16,5	12,6	4,9	45,7	14,6	9,8	0	3
1998	11,4	11,1	19	17,8	107,3	24,6	12,7	9,7	12,9	13,7	3,1	11
1999	41,5	47	74,6	83,3	12,5	1,5	2,9	3	34,6	6,4	0,3	26
2000	55,3	2,6	7,2	42,5	42,4	12,7	2,6	3	30	0	0,9	8
2001	76,3	17,2	20,2	7,4	12,5	10,7	10,3	14,8	12,7	0,9	2,5	10,1
2002	0,3	21,1	61,1	33,6	84,4	13,7	21,4	102,7	28,3	29	4,5	17,2
2003	29,8	68,2	15,9	37,8	37,1	12,5	77,3	64,4	52,9	64,3	1,3	18,1
2004	10	25,1	91,9	115,1	5,4	24,2	17,8	36,3	3,3	24,4	0	10,5
2005	18	8,2	33,2	27,5	55,1	34,2	11,5	150,2	38,8	7,5	35,1	4,1
2006	44	3,1	23,8	40,8	18,4	16,8	45,1	38,4	11	1,9	0	5,2
2007	51,7	26	5,1	63,9	7	1,2	34,2	7,1	74	26,9	30,8	5,9
2008	54,3	90,2	19,6	59,1	108,2	20,2	34,7	109,5	46,3	0	14,1	20,2
2009	75,3	23,9	7,5	17,7	53,6	57,7	79,1	47,5	43,1	50,6	9,8	5,9
2010	26,5	19,9	48,6	19,2	19,4	56,8	46,9	72,3	76,2	40	4,6	11,7
2011	34,4	92,8	16,7	9,8	4,3	23,4	34,1	41,3	0	10,9	8,3	9
2012	23,6	13,1	44,5	4,1	51,6	27,5	41,4	44	8,9	18,6	16,7	13,8
2013	38,1	38,14	24,8	27	37,7	19,52	121,94	5,3	29,39	33,3	1,39	1
2014	16,5	33	14,1	40,4	62,1	43,8	39,8	4,8	25,11	12,42	10,18	27,69
2015	37,56	42,58	49,85	9,3	29,32	13,62	29,94	220	42,16	4,25	1,44	9,48
2016	40,71	9,79	56,17	56,69	38,98	10,17	13,4	21,1	22,1	26,7	1,49	18,8
2017	13,8	16,1	13,9	22,9	13,1	38,8	23,88	75,74	30,92	39,21	1,59	11,47

Reboa 070403	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969	104,6	104,1	7,5	55,1	19,5	10,8	17,5	111,0	84,8	6,4	33,1	0,0
1970	9,5	4,2	7,5	4,0	21,7	26,9	22,6	8,4	77,2	8,3	5,8	0,0
1971	47,6	25,8	19,1	12,9	32,1	21,6	68,0	68,8	57,5	26,1	2,2	19,4
1972	95,6	88,1	13,0	46,9	28,1	23,9	108,2	29,1	12,9	17,5	3,2	26,1
1973	19,3	10,8	15,7	106,9	14,5	18,7	29,0	25,1	5,2	21,6	8,6	0,0
1974	25,5	27,6	21,3	11,6	23,0	24,4	34,0	41,8	59,1	6,4	4,1	1,6
1975	51,0	5,6	32,9	7,6	24,6	21,1	48,2	24,4	45,7	68,2	35,8	8,8
1976	29,9	10,1	51,9	20,2	21,9	9,5	14,9	36,6	78,5	25,7	0,9	14,4
1977	6,0	8,1	52,6	4,0	14,2	19,6	10,6	12,0	23,7	6,8	0,9	10,0
1978	7,8	33,9	7,5	4,2	14,0	26,1	25,2	59,8	12,0	22,3	7,6	0,0
1979	60,2	15,3	10,1	10,6	15,8	19,6	43,8	23,3	57,2	8,1	0,9	2,1
1980	31,3	1,0	41,0	59,7	3,8	22,0	22,1	14,3	10,3	34,2	0,0	0,0
1981	46,9	14,2	2,0	7,5	32,7	18,6	11,6	39,9	34,0	18,3	1,5	0,0
1982	24,5	29,9	32,1	8,4	1,2	8,9	18,2	4,6	9,7	5,8	0,0	0,0
1983	0,0	19,2	4,4	6,5	29,5	32,8	7,4	8,7	0,0	5,3	0,9	0,0
1984	0,0	81,2	4,8	52,1	31,4	11,4	78,3	12,6	67,9	2,8	3,3	0,0
1985	42,0	28,7	18,1	13,7	17,4	10,7	98,3	18,6	8,2	6,6	2,4	1,1
1986	46,9	31,6	19,8	49,7	7,6	22,3	13,5	5,0	32,4	4,0	18,0	0,8
1987	3,2	10,5	14,6	10,0	3,3	4,1	4,3	10,7	26,8	28,8	4,2	0,0
1988	6,7	5,0	22,5	41,0	9,5	12,2	5,2	4,6	29,2	59,0	11,4	48,3
1989	26,8	4,8	9,8	7,1	54,4	0,0	18,5	22,9	67,4	5,6	2,4	0,2
1990	6,5	0,0	39,2	38,6	4,1	18,7	60,0	17,8	17,7	14,8	5,0	1,6
1991	10,7	27,9	7,2	19,1	27,8	13,9	72,4	29,5	98,0	0,0	27,9	0,0
1992	13,5	8,9	41,1	45,7	68,9	56,0	41,7	8,3	25,3	4,0	0,0	0,3
1993	10,4	9,8	16,9	57,8	12,6	15,7	30,2	8,6	4,1	2,7	5,6	0,8
1994	25,3	22,8	10,1	4,6	62,0	5,9	34,9	15,2	9,1	35,2	9,4	10,0
1995	8,3	11,1	0,0	16,9	38,9	40,2	64,0	57,4	14,3	0,0	0,0	5,7
1996	12,0	0,0	0,0	0,0	2,4	2,6	6,1	18,0	2,8	14,7	2,4	17,7
1997	39,6	4,7	30,7	14,0	1,8	15,6	25,7	43,4	43,8	19,2	0,0	11,8
1998	40,1	21,6	23,3	10,2	55,8	19,1	11,8	4,2	31,0	33,2	3,4	7,3
1999	29,8	22,2	54,0	65,9	6,3	0,0	5,2	2,8	61,6	35,6	0,0	15,2
2000	45,8	0,0	0,6	14,4	21,8	0,0	0,0	13,3	34,8	0,0	0,0	4,3
2001	21,5	13,6	22,5	10,6	13,2	10,4	7,3	23,6	21,3	6,4	0,9	33,4
2002	6,0	12,3	38,1	18,6	21,5	20,0	17,7	40,8	13,2	15,8	0,9	2,9
2003	73,1	28,4	28,2	27,2	15,8	17,8	36,4	18,8	99,7	17,9	2,9	4,3
2004	45,1	4,1	56,4	92,2	16,8	14,9	20,1	14,6	5,2	39,7	27,8	0,0
2005	9,8	25,0	13,7	27,0	36,9	22,9	0,4	46,1	96,7	33,8	0,9	0,0
2006	27,0	6,1	18,3	62,8	16,0	17,7	34,7	38,1	16,5	6,4	0,9	0,0
2007	142,1	11,4	7,5	18,7	15,4	10,3	16,5	12,5	51,9	10,2	26,2	23,8
2008	29,8	64,4	14,3	12,7	39,2	12,7	25,2	47,0	51,3	6,4	0,9	11,9
2009	54,3	24,0	7,9	6,5	30,1	12,7	16,2	27,5	15,2	7,5	8,7	0,0
2010	6,0	12,7	23,6	8,5	13,2	36,2	64,7	40,9	84,1	7,5	0,9	2,8
2011	29,3	128,8	14,1	11,1	14,2	31,6	11,8	28,8	6,2	7,5	0,9	5,3
2012	21,3	5,1	17,4	5,2	17,8	16,4	12,6	26,9	17,7	9,8	18,4	20,2

Ain Tinne 070405	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969	272,7	177,5	6,3	5,3	27	3,5	23,1	121,2	65	25	22,1	16
1970	5	46	0	28,3	25	36,8	35,6	10,6	37,6	24	10,6	7
1971	29,4	68,3	76,1	8	35,7	44,7	87,3	88	48,6	18,9	0	24,5
1972	30	14,5	3,5	55,2	59,5	44,5	130	23,3	7,5	30,5	4	25
1973	23	12	22,2	130,5	7,5	16	44,9	63	12	30,3	2,5	4,5
1974	30,6	63	57,5	16,4	33	65,5	57,9	45,1	60,6	2	16,5	8
1975	89,7	16,5	117,9	21	54,5	82,9	106,4	58	94,4	24	77,3	1,6
1976	68,4	38,7	90	35,5	49,5	4,2	39	82,5	31,8	20	0	24
1977	0	1,8	65,3	3	4	50	7,7	25,5	15,9	4	0	29,5
1978	31,1	58,4	7	6	19,5	41,8	29,6	50,5	28,9	77,9	3,7	12
1979	156,5	28	30	12,5	15,5	63,5	102,2	55,5	67,5	11,4	0,1	19,1
1980	42,1	0	115	122	5,5	86	26	23,5	7	40	0	32,5
1981	97	17,7	13,5	15,1	61,5	40	49,5	114,7	67,8	31,8	0	20
1982	75,4	136	194	15	0,8	14,5	36	7	14,5	4	0	14
1983	52,3	45,9	6	26	68,68	37,45	11,6	15,9	5	17	0	17,1
1984	3	82,9	14,5	51,5	56,2	9,3	74,9	12,4	96	2,5	9	11
1985	56,1	40	49,1	41,4	23,2	16,2	128,2	45,3	14,5	13,3	0	6,2
1986	84,6	86,9	67,9	43,3	18,5	39,4	24	23,6	41,9	15,6	53,6	0,2
1987	11,8	49,3	50,9	62,3	9,1	15,9	17	14,5	27,1	80,4	3,31	1,3
1988	69,6	28,6	42,8	86,6	18,6	23,8	19,8	43,3	44,8	87,7	9,9	138,5
1989	41,5	18	25,7	35,5	135,2	0	83,8	83,7	139,4	12,5	16,2	147,7
1990	36,4	10,7	56,9	50,9	14,9	36,3	145,6	32,2	22	29,5	33,6	39,9
1991	30,7	91,3	21,5	26,8	53,6	38	87,8	39,7	104,3	4,6	47,45	6,1
1992	31,4	11	64,8	54,37	2,24	35,7	24,5	9,5	36,5	19	6,5	19,6
1993	22,4	39,2	24,7	77	26,3	26,5	34,8	35,9	4,5	5,9	13,5	30,2
1994	47,8	95,7	15	15,9	60,4	5	56,3	16,6	11	16	9	20
1995	56,7	55	9,4	48,8	100,2	40	96,5	65	18,8	34,7	17,9	16,5
1996	19,3	1,8	7,8	15,9	21,8	5,1	41,2	35	10	17,5	12,9	28,4
1997	59,7	31,5	32	62,2	8	34	49	59,1	75,5	35,5	0	66,8
1998	25,5	22,7	37,5	23,5	105,6	25,7	24	13,1	40,1	34,4	8,8	17
1999	37,5	24,2	115,5	76,9	9,7	5,2	25,4	1,6	66,6	22	5,2	47,5
2000	75,6	12,6	14,4	18,2	23,4	1,3	6	21,7	49,8	0	1,3	31,9
2001	73,5	9	53,2	15,9	13,2	23,9	13,4	50,8	13	27,4	11	40,9
2002	3,6	47,4	72,8	22,3	47,5	14,1	34,4	93	8,6	33,6	4,6	8,1
2003	38,3	36,6	26,6	27,2	9	31,9	72,1	57	61,1	42,7	21,18	28,9
2004	23	14,6	87,3	83,7	4	36,8	17,8	31,7	8,4	33,6	10,8	1
2005	30	38	46,6	55,1	65	54,7	8,8	53	63,7	3,7	20	13,7
2006	67,8	16	37,1	51,5	18,6	23,2	47,2	58,3	7,8	0	0	10,4
2007	69,4	35,3	0	52,6	3,46	19,8	6,8	8,7	42,7	0	59,1	28,1
2008	24,8	56,7	9,4	21,4	18,7	11,7	57,7	119,1	87,4	2,4	15,3	42,1
2009	125	5,6	1,5	15	31,8	30,5	49	34,4	36,2	38,1	5,5	0,5
2010	37,1	29,1	59,2	25,7	15,3	38,3	48,1	73,1	81,6	34,9	11,5	48,1
2011	47,8	109	27,6	10,7	17	44,1	46,7	46,1	7	14,9	14,1	14,9
2012	33,9	22,4	39,9	10,1	20,7	11,4	17,2	50,1	3,29	2	31	58,3

Timgad 070409	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969	104,4	127,8	5,54	46,91	23,01	12,35	19,2	108	66,7	0	6	0
1970	4,3	5	0	7,7	15,9	29,7	28,4	11,7	87,2	1,9	36,9	0
1971	69,5	59,6	25,9	12,9	49	17,7	49,4	82,3	70,8	29,3	1	19,5
1972	84,2	72,9	6	29,8	41,6	20,6	110,7	37,4	1,3	20,7	4,5	62,1
1973	7,2	1,2	14,8	89,8	1	17,3	26,2	31	3,3	20,2	13,2	0,5
1974	16,4	45,2	34,9	4,3	24,7	33,6	53	41,6	64,9	0,2	1,2	1,9
1975	96,2	3,8	37,7	4,6	29,4	28,4	55,1	33,5	38,9	65,8	59,7	10,3
1976	69,1	12,5	61,2	18,8	18,1	1,9	29	48,7	56,9	8,4	0	17,4
1977	0,6	9,6	16,9	0	25,1	0	1,2	2,4	2,2	0,5	0	3
1978	8	26,3	0	0,1	8,5	46,7	9,4	73,3	9,9	32,5	0,6	0,1
1979	49	19,1	14	2,1	15,7	44,1	38,2	41,4	73,8	1,8	0	1,5
1980	21,4	0	16,5	31,2	1,2	11,5	31,1	26,3	2,7	30,3	0	15,5
1981	46,6	23,9	3,5	13,7	35,8	32,5	21	87,4	42,1	0	1,5	21,7
1982	73,9	63,5	87,4	20,3	2,1	13,2	24,7	3,2	8,7	4,2	0	5,7
1983	0	25,2	5	3,6	53,6	40,17	30,4	23,1	0	0	0	10,8
1984	3,2	81,8	7,4	59	26,4	1	65	13,3	59,4	0	9,5	0
1985	58,7	35,35	15	7,5	22,6	9,3	82,7	19,2	7,5	1,6	2	16
1986	42	38,7	20,4	21	10,9	28,2	15,5	6,1	30,8	11,7	6,1	0,6
1987	0,3	8,2	9,5	24,4	0	9,4	5,1	6,2	14,5	42,4	0	0
1988	5,6	6	28,5	59	7,5	5,6	8,7	30	54,6	57,3	2,1	31,5
1989	16,9	10,7	6,1	6,9	115,5	0,1	32,2	43	76,4	0	9,7	98,3
1990	20,4	1,5	39,4	32,6	2,7	32	80,9	31,3	38,6	8,1	24,8	9,1
1991	8	47,1	6,9	19,2	30	28,6	69,5	27,5	61,9	0	9,3	10,7
1992	4,5	10,6	32,1	48,9	0	45,4	23,7	4,7	26,5	0	0,8	0,9
1993	6,4	8,6	14	39,9	30,9	23,6	31,6	11,6	2,6	2,1	7,5	16,1
1994	6	15,7	1,7	11,2	31,1	6,8	27,6	5,2	15,3	32,1	4,6	10,2
1995	37,9	40,6	1,5	12,1	67,3	96,8	57,3	20,6	31,6	15,6	4,6	5,6
1996	23	0	0,1	6,9	2,5	1,9	3,2	27,7	24,2	4,2	0,2	8,2
1997	59,1	8,4	43,6	37,4	0,2	13,5	29,2	53,9	43,1	16,2	0	49
1998	47,9	12,3	14,2	2	46	2,6	5,4	0,5	24,8	3,1	0	0
1999	31,5	19,7	65,8	74,1	2,1	0	6	0	25,8	23,7	21	0
2000	28,4	0	2	14	20,1	0	0	15,1	62,9	0	0	4,1
2001	22,4	51,9	11	7,5	17	11,82	11,35	33,3	0	0	20,4	46
2002	1,2	22,5	73,2	30,4	96,2	7,6	10,8	140,6	8,4	25,6	0	28,1
2003	49,3	53,2	12,7	30,8	9,7	10,2	30,3	10,1	133,8	18,1	17,2	14,6
2004	9,8	5,2	101,9	91,7	5,2	28,7	19,5	32,8	3	24,1	15,6	0
2005	6,1	2,1	10,7	37	49,1	46,2	0,6	48,6	67,3	33,8	12,6	11,6
2006	36,4	0,3	28,7	22	5,5	26,5	29,5	52,7	45,7	0	0	0
2007	139,4	21,3	0	31,3	5,1	5,5	17	8,7	91,2	7,5	80,9	30,6
2008	72	48,2	10,9	13,2	83,9	9,7	51,7	77	72,5	1,1	4,7	23,4
2009	77,4	11,7	1,8	3,7	48	20,8	18,7	37,8	34,3	17,7	13,6	0
2010	25,5	9,8	32,2	8,7	11,7	37,6	39,3	75,4	62,9	8	0,8	29,5
2011	34	45,5	4,2	3,5	2,2	23,3	19,8	29,1	0,3	0	0	1
2012	19,9	0,4	15	2,4	29,7	5,5	10,2	32,5	11,8	0,5	4,8	33,7
2013	15,7	8	38,2	11,2	32	8,3	85,1	0	24,2	20,8	0	1,2
2014	19	27,5	6,7	35,4	58,9	50,2	31,3	1,3	35,3	5,5	6,3	73,5
2015	29,9	28,41	23,46	1,64	16,28	5,63	16,32	92,1	39,97	2,02	0	9,62
2016	33,58	5,16	226,95	29,92	23,46	3,17	4,23	20,4	10,4	27	0	29,5
2017	22,1	15,6	22,7	10,5	2	23,54	11,89	53,66	29,62	23,53	0	13,01

Yabous 070604	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969	86,4	213,1	0	40,4	22,2	2	23,8	166,1	70	12	0	8
1970	8	5,7	0	12	24	43	30,3	0,8	63	16,4	0	12
1971	84,7	9	54	26,9	53,9	46,9	94,9	147,6	56,9	23,5	5,4	22,5
1972	113	61,7	13	22,9	22,8	25,5	110,2	16,3	0	31	0	41,6
1973	19,7	13,3	3,8	178,5	8,3	17,5	47,3	52,2	12,8	28,8	19,3	1,5
1974	20,9	47,1	25,3	5,6	35,6	65,2	46,1	67,1	76,2	2,5	0,1	10,2
1975	60,9	8,9	80	11,3	45,6	47,8	84	52,3	68	65,6	30,8	16,5
1976	81,7	27,5	111	26,1	15,2	4,6	47,5	67,1	75,7	22,2	0	29,3
1977	0	1,9	142,4	1,7	6,5	22,3	17,6	7,5	20,2	11,7	0	42,5
1978	2,6	55,7	2,8	1,8	15,9	61,4	17,7	99,1	21,8	38,8	3	0
1979	73,5	16,5	12,7	14	14,1	47,4	84,2	48,7	70,4	5,2	0	0
1980	49,8	0,8	43,8	105	5,1	57,1	46,1	19,8	20,4	53,8	0	0
1981	83,9	15,3	5,7	18,3	49,6	40,3	24,5	103,2	88,2	26,3	0,7	7,5
1982	21,2	65,3	153,4	14,6	1,4	17,7	24,4	4,3	11,5	9,3	0	0
1983	0,6	66,8	3,2	22,9	38,5	75,3	46,8	16,2	1,1	0,5	0	0
1984	0,8	83,6	27,2	53,1	42	10,2	35	15,5	97,6	4,4	1,7	0
1985	35,2	27,9	2,6	12,2	10,4	13,7	132,9	49,1	26,2	3	0	0
1986	35,5	24,2	66,5	28,4	14,1	37,5	22,1	2	46,4	8,4	10,2	19,4
1987	18,7	15,8	27	25,4	16	18,5	16,1	18,2	46,3	81,3	0	0
1988	4	10,2	42,8	16,9	6,7	18,4	24,5	27,9	31,7	43,9	12,8	104,1
1989	35	7	12,2	23,9	167,6	0	70,2	69,4	106,9	11	2,6	23
1990	9,9	11,4	66,8	40	5,8	19,3	91,8	55,1	29,9	5,8	33,3	14,3
1991	16,2	45,5	32	17,2	64,9	23,1	56,7	33	84,7	5,9	23,3	14,6
1992	45,2	11,9	49,3	52,5	10,5	22,6	48	7,2	20,8	4,4	0	5,4
1993	15,2	1,8	10,1	31,4	45,9	8,8	48,1	24,6	1,8	1,5	8,6	38,1
1994	42,4	38,7	5,7	15,8	62,5	1,5	69,9	15	2,8	18,7	23,6	10,8
1995	42,6	38,3	9,8	19,4	71	153,9	75	48,7	5,5	24	16,7	5
1996	23,7	0	2,5	13,7	18,2	3,9	8,6	25,5	11,4	2,4	0	28,9
1997	47,4	56,3	77,7	61,6	6,8	36,8	48,5	17,5	47,7	24,4	0,5	2,6
1998	15,5	26,6	40,1	25,6	78,5	24,6	11,3	2,8	18,3	9,4	0	0,2
1999	16,4	6,5	80,3	95,9	12,2	4,4	10	2,5	46,6	23,5	0	5
2000	31,5	11,3	6,4	5,2	36,7	0	3,2	5,8	29,4	0	2,6	15,5
2001	69,6	30,8	18,7	13,4	14,1	22,7	34,1	14	31,6	21	12	41,1
2002	10,4	15,3	88,3	29,6	83,3	45,9	29,1	91,3	16,7	56,7	2,8	0
2003	86	47,1	22,4	29,7	16,2	8,5	42,8	42	138,3	51	13,1	37,4
2004	30,4	5,1	87,7	103,3	15,7	26	15,6	39,6	7,6	55,2	25,9	1,6
2005	35,3	12,7	36,9	48,1	67,9	40,3	4,6	45	117,9	47,6	37,4	16,1
2006	41,5	21,6	22,3	65	6,2	26,3	72,2	63,6	27,6	3,3	0,6	43,7
2007	96,6	27,2	8,6	46,3	2,8	3,9	12,4	10	89,8	5,6	77,8	62,5
2008	66,4	41,3	9,1	29	85,9	12,9	55,8	78,5	27,2	1,8	10	21,9
2009	65,3	9,9	3,6	12	42,9	24,7	19,9	23,8	32,3	30,5	34	9,1
2010	42,5	26,6	55,9	9,1	18,3	71,3	111,6	52,1	127,2	22,5	24,7	48,2
2011	36,9	130,7	19,7	19,5	17,1	43,1	41,2	47,5	17,7	5,1	25,1	37,4
2012	55,2	21,8	27,9	8,9	40,8	18,3	21,3	41,5	35,2	8	77,3	115,2
2013	68,6	76,1	81,6	66,8	159,3	60,8	234,6	11,1	57,6	78,3	0	25,7
2014	26,2	32,2	47,2	111,9	72	130,5	92,5	6,6	56,8	55,7	8,3	231,7
2015	78	81	56,5	0	25	15	26,9	126,4	69	6,1	2,5	9,9
2016	87,7	46,5	80,7	55,7	78,3	33,3	10,5	59,2	70,4	61,7	5	45,7
2017	19,9	68,2	72,1	53,1	11,2	52,2	110,2	61,3	16	31	0	41,6

Sidi Mancer 070410	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969	117,5	140,5	6	32,3	13,6	3	1,1	119,5	57,2	0	0	0
1970	0	13,7	0	11,4	103,8	69,5	14,3	7,6	51,3	2,3	8,1	0
1971	29,9	59,7	34,7	19,7	88,7	32	83,6	81,9	61,3	28,3	3,4	5,9
1972	63,1	21,5	6,3	19,9	19,5	36,6	47,4	24,6	0	23,8	29,2	18,5
1973	46,9	13,2	18	42,2	0	16,8	21,8	31,8	4,4	14	4,8	0
1974	4,2	18,9	30,3	3,8	18,2	67	76	45,3	44,8	0	3,1	0
1975	51,7	0	58	3,8	16,2	40	62	31,4	34,13	116,5	21,2	0
1976	28,2	9,8	34,5	25,6	24,1	0	0	0	0	15,39	0	18,6
1977	0	8,6	51	4,3	32,4	12	15,1	22,3	13,8	0	0	0
1978	9,5	64,2	1,6	0	16,4	35,5	3,2	53,1	7,7	9,4	0	0
1979	28	13	4,9	5,1	16,4	35,5	3,2	53,1	7,7	9,4	0	0
1980	38,4	14,5	18,7	49,3	13,9	6,5	18	8,6	0	0	0	7,1
1981	33,6	5,6	8,1	9,7	11,62	23,1	17,4	89,4	13	98	2	10,5
1982	63,17	47,8	73,1	29,8	0	10,9	22,9	11,57	11,78	4	0	8,29
1983	0	26,9	13,82	12,4	52,8	42,8	50,1	11	5,35	0	0	0
1984	0	73,27	16	52,3	168,4	8,79	49,8	9,6	17,8	7,58	0	0
1985	45,9	35,6	42,5	0	11,9	7,5	67,6	9,6	11,1	4,6	3,2	7,8
1986	56,8	77,7	79,1	52,2	11,37	20,2	12,1	13	28	9,5	13	0
1987	7	14,5	24	26,5	7,5	11	16,8	13,3	15,5	53,5	6	5
1988	11,5	6	23,5	60,5	10,5	30	20	23	54,5	56	12,5	46
1989	18,5	6,5	4	12,5	113,9	0	31,5	54	104,5	0	7	80,7
1990	48,5	9	43	41	14	27,1	99	28,5	37,5	30	7	13,5
1991	10	25,5	16	14	43	24,5	68,5	32,5	76,9	0	6,2	0
1992	11,4	2,9	47,3	62,7	20,3	38,7	18,6	7,7	39	14,4	0	1,1
1993	12,8	7,5	15,7	62	33,8	28,1	32,3	16,6	8,4	1,5	0,5	20,9
1994	7,2	46,5	12,6	16,5	54	9,2	42,3	17,1	6,1	24,4	17,2	10,9
1995	3,5	31,6	10,63	19,5	99	77,5	70,8	47,7	24	19,7	10,1	15,6
1996	15,5	0	4,1	15,2	26,4	5,2	17,7	35,2	10	30,7	5,4	44,4
1997	53,3	43,6	53,8	49,9	3,4	25,5	43	45	31,5	13,2	0	30,3
1998	27,6	21,5	38,3	26,6	40,7	19,8	14,3	5,3	19,8	22	8	8,9
1999	27,5	15,9	97,2	55,9	9,6	3,7	12,7	2,5	70	10	0	7,4
2000	42,6	3,5	17,6	27,3	25,5	2,2	6,9	19,1	53,4	0	4,6	7,5
2001	60,1	5,4	23,5	10	13,6	11,4	27,4	49,9	12,1	8,3	0	32,7
2002	2,2	27	78,7	33,9	129,1	24	25,2	87,9	28,4	36,5	12,5	16,7
2003	46,5	55,2	14	75,9	30,2	11,4	41,2	42,3	105,4	60,9	4,2	23,2
2004	19	6,1	106	119,8	18,1	52,8	20,3	45,4	4,1	31,8	7	5,2
2005	11,2	6,8	23,6	37,7	49,5	51,7	11,6	44,6	71,7	25,1	7,6	7,1
2006	93,3	20,2	24,5	41,8	15,8	24,6	48,4	74	16	0	0	6
2007	136,6	22,3	1,3	57,9	11	2,1	37,5	13,4	79,4	12,1	41,4	18,5
2008	54,8	48,1	18,3	24,1	91,7	18,5	43,3	96,8	76,8	10,2	24,6	43
2009	74,2	14,1	3,2	10,5	54,1	27,4	26,5	57,1	46	34,7	20,2	4,5
2010	26,2	16,1	36,8	11	15,6	67,8	42,1	62,7	92,9	20	3,7	37,6
2011	60,2	105,5	10,1	14,1	14,4	43,7	45,6	36,6	1,1	0	6,5	16,2
2012	8,1	5	31,3	6,7	26,3	22,5	20	34,2	13,1	12,1	19,7	70,5

Chelia CPR 070606	sept	oct.	nov.	déc.	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout
1969	158	132	17,6	13	0	17,1	7,5	143	94,5	7	23	2,7
1970	3,2	40,5	19,8	7,5	34,3	45,3	41,3	4,3	22,4	23,4	2,16	25
1971	32,2	0	54,6	25,5	86,1	66,1	109	129	62,9	29,7	13,5	24
1972	109	68,7	28,8	23,7	32,8	61,6	106	2,3	8,81	36,4	2,12	59,9
1973	12,1	23,2	22,4	176	9,7	30,8	51	76,1	11	44,5	8,2	1,5
1974	20,5	76,5	19,2	14,4	52,3	100	69	50,3	61,5	1	0	20,2
1975	0	10,5	63	16,8	32,5	77,9	95,2	56,9	106	73	12,8	30
1976	88,7	24,5	117	54,5	63	4	97	101	84	107	5	26
1977	2	0	90	0	2,8	29,6	15	20	36	5	0	52,3
1978	4,5	65	2	2,5	33	82	66,5	101	21	38,2	3	14,1
1979	73,8	26,2	28,6	16,8	22,1	48,5	97,9	52,7	75,7	13,4	0,25	10,8
1980	79,3	11,4	50,1	86,9	11,1	55,3	57,9	30,5	28,2	56,7	0,25	10,8
1981	75	14,5	13	22	91,7	59,6	40	115	125	20,7	0,8	15,5
1982	28	72,1	54,5	25	2,3	17,2	52,1	5	21,1	11	0	10,8
1983	0	73,5	22	23,7	52,1	30,5	42	38	9,86	0	0	0
1984	7	66,6	25,8	121	34,3	27	74	30,8	85,3	0	7	12
1985	87	52,3	17	28	40	19	200	58	44,5	15,5	0	25,8
1986	55,3	69,5	84,7	58	15,5	55,5	32,4	20,3	54	8	82	22
1987	16	19	34	23	26,5	21,5	24,5	19,5	29,9	73	1	9
1988	36	18,5	67,9	93	22	26	31	66,5	36	67,4	17	126
1989	23,5	20,5	27,3	44	204	0	69	73	104	23,5	15	152
1990	29	8,5	120	60,7	18	50,5	135	66,3	25,6	29,5	19,4	18,9
1991	35,3	80,1	34,6	21,7	42,3	46	137	76,5	112	10,9	23,8	58
1992	36,5	21,7	101	79,4	24	67	36	23	50,5	17,9	0	4,5
1993	23,7	15,5	27,4	99,2	41,8	28	20,6	32	9,9	1,5	44	5,5
1994	92,6	47	29,3	24,9	65,8	2,5	80,6	16,8	9,9	52	32	17,9
1995	67,2	46,4	18,6	43,2	113	132	101	71,6	35,4	29,1	14,2	17,8
1996	16,6	1,4	3,9	27,5	45,5	14,5	26,5	37,7	3	19	14,8	67,8
1997	112	56,6	82,1	66	11,4	37,8	61,1	58,3	61,7	39,6	0	56,6
1998	22	47,3	61,7	32,3	120	24,9	30,2	15,5	35,3	25,7	8,6	11,5
1999	20,7	23,6	144	93,3	21,6	14,2	13,7	0	119	23,5	4,8	27,1
2000	58,6	19,5	22	16,4	28,7	8,2	4,3	12,1	71,1	0	2,8	10,6
2001	110	53,7	50,6	8,7	9,3	6,8	24,7	13,2	58,7	27,8	9,6	79,6
2002	21,6	29,2	94,1	14,2	132	103	33,8	51,6	13,8	35,2	9,6	0
2003	99	66,2	38,9	83,2	51,2	14,5	83,6	55,5	149	84,2	4,6	32,5
2004	26,9	5,5	104	85,6	45,9	59,1	31,2	64,4	18,8	67,3	16	2,8
2005	13,5	18,6	41,2	72,6	143	39,9	4,3	63,3	56,2	45,8	0	0
2006	21,7	34,8	22,7	89	15,6	22	105	64,2	11,3	12,1	0	17,6
2007	81,4	27,3	22,5	41,7	9	22,5	49	22,9	163	6	49,1	71,3
2008	65,9	9,4	45,6	23,7	114	29	61,7	17,9	34	5,2	23,9	59,6
2009	114	24,2	4,8	16,1	88,6	41	55,6	42,5	41,7	59,6	59,4	11,2
2010	59,2	39,2	72,1	8,1	3,7	44,5	141	71,1	149	23,3	6,6	40,7
2011	36,7	270	16,4	28,1	17,6	21,8	45,8	54,7	10,8	0	2,1	34,1
2012	46	10,1	64,4	16,9	30,7	10	34,4	82,9	20,1	18,3	43,7	65,7

AIN MIMOUN 070704	sept	oct.	nov.	déc.	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout
1969	175,2	102,2	0	82	24	1,3	14,5	150,8	71	46,9	20,4	0
1970	12,6	58,2	94	14,3	31,5	66,2	21,5	0	33	0	20,1	0
1971	62,1	27,3	29,5	17,3	72,9	36,9	98,1	135	80,5	44,5	8,4	0
1972	24,5	129,4	26,2	64,3	42,2	61,4	132,8	48,7	3,1	31,4	2,4	49,2
1973	6,3	21,9	12,8	182	6,6	41,5	42,9	36,6	12,5	27,4	20,2	7,3
1974	65,1	66,5	38,2	13,6	69,8	85,2	65	43,7	82,1	1,6	3,7	34,1
1975	33,8	5,5	82,8	21,8	45,5	64,3	101,7	30,3	77,1	12	15,3	22,3
1976	59	27,7	88,9	20,3	30,6	14,5	60,5	71,9	45,5	34,6	0	20,3
1977	13,5	0,1	113,6	1	10,6	33,1	31,8	11,7	20	0	0	53
1978	3	50,7	8,5	4	5,3	61,5	11	128,7	10,5	0	0	0
1979	122,8	4,5	6,4	20,4	11,3	75,8	85,3	57,1	0	3,7	0	1,3
1980	18,8	2,7	28,8	136,4	38,2	56,4	54,9	21,3	10,2	48,7	25,2	18,9
1981	54,1	27,9	11	20,3	76,6	43,5	28,8	144,5	123,9	0	0	0
1982	19,1	90,6	117	15,9	1,8	19,2	25,4	0	23	7,5	0	125,9
1983	0	60,8	14,8	20,9	43,5	48,9	53	38,4	4,7	5,1	1,4	9,9
1984	3,9	73	23,5	88	25,4	10,2	80,1	28	77,1	3	11	0
1985	73,4	22,4	7,3	16,4	20,4	18,7	175,9	34,1	15,9	10,8	0,4	5,1
1986	51	18,3	55,4	34,5	6,7	40	32,4	14,3	30,3	43,6	24,4	12,5
1987	15,2	25,5	21,6	20,7	30,3	17,3	7,8	18	62,8	65,8	0,9	6,5
1988	22,3	5,9	58,3	56,8	14,8	13,1	22,6	33,2	30,8	89,1	41,2	34,8
1989	81,5	36,6	18,5	39,1	202,3	0	71,4	42,8	65,2	5,4	54,5	87,1
1990	29,4	11,7	91	74,5	25,4	49,2	104,7	43,6	43,7	10,6	0	17,2
1991	35,8	98,9	29	17,5	43	36,4	106,3	73,2	81,4	6,5	0	0
1992	25	32,5	62,5	88,5	21	35,7	53,5	14,5	56	3,5	30,5	9,1
1993	31	21	24,6	67,5	35	29	42,2	30	7,4	0	22,5	14,8
1994	41,4	28,7	33,5	7	44	1,5	46,7	23	0	42,8	28,3	18,5
1995	63,6	56,3	23,5	12	73,5	155,7	96	67	73,4	40,5	9,5	15
1996	15,5	0	5,5	11,5	22	0	17	31	8	7,4	15,5	6,5
1997	62	39,7	83,5	54	0	37,7	82,7	77,2	67,2	33,7	2,4	56,8
1998	36,1	56,5	36,4	18,8	44,3	14,4	23,7	11,4	38	11	4,1	44,6
1999	21,5	58,4	83,5	71,5	13,1	3,8	10,5	7,1	103,1	30,6	0	14,1
2000	10,7	30,7	17,9	15,3	21,7	11	4,9	36,6	89,4	2,2	0	17,3
2001	81	48,8	34	13,6	8,7	36,7	22,1	22,5	103,5	9	0	84,3
2002	33,3	14,1	76,1	30,9	70,9	27,6	34,1	57,6	22	31,7	1,4	15,7
2003	20,9	60,8	40,8	21,8	8,9	17,9	27,2	34,8	116,5	82,5	27,5	11
2004	21,1	10,8	96	134,5	22,3	58,2	33,2	38,9	8	26	15	8,5
2005	30	31,2	29,3	50	75,9	45,2	8,1	25,9	123,8	96,4	38,5	38,6
2006	20,2	29	20,9	68	7,4	13,2	97,5	109,5	23,9	12,5	4	37,9
2007	31,9	8,3	15,3	17,9	12,3	9,9	25	19,3	76,5	3	43,7	36,7
2008	3,2	27,7	9,8	87	142,9	12,7	67,2	38,1	73	3,6	16,5	83,5
2009	126,6	17,6	7	16,7	68,2	25,2	29,6	74,5	66	32,9	4,4	15,2
2010	24,6	56,5	81,9	80,8	10,1	20,6	132,7	27	110,3	33,2	6,6	15,1
2011	68,8	98,1	41,5	55,2	23,2	94,2	19,5	94,6	126,6	17,7	1	2,3
2012	54,5	87,8	42,6	35,3	68,1	53,7	62,8	56,9	57,7	17,1	0	29,5
2013	53	10,8	83,1	73,5	46	57,3	105,4	3,9	66,5	34,6	5,5	46,1
2014	26,5	32,5	25,6	88,5	24	35,7	55,3	14,5	56	65	30,5	9,1
2015	31,2	22,1	23,5	65,7	53	29	42,2	30	4,7	0	25,2	18,4
2016	41,4	27,8	35,3	7	44	1,5	46,7	43,2	60,5	25	1	19,7
2017	1,7	45,9	21,2	19,5	1	155,7	96	67	73,4	40,5	9,5	15

Foum Toub 070406	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969	145,1	173,3	0	41,4	13,3	2,2	18,3	159,7	63,4	6,2	3,8	0
1970	4,5	32,8	0	18,7	22,6	64,8	26,6	5,8	58	0,2	23,6	0
1971	64,4	55,9	43,2	24,7	74,3	29,4	61,8	78,8	36,3	53,7	0	22,5
1972	103,6	50,5	24,8	49,7	41,1	41,2	99,2	40	2	20,1	0	54,1
1973	32,2	10,7	17,2	141,4	2,5	30,1	39	43,4	9	15,1	11,9	4,5
1974	2	53,4	19,9	9,6	48,3	69,4	51,6	34,2	63	1,6	8,7	0,6
1975	25,1	9,1	73,6	20,6	55,4	40,1	92,1	51	43	71,8	41,3	18,6
1976	84,9	27	124,3	18,2	29,9	3,6	44,8	48,3	92,5	22,9	0	22,4
1977	0	0	55,7	1,5	5,3	34,5	13,4	25,8	27,2	4	0	36,4
1978	5,9	33,3	3,9	0	15,3	39,9	15,2	88,3	15,1	0	0	0
1979	49,4	16,6	15,5	8	10,9	22,1	90,8	55,6	72,4	6	0	0
1980	40,1	5	9,6	168,3	8,5	64,3	48,6	18	5,5	34,9	0	23,7
1981	71,2	14,2	8,2	14,5	49,5	35,5	36,7	109	70,4	47,6	0	13,2
1982	40	81,6	90,3	7,4	5,8	15,9	37,7	2	15,1	7,5	0	7
1983	1,6	67,8	10,1	26,6	44,6	122,9	43,8	34,2	3,1	0	0	12,8
1984	0	94,1	10,5	94,3	42,8	11,2	74,3	28,6	105,3	0	0	0
1985	72,1	28,5	13,4	18,6	32,2	10	101,1	37,6	25	3,5	10,5	9,5
1986	56,4	67,1	48,4	40,1	7,3	31,2	21,4	7,8	33,3	17,5	34,8	18,1
1987	15,5	22,5	25,9	32	12,3	17,8	11,9	16,1	33,9	71,5	4,68	0
1988	56	25,2	55,8	88,7	16,7	24,6	10,7	40,2	63,5	91,3	34,1	124,4
1989	59,9	15,4	21	33,5	228,2	0	54,8	81,3	102,3	6	9,5	71,3
1990	15,5	3,6	54,4	69,1	7	33,8	96,9	42,1	21,5	24,9	31,6	6,1
1991	53,5	69,3	19,1	26,5	38,1	51,4	103,1	36,6	88,1	9,2	39,3	19,1
1992	43,5	9,4	48,5	56,5	38,1	37,3	36,4	12,1	18,6	14,5	0	17,7
1993	21,3	41,9	24,4	83,9	42,5	27,7	41,5	23,9	7	14,5	42	18,2
1994	45,9	86,1	22	15,6	88,3	3	88	25,8	5,5	31,9	18,4	32,1
1995	62,1	19,2	5,2	30,2	148	111,1	97,8	67	25,8	39,9	19,5	15,4
1996	12,4	0	5,5	15,5	23,1	12,9	24,7	37,2	3,8	21,3	8	66
1997	88,7	27,3	64,4	60,3	7,2	22,8	49,2	91,4	92,5	20,5	0	26,6
1998	12,7	22,6	29,1	17,9	91,5	22,6	23,3	9,4	18,1	34,2	9,7	13,8
1999	23,3	23	97,8	139,7	14,6	8,2	9	2,7	70,7	31,7	1	62
2000	117,8	12,2	12,3	19,3	30	3,6	2,8	10	61,9	0	2,5	22,2
2001	73,6	7,7	27,8	15,8	9,2	12,7	13,9	50,8	17,7	17,5	7,1	20,3
2002	2,5	19,5	105,1	24,3	98,2	45,7	42,2	99,8	17,5	37,6	6,5	12,8
2003	60,9	88	20,9	51,4	43,2	36	88,9	38,2	162	81,5	10,5	29,2
2004	21,5	13,5	115,7	127,9	20,7	40,8	24,7	65,6	5,2	52,2	12,7	0
2005	33	16,8	36,5	52	73,1	48,9	7,4	61,5	193	52,9	24,2	11
2006	81,1	14,1	25,9	69,6	13,6	19,1	59,2	75,8	50,8	4,1	0	26,8
2007	115,7	28,5	7,1	58,3	6,9	7,7	35,4	14,4	50,2	14,7	117,1	27,8
2008	65,8	69,8	18	55,7	155,6	15,7	76,9	116,8	101,3	2,6	27,1	36
2009	103,9	14,7	2,6	10,8	70	32,3	38,5	33,8	28,2	48,2	39,5	19,8
2010	18,7	21,1	57,3	18,2	14,6	48	95,3	56,2	153,1	19	24,2	40,7
2011	52,9	180,3	4,2	6,5	19,6	54,7	46,8	58,1	12,4	4	0	73
2012	38,9	0	47,9	3,3	35,6	16,5	22,7	58,9	12,2	12,32	20	60,6

FOUM EL GUEISS 070720	sept	oct.	nov.	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil.	aout
1969	149,55	79,35	0,47	75,93	28,64	2,77	17,94	104,91	59,51	53,83	13,7	1,24
1970	19,44	45,91	88,83	21,13	32,84	52,74	23,26	8,51	29,49	5,53	13,5	1,24
1971	59,04	22,42	27,55	23,56	56,02	30,18	81,47	94,8	67,01	51,36	7,45	1,24
1972	28,96	100,02	24,42	61,63	38,83	49,04	107,84	39,56	5,86	37,87	4,33	45,97
1973	14,4	18,32	11,69	156,97	18,89	33,75	39,52	31,82	12,97	33,75	13,6	7,88
1974	61,44	52,32	35,82	20,56	54,28	67,37	56,32	36,36	68,27	7,17	5,01	32,27
1975	36,4	5,96	78,19	27,2	40,68	51,28	84,21	27,79	64,32	17,89	11	21,53
1976	56,56	22,83	83,98	25,99	32,33	12,93	52,9	54,41	39,36	41,16	3,1	19,71
1977	20,16	1,85	107,45	10,36	21,13	27,25	31,08	15,88	19,22	5,52	2,08	49,47
1978	11,76	40,31	7,63	12,79	18,16	49,12	15,28	90,76	11,71	5,53	3,06	1,23
1979	107,6	5,2	5,65	26,07	21,52	60,13	71,74	44,94	3,38	9,34	4,08	2,42
1980	24,4	3,83	26,71	120,3	36,59	45,19	48,64	22,03	11,47	55,69	16,2	18,43
1981	52,64	22,98	9,98	25,99	58,09	35,26	28,8	100,88	101,3	5,52	3,06	1,23
1982	24,64	70,63	109,62	22,42	16,2	16,55	26,22	8,49	21,59	13,25	3,1	115,8
1983	9,36	47,98	13,55	26,47	39,56	39,42	47,2	32,97	7,13	10,78	3,81	10,24
1984	12,48	57,26	21,73	80,83	29,42	9,62	67,79	26,32	64,32	8,62	8,81	1,25
1985	68,4	18,8	6,5	22,83	26,62	16,16	140,6	30,22	15,98	16,65	3,29	5,88
1986	50,16	15,68	51,71	37,49	18,95	32,57	31,54	17,55	34,7	15,5	15,8	12,61
1987	0	16,1	18,2	53,4	17,2	12,6	12,6	18,4	50,9	91,6	2,7	1,7
1988	20,8	15,1	46,3	51,5	19,7	14,6	14,1	37,2	22,7	82,3	23	59,2
1989	64	12,8	13,2	22,4	103,3	1,5	74,6	49,2	65,3	5,2	33,8	78,7
1990	34,1	4,3	85,2	81,5	21,7	28,4	69,5	42,9	46,9	15,8	2,9	5,2
1991	59,8	90,7	30,4	25,5	39,1	35,3	82,9	38,1	67,2	8,1	10,1	0,8
1992	15	37,9	57,1	69,9	9,8	28,9	49,9	17,1	46,1	2	14,9	6,1
1993	18,3	15,6	19,2	72,1	20,6	27,6	42,2	12,3	16	3	19,7	2
1994	29,6	37	49,3	17,6	59,1	7,6	70,1	35,4	6,1	130,4	18,6	22,5
1995	76,3	33,9	13,8	16,3	136,6	125,5	85,6	64,4	39,3	25,3	3,3	12,4
1996	25,1	2,5	2,2	10	34,3	4,8	15,6	22	10,5	12	10,2	16,9
1997	67,7	39	79,9	53,9	3,3	30	65,8	49,9	56,3	24,5	0	49,8
1998	34,6	30	40,8	17,9	50,9	12,8	31,1	7,4	15,1	46,2	8,4	35,2
1999	30,9	42,1	80,7	73,1	12,2	3,4	5,9	4,4	99,5	18,6	2	22,6
2000	47,7	31,3	19,3	21	20	6,8	3,5	46,5	74,04	7,79	3,07	16,98
2001	74,16	38,86	31,83	20,59	20,07	30,02	23,71	22,8	85,18	14,8	3,07	77,95
2002	36	12,49	71,82	34,6	54,9	23,02	32,83	45,26	20,8	38,18	3,81	15,52
2003	26,08	47,98	38,29	27,23	20,18	15,55	27,59	30,67	95,45	90,5	17,4	11,25
2004	26,24	9,98	90,73	118,52	27,68	46,58	32,15	33,29	9,74	32,31	10,9	8,97
2005	33,36	25,49	27,36	50,08	57,7	36,57	13,07	24,97	101,22	104,8	23,1	36,36
2006	25,52	23,82	19,38	64,66	19,34	11,93	81,02	78,48	22,3	18,4	5,17	35,72
2007	34,88	8,08	14,06	24,07	22,08	9,39	25,92	20,75	63,85	8,62	25,8	34,63
2008	11,92	22,83	8,84	80,05	95,22	11,57	57,99	32,78	61,09	9,23	11,7	77,22
2009	110,64	15,15	6,18	23,1	53,39	21,17	29,41	56,08	55,56	39,41	5,37	15,07
2010	29,04	44,79	77,33	75,02	20,85	17,63	107,77	25,68	90,55	39,72	6,52	14,98
2011	64,4	76,33	38,95	24,29	28,19	74,3	21,74	68,94	103,43	23,76	3,61	3,33
2012	52,96	68,5	40,01	38,17	53,33	43,11	54,64	44,81	49	23,14	3,08	28,08

Annexe 2 : Les données hydrométriques

Yabous 070601	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969 - 1970	0,363	0,524	0,148	0,047	0,274	0,034	0,029	0,357	0,302	0,059	0,047	0,018
1970 - 1971	0,017	0,032	0,034	0,032	0,046	0,080	0,212	0,166	0,064	0,020	0,014	0,077
1971 - 1972	0,249	0,820	0,091	0,103	0,161	0,844	1,073	1,624	0,789	0,288	0,029	0,027
1972 - 1973	0,239	0,198	0,056	0,108	0,258	0,668	1,562	2,584	0,495	0,101	0,018	0,062
1973 - 1974	0,021	0,026	0,026	0,386	0,463	0,182	0,602	0,746	0,240	0,067	0,024	0,014
1974 - 1975	0,032	0,034	0,029	0,031	0,040	0,279	1,000	1,014	0,374	0,065	0,021	0,014
1975 - 1976	0,026	0,028	0,112	0,084	0,144	0,309	0,892	1,729	0,810	0,239	0,148	0,051
1976 - 1977	0,168	0,117	0,291	0,291	0,448	0,249	0,091	0,497	0,327	0,138	0,015	0,011
1977 - 1978	0,011	0,013	0,031	0,018	0,016	0,029	0,025	0,017	0,012	0,011	0,010	0,052
1978 - 1979	0,009	0,028	0,025	0,026	0,021	0,018	0,072	0,425	0,156	0,084	0,034	0,018
1979 - 1980	0,259	0,023	0,023	0,020	0,019	0,134	0,579	0,319	0,135	0,067	0,030	0,010
1980 - 1981	0,081	0,019	0,108	0,088	0,226	0,788	1,361	0,593	0,228	0,113	0,044	0,000
1981 - 1982	0,209	0,108	0,062	0,105	0,150	0,318	0,374	1,009	0,772	0,215	0,127	0,105
1982 - 1983	0,154	0,153	1,257	0,341	0,178	0,137	0,169	0,152	0,037	0,051	0,018	0,008
1983 - 1984	0,006	0,043	0,024	0,013	0,062	1,115	2,532	0,229	0,065	0,009	0,004	0,016
1984 - 1985	0,028	0,157	0,051	0,061	0,362	0,878	0,921	0,792	0,470	0,290	0,234	0,193
1985 - 1986	0,199	0,144	0,154	0,155	0,217	0,269	0,626	0,616	0,135	0,046	0,011	0,008
1986 - 1987	0,056	0,346	0,734	0,471	0,497	0,578	0,788	0,528	0,151	0,171	0,131	0,058
1987 - 1988	0,058	0,105	0,165	0,162	0,144	0,198	0,183	0,166	0,149	0,056	0,002	0,000
1988 - 1989	0,002	0,025	0,042	0,066	0,067	0,181	0,251	0,142	0,024	0,047	0,021	0,157
1989 - 1990	0,178	0,010	0,010	0,023	0,319	0,685	0,540	0,419	0,808	0,135	0,063	0,080
1990 - 1991	0,020	0,019	0,196	0,193	0,216	0,270	1,035	0,800	0,225	0,233	0,006	0,011
1991 - 1992	0,008	0,046	0,035	0,037	0,033	0,097	0,778	0,563	1,329	0,187	0,023	0,030
1992 - 1993	0,018	0,002	0,024	0,011	0,052	0,238	0,979	0,244	0,041	0,012	0,005	0,021
1993 - 1994	0,005	0,015	0,015	0,064	0,168	0,262	0,474	0,167	0,061	0,017	0,003	0,000
1994 - 1995	0,032	0,048	0,028	0,022	0,101	0,282	0,423	0,068	0,016	0,050	0,032	0,054
1995 - 1996	0,010	0,092	0,022	0,028	0,539	0,904	2,412	0,897	0,323	0,041	0,054	0,047
1996 - 1997	0,054	0,039	0,021	0,027	0,035	0,042	0,016	0,044	0,003	0,000	0,000	0,963
1997 - 1998	2,084	0,000	0,165	0,196	0,196	0,189	0,255	0,214	0,199	0,181	0,166	0,009
1998 - 1999	0,021	0,064	0,047	0,063	0,187	0,191	0,286	0,165	0,070	0,015	0,000	0,000
1999 - 2000	0,00	0,01	0,08	0,63	1,10	1,06	1,05	0,87	1,18	1,44	0,70	0,63
2000 - 2001	1,37	0,68	0,85	0,78	0,75	0,70	0,63	0,50	0,63	0,56	0,56	0,57
2001 - 2002	0,22	0,10	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11	0,07	0,05	0,39	0,39	0,04
2002 - 2003	0,28	0,00	0,04	0,10	0,66	0,77	0,71	0,68	0,22	0,30	0,19	0,04
2003 - 2004	0,02	0,00	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,00	0,00	0,12	0,00	0,08
2004 - 2005	0,03	0,02	0,35	0,77	0,70	0,77	1,83	0,79	0,76	0,16	0,04	0,00
2005 - 2006	0,31	0,12	0,14	0,15	0,21	0,37	0,73	0,29	0,39	0,03	0,03	0,02
2006 - 2007	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,37	0,55	0,32	0,14	0,10	0,09
2007 - 2008	0,12	0,11	0,12	0,14	0,15	0,13	0,15	0,14	0,25	0,08	0,16	0,12
2008 - 2009	0,12	0,18	0,19	0,26	1,10	0,38	1,16	0,59	0,56	0,17	0,10	0,10
2009 - 2010	0,37	0,07	0,05	0,05	0,11	0,14	0,17	0,18	0,06	0,06	0,01	0,02
2010 - 2011	0,01	0,03	0,04	0,03	0,06	0,09	1,22	0,24	0,79	0,22	0,12	0,06
2011 - 2012	0,01	0,16	0,08	0,09	0,13	0,19	0,66	0,32	0,11	0,06	0,01	0,02

Reboa 070403	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969 - 1970	3,398	6,935	2,314	1,099	1,927	0,621	0,261	1,930	1,790	0,315	0,234	0,211
1970 - 1971	0,193	0,174	0,095	0,161	0,191	0,274	0,373	0,160	0,241	0,024	0,036	0,072
1971 - 1972	0,773	0,915	0,234	0,266	0,536	1,415	1,965	3,042	1,261	2,482	0,079	0,107
1972 - 1973	1,987	1,394	0,897	0,231	0,765	1,555	4,286	4,784	0,959	0,641	0,254	0,633
1973 - 1974	0,363	0,165	0,258	1,681	1,389	0,989	1,190	1,347	0,551	0,325	0,301	0,200
1974 - 1975	0,290	0,230	0,111	0,134	0,156	0,445	1,075	0,864	0,869	0,081	0,009	0,014
1975 - 1976	0,402	0,067	0,346	0,156	0,314	1,214	2,090	2,082	1,775	0,883	1,001	0,097
1976 - 1977	0,432	0,507	1,027	0,733	1,613	1,039	0,264	0,796	1,593	0,954	0,141	0,135
1977 - 1978	0,111	0,047	0,281	0,211	0,107	0,135	0,089	0,024	0,610	0,135	0,097	0,280
1978 - 1979	0,223	0,428	0,276	0,203	0,175	0,238	0,268	0,657	0,214	0,176	0,170	0,170
1979 - 1980	2,878	0,126	0,016	0,015	0,014	0,025	0,484	0,286	0,168	0,054	0,014	0,014
1980 - 1981	0,141	0,026	0,170	0,237	0,612	1,113	1,414	0,603	0,021	0,073	0,020	0,017
1981 - 1982	0,527	0,060	0,009	0,059	0,089	0,226	0,290	0,863	0,807	0,558	0,012	0,047
1982 - 1983	0,492	0,529	3,943	0,699	0,477	0,376	0,245	0,141	0,015	0,015	0,012	0,000
1983 - 1984	0,008	0,019	0,000	0,000	0,000	0,489	0,640	0,684	0,048	0,015	0,015	0,035
1984 - 1985	0,009	0,665	0,005	0,109	0,704	1,518	1,946	1,449	1,850	0,076	0,007	0,002
1985 - 1986	0,024	0,223	0,095	0,128	0,165	0,331	1,767	1,354	0,070	0,027	0,027	0,046
1986 - 1987	0,305	0,863	0,278	0,470	0,587	0,608	0,716	0,105	0,004	0,004	0,352	0,001
1987 - 1988	0,052	0,033	0,044	0,014	0,001	0,002	0,001	0,000	0,187	0,355	0,006	0,011
1988 - 1989	0,783	0,875	0,047	0,020	0,057	0,248	0,262	0,057	0,423	0,497	0,127	0,275
1989 - 1990	2,096	0,118	0,014	0,030	1,893	1,705	0,930	1,356	3,047	0,623	0,168	2,397
1990 - 1991	0,028	0,036	0,287	0,331	0,265	0,283	1,205	2,083	0,586	0,261	0,067	0,000
1991 - 1992	0,121	0,279	0,080	0,091	0,109	0,211	1,987	0,754	1,777	0,322	0,161	0,085
1992 - 1993	0,176	0,070	0,438	0,406	0,610	0,658	1,341	0,426	0,118	0,050	0,024	0,008
1993 - 1994	0,002	0,070	0,022	0,255	0,097	0,193	0,214	0,031	0,015	0,006	0,027	0,000
1994 - 1995	0,188	0,166	0,025	0,009	0,113	0,058	0,915	0,024	0,002	0,161	0,094	0,002
1995 - 1996	0,001	0,215	0,000	0,001	0,825	1,202	6,388	1,076	0,748	0,204	0,058	0,084
1996 - 1997	0,059	0,055	0,096	0,141	0,141	0,119	0,066	0,047	0,039	0,036	0,000	0,119
1997 - 1998	1,149	0,117	0,562	0,262	0,016	0,011	0,099	0,256	0,363	0,081	0,012	0,210
1998 - 1999	0,126	0,015	0,000	0,022	0,001	0,392	0,564	0,006	0,410	0,103	0,000	0,000
1999 - 2000	0,066	0,000	0,076	2,673	0,440	0,296	0,183	0,040	4,738	0,538	0,002	0,000
2000 - 2001	0,944	0,021	0,015	0,204	0,009	0,005	0,002	0,078	0,456	0,000	0,000	0,000
2001 - 2002	0,378	0,037	0,000	0,003	0,005	0,430	0,580	1,100	0,043	0,357	0,044	0,404
2002 - 2003	0,000	0,000	0,806	0,008	0,330	0,490	0,630	2,080	0,439	0,956	0,051	1,221
2003 - 2004	0,540	2,100	0,170	0,384	0,436	0,440	0,950	1,263	2,895	1,395	0,299	0,680
2004 - 2005	0,470	0,052	0,934	2,467	1,583	1,651	2,315	0,890	0,478	0,364	0,137	0,039
2005 - 2006	0,210	0,052	0,176	0,005	0,269	1,080	0,735	0,946	1,098	0,222	0,425	1,615
2006 - 2007	0,050	0,052	0,177	0,005	0,269	0,430	0,580	0,780	1,010	0,050	0,031	0,014
2007 - 2008	4,610	0,080	0,215	0,025	0,280	0,810	1,660	0,810	2,650	0,765	0,563	0,138
2008 - 2009	0,290	0,244	0,196	0,007	0,052	0,810	0,889	1,556	3,657	0,183	0,045	0,243
2009 - 2010	0,250	0,080	0,191	0,006	0,300	0,490	0,684	0,628	0,416	0,112	0,042	0,054
2010 - 2011	0,222	0,080	0,201	0,007	0,300	0,460	0,684	0,602	0,308	0,077	0,033	0,041
2011 - 2012	0,243	0,540	0,192	0,006	0,280	0,490	0,684	0,628	0,330	0,067	0,032	0,014

Morri 070404	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969 - 1970	0,012	0,013	0,011	0,010	0,013	0,015	0,013	0,009	0,054	0,012	0,073	0,064
1970 - 1971	0,076	0,106	0,027	0,129	0,033	0,027	0,027	0,107	0,049	0,033	0,003	0,004
1971 - 1972	0,159	0,063	0,026	0,011	0,056	0,059	0,226	0,098	0,028	0,030	0,020	0,120
1972 - 1973	0,079	0,082	0,062	0,211	0,050	0,042	0,033	0,017	0,008	0,010	0,019	0,000
1973 - 1974	0,005	0,044	0,011	0,010	0,011	0,014	0,010	0,024	0,059	0,007	0,002	0,001
1974 - 1975	0,113	0,011	0,062	0,014	0,020	0,023	0,059	0,039	0,022	0,077	0,096	0,019
1975 - 1976	0,055	0,016	0,064	0,020	0,018	0,012	0,010	0,041	0,080	0,055	0,013	0,016
1976 - 1977	0,018	0,018	0,045	0,013	0,011	0,012	0,010	0,005	0,005	0,002	0,000	0,016
1977 - 1978	0,005	0,020	0,009	0,008	0,009	0,014	0,012	0,100	0,038	0,008	0,001	0,000
1978 - 1979	0,069	0,054	0,041	0,038	0,031	0,060	0,077	0,046	0,054	0,027	0,000	0,000
1979 - 1980	0,074	0,015	0,021	0,024	0,054	0,034	0,009	0,042	0,013	0,024	0,032	0,002
1980 - 1981	0,048	0,030	0,012	0,008	0,006	0,005	0,004	0,015	0,008	0,046	0,000	0,017
1981 - 1982	0,097	0,044	0,294	0,123	0,066	0,021	0,021	0,012	0,013	0,008	0,000	0,000
1982 - 1983	0,000	0,012	0,011	0,006	0,005	0,023	0,019	0,020	0,014	0,003	0,001	0,000
1983 - 1984	0,000	0,232	0,009	0,026	0,090	0,028	0,255	0,027	0,008	0,005	0,001	0,001
1984 - 1985	0,003	0,010	0,002	0,003	0,009	0,018	0,123	0,030	0,007	0,005	0,000	0,005
1985 - 1986	0,024	0,006	0,018	0,033	0,041	0,025	0,015	0,004	0,003	0,005	0,003	0,000
1986 - 1987	0,004	0,005	0,007	0,007	0,006	0,009	0,004	0,017	0,010	0,013	0,000	0,005
1987 - 1988	0,001	0,001	0,002	0,017	0,023	0,014	0,010	0,004	0,036	0,026	0,048	0,000
1988 - 1989	0,009	0,001	0,001	0,002	0,048	0,007	0,002	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000
1989 - 1990	0,000	0,001	0,007	0,002	0,002	0,002	0,002	0,010	0,042	0,008	0,010	0,002
1990 - 1991	0,001	0,046	0,012	0,010	0,008	0,006	0,035	0,010	0,018	0,008	0,001	0,000
1991 - 1992	0,001	0,005	0,010	0,010	0,010	0,010	0,012	0,005	0,084	0,003	0,000	0,000
1992 - 1993	0,000	0,002	0,004	0,007	0,022	0,027	0,049	0,009	0,002	0,000	0,001	0,000
1993 - 1994	0,000	0,011	0,009	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,000
1994 - 1995	0,000	0,008	0,001	0,001	0,012	0,007	0,041	0,020	0,021	0,015	0,009	0,000
1995 - 1996	0,013	0,012	0,013	0,014	0,012	0,012	0,015	0,016	0,012	0,000	0,000	0,015
1996 - 1997	0,008	0,003	0,024	0,016	0,008	0,006	0,002	0,022	0,090	0,000	0,000	0,000
1997 - 1998	0,006	0,001	0,000	0,004	0,004	0,004	0,004	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000
1998 - 1999	0,008	0,000	0,008	0,025	0,033	0,060	0,032	0,019	0,017	0,004	0,004	0,000
1999 - 2000	0,042	0,020	0,020	0,020	0,025	0,021	0,020	0,083	0,001	0,001	0,001	0,001
2000 - 2001	0,001	0,022	0,005	0,021	0,064	0,062	0,060	0,060	0,060	0,055	0,001	0,000
2001 - 2002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,003	0,001	0,002	0,001	0,001
2002 - 2003	0,001	0,002	0,003	0,002	0,020287	0,002	0,001	0,001	0,015	0,039334	0,002368	0,084828
2003 - 2004	0,096	0,096	0,011	0,016	0,016	0,013	0,066	0,013	0,013	0,046	0,006	0,000
2004 - 2005	0,011	0,011	0,121	0,302	0,130	0,116	0,079	0,027	0,027	0,006	0,003	0,000
2005 - 2006	0,011	0,011	0,011	0,015	0,015	0,053	0,018	0,030	0,030	0,008	0,032	0,137
2006 - 2007	0,011	0,011	0,011	0,015	0,015	0,013	0,009	0,021	0,021	0,001	0,001	0,001
2007 - 2008	0,012	0,012	0,014	0,032	0,017	0,015	0,077	0,011	0,011	0,032	0,036	0,007
2008 - 2009	0,019	0,019	0,012	0,017	0,066	0,036	0,027	0,061	0,061	0,006	0,002	0,014
2009 - 2010	0,012	0,012	0,012	0,016	0,018	0,015	0,015	0,013	0,013	0,003	0,002	0,006
2010 - 2011	0,012	0,012	0,013	0,017	0,018	0,015	0,013	0,012	0,012	0,002	0,001	0,001
2011 - 2012	0,032	0,032	0,012	0,016	0,017	0,017	0,015	0,013	0,013	0,001	0,001	0,001

FOUM EL GUEIS 070702	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969 - 1970	0,140	1,160	0,313	0,155	0,729	0,115	0,006	0,797	0,562	0,311	0,071	0,017
1970 - 1971	0,017	0,100	0,030	0,021	0,057	0,540	1,472	0,152	0,018	0,000	0,000	0,000
1971 - 1972	0,465	0,344	0,057	0,066	0,135	0,486	3,237	3,724	1,076	0,270	0,056	0,024
1972 - 1973	0,288	0,747	0,131	0,204	0,365	0,913	1,903	2,949	1,033	0,219	0,079	0,184
1973 - 1974	0,031	0,010	0,001	0,710	0,726	0,326	0,699	0,532	0,118	0,029	0,025	0,000
1974 - 1975	0,026	0,059	0,060	0,062	0,119	0,516	1,332	0,914	0,501	0,182	0,005	0,000
1975 - 1976	0,042	0,018	0,070	0,056	0,102	0,340	1,200	1,284	0,832	0,555	0,411	0,062
1976 - 1977	0,088	0,044	0,601	0,367	0,628	0,222	0,073	0,559	0,158	0,129	0,012	0,005
1977 - 1978	0,000	0,000	0,042	0,048	0,029	0,095	0,039	0,034	0,000	0,000	0,000	0,527
1978 - 1979	0,000	0,030	0,002	0,004	0,000	0,000	0,100	0,565	0,228	0,127	0,047	0,000
1979 - 1980	0,323	0,004	0,003	0,011	0,010	0,079	0,808	0,186	0,106	0,040	0,000	0,000
1980 - 1981	0,008	0,001	0,007	0,040	0,110	0,417	0,551	0,106	0,002	0,117	0,008	0,000
1981 - 1982	0,371	0,021	0,002	0,003	0,030	0,192	0,328	0,987	1,224	0,011	0,000	0,000
1982 - 1983	0,011	0,066	1,393	0,107	0,046	0,015	0,088	0,037	0,000	0,000	0,000	0,104
1983 - 1984	0,000	0,000	0,000	0,000	0,102	0,489	0,880	0,409	0,015	0,000	0,000	0,000
1984 - 1985	0,000	0,037	0,067	0,092	0,493	1,195	1,228	0,555	0,612	0,076	0,081	0,001
1985 - 1986	0,195	0,073	0,021	0,039	0,047	0,073	0,752	0,637	0,054	0,002	0,001	0,000
1986 - 1987	0,204	0,004	0,226	0,102	0,095	0,341	0,442	0,107	0,000	0,136	0,127	0,013
1987 - 1988	0,026	0,017	0,003	0,005	0,008	0,001	0,000	0,000	0,090	0,125	0,000	0,002
1988 - 1989	0,029	0,000	0,105	0,033	0,056	0,162	0,166	0,003	0,000	0,311	0,013	0,012
1989 - 1990	0,124	0,022	0,002	0,040	0,922	0,786	0,772	0,771	0,825	0,087	0,017	0,271
1990 - 1991	0,016	0,012	0,274	0,173	0,216	0,447	2,025	0,998	0,641	0,174	0,042	0,037
1991 - 1992	0,093	0,146	0,078	0,158	0,131	0,236	2,532	0,550	0,806	0,115	0,012	0,002
1992 - 1993	0,003	0,007	0,107	0,155	0,197	0,394	0,861	0,238	0,160	0,003	0,004	0,000
1993 - 1994	0,001	0,000	0,004	0,034	0,101	0,128	0,191	0,010	0,000	0,000	0,064	0,001
1994 - 1995	0,004	0,003	0,014	0,003	0,117	0,201	0,193	0,022	0,004	0,056	0,011	0,000
1995 - 1996	0,003	0,046	0,017	0,020	0,260	0,503	1,934	0,640	0,309	0,100	0,003	0,001
1996 - 1997	0,001	0,000	0,000	0,004	0,024	0,008	0,002	0,000	0,023	0,000	0,000	0,000
1997 - 1998	0,048	0,023	0,780	0,614	0,187	0,062	0,310	0,286	0,160	0,002	0,000	0,014
1998 - 1999	0,050	0,011	0,000	0,040	0,179	0,235	0,481	0,046	0,000	0,040	0,003	0,012
1999 - 2000	0,014	0,306	0,130	0,710	0,160	0,157	0,089	0,045	0,234	0,449	0,038	0,000
2000 - 2001	0,272	0,103	0,011	0,022	0,017	0,013	0,001	0,220	0,162	0,000	0,000	0,000
2001 - 2002	0,064	0,039	0,020	0,005	0,003	0,013	0,005	0,107	0,000	0,300	0,185	0,012
2002 - 2003	0,000	0,030	0,020	0,082	0,722	0,673	0,765	1,389	0,212	0,240	0,096	0,012
2003 - 2004	0,038	0,030	0,122	0,224	0,228	0,126	0,206	0,251	0,512	0,432	0,054	0,029
2004 - 2005	0,038	0,012	0,852	0,920	0,699	0,788	1,833	0,594	0,146	0,092	0,031	0,018
2005 - 2006	0,007	0,046	0,030	0,070	0,145	0,385	0,413	0,093	1,070	0,361	0,155	0,015
2006 - 2007	0,018	0,070	0,019	0,153	0,032	0,022	0,522	0,939	0,318	0,054	0,020	0,033
2007 - 2008	0,418	0,023	0,021	0,102	0,150	0,074	0,113	0,086	0,177	0,000	0,098	0,083
2008 - 2009	0,296	0,234	0,065	0,112	1,463	0,514	0,473	2,451	1,209	0,219	0,049	0,035
2009 - 2010	0,156	0,042	0,030	0,017	0,061	0,088	0,087	0,130	0,026	0,016	0,007	0,002
2010 - 2011	0,019	0,001	0,016	0,003	0,003	0,045	1,394	0,290	0,877	0,532	0,057	0,018
2011 - 2012	0,011	0,147	0,060	0,058	0,082	0,133	0,702	0,495	0,080	0,019	0,003	0,000

TIMGAD 070401	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969 - 1970	4,329	4,856	0,148	0,175	0,248	0,076	0,037	0,378	0,236	0,057	0,069	0,037
1970 - 1971	0,220	0,022	0,011	0,016	0,012	0,007	0,001	0,001	0,352	0,001	0,123	0,001
1971 - 1972	0,585	0,847	0,004	0,001	0,013	0,002	0,099	0,238	0,258	0,050	0,001	0,021
1972 - 1973	1,334	0,633	0,082	0,090	0,130	0,189	1,056	0,902	0,230	0,342	0,064	0,162
1973 - 1974	0,197	0,038	0,046	0,219	0,050	0,055	0,111	0,196	0,029	0,025	0,287	0,037
1974 - 1975	0,158	0,239	0,176	0,063	0,065	0,102	0,148	0,317	0,130	0,068	0,070	0,119
1975 - 1976	1,353	0,082	0,256	0,110	0,098	0,046	0,246	0,227	0,179	1,213	0,236	0,020
1976 - 1977	0,201	0,014	0,076	0,029	0,029	0,026	0,021	0,028	0,123	0,152	0,012	0,060
1977 - 1978	0,007	0,008	0,121	0,017	0,014	0,014	0,013	0,020	0,009	0,006	0,002	0,066
1978 - 1979	0,059	0,746	0,004	0,002	0,002	0,001	0,001	0,872	0,022	0,023	0,003	0,002
1979 - 1980	0,661	0,011	0,007	0,007	0,007	0,015	0,055	0,003	0,024	0,002	0,002	0,002
1980 - 1981	0,287	0,042	0,093	0,036	0,024	0,145	0,097	0,036	0,020	0,028	0,020	0,020
1981 - 1982	0,429	0,155	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,086	0,141	0,597	0,002	0,083
1982 - 1983	0,463	0,231	3,666	0,005	0,009	0,009	0,007	0,005	0,004	0,016	0,001	0,000
1983 - 1984	0,003	0,079	0,003	0,004	0,005	0,011	0,011	0,009	0,007	0,002	0,000	0,004
1984 - 1985	0,002	0,730	0,008	0,009	0,017	0,012	0,024	0,021	0,021	0,007	0,004	0,002
1985 - 1986	0,055	0,009	0,008	0,007	0,008	0,030	0,104	0,012	0,002	0,002	0,002	0,002
1986 - 1987	0,111	0,073	0,005	0,003	0,004	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,000
1987 - 1988	0,119	0,001	0,004	0,008	0,001	0,000	0,000	0,097	0,142	0,041	0,075	0,006
1988 - 1989	0,022	0,012	0,002	0,033	0,101	0,002	0,001	0,002	1,084	0,137	0,045	0,015
1989 - 1990	0,170	0,016	0,015	0,015	0,170	0,003	0,017	0,019	0,926	0,003	0,863	0,000
1990 - 1991	0,006	0,003	0,007	0,005	0,004	0,004	0,080	0,072	0,066	0,027	0,019	0,010
1991 - 1992	0,028	0,158	0,021	0,021	0,008	0,004	0,128	0,008	0,039	0,006	0,002	0,002
1992 - 1993	0,003	0,003	0,031	0,007	0,006	0,005	0,015	0,006	0,002	0,001	0,004	0,014
1993 - 1994	0,095	0,001	0,001	0,070	0,004	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1994 - 1995	0,003	0,004	0,000	0,000	0,006	0,001	0,176	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000
1995 - 1996	0,043	0,570	0,000	0,001	0,575	0,153	0,452	0,027	0,028	0,009	0,144	0,000
1996 - 1997	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,098	0,000	0,000	0,206
1997 - 1998	0,757	0,002	0,402	0,067	0,002	0,002	0,001	0,003	0,133	0,003	0,000	0,441
1998 - 1999	0,385	0,001	0,001	0,003	0,005	0,006	0,005	0,000	0,001	0,275	0,020	0,000
1999 - 2000	0,346	0,001	0,003	0,263	0,004	0,002	0,000	0,000	0,222	0,108	0,000	0,000
2000 - 2001	0,285	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,358	0,247	0,000	0,000	0,000
2001 - 2002	1,355	0,296	0,014	0,000	0,000	0,000	0,002	0,212	0,000	0,315	0,000	0,448
2002 - 2003	0,000	0,128	0,454	0,029	0,040	0,016	0,013	0,578	0,064	0,435	0,003	0,488
2003 - 2004	0,483	1,497	0,006	0,008	0,006	0,006	0,179	0,027	0,542	0,523	0,027	0,001
2004 - 2005	0,374	0,003	1,272	3,447	0,819	0,596	0,217	0,130	0,046	0,006	0,007	0,003
2005 - 2006	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,238	0,030	0,153	0,320	0,070	0,470	0,550
2006 - 2007	0,030	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,086	0,419	0,002	0,000	0,000
2007 - 2008	6,399	0,018	0,033	0,203	0,015	0,018	0,211	0,014	1,918	0,263	0,680	0,058
2008 - 2009	0,109	0,136	0,018	0,018	0,365	0,141	0,060	0,377	1,831	0,050	0,018	0,104
2009 - 2010	0,052	0,015	0,014	0,015	0,023	0,019	0,022	0,029	0,083	0,025	0,014	0,005
2010 - 2011	0,008	0,021	0,021	0,021	0,021	0,015	0,018	0,021	0,016	0,012	0,002	0,015
2011 - 2012	0,039	0,365	0,015	0,014	0,014	0,017	0,024	0,029	0,014	0,008	0,000	0,000

CHEMORA 070501	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969 - 1970	7,24	2,23	0,64	0,57	2,77	0,95	0,34	2,14	3,33	0,55	0,22	0,09
1970 - 1971	0,08	0,13	1,81	0,16	0,25	0,26	0,30	0,09	0,59	0,01	0,25	0,02
1971 - 1972	1,29	1,28	0,31	0,35	0,68	1,54	2,18	4,75	3,05	1,09	0,09	0,12
1972 - 1973	2,60	1,98	0,45	0,76	1,42	2,27	5,46	5,96	0,94	0,52	0,29	0,76
1973 - 1974	0,26	0,16	0,20	2,13	1,63	0,98	1,12	1,71	0,37	0,13	0,14	0,00
1974 - 1975	0,20	0,26	0,23	0,21	0,19	0,48	0,95	0,96	0,98	0,03	0,00	0,00
1975 - 1976	1,08	0,23	0,53	0,11	0,23	0,99	3,05	3,73	1,74	3,33	1,16	0,07
1976 - 1977	0,68	0,42	1,07	0,87	2,00	1,11	0,20	1,34	2,48	1,49	0,04	0,06
1977 - 1978	0,00	0,01	0,75	0,39	0,30	0,29	0,11	0,07	0,35	0,01	0,00	0,48
1978 - 1979	0,16	0,36	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	1,70	0,03	0,06	0,00	0,00
1979 - 1980	3,28	0,30	0,04	0,00	0,01	0,14	0,74	0,35	0,39	0,09	0,00	0,00
1980 - 1981	0,65	0,13	0,61	0,61	0,86	1,65	1,62	0,78	0,02	0,32	0,00	0,00
1981 - 1982	1,47	0,29	0,00	0,07	0,07	0,24	0,18	1,89	2,43	1,88	0,00	0,43
1982 - 1983	2,25	1,20	6,81	0,29	0,37	0,84	0,62	0,28	0,00	0,14	0,00	0,07
1983 - 1984	0,03	0,26	0,00	0,00	0,02	2,32	1,70	0,84	0,02	0,00	0,03	0,20
1984 - 1985	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1985 - 1986	0,54	0,45	0,18	0,20	0,30	0,57	2,37	1,39	0,07	0,03	0,00	0,11
1986 - 1987	1,42	1,06	0,42	0,42	0,47	0,63	0,63	0,11	0,02	0,00	0,34	0,00
1987 - 1988	0,18	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,46	0,42	0,02	0,00
1988 - 1989	0,14	0,59	0,06	0,10	0,07	0,21	0,23	0,02	1,14	0,71	0,14	0,33
1989 - 1990	2,69	0,10	0,01	0,02	4,35	2,03	0,95	1,30	3,29	0,42	0,30	0,58
1990 - 1991	0,09	0,07	0,47	0,21	0,52	0,60	3,85	3,28	0,81	0,77	0,23	0,00
1991 - 1992	0,34	0,56	0,12	0,25	0,18	0,45	4,39	2,07	4,27	0,46	0,11	0,11
1992 - 1993	0,50	0,02	0,64	0,43	0,44	0,57	1,49	0,28	0,05	0,04	0,00	0,00
1993 - 1994	0,00	0,18	0,02	0,32	0,05	0,05	0,08	0,00	0,12	0,00	0,09	0,42
1994 - 1995	0,53	0,98	0,00	0,00	0,04	0,01	0,89	0,31	0,02	1,70	0,41	0,10
1995 - 1996	1,18	2,31	0,00	0,02	4,16	4,79	10,38	2,12	1,63	0,77	0,21	0,00
1996 - 1997	0,00	0,00	0,00	0,01	0,09	0,04	0,00	0,00	0,53	0,20	0,02	0,15
1997 - 1998	4,21	0,26	1,71	0,63	0,01	0,00	0,01	0,53	0,79	0,07	0,00	0,70
1998 - 1999	1,66	0,06	0,00	0,00	0,21	0,15	0,18	0,00	0,74	0,43	0,00	0,00
1999 - 2000	1,22	0,71	1,24	2,45	0,25	0,08	0,00	0,00	0,98	0,79	0,00	0,56
2000 - 2001	2,11	0,01	0,02	0,05	0,02	0,00	0,00	0,84	1,48	0,00	0,00	0,00
2001 - 2002	1,79	2,06	1,08	0,00	0,00	0,00	0,03	0,22	0,00	0,18	0,05	0,00
2002 - 2003	0,00	0,50	1,62	0,73	0,77	0,12	0,09	1,40	0,01	0,17	0,01	0,01
2003 - 2004	0,35	0,98	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,50	0,36	0,00	0,62
2004 - 2005	0,84	0,00	0,94	1,00	0,25	0,54	24,42	4,33	2,06	0,37	0,00	0,13
2005 - 2006	0,51	0,36	0,29	0,25	0,20	2,49	0,53	1,40	1,23	0,36	0,58	0,96
2006 - 2007	0,54	0,36	0,29	0,25	0,20	0,29	0,11	0,94	1,48	0,15	0,02	0,05
2007 - 2008	8,61	0,38	0,35	0,46	0,28	0,42	5,00	0,43	5,44	0,94	0,83	0,15
2008 - 2009	0,64	0,49	0,32	0,27	2,65	1,58	1,27	2,96	5,21	0,29	0,05	0,23
2009 - 2010	0,57	0,38	0,31	0,26	0,33	0,43	0,32	0,54	0,60	0,22	0,04	0,06
2010 - 2011	0,52	0,38	0,32	0,27	0,32	0,39	0,23	0,48	0,42	0,18	0,03	0,08
2011 - 2012	0,55	0,70	0,31	0,26	0,27	0,41	0,37	0,54	0,41	0,17	0,03	0,05

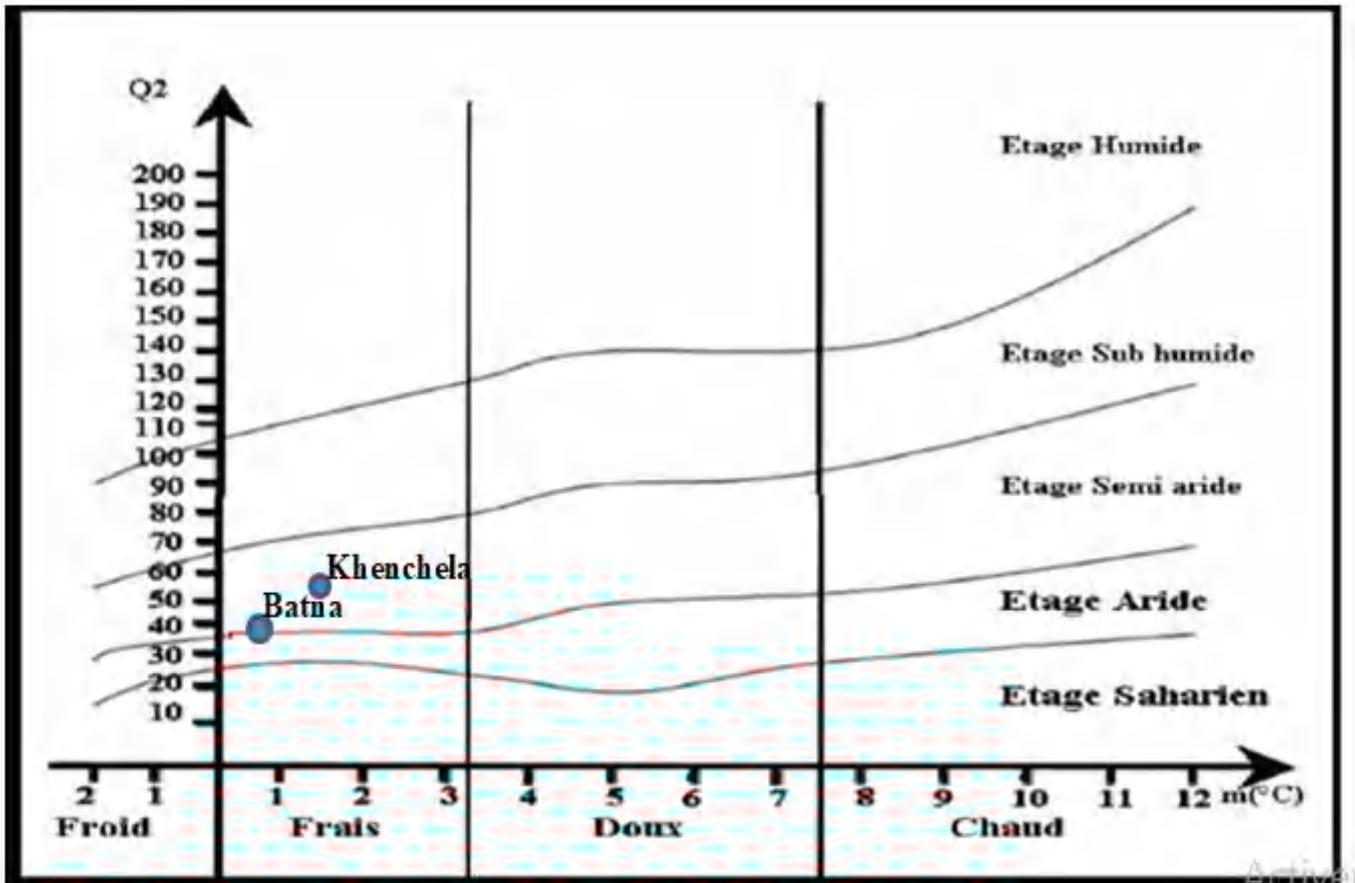
FESDIS 070301	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1969 - 1970	0,81	2,23	0,07	0,25	0,60	0,08	0,10	0,50	0,07	0,07	0,17	0,08
1970 - 1971	0,09	0,08	0,09	0,08	0,12	0,12	0,09	0,08	0,22	0,08	0,07	0,07
1971 - 1972	0,59	0,42	0,14	0,14	0,18	0,18	0,17	0,31	0,17	0,14	0,09	0,09
1972 - 1973	1,25	0,29	0,18	0,25	0,25	0,25	0,46	0,45	0,14	0,19	0,22	0,33
1973 - 1974	0,25	0,29	0,35	0,31	0,20	0,17	0,18	0,17	0,16	0,16	0,13	0,15
1974 - 1975	0,17	0,18	0,27	0,15	0,15	0,18	0,18	0,20	0,18	0,18	0,16	0,17
1975 - 1976	0,23	0,12	0,20	0,21	0,21	0,21	0,25	0,24	0,26	0,30	0,30	0,16
1976 - 1977	0,54	0,52	0,52	0,46	0,47	0,33	0,33	0,39	0,50	0,43	0,38	0,42
1977 - 1978	0,39	0,44	0,44	0,63	0,34	0,33	0,41	0,39	0,42	0,34	0,33	0,62
1978 - 1979	0,38	0,80	0,39	0,44	0,39	0,51	0,30	0,70	0,56	0,44	0,44	0,47
1979 - 1980	0,77	0,31	0,49	0,50	0,38	0,41	0,46	0,43	0,35	0,32	0,31	0,37
1980 - 1981	0,60	0,49	0,44	0,58	0,33	0,30	0,43	0,43	0,40	0,42	0,30	0,16
1981 - 1982	0,45	0,50	0,28	0,32	0,33	0,36	0,36	0,45	0,37	0,86	0,30	0,94
1982 - 1983	1,55	0,45	4,77	0,40	0,37	0,39	0,37	0,36	0,35	0,34	0,34	0,25
1983 - 1984	1,27	0,35	0,32	0,32	0,33	0,50	0,35	0,35	0,34	0,32	0,32	0,31
1984 - 1985	0,32	0,38	0,40	0,48	0,54	0,43	0,53	0,40	0,63	0,27	0,27	0,24
1985 - 1986	0,53	0,46	0,41	0,41	0,32	0,33	0,47	0,26	0,23	0,29	0,13	0,11

Annexe 3 : Valeurs caractéristiques des séries pluviométriques mensuelles (1969/13)

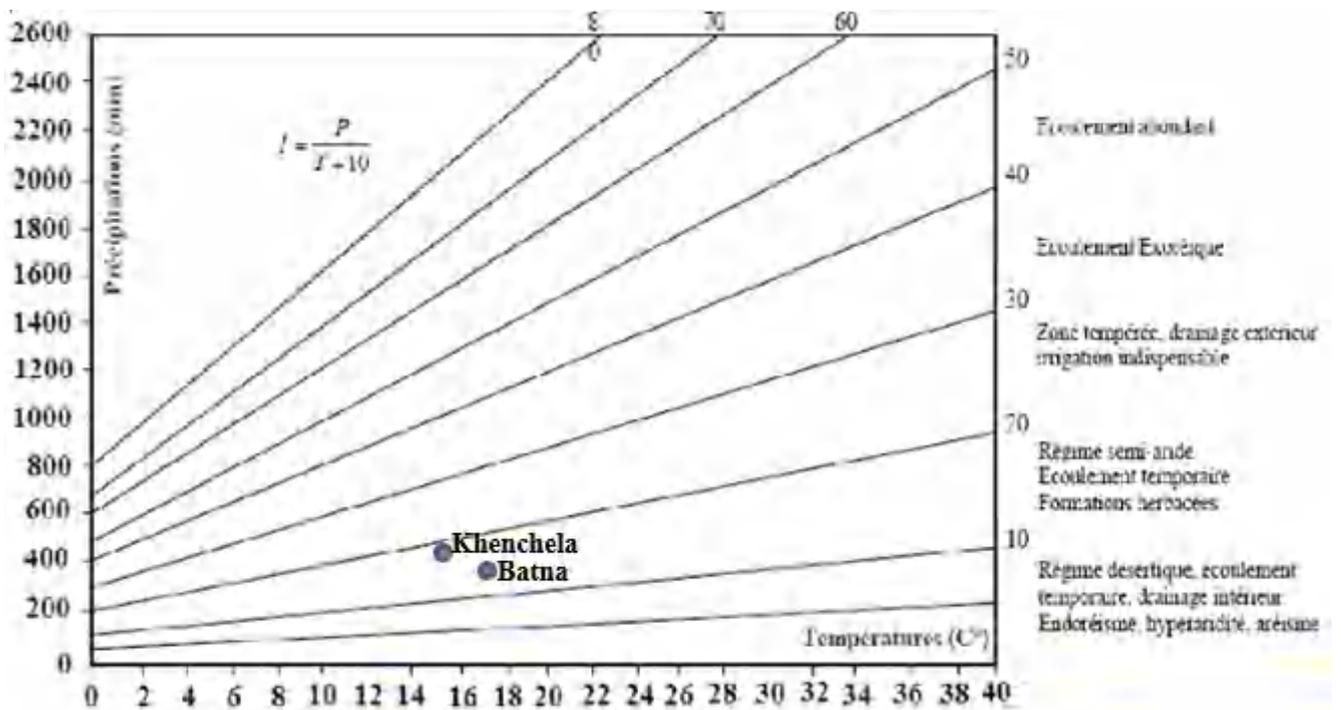
Stations	Variant	sept	oct.	nov.	déc.	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout
Tazoult (07 03 03)	P	38,32	32,95	36,70	33,47	35,35	30,41	39,32	43,37	38,74	19,25	5,52	16,18
	σ	38,36	31,54	32,10	26,79	30,13	23,56	26,61	32,57	32,38	15,98	7,45	22,72
	CV	1,00	0,96	0,87	0,80	0,85	0,77	0,68	0,75	0,84	0,83	1,35	1,40
	Max	228,10	140,80	139,50	135,70	123,10	96,00	116,50	142,10	114,70	80,30	28,00	113,20
	Min	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ali Ben Tennoun (07 03 04)	P	39,19	27,66	27,31	38,31	31,33	25,67	35,94	33,82	32,19	18,19	6,49	13,76
	σ	31,29	27,58	25,76	36,64	34,81	23,00	29,60	28,14	29,27	20,90	12,54	14,70
	CV	0,80	1,00	0,94	0,96	1,11	0,90	0,82	0,83	0,91	1,15	1,93	1,07
	Max	139,20	106,20	111,30	162,90	152,20	102,40	127,50	122,50	127,10	78,10	50,90	49,90
	Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hamala (07 03 08)	P	30,58	26,55	37,95	34,18	38,23	31,46	32,18	40,00	31,01	15,15	3,63	7,66
	σ	28,45	26,75	32,45	28,61	34,90	30,70	28,39	30,71	27,32	15,51	6,45	13,42
	CV	0,93	1,01	0,85	0,84	0,91	0,98	0,88	0,77	0,88	1,02	1,77	1,75
	Max	121,50	84,60	135,50	132,00	169,10	143,00	101,70	115,00	117,00	53,50	22,00	74,50
	Min	0,00	0,00	0,50	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguin (07 03 09)	P	42,92	38,99	48,46	48,49	43,21	35,60	51,43	48,86	40,83	22,46	9,70	13,42
	σ	29,32	36,87	49,07	39,49	35,46	28,43	42,17	34,77	37,68	26,09	15,01	17,19
	CV	0,68	0,95	1,01	0,81	0,82	0,80	0,82	0,71	0,92	1,16	1,55	1,28
	Max	114,60	155,09	233,10	160,80	179,30	124,60	190,60	150,20	180,40	122,10	74,30	96,50
	Min	0,00	0,00	0,00	4,10	1,70	0,00	2,60	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00

Batna (07 03 16)	P	44,83	32,60	35,30	36,01	34,49	29,28	39,29	43,20	38,97	22,08	9,75	15,26
	σ	31,56	30,67	29,26	27,45	29,36	21,81	25,39	31,57	30,36	20,86	13,24	13,53
	CV	0,70	0,94	0,83	0,76	0,85	0,75	0,65	0,73	0,78	0,94	1,36	0,89
	Max	137,20	143,00	117,50	122,80	129,60	87,30	103,20	112,60	117,10	93,90	56,30	63,40
	Min	3,00	1,90	2,30	3,60	1,50	0,00	4,60	3,60	0,70	0,00	0,00	0,00
Reboa (07 04 03)	P	31,65	23,29	20,30	25,63	22,10	17,65	29,88	26,50	36,84	16,27	6,63	7,09
	σ	29,19	28,10	15,33	25,15	15,89	10,87	26,00	20,85	29,65	15,29	9,61	10,52
	CV	0,92	1,21	0,75	0,98	0,72	0,62	0,87	0,79	0,80	0,94	1,45	1,48
	Max	142,10	128,81	56,36	106,90	68,90	56,00	108,19	110,96	99,72	68,17	35,76	48,30
	Min	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00
Ain Tinne (07 04 05)	P	51,98	41,94	43,54	38,23	32,24	30,21	48,75	45,72	40,63	23,30	13,39	26,79
	σ	46,58	37,21	39,66	29,72	29,79	20,54	35,62	30,65	32,78	20,51	17,23	30,08
	CV	0,90	0,89	0,91	0,78	0,92	0,68	0,73	0,67	0,81	0,88	1,29	1,12
	Max	272,70	177,50	194,00	130,50	135,20	86,00	145,60	121,20	139,40	87,70	77,30	147,70
	Min	0,00	0,00	0,00	3,00	0,80	0,00	6,00	1,60	3,29	0,00	0,00	0,20
Foum El Toub (07 04 06)	P	47,62	38,01	34,61	42,87	42,17	32,35	48,15	47,59	49,01	24,33	14,63	24,92
	σ	35,96	40,19	32,39	40,55	45,60	25,82	30,90	33,81	45,36	23,79	20,91	25,30
	CV	0,76	1,06	0,94	0,95	1,08	0,80	0,64	0,71	0,93	0,98	1,43	1,02
	Max	145,10	180,30	124,30	168,30	228,20	122,90	103,10	159,70	193,00	91,30	117,10	124,40
	Min	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	2,80	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00
Baiou (07 04 07)	P	42,71	33,35	39,16	33,31	28,67	26,81	42,48	45,52	38,31	21,98	7,97	22,84
	σ	40,60	31,18	39,10	25,24	24,78	17,99	27,95	28,37	29,94	20,37	8,93	26,89
	CV	0,95	0,94	1,00	0,76	0,86	0,67	0,66	0,62	0,78	0,93	1,12	1,18
	Max	216,80	147,00	188,80	116,60	123,50	91,70	108,80	112,50	105,70	66,90	32,70	126,50
	Min	1,30	0,00	0,00	3,20	2,00	0,00	4,40	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bouhmer (07 04 08)	P	34,97	30,43	30,63	35,86	31,55	24,42	38,94	37,75	30,92	18,52	6,59	11,28
	σ	43,98	40,42	32,37	35,30	33,20	21,04	37,44	32,93	32,46	23,22	13,17	18,13
	CV	1,26	1,33	1,06	0,98	1,05	0,86	0,96	0,87	1,05	1,25	2,00	1,61
	Max	202,00	179,00	124,50	166,10	118,00	114,40	220,00	154,00	130,50	94,50	75,50	97,00
	Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Timgad (07 04 09)	P	35,09	25,29	21,36	23,73	25,54	20,18	30,21	35,13	37,75	12,96	9,03	14,75
	σ	32,86	27,02	24,09	23,11	26,52	18,53	24,44	30,37	31,51	16,18	15,95	19,70
	CV	0,94	1,07	1,13	0,97	1,04	0,92	0,81	0,86	0,83	1,25	1,77	1,34
	Max	139,40	127,80	101,90	91,70	115,50	96,80	110,70	140,60	133,80	65,80	80,90	98,30
	Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sidi Mancer (07 04 10)	P	34,23	27,52	28,99	29,71	36,14	25,64	32,93	36,72	33,35	19,77	7,27	14,77
	σ	31,21	29,39	26,08	24,45	38,03	20,01	23,65	28,13	30,22	24,91	9,10	18,67
	CV	0,91	1,07	0,90	0,82	1,05	0,78	0,72	0,77	0,91	1,26	1,25	1,26
	Max	136,60	140,50	106,00	119,80	168,40	77,50	99,00	119,50	105,40	116,50	41,40	80,70
	Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yabous (07 06 04)	P	40,41	32,18	36,62	33,05	32,72	29,89	44,95	41,75	44,98	21,09	12,18	20,74
	σ	29,45	38,07	38,04	33,48	31,70	27,68	31,55	37,17	36,58	20,17	18,42	25,62
	CV	0,73	1,18	1,04	1,01	0,97	0,93	0,70	0,89	0,81	0,96	1,51	1,24
	Max	113,00	213,10	153,40	178,50	167,60	153,90	132,90	166,10	138,30	81,30	77,80	115,20
	Min	0,00	0,00	0,00	1,70	1,40	0,00	3,20	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00
Chélia CPR (07 06 06)	P	45,65	39,74	47,97	44,52	47,95	39,48	62,49	47,99	53,14	29,79	13,00	31,60
	σ	35,04	43,16	34,85	37,51	44,22	29,01	41,82	31,36	42,97	25,77	18,15	32,55
	CV	0,77	1,09	0,73	0,84	0,92	0,73	0,67	0,65	0,81	0,86	1,40	1,03
	Max	113,50	270,20	144,00	175,50	204,00	132,20	200,00	128,86	162,90	107,00	82,00	152,00
	Min	0,00	0,00	2,00	0,00	2,30	0,00	4,30	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00
Ain Mimoun (07 07 04)	P	41,03	40,52	41,89	44,09	38,00	36,33	53,74	47,80	53,51	23,53	11,84	24,55
	σ	35,80	31,50	32,71	39,64	38,06	30,01	39,72	37,86	38,54	24,78	14,24	27,79
	CV	0,87	0,78	0,78	0,90	1,00	0,83	0,74	0,79	0,72	1,05	1,20	1,13
	Max	175,20	129,40	117,00	182,00	202,30	155,70	175,90	150,80	126,60	96,40	54,50	125,90
	Min	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	4,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Foum El Gueiss (07 07 20)	P	42,19	32,60	39,36	44,66	36,58	29,82	47,81	39,04	45,72	29,79	9,25	23,61
	σ	29,83	24,62	31,23	32,85	25,75	23,34	30,83	24,98	30,98	29,89	7,67	25,89
	CV	0,71	0,76	0,79	0,74	0,70	0,78	0,64	0,64	0,68	1,00	0,83	1,10
	Max	149,55	100,02	109,62	156,97	136,60	125,50	140,60	104,91	103,43	130,40	33,80	115,80
	Min	0,00	1,85	0,47	10,00	3,30	1,50	3,50	4,40	3,38	2,00	0,00	0,80

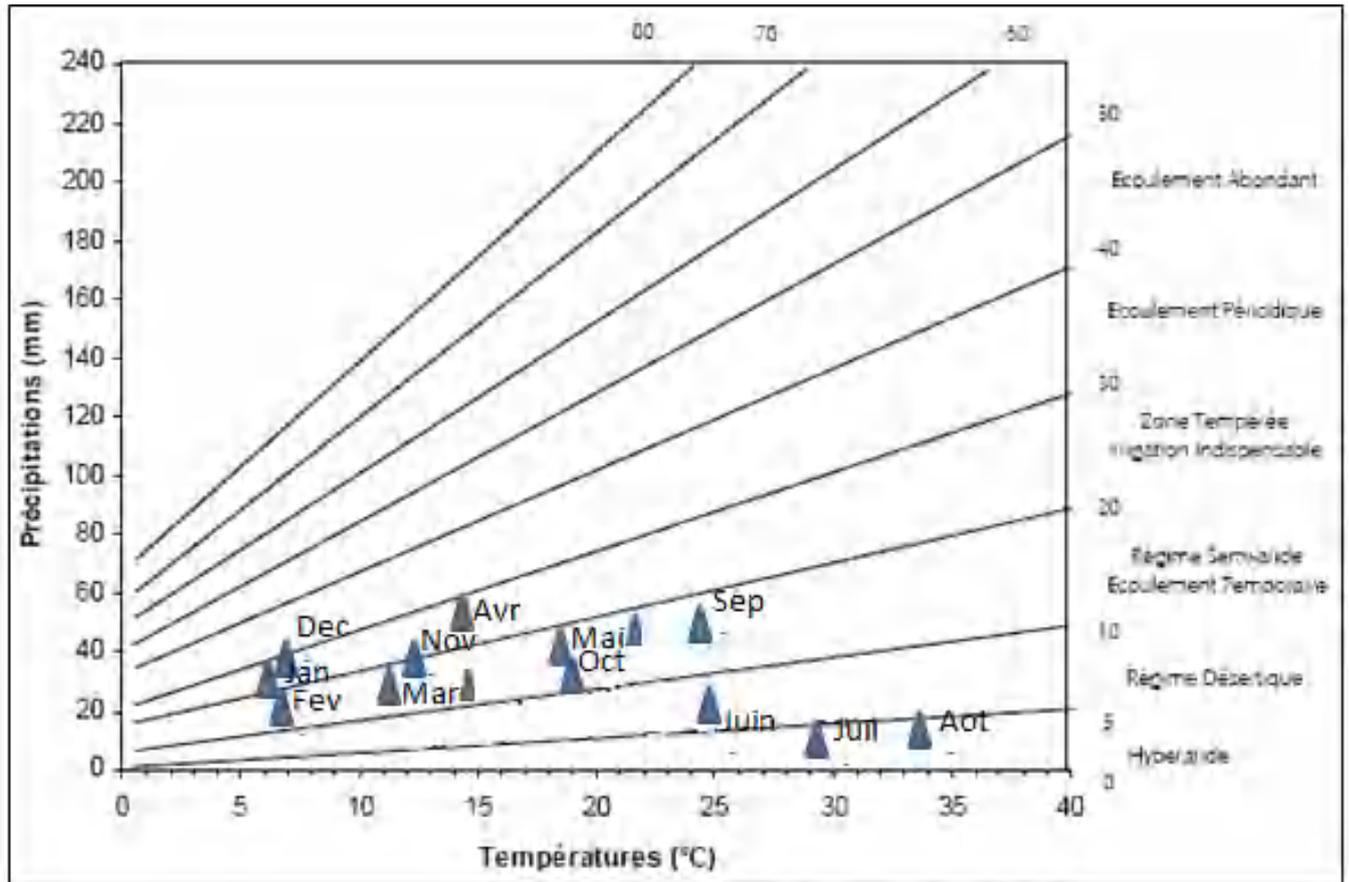
Annexe 4 : Diagramme d Emberger



Annexe 5 : Diagramme de Martonne



Annexe 6 : Indice mensuel d'Aridité de MARTONNE (Khenchela)



Annexe 7 : Indice mensuel d'Aridité de MARTONNE (Batna)

