

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE FRERES MENTOURI CONSTANTINE 1



FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GEOGRAPHIE ET DE
L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

DEPARTEMENT DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

LABORATOIRE DES SCIENCES DU TERRITOIRE, RESSOURCES NATURELLES ET
ENVIRONNEMENT (LASTERNE)

THESE DE DOCTORAT DE 3^{ème} CYCLE (LMD)
Spécialité : Hydrologie et gestion des hydrosystèmes

Par :
Rokia AZIOUNE

Sous la direction de: Pr Hafiza TATAR

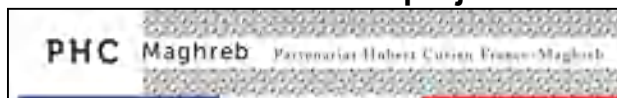
Thème :

**L'INONDATION EN MILIEU URBAIN ET LE
CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE NORD-EST
ALGERIEN ÉTUDE DE CAS**

Thèse soutenue publiquement à Constantine le 14 /07/2022 devant le jury composé de :

Azzedine MEBARKI	Pr à l'université Frères Mentouri Constantine 1	Président
Hafiza TATAR	Pr à l'université Frères Mentouri Constantine 1	Rapporteur
Nadir MAROUF	Pr à l'université l'université Lorbi Ben M'hidi OEB	Examineur
Abdelaziz LOUAMRY	M. Conf. A à l'université Frères Mentouri Constantine 1	Examineur
Aziz BENHAMROUCHE	M. Conf. A à l'université Ferhat Abbas Sétif	Examineur

Cette thèse a été réalisée avec le soutien du projet PHC Maghreb (17 MAG 32)



Dédicace

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude à ceux qui ont tout consenti pour m'offrir les conditions propices à ma réussite :

A mes parents .Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de leur amour dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet : mon mari, et bien sur A mon cher frère et A mes très chères sœurs, sans oublier tous mes amis.

Et à tous ceux qui m'ont toujours encouragé pour que je réussie dans mes études.

AVANT-PROPOS

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce travail durant huit longues années.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de madame **Hafiza TATAR**, je la remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant la préparation de cette thèse. Je lui en suis profondément reconnaissante et lui manifeste tout mes respects.

Notre vif remerciement s'adresse également à Monsieur **Zinedine NOUACEUR**, pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragements. Aussi pour l'encadrement soutenu qu'il m'a prodigué lors de mon passage au laboratoire M2C à l'Université de Rouen, pour sa disponibilité et son soutien pendant la durée du stage. Je considère que cela a été une grande chance pour moi d'avoir effectué un stage à l'Université de Rouen et d'avoir bénéficié d'une formation sur les outils modernes

Nous sommes conscientes de l'honneur que nous a fait **Mr MEBARKI Azzedine** en étant président du jury. Mes remerciements vont également à tous les membres du jury, **Mr MAROUF Nadir**, **Mr LOUAMRY Abdelaziz** et **Mr Aziz Benhamrouche**, d'avoir accepté d'examiner, et d'évaluer ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à tout nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenues de près ou de loin. Principalement à tous les cadres de l'ANRH d'Alger, qui ont mis à ma disposition tous les données.

LISTE DES ABREVIATIONS

ANB	Agence Nationale des Barrages
ANBT	Agence Nationale des Barrages et des Transferts
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydriques
ANAT	Agence Nationale pour l'Aménagement du Territoire
APD	Avant Projet Détaillé
I'EM-DAT	Emergency Events Database
BMS	Bulletin Météorologique Spéciale
ETP	Evapotranspiration Potentielle
FVI	Flood Vulnerability Indices
FVIec	Indice de Vulnérabilité aux Inondations pour la composante économique
FVIen	Indice de Vulnérabilité aux Inondations pour la composante environnementale
FVIph	Indice de Vulnérabilité aux Inondations pour la composante physique
FVIs	Indice de Vulnérabilité aux Inondations pour la composante sociale
INSID	Institut National des Sols, Irrigation et Drainage
GFDRR	Global Facility for Disaster Reduction and Recovery
GR2M	Génie Rural à Deux paramètres Mensuels
LEM	Laboratoire des Études Maritimes
MAO	Mostaganem-Arzew-Oran
MedECC	Méditerranéen D'experts sur Les Changements Climatiques Et Environnementaux
MES	Matières En Suspension
MGCTI	Méthode Graphique Chronologique de Traitement de l'Information
MNT	Modèle Numérique du Terrain
ONM	Office National Météorologique
PDAU	Plan directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
PIG	Projet d'Intérêt Général
PGPR	Plan de Gestion du Protection des Risques
PNE	Plan National de l'Eau
POS	Plan d'Occupation des Sols
PSS	Plans des Surfaces Submersibles
SIG	Systèmes d'Information Géographique
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat
SDAT	Le Schéma Directeur d'Aménagement Touristique
UpM	Union pour la Méditerranée
WHO	World Health Organisation

Résumé :

Le phénomène de changement climatique dont les causes sont avérées aujourd'hui, peut se manifester par de longues périodes de sécheresse avec pour conséquences des effets négatifs sur le cycle hydrologique, l'environnement et les activités socio-économiques. Il est considéré comme l'un des problèmes majeurs de développement durable dans le monde, tant ses conséquences sont accablantes. L'Algérie, depuis quelques années en fait également l'une de ses préoccupations les plus importantes. Depuis les années 90, en effet, la thèse du changement climatique met en débat les ressources en eau et les risques qui leurs sont liés en les situant au cœur même du problème.

Cette étude vise à cerner l'évolution des principaux paramètres climatiques et ses conséquences sur le cycle hydrologique, notamment sur le phénomène d'inondation dans le Nord –Est algérien. Événement récurrent partout dans le monde, ce phénomène a touché la plus part des pays. En Algérie, il est parmi les défis majeurs qu'affrontent particulièrement les agglomérations du Nord comme du Sud du pays

Pour ce faire, diverses données et méthodes (Indices climatiques, matrice de Bertin, méthode statistique, méthode spectrale.....) ont été utilisées. L'application de ces méthodes aux séries pluviométriques de 55 postes pluviométriques sur une période de 43 ans (1969 – 2012) a mis en évidence une évolution climatique caractérisée par une tendance à la sécheresse. Les méthodes statistiques indiquent des ruptures entre 1989 et 2002, qui marquent une modification du régime pluviométrique. Ces ruptures s'accompagnent d'une diminution de la pluviométrie de 13 à 28 % Les manifestations de cette évolution climatique se répercutent sur les ressources en eau et particulièrement sur le caractère des écoulements dans la région d'étude.

Le cas de deux agglomérations situées dans des milieux diamétralement opposés, et sujettes aux inondations a été retenu pour analyser le caractère des écoulements : Annaba sur le littoral et Biskra à la porte du Sahara.

L'étude concerne l'oued Boudjamaa, cours d'eau qui draine la plaine de Annaba à l'Est du massif de l'Edough (massif montagneux culminant à 1008 m d'altitude), et l'oued Biskra qui traverse la ville du même nom.

Sur la base de cartes, plans, rapports météorologiques et documents historiques, l'analyse des deux sites urbains, et l'historique des événements « inondation » ont permis d'identifier les risques et ses périmètres respectifs à l'intérieur des villes.

MOTS CLES : Changement climatique, variation, précipitation, inondations, hydrologie, villes, Nord Est Algérien.

Abstract:

The phenomenon of climate change, the causes of which are now known, can manifest itself in prolonged periods of drought, with adverse effects on the hydrological cycle, the environment and socio-economic activities. It is considered to be one of the major problems of sustainable development in the world because of its devastating consequences. Algeria, in recent years, has also made this one of its most important concerns. Indeed, since the 1990s, the climate change thesis has challenged water resources and the risks associated with them, placing them at the very heart of the problem.

This study aims to identify the evolution of the main climatic parameters and its consequences on the hydrological cycle, in particular on the phenomenon of flooding in northeastern Algeria. This phenomenon is a recurring phenomenon all over the world and has affected most countries. In Algeria, it is one of the major challenges faced particularly by agglomerations in the North and South of the country.

Various data and methods (climate indices, Bertin matrix, statistical method, spectral method, etc.) were used. Application of these methods to rainfall series of 55 rainfall stations over a 43-year period (1969 – 2012) revealed a climate change characterized by a drought trend . Statistical methods indicate breaks between 1989 and 2002, indicating a change in rainfall patterns. These breaks are accompanied by a decrease in rainfall of 13 to 28%. The manifestations of this climate change affect water resources and particularly the character of runoff in the study area.

The case of two agglomerations located in diametrically opposed environments and prone to flooding was selected to analyse the character of the flows: Annaba on the coast and Biskra at the gateway to the Sahara.

The study concerns the Boudjamaa wadi, a river that drains the Annaba plain to the east of the Edough massif (mountains at an altitude of 1008 m), and the Biskra wadi, which runs through the town of the same name.

On the basis of maps, plans, meteorological reports and historical documents, the analysis of the two urban sites and the history of the “flood” events made it possible to identify the risk and its respective perimeters within the cities.

KEYWORDS:, Climate change, variation, precipitation, flooding, hydrology, Cities, North East Algeria.

المخلص :

يمكن لظاهرة تغير المناخ ، التي ثبتت أسبابها اليوم ، أن تتجلى في فترات طويلة من الجفاف مع ما يترتب على ذلك من آثار سلبية على الدورة الهيدرولوجية والبيئة والأنشطة الاجتماعية - الاقتصادية. وتعتبر من الأسباب الرئيسية مشاكل التنمية المستدامة في العالم، حيث أن عواقبها وخيمة. لعدة سنوات حتى الآن، الجزائر، جعلت منها أحد أهم اهتماماتها. منذ قلب التسعينيات، في الواقع، ناقشت أطروحة تغير المناخ الموارد المائية والمخاطر المرتبطة بها من خلال وضعها في الأشكالية

تهدف هذه الدراسة إلى التعرف على تطور العوامل المناخية الرئيسية ونتائجها على الدورة الهيدرولوجية ، ولا سيما على ظاهرة الفيضانات في شمال شرق الجزائر. تتكرر هذه الظاهرة في جميع أنحاء العالم ، وقد أثرت على معظم البلدان.

للقيام بذلك ، تم استخدام العديد من البيانات والأساليب (المؤشرات المناخية ، مصفوفة بيرتين ، الطريقة الإحصائية ، الطريقة الطيفية ، إلخ). وكشف تطبيق هذه الأساليب على سلسلة هطول الأمطار المؤلفة من 55 محطة مطرية على مدى 43 عامًا (1969-2012) عن تطور مناخي يتميز بالميل إلى الجفاف. تشير الأساليب الإحصائية إلى فترات انقطاع بين عامي 1989 و 2002 ، مما يشير إلى تغيير في نظام هطول الأمطار. ويرافق هذه التمزقات انخفاض في هطول الأمطار بنسبة 13 إلى 28٪ ، وتؤثر مظاهر هذا التغير المناخي على الموارد المائية وخاصة على طبيعة التدفقات في منطقة الدراسة.

تم الإبقاء على حالة التجمعين المتواجدين في بيئات متناقضة تمامًا وعرضة للفيضانات لتحليل طبيعة التدفقات: عنابة على الساحل وبسكرة عند بوابة الصحراء.

تتعلق الدراسة بوادي بوجمعة ، وهو مجرى مائي يصرف سهل عنابة إلى الشرق من إيدوغ ماسيف (كتلة جبلية تبلغ ذروتها على ارتفاع 1008 م) ووادي بسكرة الذي يعبر المدينة

على أساس الخرائط والخطط وتقارير الطقس والوثائق التاريخية ، أتاح تحليل الموقعين المدينين وتاريخ أحداث "الفيضانات" تحديد المخاطر ومحيطها داخل المدن.

الكلمات المفتاحية: تغير المناخ، التباين، هطول الأمطار، الفيضانات ، الهيدرولوجيا، المدن، شمال شرق الجزائر.

SOMMAIRE

DEDICACES.....	I
AVANT-PROPOS.....	II
LISTE DES ABREVIATIONS.....	III
RESUME.....	IV
SOMMAIRE.....	VII

INTRODUCTION GENERALE		1
Chapitre I : Changement climatique : De l'échelle globale à l'échelle locale		5
1.	Le changement climatique à l'échelle globale	6
1.1.	Caractéristiques du système climatique mondial	6
1.2.	Les évolutions climatiques mondiales	7
1.3.	Les causes du changement climatique	8
1.4.	Les scénarios climatiques mondiaux	10
2.	Changement climatique au niveau de la région Méditerranéenne	14
2.1.	Température de l'air	14
2.2.	Précipitations	14
2.3.	Niveau de la Mer	14
3.	La Méditerranée et l'Algérie figurent parmi les <i>hot-spots</i> du changement climatique	15
3.1.	L'évaluation des changements climatique	15
3.2.	Climat de l'Algérie	18
3.2.1.	Température	19
3.2.2.	Précipitations	21
3.3.	Les ensembles bioclimatiques	22
Chapitre II : Données, méthodes et contexte géographique		25
1.	Données	26
1.1.	Données climatique	26
1.1.1.	Les Précipitations	26
1.1.2.	Comblement des lacunes	28
1.1.3.	Précipitations quotidiennes	28
1.1.4.	Températures	29
1.2.	Les données hydrologiques	30
1.2.1.	Les débits	30
1.2.2.	Les crues	30
2.	Méthodes et outils	31
2.1.	Approche statistique	31
2.2.	Approche cartographique	32
2.3.	Approche spectrale	33
2.4.	Outils	34
3.	Présentation de la zone d'étude	35
3.1.	Localisation géographique	35
3.2.	Contexte physique	36
3.2.1.	La bordure littorale	36
3.2.2.	La chaîne tellienne	36
3.2.3.	Le tell intérieur	37
3.2.4.	Les Hautes Plaines	37
3.2.5.	L'Atlas saharien	37
3.2.6.	Le Sahara	38
3.3.	Couvert végétal	38
3.4.	Contexte géologique	40
3.5.	Contexte climatique	41
3.5.1.	Les précipitations	41
3.5.2.	Les températures	43
3.5.2.	Relation pluies –températures : diagramme Ombrothermique de Gaussen	43
3.6.	Contexte hydrographique	45

3.6.1.	Les types des bassins hydrographiques	46
3.6.1.1.	Les bassins exoréiques	46
3.6.1.2.	Les bassins endoréiques	50
3.7.	Croissance démographique de l'Algérie	51
3.7.1.	L'Algérie à l'aube de l'occupation française	52
3.7.2.	Au moment de l'indépendance	52
Chapitre III : Evaluation du réchauffement climatique dans le Nord Est Algérien à partir de l'analyse des températures		55
1.	Tendance des températures annuelles	56
1.1.	Variabilité interannuelle des températures minimales	58
1.2.	L'étude spatio-temporelle de la température	60
1.3.	L'amplitude thermique annuelle	62
1.4.	Comparaison entre les deux séries d'observation des températures : (1913-1938), et (1980-2018)	63
2.	Températures mensuelles	64
2.1.	Variabilité mensuelle des températures moyennes (1980/2018)	64
2.2.	Variabilité mensuelle des températures minimales	66
2.3.	Variabilité mensuelles des températures maximales	67
3.	Températures saisonnières	68
4.	Synthèse Bioclimatique	70
4.1.	Classification d'Emberger	70
Chapitre IV : Analyse des pluies et des débits		75
1.	Étude des caractéristiques Pluviométriques	76
1.1.	Les précipitations et leur évolution annuelle	76
1.1.1.	Évolution temporelle des précipitations annuelles	76
1.1.2.	Distribution statistique des pluies annuelles	78
1.1.3.	Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales	80
1.1.4.	Le coefficient de variation (CV)	83
1.1.5.	L'écart-type	84
1.2.	Les précipitations mensuelles et les régimes saisonniers	85
1.2.1.	Les précipitations mensuelles	85
1.2.2.	Le régime pluviométrique saisonnier	87
2.	Analyse des pluies journalières grâce à l'indice de concentration	89
2.1.	Étude spatiale des intensités pluviales	89
2.1.1.	Calcul de l'indice de concentration par la méthode de MARTIN Vide	90
2.1.2.	Corrélation de l'indice de concentration (CII) avec des variables géographiques et pluviométriques	94
2.2.	L'indice temporel de concentration des précipitations	98
3.	Analyse du régime hydrologique	100
3.1.	L'évolution Des débits	101
3.1.1.	Variabilité temporelle des débits interannuels	101
3.1.2.	Distribution des débits Annuels	103
3.2.	Le coefficient d'hydraulicité des débits interannuels	104
3.3.	Variabilité temporelle des débits mensuels et les régimes saisonniers	106
3.4.	Bilans hydrologiques annuels	109
3.4.1.	Les précipitations	110
3.4.2.	L'écoulement	111
3.4.3.	Le déficit d'écoulement	112
3.4.4.	Le coefficient d'écoulement	112
4.	Étude des caractéristiques du Variabilité hydroclimatique du la zone d'étude	115
4.1	Indice pluviométrique et hydrologique	115
4.2	Apport de la cohérence par ondelettes continues pour déterminer les liens pluies et débits	117
4.2.1	Détermination des modes de variabilité pluviométrique	117
4.2.2	Détermination des modes de variabilité hydrologique	119
4.2.3	La cohérence en ondelettes continues : évolution de degré de corrélation entr apports et pluies au cours du temps	121
Chapitre V : Les inondations dans le monde et en Algérie		124
1.	Les inondations dans le monde	125

2.	Vulnérabilité et risque d'inondation dans les villes Algériennes	128
2.1.	Causes des crues catastrophiques en Algérie	128
2.2.	Types de crues	131
2.3.	Historique des inondations en Algérie	127
3.	Etude des inondations dans le Nord-Est Algérien	134
3.1.	Analyse statistique des débits extrêmes des oueds qui sont jaugés par les stations retenues	135
3.2.	Etude des crues	139
Chapitre VI: Analyse des facteurs physiques et anthropiques liés au risque des inondations. Etude de cas Annaba et Biskra		150
1.	Caractéristiques des sites d'étude	152
1.1.	Les caractéristiques topographiques favorables	154
1.2.	Caractéristiques lithologiques	159
1.3.	Les caractéristiques de couvert végétal	161
2.	Evolution des anomalies et tendances pluviométriques	163
2.1.	Caractérisation des périodes de retour	163
2.2.	Fréquence de retour des pluies en lien avec les inondations	165
2.3.	Evolution des débits de crue	170
2.3.1.	Calcul du débit de pointe	170
2.3.2.	L'hydrogramme de crue	170
3.	Evolution de l'étalement du tissu urbain	174
3.1.	Evolution de la Population	174
3.2.	Evolution de l'étalement du bâti de la ville : étude diachronique	174
4.	Cartographie du risque inondation	181
4.1.	L'Evolution de la vulnérabilité	181
4.1.1.	Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité à l'aléa inondation	183
4.2.	Identification des zones inondables	184
4.3.	Délimitation des zones à risque	186
4.3.1.	La réalisation des cartes de risque	186
5.	Gestion globale des risques	188
5.1.	Prévision	189
5.1.1.	Prévision hydroclimatique	189
5.1.2.	Prévision juridique et réglementaire de la prévention	190
5.1.3.	La sensibilisation des populations	190
5.1.3.1.	Des plans des surfaces submersibles	191
5.1.3.2.	Des atlas des zones inondables des outils de connaissance	191
5.1.3.3.	Les PGPR sont réalisés par bassin de risque	193
5.2.	Prévention	193
5.2.1.	Augmentation des capacités d'évacuation	193
5.2.2.	La mise en état d'alerte	194
5.3.	Protection	195
5.3.1.	Les types d'aménagement du bassin versant contre les inondations	195
6.	Aménagements proposés	197
6.1.1.	Actions à court terme dans la ville de Annaba	197
6.1.1.1.	Curage permanent de la ceinture hydrographique	197
6.1.2.	Actions à moyen terme dans la ville de Annaba	198
6.1.3.	Actions à long terme dans la ville de Annaba	199
6.1.3.1.	Le projet du Barrage sur l'oued Bouhdid	199
6.1.3.2.	La correction torrentielle	199
6.1.3.3.	Les ouvrages de correction de ravines	200
6.2.	Aménagements proposés pour la protection de la ville de Biskra	200
6.2.1.	Actions à court terme dans la ville de Biskra	200
6.2.1.1.	L'élargissement de la section de l'oued avant le premier pont sur pieu	200
6.2.2.	Actions à long terme dans la ville de Biskra	201
6.2.2.1.	Solution pour la crue millénaire (période de retour 1/1000)	201
Conclusion générale		204

Introduction générale

I. Introduction générale

Le climat de la Terre change. Certains changements sont attribuables à des variations naturelles qui surviennent depuis des millions d'années. Toutefois, les activités humaines qui émettent dans l'atmosphère des gaz retenant la chaleur réchauffent de plus en plus la planète en accentuant « l'effet de serre ».

Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la température moyenne de l'air à la surface du globe devrait augmenter de 1,8 à 4°C au cours du présent siècle (GIEC, 2007). Ce rythme de changement est sans précédent au cours des 10 000 dernières années. Par conséquent, les données historiques sur le climat ne procurent plus de mesures précises pour prévoir les conditions du climat à l'avenir.

Le changement climatique figure parmi les principaux problèmes dont les impacts se ressentent à travers le monde. Ces impacts sont variés et épousent des formes multiples. Parmi les plus importants, on peut citer les inondations qui se manifestent avec plus de fréquence et plus d'ampleur un peu partout dans le monde.

Comme le réchauffement planétaire continue d'aggraver les phénomènes météorologiques extrêmes, nous faisons face à des tempêtes de magnitude et d'intensité plus grandes ainsi qu'à des précipitations extrêmes, soit des volumes plus élevés de pluie dans des laps de temps plus courts. D'après le Rapport sur l'évolution du climat Canadien, une plus forte intensité des précipitations, particulièrement durant l'hiver, augmentera les risques d'inondation en milieu urbain.

D'après le rapport spécial sur les phénomènes extrêmes, du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), il est de plus en plus manifeste que les changements climatiques exercent une influence perceptible sur les variables associées à l'eau qui contribuent aux inondations, comme la pluie et la fonte des neiges.

La région méditerranéenne a été référencée comme l'une des régions les plus réactives au changement climatique et a été définie comme un « point chaud » principal par Giorgi (2006), sur la base des résultats des scénarios de projection du changement climatique mondial. Le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2013) identifie la Méditerranée comme l'une des régions les plus vulnérables au monde vis-à-vis des impacts du réchauffement climatique. Le contexte du réchauffement climatique renforce la nécessité d'évaluer les conséquences possibles sur cette région sensible qui est susceptible de devenir plus chaude et plus sèche (GIEC 2007, 2013).

Les inondations méditerranéennes sont connues depuis la plus haute Antiquité. Mais, dans tous les pays, elles deviennent un fléau de plus en plus redouté. Il est certes possible de souligner l'ampleur de l'aléa, l'importance des précipitations sur un laps de temps relativement bref. Comme le précise V. Ducrocq (2006), dans le bassin méditerranéen, la hauteur des précipitations dépasse régulièrement 200 millimètres en 24 heures. Pour des événements plus intenses, cette hauteur peut être atteinte en moins de 6 heures. Mais, le plus souvent, la catastrophe survient à cause d'une vulnérabilité grandissante. Les pluies qui se

Introduction générale

sont abattues sur Alger en novembre 2001 étaient peu intenses, et les pertes humaines et les ruines furent la conséquence de la négligence des hommes, de leur vulnérabilité. En effet, cet événement a fait plus de 800 morts. Les inondations survenues sur les côtes méditerranéennes françaises (les Bouches-du- Rhône en 1993, l'Aude en 1999, le Gard en 2002, la Camargue gardoise en 2003, le Sud de la France en 2005), italiennes (Vallée de l'Orba en 1953, Gênes en 1970) et espagnoles (Barcelone en 2002) illustrent également d'une manière paroxystique la prégnance de la composante vulnérabilité lors d'événements catastrophiques (Provitolo, 2003).

Les inondations constituent, depuis ces dernières années, une menace sévère en Algérie. Elles ont touché un grand nombre de villes, aussi bien au Nord qu'au Sud du pays.

L'impact de ces phénomènes hydroclimatiques est aggravé non seulement par une extension urbaine non contrôlée, mais aussi par une dégradation accélérée du couvert végétal et des sols.

Les inondations qui sont des submersions (rapides ou lentes) susceptibles d'affecter de vastes surfaces naturelles ou artificielles (urbaines), correspondent au débordement des eaux lors des crues. Ces dernières ne se produisent que lorsque le sol et la végétation ne peuvent plus assimiler toute l'eau de ruissellement ou que le sol soit imperméabilisé.

Selon Tucci (1994), les inondations urbaines peuvent être classées en trois types élémentaires en fonction des causes structurelles : les inondations dues aux problèmes du "micro" drainage correspondant au système de drainage artificiel construit dans les villes; les inondations associées aux problèmes de la "macro" drainage correspondant au système de drainage naturel de la région et les inondations associées aux problèmes provoqués par l'occupation des secteurs naturellement inondés.

Ces trois types d'inondations sont aujourd'hui observés en Algérie comme une conséquence directe de la croissance de l'urbanisation et du manque de planification urbaine, mais aussi à travers leur fréquence et leur intensité, comme une conséquence du changement climatique.

Dans cette étude, nous avons essayé dans un premier temps de caractériser la tendance de changement climatique et ses fluctuations spatio-temporelles dans le Nord-Est algérien.

L'étude a porté d'abord sur l'analyse des températures et particulièrement sur la nouvelle tendance dans le Nord Est algérien. Ensuite elle s'est intéressée à celle des précipitations. L'ampleur de la variabilité absolue des deux paramètres a permis de mettre en évidence les contrastes régionaux et les caractéristiques de l'intensité de leur variabilité temporelle et structurelle aux conséquences environnementales assez graves, parmi lesquelles les inondations.

Dans un deuxième temps, l'étude du phénomène d'inondation a été traitée à travers le cas de deux villes situées dans des milieux différents et affectées souvent par ce phénomène : les villes de Annaba (littoral), et Biskra, (piémont Sud Atlas saharien).

Introduction générale

Dans le but de corrélérer les effets climatiques et les inondations, nous avons croisé les deux thématiques afin de montrer combien certaines villes de l'Est Algérien sont exposées à ce risque, exacerbé par le réchauffement global et l'urbanisme anarchique.

A l'aide des données des stations météorologiques, de l'ANRH, des données du PDAU et des images satellites, nous essaierons de saisir et d'analyser le risque inondation afin de contribuer, même modestement, à sa maîtrise.

Notre étude a pour but ainsi, de mettre en évidence les causes et les effets des inondations en milieu urbain

Pour ce faire un certain nombre de question va guider notre travail et nous permettre d'atteindre les objectifs assignés.

- Qu'est-ce les inondations urbaines et en quoi les caractéristiques hydrométéorologiques de ces événements majeurs diffèrent-elles des crues courantes ?
- Quels sont les causes de la survenance de ce phénomène ? Est-ce un phénomène nouveau pour notre zone d'étude ? Les effets du changement climatique y sont-ils pour quelque chose ?
- Quelle est la part de l'homme dans l'émergence de ce phénomène et à quel point peut-elle avoir des effets sur cet aléa ?
- Comment progresser dans la caractérisation des enjeux liés aux inondations et évaluer leur degré de vulnérabilité ?
- Comment cartographier la vulnérabilité dans notre zone d'étude tout en tenant compte de sa dynamique socio-économique ?
- Comment mettre en œuvre un IFV dans un contexte de manque flagrant de données de base (occupation du sol, érosion, géomorphologie...) ?
- Quels sont les impacts sociaux, économiques et environnementaux des interactions entre réchauffement climatique et urbanisation ?
- Quels sont les facteurs et les approches pouvant contribuer à l'élaboration d'un cadre stratégique d'adaptation aux inondations pour les intégrer dans les plans de développement futur ?

En somme, le but de la thèse est de mettre en place une démarche globale pour mieux connaître les inondations urbaines dans le contexte de variation climatique.

Les 6 chapitres sont les suivants :

1^{er} chapitre : il présente un état de l'art des connaissances relatives aux changements climatiques récents et projetés pour la fin du 21^{ème} siècle, à la fois à l'échelle globale, de la Méditerranée et enfin en Algérie. Il permet ainsi de resituer notre étude dans un contexte plus général.

2^{ème} chapitre : il décrit l'ensemble des données et des méthodes utilisées afin d'aborder la régionalisation de l'impact du changement climatique sur l'hydrologie des Bassin Versants de Nord Est Algérien. Les aspects climatiques, hydrologiques et d'occupation des sols ont été considérés, avec une attention particulière sur la constitution d'un jeu de données climatiques

Introduction générale

qui soit le plus fiable possible. Une présentation des principales méthodes statistiques et géomantiques utilisées est également fournie.

3^{ème} Chapitre : est dédié à l'Evaluation du réchauffement climatique (dans le Nord-Est algérien). De nombreuses études axées sur l'Algérie, ont montré que les températures tendent à augmenter et passer de 1,4 à 5,8 degrés en 2040. Les données thermiques (1980-2018) de 9 stations ONM du Nord-Est sont comparées avec celles de la série SELTZER(1913-1938). La méthode de la matrice graphique chronologique de traitement de l'information (MGCTI) de Bertin a permis, dans un second temps, de déterminer les dates de changement de cycle. La variabilité des températures est, par ailleurs, analysée à l'échelle des valeurs moyennes, maximales et minimales mensuelles et même saisonnières.

4^{ème} Chapitre : Analyse des pluies et des débits. Ce chapitre a pour objectif d'analyser les relations de la variabilité hydroclimatique à travers certains indices (indice de concentration de pluie journalier (CI), et l'indice de la concentration des précipitations annuelles PCI), ce qui indique respectivement les changements des états hydroclimatiques, et le déficit d'écoulement. Cette étude des écoulements, indispensable à la détermination du risque inondation a été abordée afin d'en saisir l'origine climatique dans les bassins étudiées. Une analyse spectrale par ondelette, permettra d'identifier non seulement les fréquences temporelles, mais également de caractériser et d'identifier ces modes de variabilité (pluies et débits).

5^{ème} chapitre s'intitule : « Les inondations dans le monde et en Algérie ». Après avoir rappelé le risque d'inondation dans le monde, concernant les causes des crues catastrophiques et l'historique des inondations en Algérie. L'analyse statistique sur la fréquence des débits maximaux (Q_{jmax} et Q_{imax}) et sur la propagation des crues des oueds du Nord-Est Algérien est abordée sur la base des données hydrométriques (17 stations de l'ANRH) concernant quelques crues majeures ayant provoqué des inondations.

6^{ème} chapitre : vient aborder l'un des volets centraux de cette thèse, l'analyse et la cartographie du risque d'inondation dans les deux villes d'Annaba et de Biskra. Il conduit à identifier les facteurs de vulnérabilité, liés à la fois aux caractéristiques du site et du tissu urbain et aux caractères (durée, fréquence) des évènements hydro-pluviométriques à l'origine des inondations. L'aboutissement de ce travail est le calcul de l'indice de la vulnérabilité totale (FVI) du système ville ainsi que la cartographie du risque inondation.

***CHAPITRE I : CHANGEMENT CLIMATIQUE : DE L'ECHELLE GLOBALE A
L'ECHELLE LOCALE***

Introduction

Le changement climatique est un thème d'actualité au centre des préoccupations de la communauté scientifique à l'échelle mondiale. Le climat a toujours présenté une variabilité interannuelle avec des périodes chaudes ou froides et des années sèches ou humides ; mais le siècle dernier, l'homme remarque, que le climat se dérègle, change, se réchauffe avec des extrêmes plus fréquents. Il constate que certains facteurs, comme les facteurs astronomiques n'arrivent plus à expliquer entièrement ces changements qui sont probablement en relation avec ses émissions de gaz à effets de serre dans l'atmosphère.

L'Algérie n'a pas échappé à ces aléas climatiques puisqu'il a été observé de longues périodes de sécheresse et des inondations meurtrières à répétition aussi bien dans le nord que dans le Sud du pays et plus récemment des vagues de chaleur qui sont devenues le nouveau fléau de la communauté. Notre objectif principal est l'étude de cette variabilité climatique, à travers une synthèse climatique globale et locale, et la caractérisation des nouvelles tendances.

1. Le changement climatique à l'échelle globale

1.1. Caractéristiques du système climatique mondial:

Selon un nombre important d'études réalisées sur le climat, on peut le définir comme étant les conditions moyennes qu'il fait dans une région donnée (température, précipitations, vent, ...) calculées d'après les observations d'au moins 30 ans défini par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM). Il est donc caractérisé par des valeurs moyennes, mais également par des variations et des extrêmes.

À partir du dictionnaire de l'environnement, le climat représente un système complexe qui est le produit, dans l'espace et dans le temps, de toute une série d'interactions entre les éléments qui composent les 5 compartiments de l'écosystème terrestre (L'atmosphère, la lithosphère (la croûte terrestre), l'hydrosphère (lacs, mers, océans et autres plans d'eau), la cryosphère (les glaces du monde entier) et la biosphère (l'ensemble des êtres vivants, en particulier la végétation, ainsi que la matière organique des sols. fig. I.1), ce qui explique la complexité et la diversité des climats existants sur Terre(fig1.2)

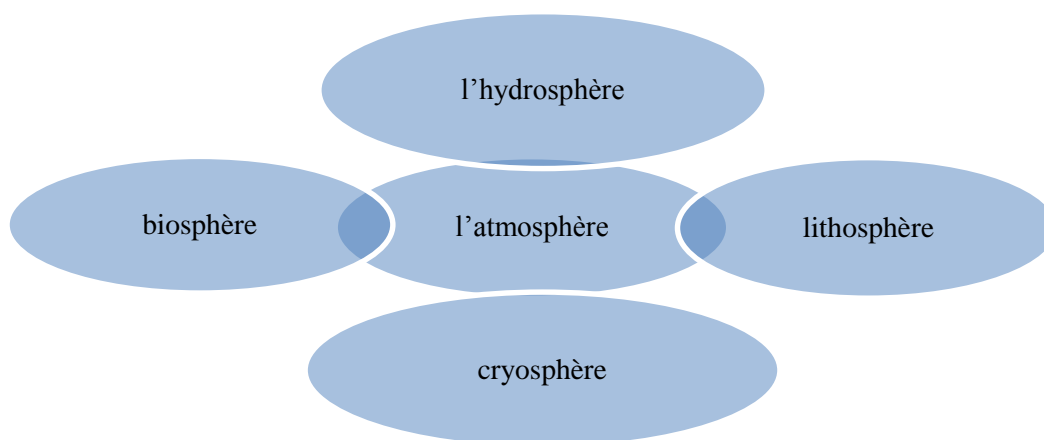


Figure. I.1 : Les éléments qui composent le globe terrestre

Les composantes du système interagissent entre elles en échangeant eau, chaleur, mouvement et composés chimiques en tout point de la Terre, le climat est la résultante de ces interactions.

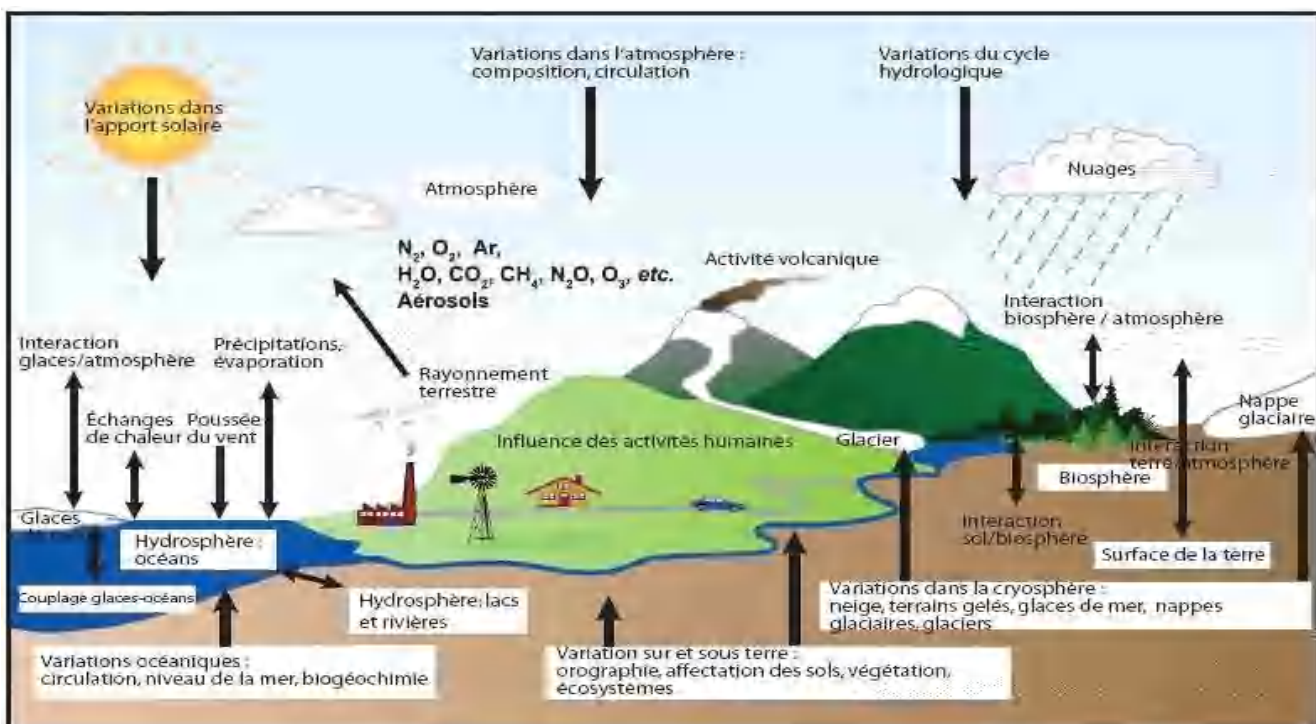


Figure. I.2 : Composantes du système climatique processus et interactions (GIEC.2007)

1.2. Les évolutions climatiques mondiales

En se conformant au quatrième rapport du GIEC ; « changement climatique 2007 : les bases scientifiques physiques » pour la période 1900-2100 font apparaître une tendance à la modification du climat.

Nombres de facteurs sont représentés, comme les évolutions de l'atmosphère et de la végétation, ainsi que les caractéristiques de l'océan qui sont prises en compte dans des modèles globaux (Hallegatte et al. 2008).

Les phénomènes d'inondation, conséquence principale de ces évolutions, sont dominés par la croissance des températures moyennes comprises entre 0,3 et 0,6°C depuis 1860 (Gibelinet al. 2014).

Ils ne sont pas attribués uniquement à l'augmentation des températures du globe, mais également à la modification d'autres éléments climatiques tel que l'accroissement des précipitations de 0.5 à 1% par décennie durant le 20^{ème} siècle, dans les continents de l'hémisphère nord, (l'Est de l'Amérique du Nord et du Sud, le Nord de l'Europe et le centre de l'Asie,) et la diminution du niveau des précipitations dans le Sahel, les zones méditerranéennes, l'Afrique Australe et l'Asie du Sud (Trenberth et al., 2007).

Ainsi ont été observées une hausse des fréquences et de l'intensité des événements extrêmes (inondations, vagues de chaleur, de froid, de sécheresse...) durant le

20emesiecle. Une forte augmentation des températures s'est manifestée en premier lieu , tant au niveau de l'air que des océans; les années 90 ont été les plus chaudes. (Fig. I.3)

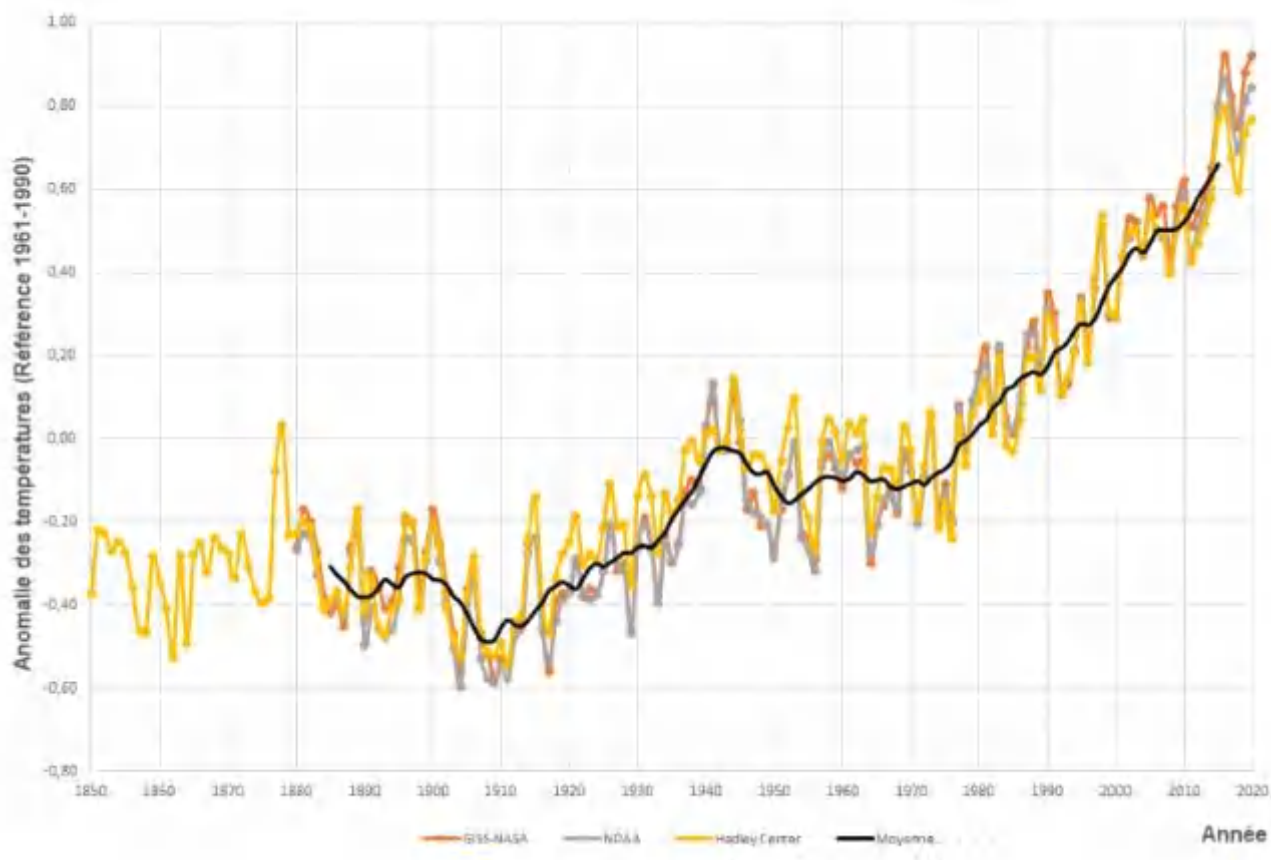


Figure. I.3 : L'évolution de la température moyenne annuelle mondiale de 1850 à 2020
(Traitement ONERC)

Le cinquième rapport d'évaluation du GIEC estime, que la couverture neigeuse a été réduite de 10 % depuis 1960 et que parallèlement le niveau des océans a augmenté, de même que leur température. On estime que la moyenne globale du niveau de la mer a augmenté de 0.1 à 0.2 m, ce qui accroît le risque d'inondations catastrophiques. L'adaptation à ces impacts sera plus difficile et plus coûteuse à l'avenir.

1.3. Les causes du changement climatique

Le changement climatique actuel est, estime le GIEC, d'origine anthropique, d'une manière directe ou indirecte. En 2007, le GIEC attribuait la probabilité, que le réchauffement soit dû aux activités humaines, supérieure à 90 % (GIEC, 2007).

Ce phénomène s'est aggravé depuis les premières révolutions industrielles avec la production et le rejet de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (Agence Parisienne du Climat, 2019). Selon des études menées par Météo-France, l'effet de serre qui est un phénomène naturel provoquant une élévation de la température à la surface de notre planète est en train de s'accroître. Indispensable à notre survie, son fragile équilibre est menacé par les activités humaines qui en affectent la composition chimique, entraînant un effet de serre additionnel, responsable en grande partie du changement climatique actuel. L'augmentation

de la concentration de GES dans l'atmosphère (+35 % depuis 1860) liée à la consommation d'énergies fossiles, à la déforestation, à l'utilisation d'engrais azotés au traitement des déchets et à certains procédés industriels, créent un Effet de Serre additionnel qui dérègle le climat (Bilan des émissions de Gaz à effet de serre, 2015). Dans le protocole de Kyoto

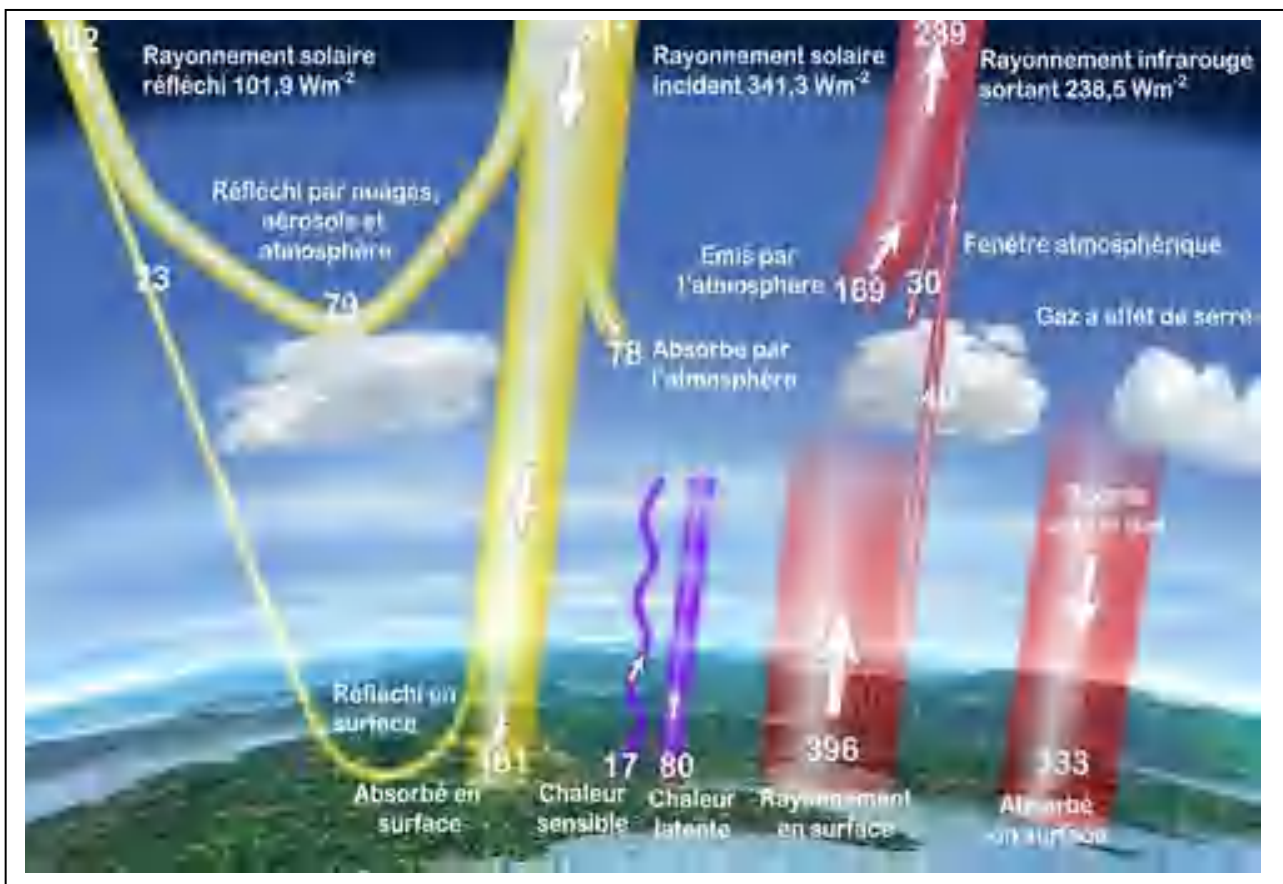


Figure. I. 4 : Les principaux gaz à effet de serre qui existent naturellement dans l'atmosphère (Agence internationale de l'énergie 20113)

- Le dioxyde de carbone (CO_2), qui a augmenté de 38% depuis la fin du XIX^{ème} siècle.
- Le méthane (CH_4) depuis l'ère industrielle a augmenté d'environ 150%, la moitié des émissions de méthane sont liées aux activités humaines
- Le protoxyde d'azote (N_2O) depuis la fin de XIX^{ème} siècle et le N_2O ont augmenté de 19 %
- Les hydrocarbures halogènes, halo carbures (HFC, PIC, SF_6) qui ont fait leur apparition dans l'atmosphère n'existaient pas à l'état naturel. Leur existence actuelle est intégralement d'origine humaine.

Le tableau suivant résume l'évolution des différents gaz à effet de serre, relevés dans le troisième rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2001) les bases scientifiques physiques.

Tableau. I. 1: Evolution des différents gaz à effet de serre

	CO2	CH4	N2O	CFC-11	HFC-23	CF4
Concentration préindustrielle (1750)	280 ppm	700 ppb	270 ppb	0	0	40 ppt
Concentration en 1998	365 ppm	1745 ppb	314 ppb	268 ppt	14 ppt	80 ppt
Changement du taux de concentration ppt/an	1,5ppm/an	7 ppb/an	0,8ppb/an	1,4ppt/an	0,55 ppt/an	1ppt/an
Temps de séjour atmosphérique	/	12 ans	114 ans	45 ans	260 ans	>50000 ans

Source : NEFZI, A.2011

ppm (parties par millions),

ppb (parties par milliards),

ppt (parties par trillion), est le ratio du nombre de molécules de gaz à effet de serre sur le nombre total de molécules d'air sec)

1.4. Les scénarios climatiques mondiaux

Ces scénarios d'émissions sont utilisés par les scientifiques comme base de travail pour leurs simulations climatiques : les modèles climatiques déduisent des scénarios sur l'évolution future de l'effet de serre à l'échelle du globe, puis sur le climat. Pour simplifier la comparaison des résultats de ces modélisations, le GIEC utilise des scénarios « standards » qui ont été définis en 2000 (Nakicenovic & Swart, 2000) et qui sont connus sous le nom de « scénarios SRES » (Special Report on Emissions Scenarios).

Il y a six scénarios d'émissions standardisés (Tab. I. 2), qui reflètent différentes trajectoires de croissance économique et démographique, de mondialisation, de progrès technologiques et de diffusion de ces progrès.

Des simulations climatiques sont réalisées sur la base de ces différents scénarios et donnent pour chacun une image de l'évolution du climat au cours du siècle à venir. On comprend dès lors combien il est fondamental d'appréhender les projections de changement climatique (augmentation des températures globales moyennes, par exemple) en faisant à chaque fois référence aux scénarios considérés.

Les six scénarios utilisés pour les simulations du GIEC couvrent un large panorama de caractéristiques-clés futures, comme les changements démographiques, le développement économique et le changement technologique. Aucun scénario n'est considéré comme plus probable que les autres.

Tableau. I. 2 : Les six scénarios d'émissions SRES (GIEC 2001)

Scénarios A1.	Trois scénarios sont regroupés sous cette famille. Ils décrivent tous une croissance économique très rapide, une population globale qui plafonne en 2050 et l'introduction rapide de technologies plus efficaces ; les grandes régions du monde convergent économiquement et interagissent fortement. Les trois scénarios se distinguent par l'intensité technologique de leur secteur énergétique : très intensif en ressources fossiles (A1FI), recours rapide et exclusif à des sources non fossiles (A1T) ou mix énergétique équilibré (A1B).
Scénario A2.	Le monde est très hétérogène (affaiblissement du mouvement de mondialisation), la population globale croît constamment et la croissance économique comme le changement technologique sont fragmentés et lents.
Scénario B1.	Les régions du monde convergent rapidement, la population mondiale plafonne en 2050, et la structure économique se tourne rapidement vers une économie de service et d'information (moins intensive matériellement et plus efficace énergétiquement) et vers un développement durable global.
Scénario B2.	La population mondiale est en croissance continue, le développement économique et le changement technologique sont à des niveaux intermédiaires, et la recherche d'un développement durable se fait à un niveau plus local

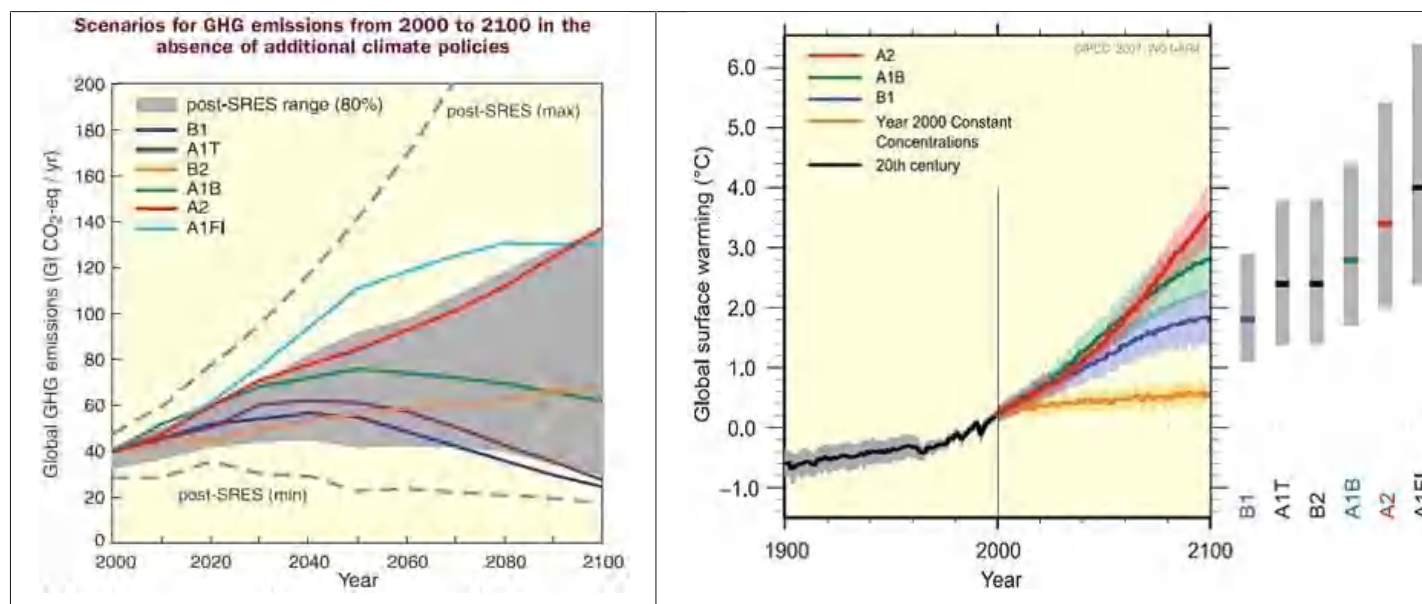


Figure. I. 5 : Émissions de GES et croissance de température à l'échelle mondiale (GIEC, 2001)

La figure. I.5, montre l'évolution des émissions et la croissance de la température globale en fonction des différents scénarios SRES. On voit bien ici à quel point le scénario d'émissions utilisé joue un rôle important. Par ailleurs, il convient de noter qu'entre 2000 (date de parution des scénarios SRES) et aujourd'hui, la croissance des gaz à effet de serre a été légèrement supérieure au plus pessimiste des scénarios d'émissions.

2. Le changement climatique au niveau de la région Méditerranéenne

Après l'Arctique, la Méditerranée serait la région du monde la plus touchée par le réchauffement climatique. C'est la conclusion préliminaire de travaux menés par le réseau méditerranéen d'experts sur les changements climatiques et environnementaux (MedECC), un réseau de plusieurs dizaines de scientifiques indépendants issus d'une vingtaine de pays.

2.1. Températures de l'air

Les chercheurs relèvent des températures de 1,5 °C environ pour la zone méditerranéenne, au-dessus des moyennes d'avant la révolution industrielle (1880-1899), soit quelques 20 % de plus que sur le reste de la planète où le réchauffement est actuellement établi à +1,1 °C (Jean-Marc JANCOVICI).

Ils annoncent en même temps que sans mesure d'atténuation supplémentaire, la température régionale augmentera de 2,2 °C par rapport à la période préindustrielle d'ici 2040, pouvant dépasser 3,8 °C dans certaines régions d'ici 2100 (MedECC).

2.2. Précipitations

Une nette tendance à la réduction des précipitations est également notée. Les modèles climatiques le montrent clairement. La fréquence et l'intensité des sécheresses vont s'accroître, elles ont déjà sensiblement augmenté depuis 1950.

« Dans le sud et à l'est de la Méditerranée, les précipitations pourraient diminuer de 20 % si nous parvenons à contenir le réchauffement à 2 °C. Et de 40 % si nous ne faisons rien » (MedECC), expliquent les chercheurs.

Ce sont ainsi quelques 250 millions de personnes qui pourraient se retrouver considérées en situation de « stress hydrique » d'ici 20 ans seulement (OCDE, 2012).

2.3. Niveau de la mer

Les chercheurs constatent par ailleurs que le niveau de la Méditerranée semble augmenter de plus en plus vite. Il s'est élevé de 0,7 mm par an entre 1945 et 2000, de 1,1 mm par an entre 1970 et 2006 et de 3 mm par an ces deux dernières décennies (Union pour la Méditerranée (UpM)), « D'ici 2050, les villes méditerranéennes représenteront la moitié des 20 villes du monde qui subissent les dommages annuels les plus importants dus à l'élévation du niveau des eaux », concluent les chercheurs du MedECC. Une situation qui met les populations en danger, mais aussi les écosystèmes terrestres.

D'autant que s'y ajoutent les conséquences d'une acidification de l'eau et d'une augmentation des températures de la mer. Les chercheurs attendent une baisse de 0,018 à 0,028 unité de pH par décennie, et une hausse de température pouvant aller jusqu'à 3,5 °C d'ici 2100, dans certaines régions et selon les pires scénarios (Jean-Pierre Gattuso).

En résumé.

- La région de la Méditerranée se réchaufferait 20 % plus vite que le reste du globe.
- Les précipitations seront amenées à diminuer de 20 à 40 % selon les différents scénarios
- La hausse du niveau de la mer s'accélérera durant les prochaines années.
- Une situation qui mettra en danger les sociétés humaines ainsi que les écosystèmes.

3. La Méditerranée et l'Algérie figurent parmi les hot-spots du changement climatique

Les effets attendus y sont particulièrement importants et les impacts environnementaux et socio-économiques risquent d'y être très prononcés. Le GIEC a identifié, dans son cinquième rapport global publié en 2013-2014, la région Méditerranéenne comme un des 25 «hotspots» ou « points chauds », en matière de changements climatiques.

Ce classement est lié en partie à sa position géographique, mer semi-fermée entourée de montagnes, et ses spécificités climatiques (aride en Afrique du Nord, tempéré en Europe), mais aussi à d'autres paramètres qui accroissent bien souvent les vulnérabilités, comme le développement urbain intense sur les espaces côtiers.

3.1. L'évaluation des changements climatiques

Le changement climatique s'est manifesté sur l'équilibre thermique de la Terre et a de nombreuses conséquences sur l'homme et l'environnement. Il a été signalé une augmentation de la moyenne des températures de 1°C. Sur le 20^{ème} siècle. Toutefois, comme à l'échelle mondiale, en Algérie, l'évolution n'a pas été uniforme durant ce siècle (fig. I.6). On distingue trois phases :

- Un réchauffement lent de 1900 à 1945;
- Une quasi stabilité ou un très léger, refroidissement de 1945 à 1979 ;
- Un réchauffement rapide qui commence en 1980.

Les tendances d'évolution de la température moyenne algérienne sur ces trois périodes sont d'environ +0,5°C sur la première, entre 0 et -0,2°C sur la seconde, et environ +1,5 °C sur la troisième malgré sa brièveté.

La pluviométrie, annuelle ou estivale n'a pas significativement changé en Algérie, du moins dans certaines régions, depuis un siècle comme sur les 30 dernières années (fig. I. 7).

Ce serait donc l'accroissement de l'évapotranspiration potentielle (ETP) qui tendrait à creuser le déficit hydrique, particulièrement estival, augmentant la fréquence et la sévérité des sécheresses.

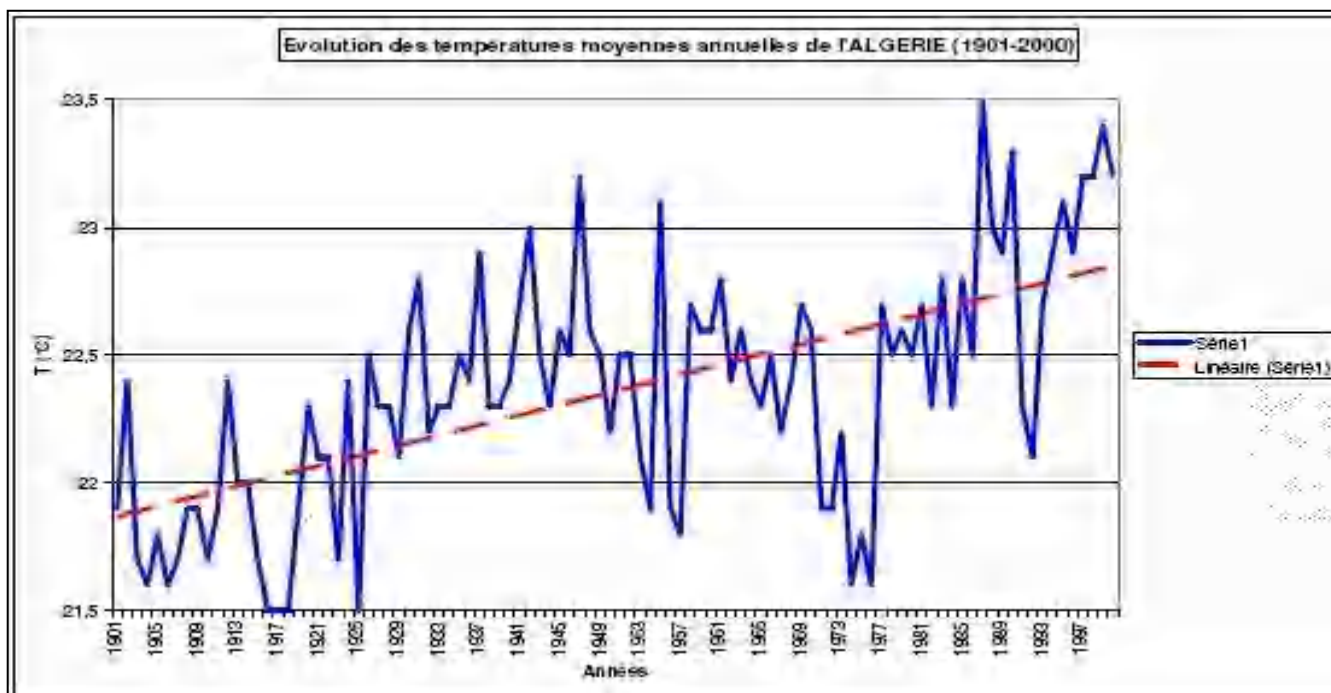


Figure. I.6: Distribution de la différence en moyenne annuelle température en Algérie °C au-dessus de la moyenne 1901-2000 (Djellouli,2008)

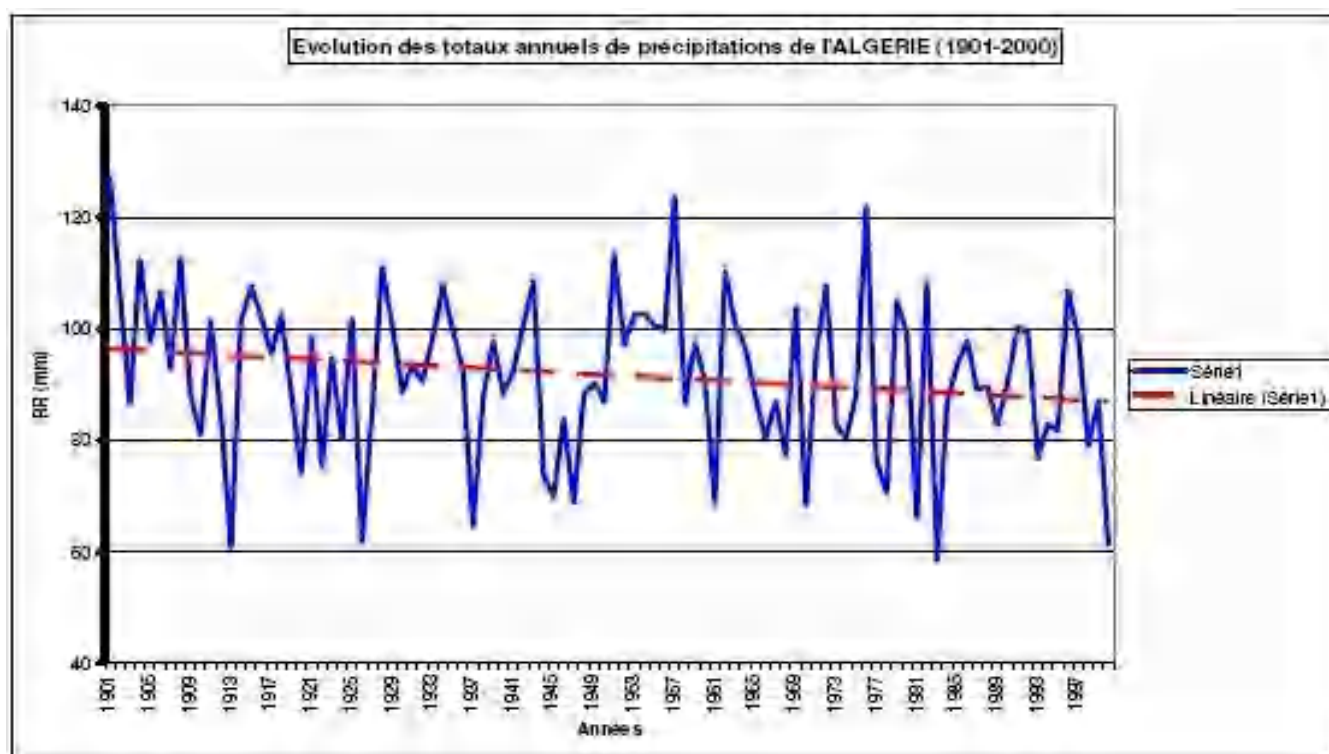


Figure. I.7: Evolution des totaux annuels de précipitations de l'Algérie (1901-2000) (Djellouli,2008)

A partir de l'étude qu'a menée l'ONM des prévisions climatiques futures (2006-2100), précipitations et particulièrement températures, connaîtront des modifications substantielles.

Effectués à partir d'une simulation utilisant un modèle climatique régional, CORDEX-

Afrique, basé sur deux ensembles de données températures et précipitations, et avec une résolution de l'ordre de 45 km, deux scénarios relatifs à l'évolution de la concentration en gaz à effet de serre (RCP4.5 et RCP8.5) ont été établis. Ils prévoient une augmentation des températures (Fig. I. 8).

Les projections à l'horizon 2020 et 2100 indiquent que les saisons seront dérégées et les températures continueront de croître.

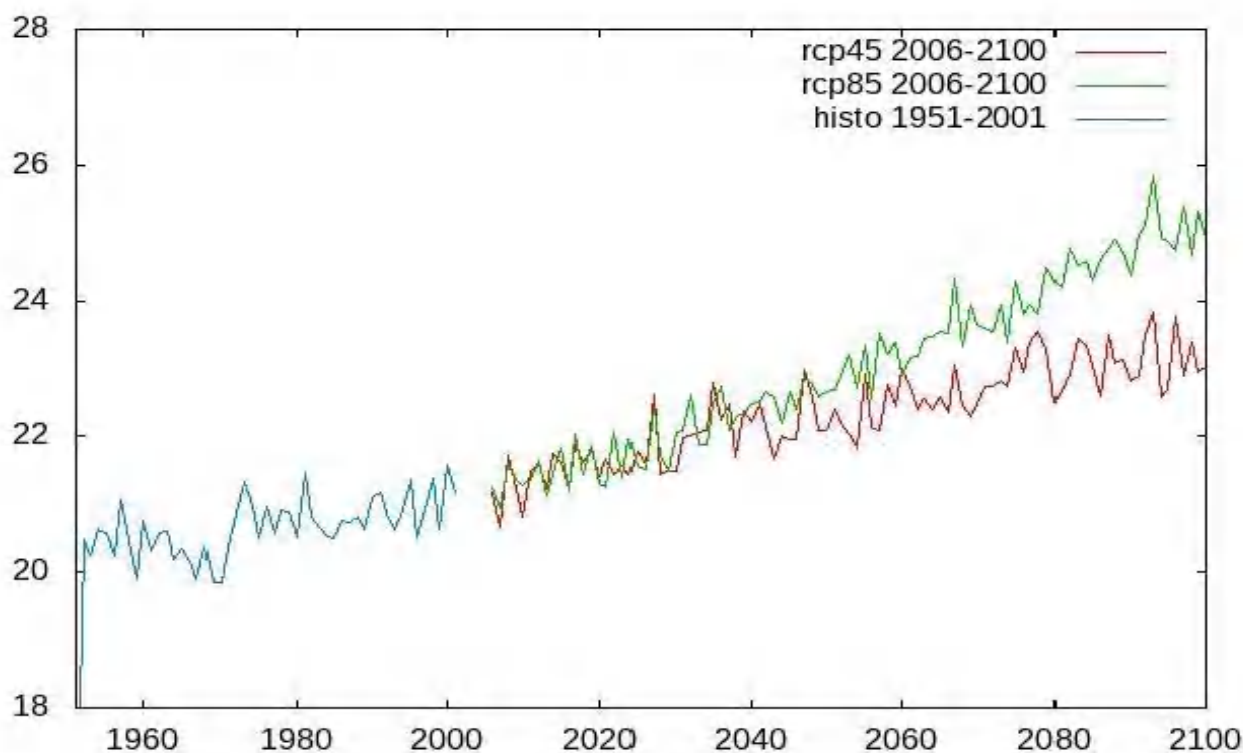


Figure. I. 8 : Évolution de la Température dans le Nord de l'Algérie 2006/2100 (GEF/PNUD2010)

Selon l'ONM qui a représenté les scénarios des températures prévues par le modèle RCM en réalisant un Downscaling de 40 km de résolution en 3 phases : aux horizons 2010-2100, une baisse généralisée des cumuls des précipitations dans tout le nord du pays concernerait la saison d'hiver (DJF) et un réchauffement se manifesterait à la fois aux échelles saisonnière et annuelle sur tout le territoire algérien.

Cette modification du climat serait accompagnée de déplacement des zones climatiques en Algérie tel que défini par Köppen-Geiger (Fig. I. 9) ou par le quotient d'Emberger

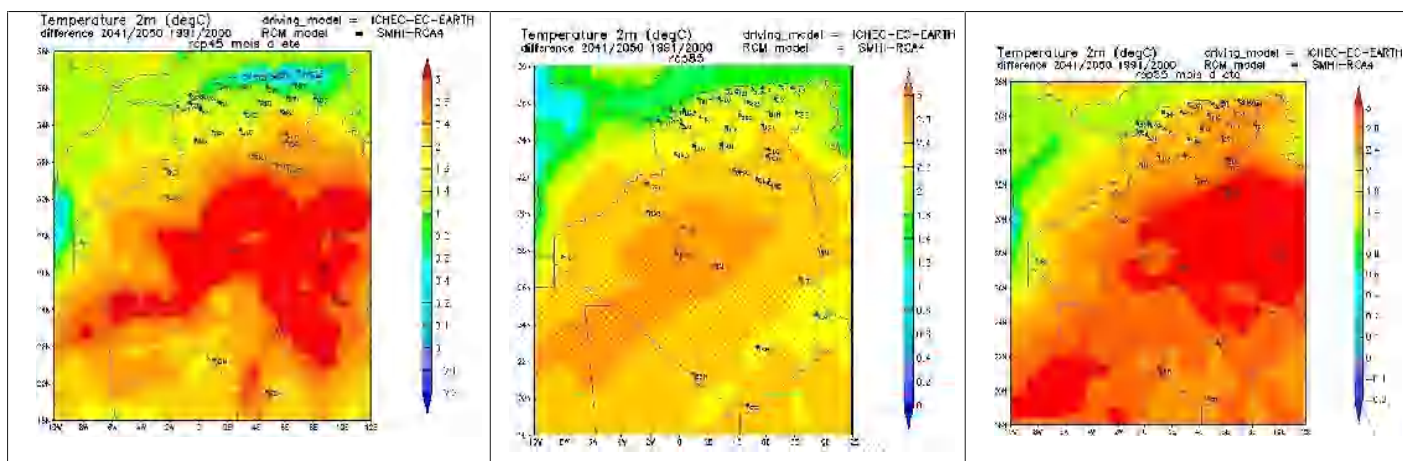


Figure. I. 9 : La prévision de la température saisonnière mois de Février 2014 a l'aide du modèle Dynamique CSA/NCEP/NOAA Résolution pour la 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} Downscaling en Algérie (ONM 2016)

Ainsi le changement climatique s'est manifesté sur l'équilibre thermique de la terre et de nombreuses conséquences, directes et indirectes en résultent, concernant la population et l'environnement telles que la hausse des températures maximales et minimales, l'augmentation des périodes d'aridité et de sécheresse, les crises alimentaires et de l'eau, notamment dans les pays en voie de développement, la menace d'existence en raison d'inondations et d'incendies de forêt ...

3.2. Climat de l'Algérie

De nombreux travaux sur la climatologie et la bioclimatologie ont été réalisés sur l'Algérie « EMBERGER, L. (1942) ; SELTZER, (1946) ; BRUNET-MORET. (1971); BELLOUM. A, (1993), TABET, S. (2008); TATAR, H. (2014). ABDERRAHMANI, B. (1990); GUIDOUME, A. (2017). NOUACEUR .Z, 2013, il en ressort les caractères principaux, soit une certaine hétérogénéité et une grande irrégularité du climat.

Le climat en Algérie diffère d'une région à une autre. Au Nord, il est de type méditerranéen et englobe principalement le littoral. Entre l'atlas tellien et l'atlas saharien où culminent les hauts plateaux, le climat est de type continental avec des étés chauds et sec et des hivers humides et frais. Le climat est désertique vers le Sud au delà de la chaîne montagneuse de l'atlas saharien. Les précipitations sont caractérisées par une variabilité conséquente entre le Nord et le Sud et entre l'Est et l'Ouest.

A la décroissance des pluies du Nord au Sud se superpose une décroissance de l'Est à l'Ouest. En effet, la région Est du pays est plus pluvieuse par rapport à la région Ouest. La tranche de pluie annuelle décroît à mesure que l'on avance aussi vers le Sud et l'Ouest. Au Sud de l'atlas saharien, les précipitations annuelles tombent à moins de 100 mm, cette valeur étant habituellement considérée comme marquant le début du désert.

Soumis ainsi à l'influence conjuguée de la mer, du relief et du Sahara, il présente une multitude de faciès selon un axe Nord- Sud et Est-Ouest.

De façon générale, le climat de l'Algérie se caractérise par une longue période de sécheresse estivale qui s'allonge au fur et à mesure que l'on se dirige vers le Sud ; elle varie de 3 à 4 mois sur le littoral, à plus de 6 mois au niveau de l'Atlas Saharien (rapport de GIZ2018). La variation des deux paramètres climatiques que sont la température et les précipitations au cours des dernières années montre une nette tendance à la hausse des températures à travers tout le territoire algérien et une certaine baisse des précipitations

3.2.1. Températures

Les températures en Algérie varient du Nord au Sud, sur la côte elles sont presque uniformes : la moyenne quotidienne en janvier est d'environ 11/12 degrés, celle d'Août, le mois le plus chaud de 26/27 degrés. A l'intérieur les températures sont plus variables, la moyenne quotidienne de janvier se situe entre 5 à 6 degrés, celle de juillet entre 25,5 et 26,5° C, au Sud, la moyenne des températures dépasse 24°c et les amplitudes thermiques sont très importantes.

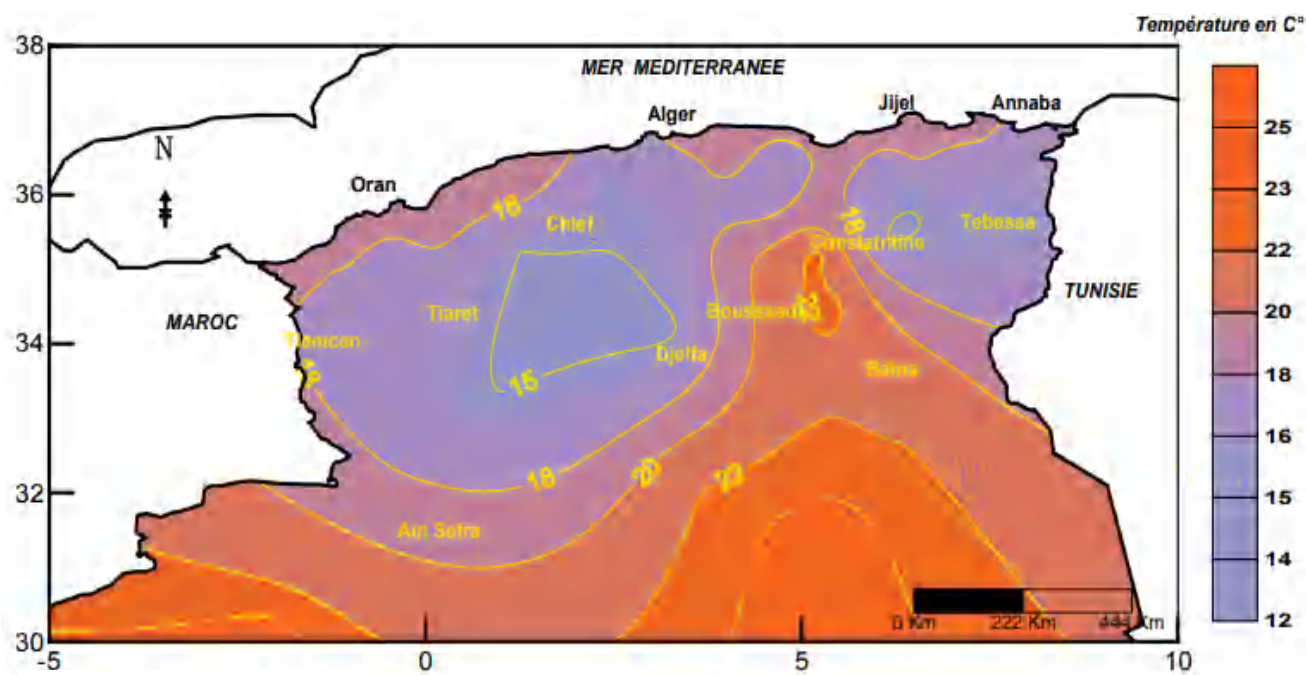


Figure. I.10 : Température moyenne annuelle sur le Nord de l'Algérie : période 1950-2005 (ONM, 2009)

Selon l'étude de l'ONM la température est variable entre le jour et la nuit, et entre l'été et l'hiver dans le Sahara. Le thermomètre indique des variables entre plus de 50 °C au maximum lors des journées estivales et moins de 0 °C au minimum lors des nuits hivernales. Par contre, le Nord bénéficie d'un climat plus clément où les températures moyennes mensuelles se situent entre 25 °C et 11 °C. (fig I.11)

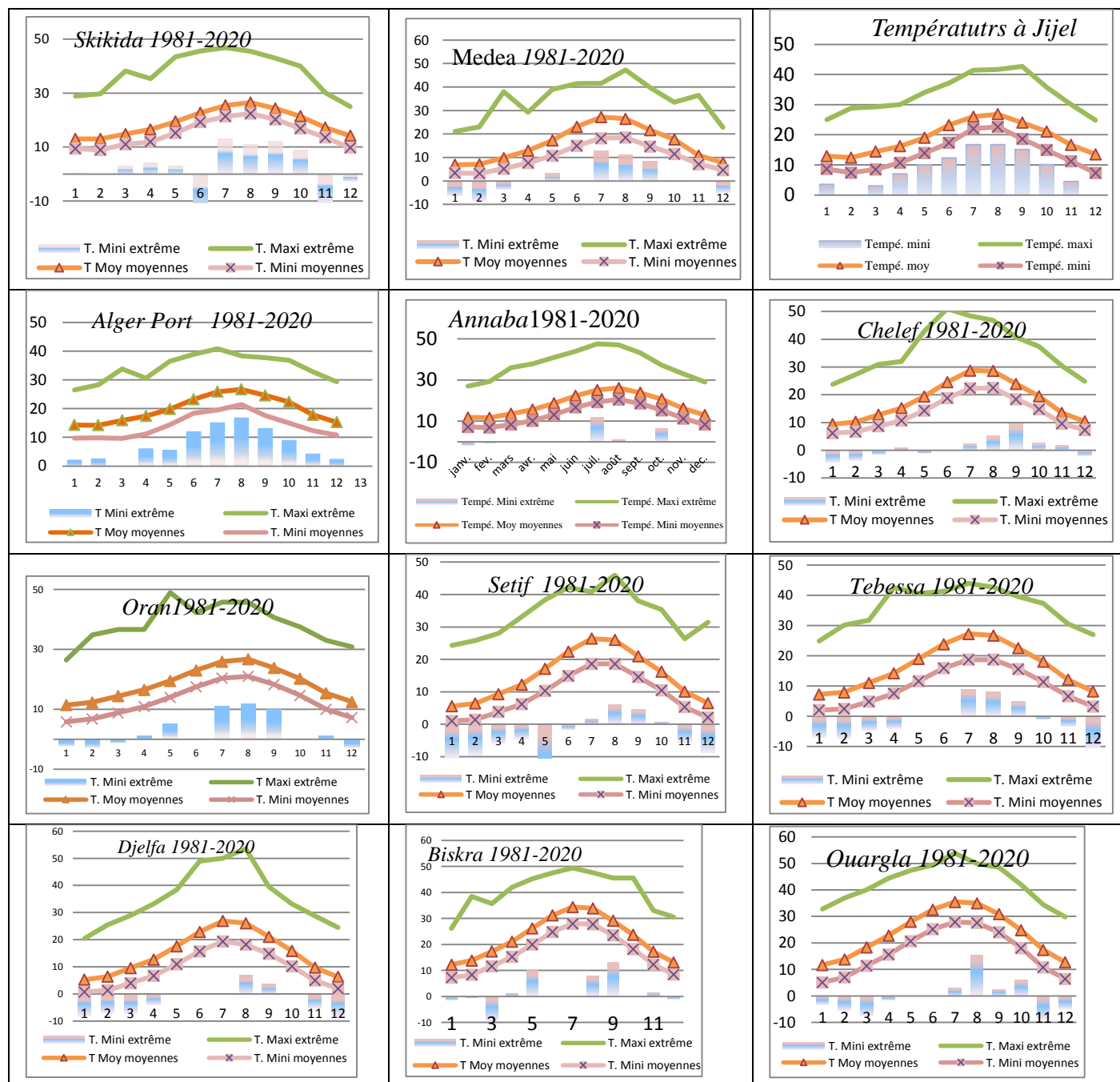


Figure. I.11: diagrammes de la température mensuelle en Algérie (1980/2018)

Toutefois, la comparaison entre les températures moyennes de l'Ouest, du Centre et de l'Est montre des différences significatives. A l'Ouest du pays, la température moyenne du mois le plus froid (Janvier) varie entre 6°C et 13°C. A titre d'exemple Oran, ville littorale enregistre une moyenne des minima du mois le plus froid de 11,4 °C et Chlef, ville intérieure, une moyenne minimale de 9 °C. Au Centre, la moyenne des minima du mois le plus froid s'abaisse légèrement, elle est de 11,0 °C à la station d'Alger Port, et de 8,7 °C à Médéa, ville située à une centaine de Km de la mer. A l'Est cette baisse s'accroît davantage, la moyenne des minima du mois le plus froid pour la ville de Sétif par exemple est de 6,2 °C, elle est de 7,1 °C à Tebessa.

Il en est de même pour la moyenne des maxima du mois le plus chaud, une diminution des températures est à relever d'Ouest en Est. Généralement la température du mois le plus chaud est observée en Aout pour l'ensemble des stations .A l'Ouest on enregistre 29 °C à Oran, 30 °C à Chlef. Au Centre, on relève 25,5 °C à Alger ; 27,8 à Medea, et à l'Est 27,4 °C à la station de Setif et 27,0 °C à Tébessa.

Les plus hautes températures sont observées à la station d'Ouargla avec 55,3 °C enregistrée le 01.03.1993 et à la station de Sétif avec 43 °C enregistrée le 01.07.2012. Pour les stations d'altitude comme Médéa (1030 m) 47 ,2°C le 01.06.2015 et ou Djelfa (1160 m) les températures maximales absolues atteignent 53,3 °C le 25.7.1999.

Les températures minimales absolues varient également d'une région à une autre ; dans la partie Occidentale du pays, elles atteignent des valeurs absolues négatives même sur le littoral cas de la station d'Oran : (-3°C)(le13.9.1980).

A l'intérieur les températures minimales absolues sont fréquentes, elles atteignent des valeurs très basses en hiver inférieures à 0°C, exemple de la station de Djelfa où les valeurs inférieures à zéro ont été enregistrées treize fois sur une période de 30ans 1981 à 2020.

3.2.2. Précipitations

La pluviométrie en Algérie présente une augmentation générale du Sud vers le Nord suivant un fort gradient latitudinal, altéré néanmoins par l'effet orographique de l'Atlas saharien, avant de s'accroître à nouveau dans le Piémont saharien où les pluies se raréfient. (fig. I. 12)

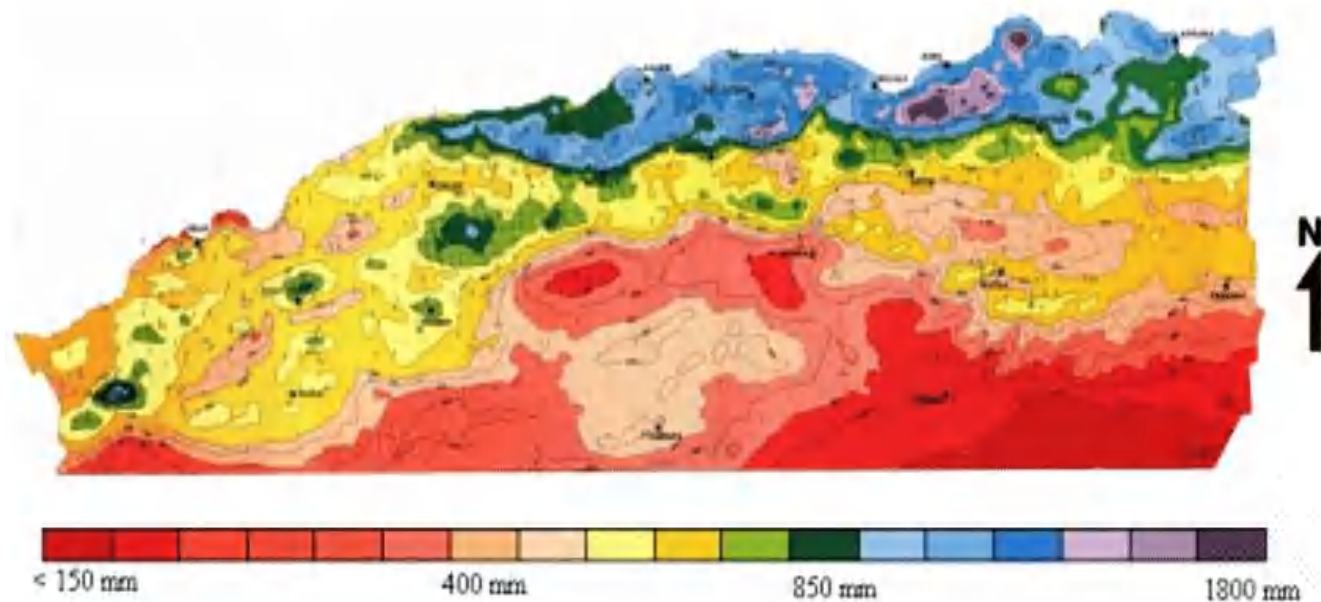


Figure. I. 12 : Carte de pluies moyennes annuelles du Nord de l'Algérie (ANRH, 1993)

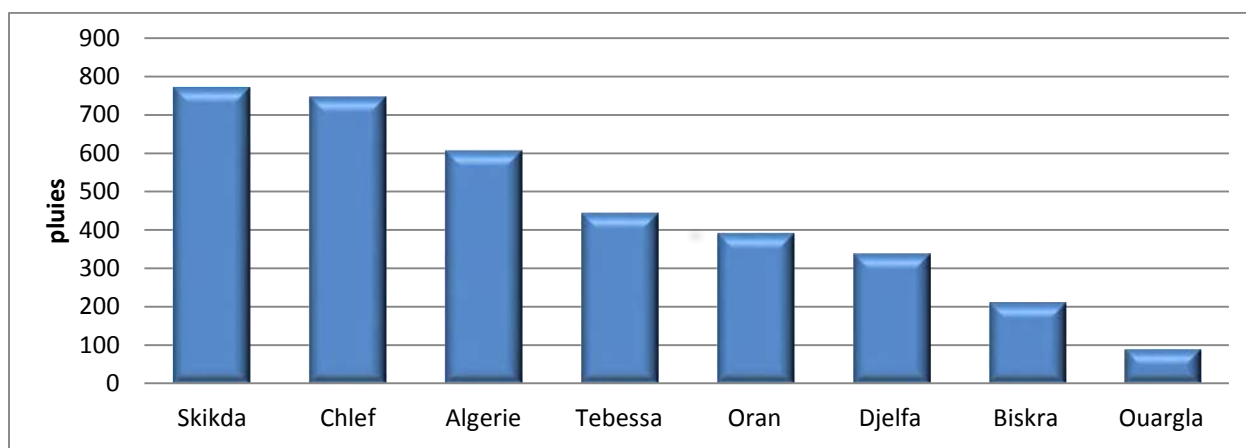


Figure. I.13 : Précipitations moyennes annuelles du Nord au Sud Algérien (1969/2013)

A l'instar des pays de la rive sud de la Méditerranée, l'Algérie se caractérise par deux saisons pluvieuses, l'une dominante en hiver, l'autre secondaire au Printemps ou en Automne en fonction de la position géographique. Une grande diversité pluviométrique affecte, en fait, le territoire Nord algérien qui l'a fait découper en trois régions aux caractères spécifiques : l'Est, le Centre et l'Ouest.

Le Nord Est Algérien se caractérise par les cumuls précipités les plus importants. Les précipitations sont de façon générale, irrégulières dans le temps et dans l'espace. Les volumes précipités les plus conséquents touchent les hauts reliefs côtiers de l'Est (1000 mm) les plus faibles (moins de 100 mm) affectent le Sud du pays. A l'Ouest, les précipitations sont faibles et régulières avec environ 40 à 50 mm par mois et ceci entre les mois d'Octobre et Mai en liaison avec l'anticyclone des Açores.

Au centre, le volume des précipitations annuelles, varie entre 600 et 800 millimètres. La plupart des précipitations se produisent entre Octobre et Avril.

3.3. Les ensembles bioclimatiques

Selon les différentes études, le territoire algérien se caractérise par de grands ensembles bioclimatiques, subdivisés sur la base des seuils thermiques et de précipitations : aride, saharien, semi-aride, subhumide, humide, et Per humide comme en témoigne le Tableau suivant.

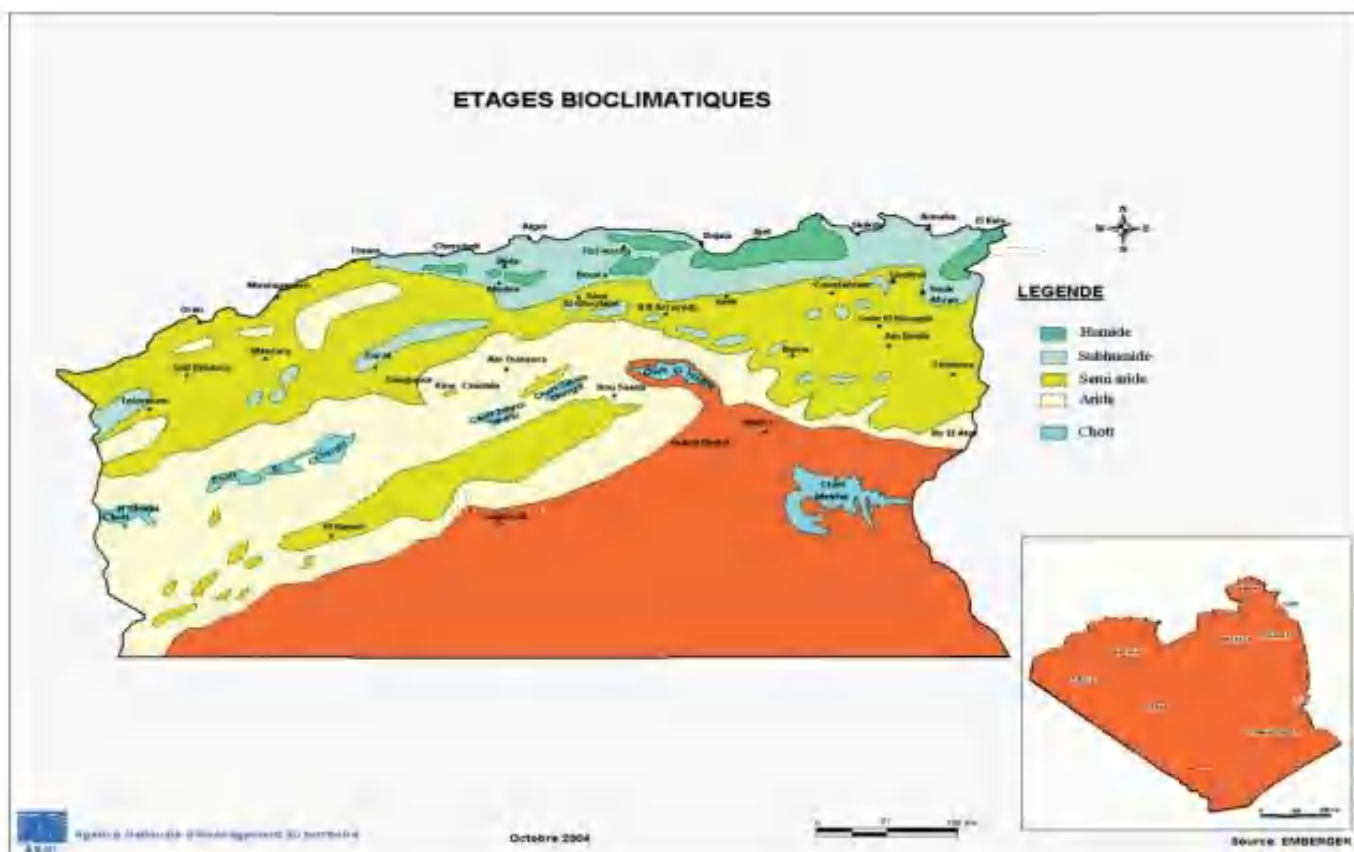


Figure. I.14 : Les grandes régions climatiques de l'Algérie du Nord (ANAT, 2004)

Tableau. I.3 : Les étages bioclimatiques en Algérie

Etages bioclimatiques	Pluviosité annuelle en (mm)	Superficie en (ha)	Pourcentage de la superficie totale %
Per humide	1200-1800	185275	0,08
Humide	900-1200	773498	0,32
Subhumide	800-900	3401128	1,42
Semi-aride	600-300	9814985	4,12
Aride	300-100	11232270	4,78
Saharien	<100	212766944	89,5

Source : Stewart 1974

- **L'ensemble bioclimatique humide correspondant à la chaîne de l'Atlas Tellien**

Il surplombe le littoral et reçoit, de plein fouet, les flux humides du Nord. Le Tell oriental est toutefois plus exposé à ces flux que le Tell occidental, car ce dernier se trouve en position d'abri par rapport aux chaînes montagneuses du Rif Marocain.

- **L'ensemble bioclimatique semi –aride correspondant aux Hauts Plateaux**

Il est enserré entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien et est peu exposé aux flux humides. Les précipitations annuelles y sont plus faibles, comprises entre 200 et 400 mm (position d'abri par rapport au Tell)

- **L'ensemble bioclimatique aride et Saharien**

Situé au pied de l'Atlas Saharien, il subit de plein fouet les influences sahariennes et

subtropicales. Il est caractérisé par une aridité extrême. Les températures moyennes sont élevées et les amplitudes thermiques également. Les pluies y sont rares mais peuvent survenir par moment, avec un caractère brutal, torrentiel et dévastateur, emportant tout sur leur passage. Notons que ce phénomène est plus fréquent sur la zone présaharienne qu'au Sahara où les pluies sont inférieures à 100 mm.

Conclusion

Le réchauffement climatique mondial, aujourd'hui avéré, rend les événements hydrologiques extrêmes tels que les inondations, les sécheresses, plus fréquents en relation étroite avec les extrêmes climatiques. Leurs effets innombrables impactent de façon souvent irréversible l'ensemble des écosystèmes naturels et artificiels. D'après la communauté internationale la région méditerranéenne est un hot pot. Elle indique un réchauffement estimé à plus de 1°C durant ce siècle, avec une tendance accentuée pour les 30 dernières années, parallèlement à une baisse pluviométrique estimée en moyenne à 30%.

En Algérie, selon les nombreuses études effectuées, la variation récente par l'Institut hydrométéorologique de Formation et de Recherche prévoient un raccourcissement de la saison des pluies et une hausse des températures d'environ 1° à 1,5° en 2020, ce qui aurait des conséquences fatales sur l'environnement. Ils estiment également que les températures vont augmenter de 3°C supplémentaires en 2050 à cause du réchauffement mondial.

La température la plus chaude enregistrée depuis 1949 jusqu'en janvier 2022 a été rapportée par la station météorologique de Ouargla. En juillet 2018, la température record de 51,3 °C y a été enregistrée. Conjointement des déficits pluviométriques remarquables ont été enregistrés, ils sont estimés environ à 10% de la moyenne pluviométrique générale.

La sécheresse intervient un peu partout en Algérie. Les chutes de neige ont baissé de 40 % dans plusieurs régions d'Algérie. Le changement climatique est ainsi incarné par une sécheresse et des vagues de chaleur récurrentes en Algérie.

CHAPITRE II : DONNEES, METHODES ET CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

Introduction

Ce chapitre est consacré d'abord à l'exposition des données et des différentes méthodes choisies pour mener à bien notre recherche et atteindre les objectifs escomptés ; ensuite, une présentation générale du Nord-Est algérien sera abordée à travers l'ensemble de ses caractéristiques physiques et démographiques, indispensables à la compréhension des mécanismes hydrologiques

Il est ainsi consacré à l'analyse des facteurs qui peuvent modifier la réponse hydrologique et interférer dans la genèse de l'écoulement, notamment les facteurs topographiques, géologiques, hydrographiques, et climatiques. Quelques aspects socio-économiques (démographie, occupation du sol) seront également, abordés dans ce chapitre.

1. Données

Afin de mener à bien notre problématique dont l'objectif principal est de mettre en exergue la relation récurrence des inondations et changement climatique, différentes méthodes et différentes données ont été utilisées : des données climatiques provenant essentiellement de l'ONM, des données hydrologiques provenant de l'ANRH ont été utilisées.

L'évolution des phénomènes hydroclimatiques, tributaires essentiellement de la pluviométrie a poussé à une collecte exhaustive des données concernant ce paramètre. Elle porte sur une période de 42 ans (1970-2012) et concerne 50 stations

Une collecte de l'ensemble des informations hydrologiques disponibles sur une longue période dans le N-E. Algérien a été ensuite effectuée pour 24 stations.

1.1. Données climatiques

1.1.1. Les Précipitations

La base de données Climatiques de l'ANRH a permis de collecter les données d'un grand nombre de stations pluviométriques (120 stations, données mensuelles), sur la période d'étude retenue soit de, 1969 à 2012. Nous avons éliminé les stations dont les séries comportent trop de lacunes, seules 50 stations dont les lacunes sont inférieures à 15% ont fait l'objet de notre étude. La localisation de ces stations figure sur la carte. II.1.

Tableau. II.1 : Les stations pluviométriques retenues

Code	NOM_STATIO	long x	altY	Z	Pi
30104	Domaine Dehas	5,00	36,69	7	668,19
30204	Amoucha	5,31	36,37	800	602,88
30205	Ain Roua	5,18	36,33	1100	591,05
30301	Jijel Secteur	5,78	36,83	5	921,42
30302	Texenna	5,79	36,67		1135,81
31105	Bouati Mohmoud	7,33	36,59	150	677,72
31106	Azzaba Pepiniere	7,19	36,69	91	614,60
31503	Bou Hadjar	8,13	36,37	300	650,01
31601	Ain El Assel	8,44	36,69	35	819,42
50101	Ain Nessissa	3,75	35,75	680	227,64
51111	Sidi Ouadah	5,00	35,75	720	238,28
51201	Merouana	5,63	35,44	1000	362,86
51203	Oued El Ma	5,63	35,75	1001	305,12
51306	Ngaous	5,62	35,53	750	261,67
61211	Oued Chelih	5,94	35,44	1180	312,74
61305	Djemorah	5,63	35,13	400	148,60
61416	Biskra Secteur	5,63	34,81	130	129,86
61503	Medina	6,56	35,13	1570	443,31
61601	Foum El Gherza	5,93	34,85	200	105,48
61804	Babar	7,19	36,06	1100	334,89
62308	Ain Babouche	7,81	36,06	1020	180,07
62702	Bir El Ater	8,13	34,81	855	236,42
70201	Ain Djasser	6,01	35,86	865	277,77
70303	Tazoult	6,25	35,75	1200	369,88
70304	Ali Ben Tenoun	6,25	35,44	1180	330,39
70305	Bir Chouhada	6,30	35,90	832	441,03
70306	Ain Yagout	6,56	35,75	876	327,10
70308	Hamla	6,10	35,56	1081	327,31
70316	Batna Ferme	6,17	35,59	1040	370,54
70322	Les Lacs	6,55	35,8	790	286,75
70410	Sidi Mancar	6,38	35,52	1112	326,01
70502	Boulhilet	6,67	35,72	859	195,76
70604	Yabous	6,98	35,52		386,90
100208	Koudiat Tendart	6,25	36,97	635	471,50
100401	Bou Malek M.C.	6,25	36,37	830	542,96
100511	Ouled Nacer	6,57	36,00	770	382,20
100603	Hamma Bouziane	6,56	36,37	460	533,89
100711	Setara	7,83	36,08	490	915,52
120101	Souk Ahras Subd.	7,91	36,27	590	552,58
120201	Meskiana	7,67	35,63	845	271,23
120202	Dhalaa	7,50	35,44	980	354,31
120301	Tebessa P.C.	8,13	35,44	890	364,98
120403	Mdaourouch	7,83	36,08	870	356,23
140109	Ain Babouche	7,19	35,94	860	256,86
140412	Guelma	7,43	36,46	260	514,16
140503	Hammam Nbails	7,65	36,33	460	672,37
140505	Bouhegouf	7,71	36,46	800	546,22
140605	Nechmeya	7,51	36,61	254	512,58
140606	Ain Berda	7,50	36,69	114	616,51
140609	El Kerma	7,69	36,76	13	608,93
150208	Bouira	7,19	35,75	520	305,28
150707	Bir Kasdali	7,25	36,15	980	342,45
150801	Sidi Embarek	4,69	36,37	1011	318,21

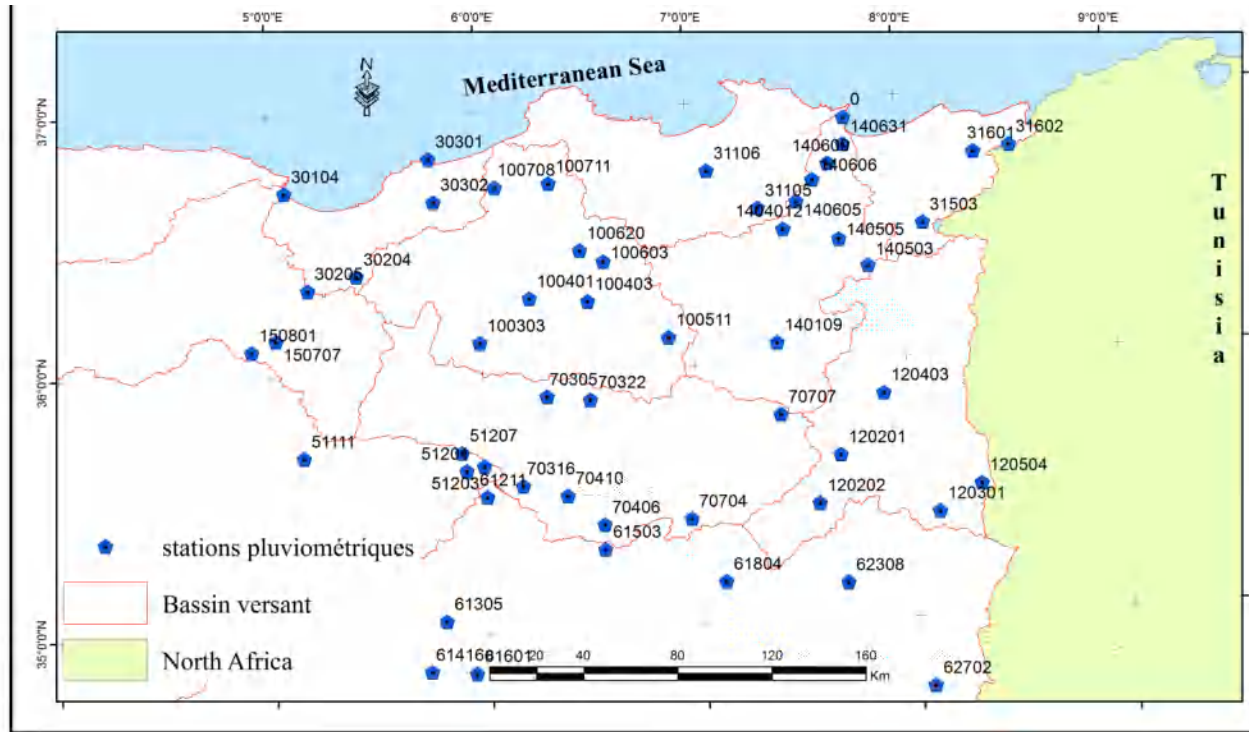


Figure. II.1 : Position des 55 stations pluviométriques couvrant la zone d'étude

1.1.2. Comblement des lacunes

Le comblement des lacunes a été effectué mois par mois, grâce à la méthode de comblement proposée par Laborde, Le logiciel HYDROLAB. L'utilisation du programme Bouchtrou d'Hydrolab développé sous forme de macros sous Excel 2007 permet de combler rapidement et simplement les lacunes avec la partie la plus fiable des données disponibles. Cette méthode consiste à évaluer les valeurs lacunaires d'un tableau de données à partir d'Analyses en Composantes Principales (ACP) effectuées de manière itérative sur celui-ci (Annexe 2).

1.1.3. Précipitations quotidiennes

Elles sont au cœur des analyses climatiques de ce travail. Elles ne portent que sur 22 stations représentatives des principales unités topoclimatiques de la région (altitudes, régimes climatiques) disposant de précipitations quotidiennes sur une période de 32 ans (1980-2012).

Un diagnostic approfondi a été en plus effectué sur les deux stations retenues comme cas d'étude, Annaba et Biskra, une analyse approfondie qui permet d'éliminer les valeurs douteuses, de mettre en place et de valider une méthodologie de reconstruction de pluies quotidiennes.

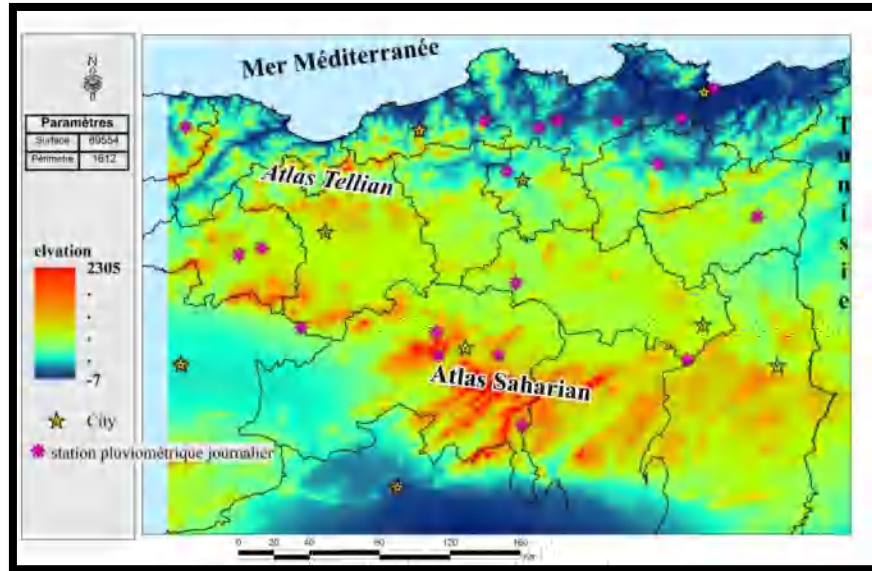


Figure. II.2 : Position des 22 stations pluviométriques journalier

1.1.4. Températures mensuelles

Pour les températures mensuelles, 9 stations du réseau de l'Office Nationale de la Météorologie (ONM), ont été retenues, et ont été complétées par des informations collectées sur le site "National Climatic Data Center (NCDC)". Qui offre une période commune de mesures de 38ans (1980 à 2018), le traitement classique de ces données a été réalisé (moyenne, minimales et maximales).

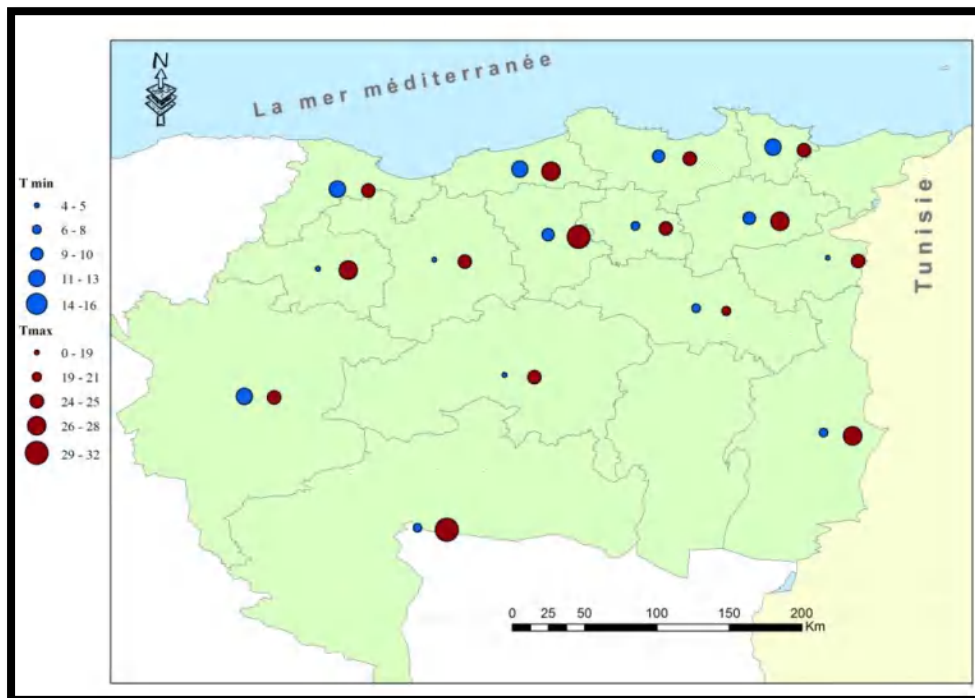


Figure. II.3 : Position des stations de mesures des températures

1.2. Les données hydrologiques

Les données traitées dans cette étude sont les débits journaliers, débits annuel et mensuel. Ces données sont utilisées de manière distincte pour l'étude de la ressource en eau et pour l'étude du risque inondation.

1.2.1. Les débits

Le débit est un volume d'eau liquide traversant une section transversale de l'écoulement, par unité de temps. Le débit dépend aussi de la vitesse du courant qui en fonction de la pente, peut être torrentiel, rapide selon l'importance du cours d'eau, le débit s'estime en l/s en m^3/s voire en milliers de m^3/s . (B Boudol - 2006)

Seuls les débits journaliers et les débits instantanés sont pris en compte dans notre étude. 24 stations hydrologiques ont servi à l'étude. (fig. II.4).

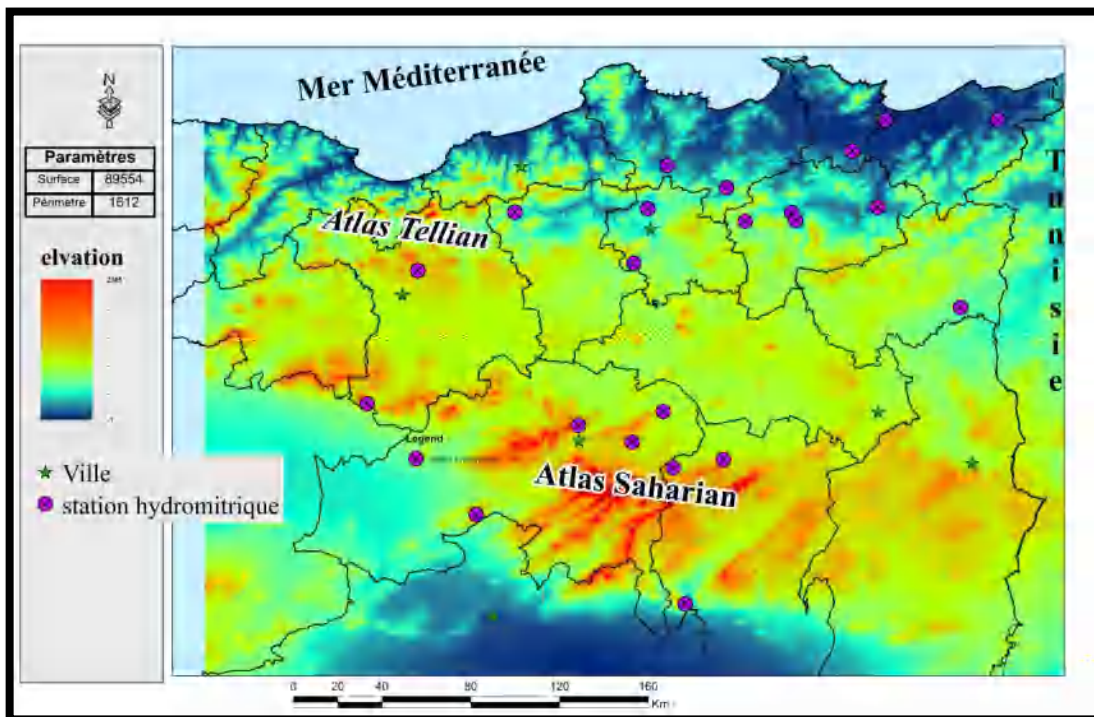


Figure. II.4: Position des stations hydrologiques

1.2.2. Les crues

Une crue est une forme extrême d'écoulement liée à la réaction d'un bassin versant face à une averse pendant un temps réduit. Cette réaction est fonction des caractéristiques du bassin (morphométrie, structure, lithologie, couvert végétal, degrés de saturation du sol.). Certains hydrologues considèrent comme « crues » les débits égaux ou supérieurs multiples 3a 5 fois du module annuel

Basée sur les données hydrométriques et les caractères des réseaux hydrographiques des bassins versants du Nord-Est Algérien, (Côtiers constantinois la Seybouse, l'oued Mellegue, la Soummam, Kebir Rhumel, les Hauts-Plateaux Constantinois, Chemora, Hodna), l'analyse hydrologique des crues a été réalisée à partir des données de 8 stations.

Les oueds retenus pour l'étude de cas, soit les oueds de Annaba et Biskra. Ont fait l'objet d'une analyse plus détaillée L'estimation des valeurs fréquentielles des débits maximaux moyens journaliers (Q_{jmax}) et des débits maximaux instantanés journaliers (Q_{imax}) dont le rôle est déterminant dans la genèse des inondations, a été réalisée.

2. Méthodes et outils

Différentes approches : statistique, cartographique, spectrale ont été utilisées pour répondre à nos objectifs.

Nous présentons dans un premier temps des méthodes appliquées pour répondre à la problématique hydro climatique.

Nous avons choisi plusieurs niveaux d'échelles pour l'analyse spatiale et temporelle des variations hydroclimatiques, de 1969 jusqu'à 2012.

Par la suite, nous nous sommes intéressés au phénomène d'inondation, à ses causes et à ses conséquences.

2.1. Approche statistique

Afin d'analyser et d'expliquer la variabilité hydroclimatique au niveau du Nord Est Algérien, le recours à l'utilisation des méthodes descriptives des variables hydrologiques et climatiques est indispensable (variables centrées réduites, indices climatiques, l'étude du Bilan hydrique). Basés sur l'analyse spatio-temporelle plusieurs traitements ont été réalisés:

- La spatialisation de l'ensemble des analyses statistiques à partir de l'analyse de la variable centrée réduite sur la pluviométrie annuelle et de l'indice de l'Hydraulicité, dans le but de cerner l'évolution de la pluviométrie et les débits annuels par rapport à la moyenne de la période considérée.

- La variable centrée réduites est calculée à partir de l'équation suivante:

$$V_{cr} = \frac{P - P_{moy}}{\sigma_i}$$

V_{cr} : indice.

P : Hauteur de pluie.

P_{moy} : Moyenne annuelle de la pluie l'enregistrement (Période d'étude).

σ_i : écart type de la pluviométrie.

- L'indice de l'Hydraulicité est calculé à partir du : débit moyen des cours d'eau sur le mois considéré rapporté à la moyenne interannuelle des débits de ce mois. Nous avons par la suite enrichi notre travail par la méthode (MGCTI) de type « Matrice Bertin » qui permet de visualiser la succession des cycles.
- La spatialisation des pluies aux échelles fines dans un contexte de changement climatique à partir de l'indice (CI/ PCI)

- CI est le coefficient d'intensité de pluie journalière établi par Martin Vide .Il présente des courbes ajustées à travers des fonctions exponentielles de la forme : $CI = \dot{S} / 5000$. L'indice CI est défini comme le rapport de la zone (\dot{S}) délimitée par la ligne d'équidistribution.
- PCI, l'indice de concentration des pluies, proposé par JS, **Oliver** en 1980, exprime la variabilité saisonnière et annuelle des précipitations en %. Les faibles valeurs du PCI indiquent une distribution uniforme des précipitations dans l'année, .Par contre, des valeurs élevées représentent une concentration élevée des pluies mensuelles ou bien une saisonnalité. Il s'écrit comme suit :

$$PCI = \frac{\sum(P_i)^2}{(\sum P_i)^2} * 100$$

Avec P_i représentant la précipitation mensuelle en mm.

À travers le diagnostic de JS Oliver (1980), une valeur de $PCI < 10$ traduit des précipitations relativement uniformes dans l'année. Une valeur comprise entre 11 et 15 est caractéristique d'une concentration modérée des précipitations, une valeur entre 16 et 20 traduit une concentration moyenne des précipitations. Enfin, une valeur de $PCI > 20$ est signe de forte concentration des précipitations.

- SPI (Standardise Précipitation Index) est un indice de sécheresse multi scalaire basé sur des données climatiques. Il est utilisé pour déterminer le début, la durée et l'ampleur des conditions de sécheresse par rapport aux conditions normales dans une variété de systèmes naturels ou gérés tels que les cultures, les écosystèmes, les rivières, les ressources en eau. Il s'agit d'un« format graphique chronologique. ou d' une méthode qui permet d'analyser les dates de changements de cycle, s'il y a des cyclicités manifestes, grâce à l'analyse régionale » (Nouaceur et al, 2013).

Les indices pluviométriques et hydrométriques permettent de dégager les grandes tendances dans les séries chronologiques pour mieux visualiser les périodes de déficit et d'excédent à l'échelle interannuelle.

2.2. Approche cartographique

Basé sur les cartes topographiques, le modèle numérique de terrain (MNT) à la maille de 100m ,le système d'information géographique(SIG), le Plan d'occupation du sol(BNEDR) et l'Image Google earth ,cette approche permet de procéder à l'analyse détaillée des phénomènes étudiés et surtout à leur spatialisation. Elle nous a permis ainsi de dresser les cartes d'aléa et de vulnérabilité face aux inondations des 2 villes prises en exemple (Annaba et Biskra).

- La carte de l'Alea est issu de la combinaison des valeurs de récurrence et de submersion. L'ensemble des méthodes de détermination de la récurrence et de la submersion produisent des informations qui, intégrées et croisées entre elles, fournissent la valeur de l'aléa au travers de la grille de détermination de l'aléa. C'est ce que montre le schéma ci-dessous.

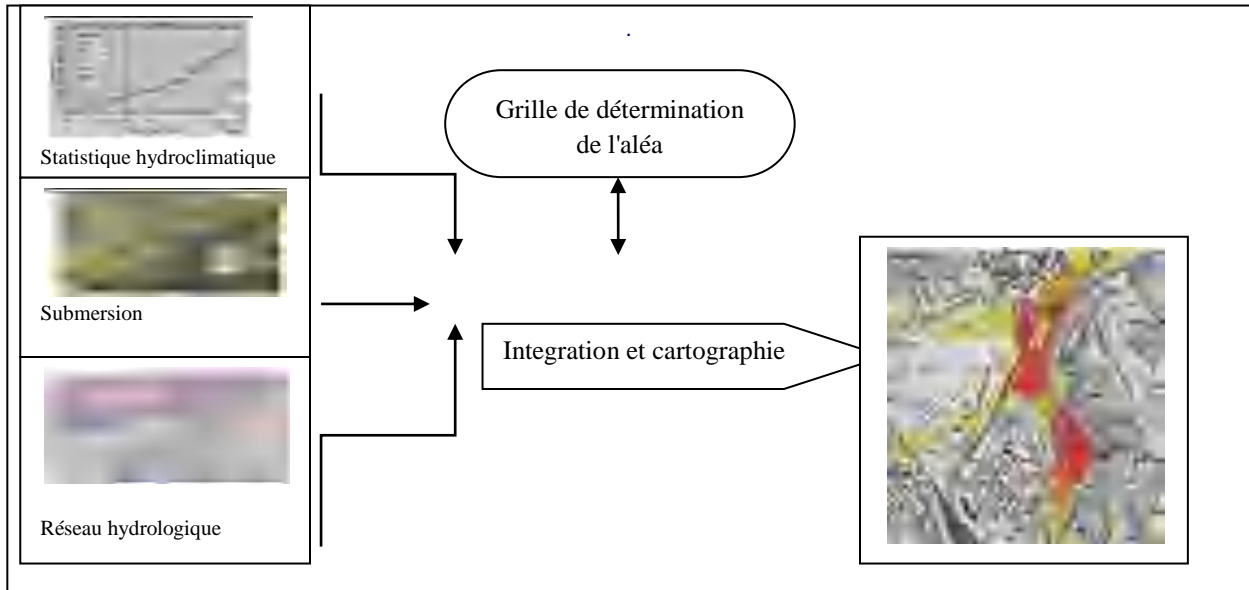


Figure. II.5 : Schéma de détermination de l'aléa inondation

- Dans le but de réaliser la carte de vulnérabilité face aux inondations, des couplages ont été réalisés entre, les facteurs climatiques et anthropiques en vue de dégager les spécificités des zones exposées au risque d'inondation.
- Le risque « inondation » par débordement de cours d'eau (négligeable, faible, moyen, élevé) est issu de la combinaison de l'aléa inondation et de la vulnérabilité. Ainsi, le risque de dommages sera élevé pour une habitation située dans une zone d'aléa élevé ou moyen et, à l'inverse, le risque de dommages sera faible pour une zone d'aléa faible ou moyen.

2.3. Approche spectrale

La méthode spectrale des ondelettes et la cohérence en ondelettes permettent de montrer l'évolution des pluies et des débits selon différentes échelles temporelles. L'ondelette est une fonction comportant un paramètre temporel (b) et un paramètre de forme (a). Le premier permet de dilater l'ondelette pour l'analyse des fréquences voulues et le deuxième permet de translater l'ondelette sur l'axe des temps pour analyser cette fréquence au voisinage d'un moment du signal : fonction de l'ondelette (Mesquita j. (2009)). La transformée en ondelettes est réalisée en décomposant le signal, en signaux définis sur une certaine période de temps (ou d'espace), ce qui permet d'analyser les variations du contenu fréquentiel au cours du temps.

La Cohérence en ondelettes (Larocque M, 1998) définit la fonction de cohérence CO_{xy} (f) comme une relation de la linéarité entre le signal d'entrée et de sortie, grâce à l'utilisation des spectres simples d'énergie S_x et S_y et du spectre d'énergie de la fonction d'intercorrélation S_{xy} .

La fonction de cohérence indique le déphasage entre le signal d'entrée et de sortie MESQUITA j. (2009). La valeur de la linéarité de la relation «entrée-sortie » est comprise entre 0 et 1 ;

$$CO_x(yf) = S_{xy}(f) / S_x(f) S_y(f)$$

Avec :

$S_{xy}(f)$, transformée de Fourier de la fonction d'inter-correlation des variables d'entrée x et de Sortie y.

$S_x(f)$ et $S_y(f)$, transformées de Fourier des auto-correlogrammes du signal d'entrée x et du signal de sortie y.

2.4. Outils

L'outil informatique sera beaucoup utilisé dans ce travail pour répondre aux besoins de la recherche. Les analyses statistiques des données, (précipitation, débit...) se feront par le biais des logiciels tels que

- Excel 10.0 :) . C'est un tableur intégrant graphique, tableau et base de données. (Marque déposée de Microsoft Corporation)
- Hydrolab 10.0 : développé par J.P. Laborde, 1998. . L'hydrolab est un ensemble de macro-commandes développées et Intégrées sous Excel, il permet une utilisation simple des outils hydrologiques.

Les différents traitements et la conception des cartes ont été réalisés avec plusieurs logiciels :

- Le Surfer 8 for : Windows est une marque déposée de Golden Software. Inc. À la base, des grilles d'information, caractérisées par le pas du maillage.
- Les logiciels Arc MAP/ Arc Hydro/ Arc GeoRas/ ArcScene (3D) : plusieurs logiciels sont des SIG de référence. C'est un puissant outil permettant de visualiser, d'explorer, d'interroger et d'analyser des données géographiques. Il permet de manipuler les données de manière aisée. Il sera également fait recours au Krigeage sous S.I.G, pour la réalisation des cartes des températures proches de la réalité

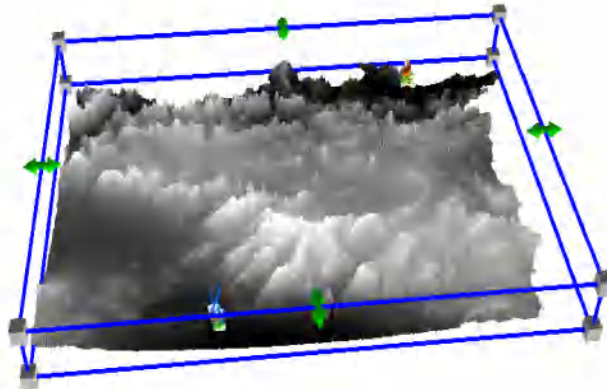


Figure. II.6: Présentation de relief en 3D dans le Nord Est

- Global Mapper : est une application logicielle SIG de pointe qui fournit aux professionnels de la géomatique, une gamme complète d'outils de visualisation, d'édition, d'analyse et de présentation de données spatiales, offrant un accès à une liste inépuisable de formats de données.

3. Présentation de la zone d'étude

3.1. Localisation géographique

Le Nord Est Algérien, tout comme le reste de l'Algérie, est une zone de transition entre deux grands domaines géographiques, saharien au Sud et méditerranéen au Nord. Il est soumis en partie à l'influence méditerranéenne. Son climat en est affecté de même que l'ensemble de ses caractéristiques physiques et socio-économiques. A l'instar des régions méditerranéennes, il connaît un climat de type tempéré où les contrastes entre les saisons sont assez marqués, contrastes accentués par le compartimentage du relief en grandes bandes grossièrement orientées d'Ouest en Est. Comprise entre les latitudes $34^{\circ} 31' 15''$ et $37^{\circ} 5' 24''$ Nord et les longitudes $4^{\circ} 19' 57''$ et $8^{\circ} 41' 2''$ Est. Les oppositions entre les différents milieux naturels se succèdent également du Nord au Sud. Des milieux humides et cléments au nord où les populations sont concentrées, on passe à des milieux arides et rudes au Sud faiblement peuplés. Le Nord Algérien est en effet le siège de fortes densités humaines établies notamment dans des centres urbains. Ces derniers en majorité supérieurs à 50.000 habitants font face à de multiples problèmes parmi lesquels on peut citer le phénomène des inondations.

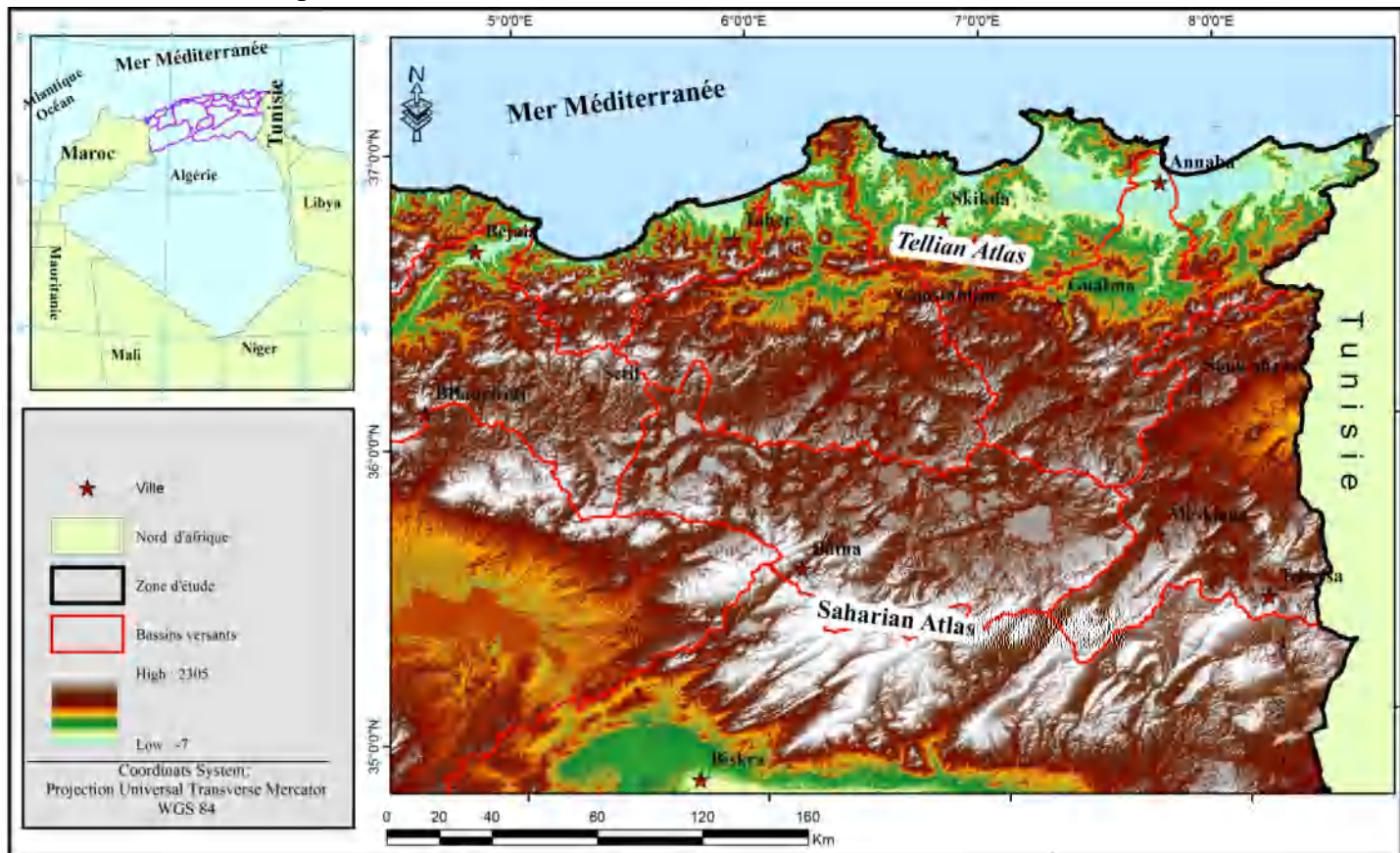


Figure. II.7 : La situation géographique de Nord est Algérien

3.2. Contexte physique

L'organisation morpho-structurale de la zone d'étude, depuis la basse plaine côtière du Tell jusqu'à la dépression du Sahara septentrional, est très compliquée avec des contrastes topographiques remarquables. Elle se compose du Nord au sud de grands ensembles géographiques et géologiques:

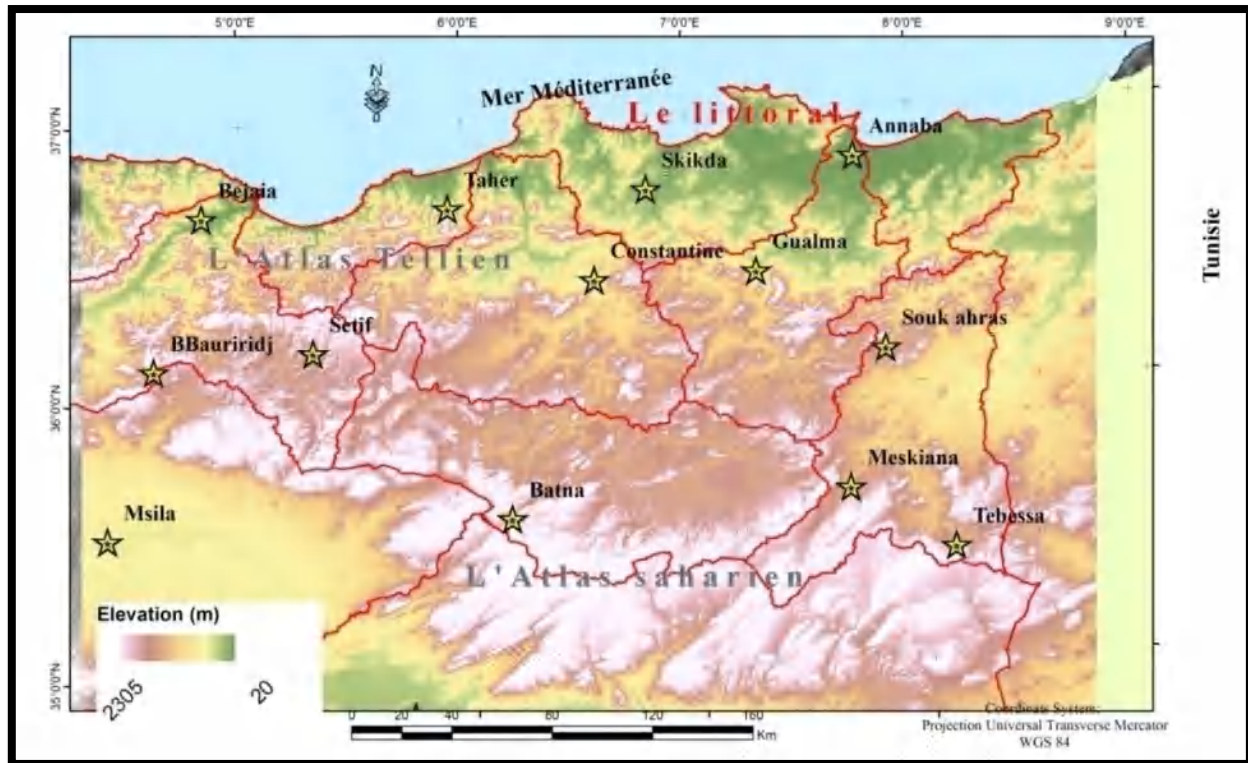


Figure. II.8 : Carte topographique de la région d'étude

3.2.1. La bordure littorale

Elle présente le plus souvent des reliefs escarpés et pittoresques, comme la corniche de Petite Kabylie. Mais elle s'ouvre aussi sur quelques belles plaines littorales ou Sub-littorales à proximité desquelles se sont développées les villes principales.

3.2.2. La chaîne tellienne

La bordure tellienne, au contact immédiat des rivages méditerranéens, apparaît comme la zone la plus favorisée : de belles montagnes humides y dominent de leurs versants escarpés et boisés, des plaines étroites, elle s'étend sur 495 km² environ de Bejaia à El-Taraf. Elle est dominée par les massifs de Grande et de Petite Kabylie, ne laissant qu'une place très réduite à de petites plaines littorales (Bejaia, Djidjelli, Skikda, Annaba) ou à des bassins intérieurs enserrés derrière des défilés escarpés (oueds Soummam, Rummel, el-Kebir, Seybouse).

Des noyaux de massifs anciens, redressés et profondément disséqués par l'érosion, tombent en corniche sur la mer (Grande Kabylie, Kabylie de Collo, massif de l'Edough) et sont

enveloppés vers le sud par les puissantes «sierras» calcaires du Djurdjura, des Bibans et par la chaîne calcaire discontinue des Babors qui portent à plus de 2 000 m les sommets les plus élevés.

Cette région, la plus montagneuse de toute l'Algérie, est aussi la plus humide. Des lames d'eau de 1 à 2 m tombent annuellement, souvent sous forme de neige. Des forêts de cèdres occupent les plus hauts sommets, mais c'est la futaie de chêne-liège, encombrée d'un épais sous-bois broussailleux, qui couvre les pentes humides et siliceuses de la Grande Kabylie et des péninsules de Collo et de l'Edough. C'est ici, par excellence, l'Algérie des grands djebels, humides et boisés.

3.2.3. Le tell intérieur

Il se présente comme une unité très complexe, constituée par une série de puissantes rides parallèles, orientée NE-SW. Ces chaînes montagneuses, incluant la chaîne numidique, s'allongent depuis Dj. Ouahch à l'Ouest jusqu'aux flancs des monts du Medjerda à l'Est, sur une longueur de 120 km, et occupent le secteur moyen de la Seybouse. Ces chaînes sont entrelacées et coupées de vallées et de plaines : vallées de l'Oued Seybouse, la plaine de Guelma, et plaine de Bouchegouf. Le secteur nord-ouest correspond au revers méridional de la chaîne numidique, qui vient mourir aux environs de Guelma, et qui forme une barrière orographique très difficile à franchir par le système hydrographique, dirigé vers la mer Méditerranée.

Le secteur Nord-est (le plus forestier) est constitué en majeure partie d'une série de reliefs modérés qui font partie des monts de Medjerda. Au Sud, quelques reliefs surgissent sur des vastes surfaces des hauts plateaux. (Guidoum,2017).

3.2.4. Les Hautes Plaines

Elles sont insérées entre deux grandes chaînes montagneuses, l'Atlas tellien au Nord et l'Atlas saharien au Sud. Elles sont très étroites et étriquées. Dans le constantinois, les Hautes plaines sont plus vastes, plus élevées (800 à 1200m) et se rétrécissent par le rapprochement des deux chaînes.

C'est le domaine, par excellence, de la plaine steppique ourlée de grandes sebkhas. À l'est, dans le Constantinois, bourrelet tellien et djebels présahariens se resserrent, et encadrent des plaines plus étroites et plus humides, qui ne sont endoréiques qu'au sud. Elles sont dues à un remblaiement alluvial remplissant des cuvettes structurales. La chaîne du Hodna, transversale, apporte un élément de complication supplémentaire.

3.2.5. L'Atlas saharien

L'Atlas saharien ferme les Hautes Plaines vers le sud. Il s'allonge jusqu'à au Nord de la région de Biskra et du chott El-Hodna, composé essentiellement par le massif de l'Aures qui culmine au djebel Chélia à 2 328 m d'altitude. Il est formé de chaînons parallèles plissés dans les calcaires et les marnes.

Au pied de l'Atlas saharien, l'Aurès domine brutalement de plus de 2 000 m la dépression des Chotts (chott Melghir : - 24 m). Plaines et djebels sont affectés par la rigueur du système d'érosion. (Mebarki 2005)

3.2.6. Le Sahara

Au sud de l'Atlas saharien, se situent de vastes plaines arides. C'est le domaine du Bas-Sahara. Les pentes sud du chaîne on méridional de l'Atlas Saharien s'affaissent brusquement dans une plaine immense qui constitue le début du Sahara. Le Sud de la région d'étude comprend la partie nord du chott Melrhir (-34 m). Ce dernier constitue un réceptacle pour les Oueds du flanc méridional des Aurès et des Némemchas, avec un sens d'écoulement Nord-Sud. C'est au niveau de cette grande dépression lacustre que se déverse l'oued Djedi, d'une largeur de 500 m environ. (S, TABET, 2008).

Selon le schéma suivant, l'altitude moyenne est de 0 à 100 m sur les plaines littorales, et plus de 1000 m sur les montagnes de l'Atlas tellien. Elle avoisine les 800 m dans les Hautes plaines, 400 m dans le Hodna. 1500 à 2000 m dans l'Atlas saharien et en fin moins de 100 m dans le piémont saharien. (S, Tabet, 2008)

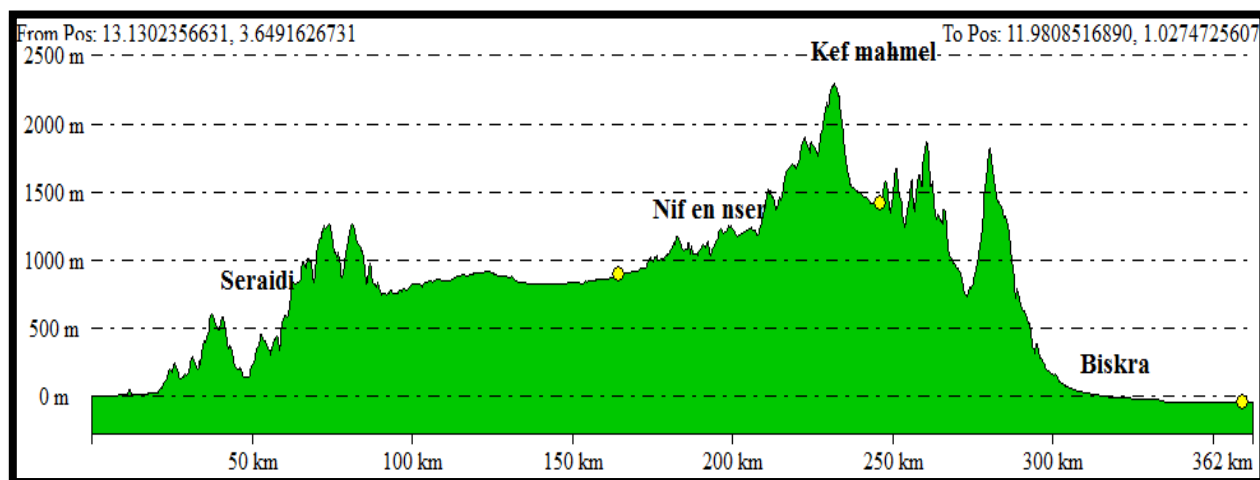


Figure. II.9 : Profil Nord-Sud de Nord Est algérien

3.3. Couvert végétal

Le patrimoine naturel forestier de l'Est algérien est composé de plusieurs formations végétales à base d'essences principales réparties entre les feuillus et les conifères (fig. II.10).

Les principales subéraies algériennes sont localisées dans le Tell Oriental, situées essentiellement en zones sub-humides et humides au Nord-est de l'Algérie jusqu'à la frontière tunisienne (Zeraïa, 1982). Elles sont localisées entre le littoral et une ligne passant approximativement par Tizi-Ouzou, Kherrata, Guelma, Souk Ahras. Elles s'étalent sur une bande de 450km d'Alger au Cap Roux (Est d'El-Kala), dont la largeur ne dépasse pas 60 à 70 km. (Mébarki2005)

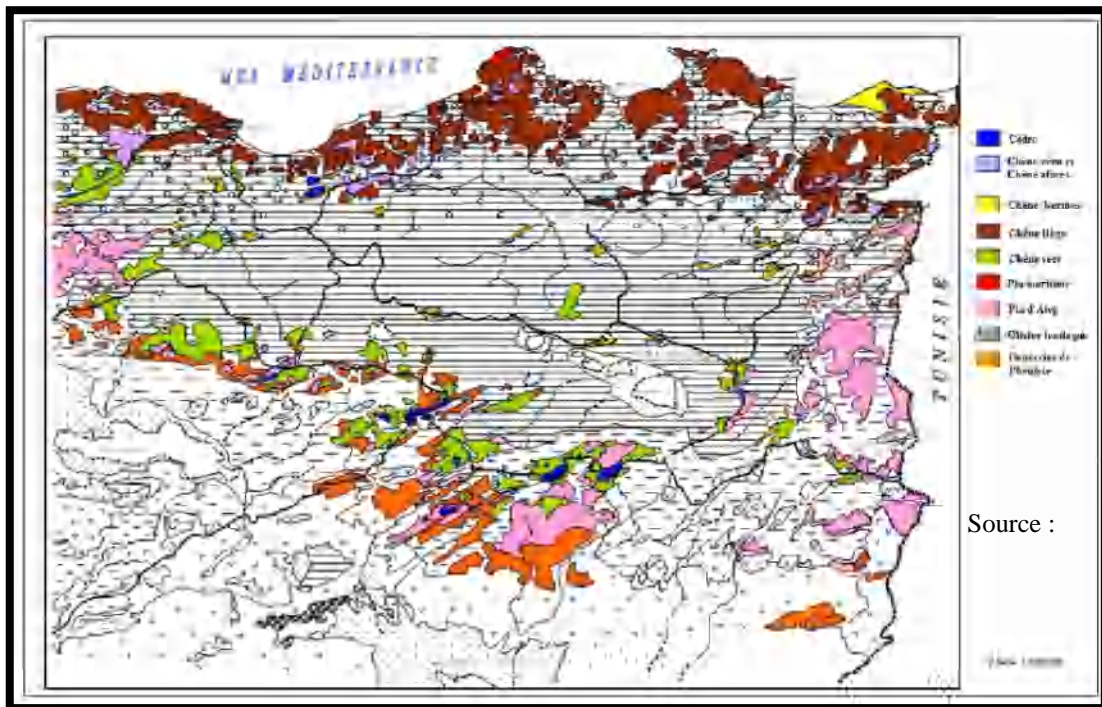


Figure. II.10 : Principales essences forestières en Algérie orientale d'après la carte internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis-Sfax et Alger. (Mébarki, 2005)

Pour les chênes à feuilles caduques (le Zéen et l'Afarès), ils occupent les milieux les plus frais dans la subéraie et ils prospèrent tous deux à partir de 800 mm de pluie (Louni, 1994).

Dans l'Atlas Tellien, le chêne vert apparaît à partir de 400m d'altitude et monte jusqu'à 1700m (Maire, 1926 ; Quezel, 1976). Dans les Aurès, ses limites altitudinales oscillent entre 1200 et 1900m et entre 1500 et 2200m dans l'Atlas Saharien (Letreuch, 1995). Dans l'étage subhumide, il entre en concurrence avec le chêne liège (sur sol silicieux) ou encore avec le pin d'Alep. En faciès continental, de l'étage semi-aride froid et frais lié au domaine magrébin steppique, il se mélange au pin d'Alep et au genévrier rouge. Dans la variante tempérée du semi aride, il entre en contact avec le thuya.

Concernant le pin d'Alep, il couvre 35% des surfaces boisées de l'Algérie du Nord. Il est présent partout, d'Est en Ouest allant du niveau de la mer aux grands massifs montagneux du Tell littoral et de l'Atlas Saharien. Son optimum de croissance et de développement se situe au niveau des versants Nord de l'Atlas saharien où il constitue des forêts importantes et l'on peut citer à l'Est, les grands massifs de Tébessa avec 90.000 hectares, celui des Aurès avec plus de 100.000 hectares constitués principalement par les pinèdes des Béni-Imloul (72.000 ha), des Ouled Yagoub et celle des Béni Oudjana (Kadik, 1987).

Le cèdre de l'Atlas, essentiellement montagnard (dans le tell central et les hautes montagnes de l'Aurès) se développe dans l'étage humide et froid à partir de 1400 m et va jusqu'à

2800 m d'altitude. Il se retrouve au niveau des Aurès, du Djurdjura, ainsi qu'à Teniet El Haad (Louni, 1994).

Le maquis occupe indifféremment la plupart des versants. Il a gagné en surface sur la forêt, plus du double de sa surface initiale depuis 1955 à nos jours. La présentation générale de la forêt algérienne effectuée par la FOSA en 2001 rend compte, que cette dernière semble rentrer dans une phase régressive avec la dégradation de ses essences principales et de son remplacement par le maquis et les broussailles dont le rôle reste néanmoins extrêmement important dans la stabilisation des sols en terrains à forte déclivité. D'après MISSOUMI et al. (2002), le maquis gagne en moyenne chaque année 25000 ha sur la forêt.

Les forêts subissent la pression humaine et sont particulièrement vulnérables du fait des conditions climatiques.

3.4. Contexte géologique

S'agissant de l'organisation de l'édifice structural, les travaux de Vila J-M. (1980) sur la chaîne alpine d'Algérie orientale et la synthèse de Wildi W. (1983) sur la chaîne tello-rifaine de l'Afrique du Nord permettent de distinguer du Nord au Sud de nombreuses unités empilées au cours de phases tectoniques successives. Elles sont caractérisées par la complexité et la diversité des styles mais aussi par la nature différenciée des matériaux qui les composent (Jean-Paul Bord.1981, Mebarki.2005).

L'Algérie orientale est constituée de reliefs jeunes, modelés au cours du Tertiaire par les mouvements alpins (fig II.11). Il est délimité au sud, par l'Atlas saharien (chaîne alpine) et au centre, par des plates-formes (môle d'Ain Regada).

Du Nord au Sud, on distingue les formations suivantes : Les monts de la petite Kabylie et de la chaîne Numidique sont prédominés par des sols tendres (marneux, argileux et schisteux) et des terrains sédimentaires empilés sur des grandes épaisseurs au cours des ères secondaires et tertiaires, fréquemment, soulevés et plissés (WOJTERSKI, 1985 in CHERMAT, 1998).

- Les Babors constituent la chaîne la plus ancienne des sols calcaires avec quelques sols marneux sur les parties élevées et sur les flancs Nord, (GHARZOULI, 1989). A l'Est, les massifs de Tamzghida, Taza et Guerrouche sont prédominés par des argiles, des grès et une série de dépôts de marnes schisteuses (Abdessamed K, 1981).
- Djebel Edough appartient à la série de ce prolongement, correspond aux affleurements de formations cristallophylliennes. Cette chaîne est essentiellement constituée de gneiss.
- Le second système montagneux (Monts de Sétif et de Constantine), constitue un maillon très important du tell intérieur. Selon GLACON (1967), cette région a subi des mouvements orogéniques alpins à la fin du tertiaire et du début du quaternaire. Ce système est constitué par les monts suivants :

Djebel Chettabah, dont le substrat géologique date de l'ère secondaire, est constitué par une épaisse formation marneuse. A l'Ouest les monts de Sétif, vieille chaîne de grès crétacé et aplatie, présente de puissantes assises de grès à la base et du calcaire marneux sur les crêtes. Djebels Tafat, Anini et Maghress sont formés par la succession des alluvions récentes et anciennes et parfois des éboulis à blocs des terrains miocènes de nature marneuse et argileuse. Les hautes plaines Sétifiennes, argileuses au Nord et calcaires au Sud, sont caractérisés par des sols essentiellement marneux et dolomitiques. Le massif de Boutaleb est presque entièrement du crétacé inférieur, caractérisé par des sols essentiellement marneux et dolomitiques. Les Aurès se présentent avec un substrat de grès et de calcaire du crétacé (Abdessamed, 1981)

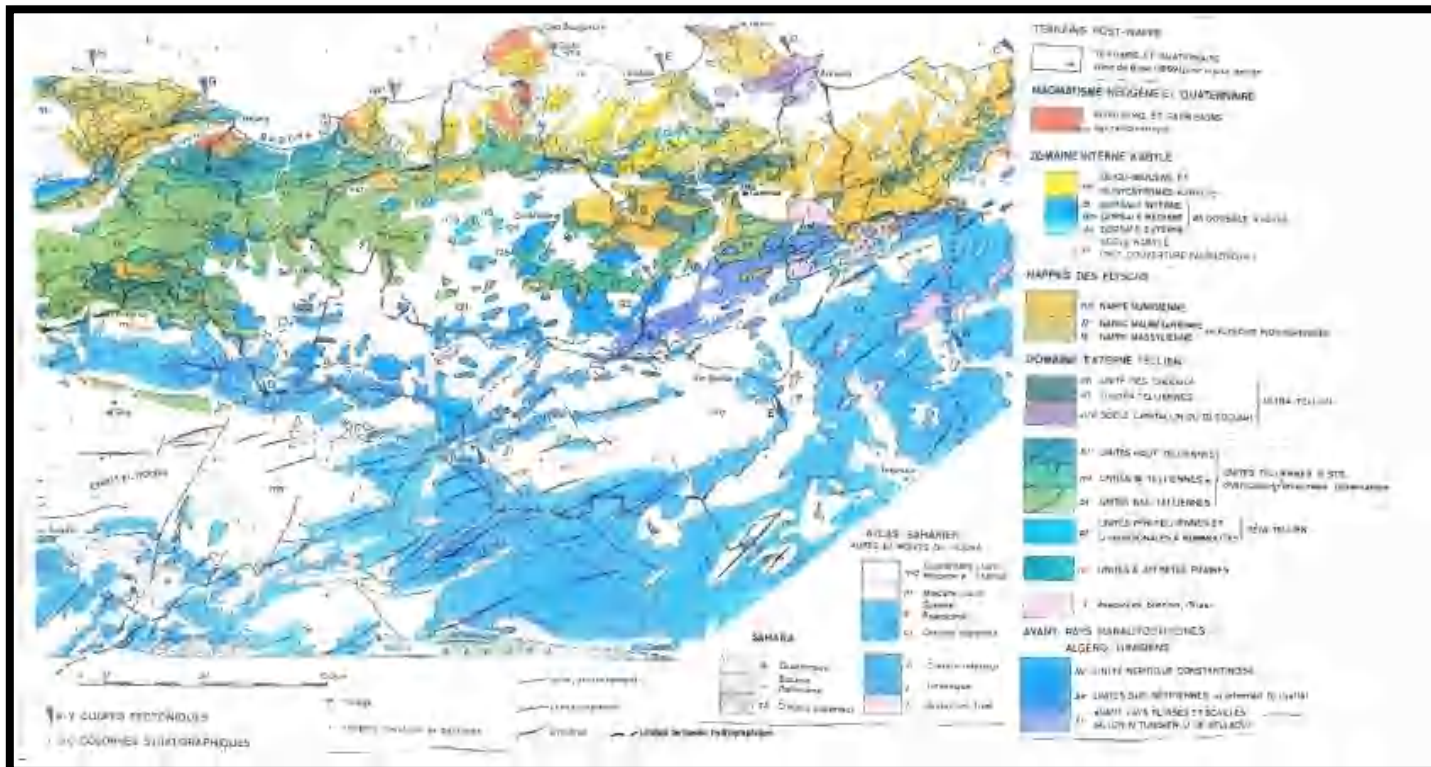


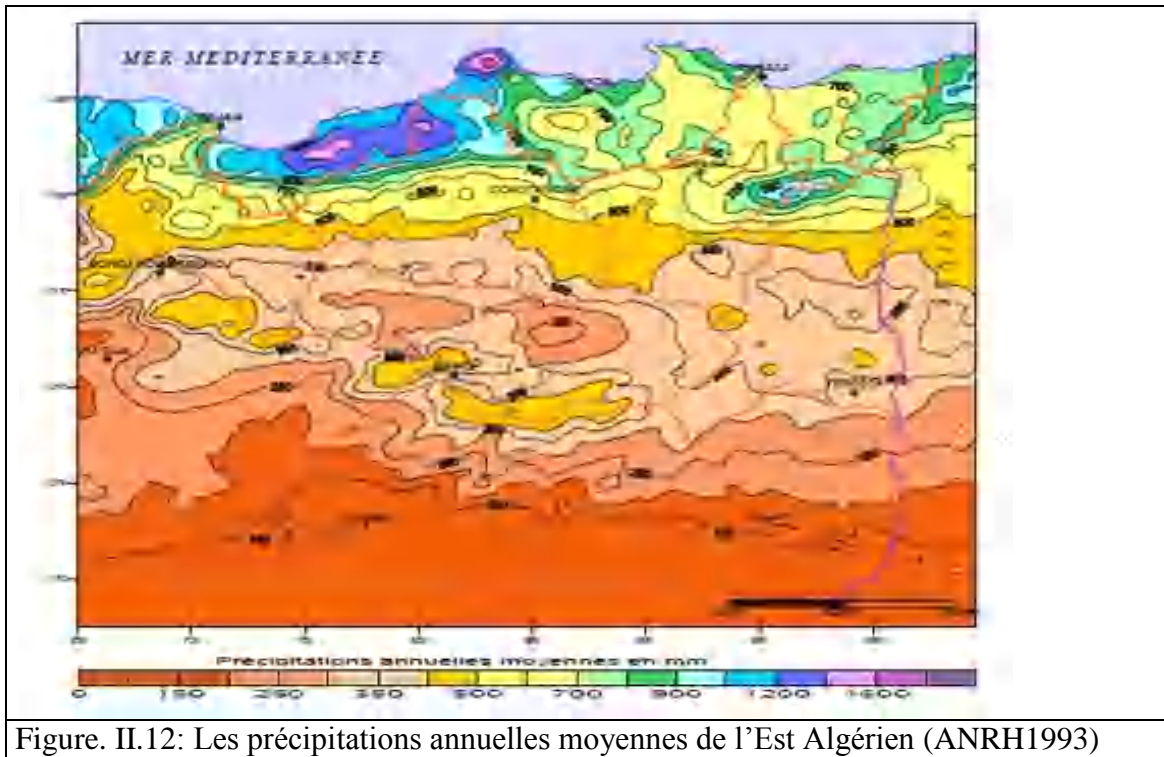
Figure II.11: Les unités géologiques de l'Est algérien (d'après Wildi W., 1983 et carte géologique de l'Algérie au 1/500 000)

3.5. Contexte climatique

Comme évoquer dans le premier chapitre, le climat de l'Algérie est un climat à contrastes, donc propice à des situations extrêmes. Il est caractérisé particulièrement par l'irrégularité spatio-temporelle des précipitations.

3.5.1. Les précipitations

La répartition des précipitations est soumise à un double gradient, altitudinal et latitudinal. Les pluies de façon générale diminuent du Nord au Sud et d'Est en Ouest.



La carte établie par l'ANRH(1994) montre que les fortes précipitations (supérieures à 900 mm) apparaissent dans la zone montagneuse de Bejaia à Collo, ainsi que dans les tranches d'altitude les plus élevées des Monts de la Medjerda et du massif de l'Edough (fig. II .12). La pluie atteint plus de 1 400 mm sur les hauteurs d'Erigène et jusqu'à 1 800 mm sur le massif de Collo, avec 1 689 mm à la station de Zitouna. Les isohyètes de 600 à 800 mm balaient tout le reste de l'Atlas tellien avec cependant des contrées beaucoup plus pluvieuses dans la région extrême Est (El Kala).

Les Hautes Plaines sont nettement cernées dans leur bordure Nord par l'isohyète 500 mm. La pluviométrie décroît vers la bordure Sud (350 mm) avec des creux assez nets (moins de 300mm voire moins de 200 mm) dans la zone des lacs salés. C'est le même creux que l'on observe sur la cuvette du Chott Hodna, traversée par les isohyètes 300 et 250 mm.

L'Atlas saharien, en raison de l'effet orographique et l'exposition du versant Nord, enregistre une remontée du total pluviométrique vers des valeurs de 400 à 600 mm par an ; les sommets de l'Aurès pouvant recevoir plus de 600 mm. L'isohyète 300 mm marque l'amorce de la décroissance des précipitations sur le piémont Sud de l'Atlas dont la bordure méridionale est jalonnée par l'isohyète 200 mm et même 150 mm. Deux groupes de facteurs, géographiques (éloignement par rapport à la mer, altitude, exposition des versants par rapport aux vents pluvieux du Nord-Ouest) et météorologiques (déplacement des masses d'air polaire océanique, froid et humide, des masses d'air tropical chaud et humide de l'Atlantique Sud et enfin des masses d'air tropical continental ou anticyclone saharien) influencent la répartition spatiale des précipitations mais aussi les structures des régimes pluviométriques (Chaumont M. et Paquin C., 1971).

3.5.2. Les températures

Elles sont irrégulières et très variables dans l'espace et dans le temps. Elles ont des effets directs sur les ressources en eau à travers l'évaporation, sur les écoulements, et sur plusieurs processus vitaux de la plante tels que la photosynthèse.

Leur distribution obéit également aux gradients latitudinal et altitudinal. Ainsi les moyennes de températures les plus élevées se trouvent au Sud, en zone de plaine et les plus faibles en zone littorale. Les cartes (fig II.13) montrent que les plus fortes valeurs se situent au littoral de l'Est algérien sous influence méditerranéenne et au Sud, les plus faibles sur les reliefs soumis au climat de montagnes (les Aurès), alors que les plaines sont marquées par des températures plus clémentes.

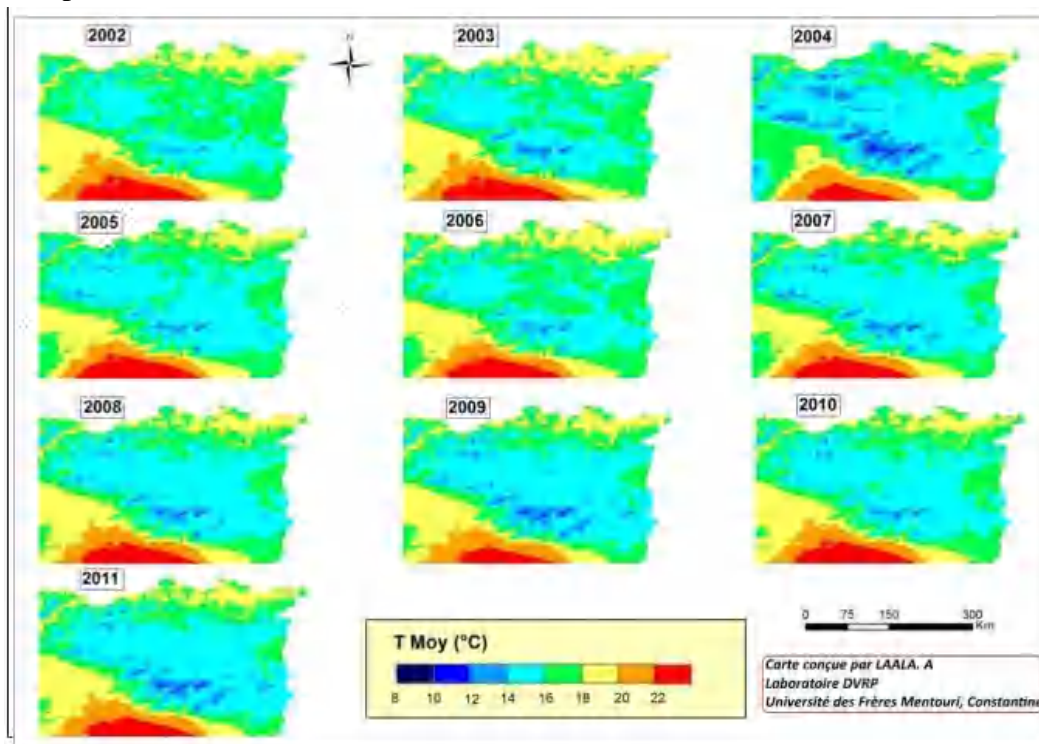


Figure. II.13: Températures moyennes annuelles interpolées par la méthode (Régression+Krigage) (2002/2011) (Laala,A 2016)

3.5.3. Relation pluies –températures :Diagramme Ombrothermique de Gausson

Afin de caractériser les types de climat de la région méditerranéenne Gausson (1952) a proposé un coefficient faisant intervenir deux paramètres: la pluie et la température.

Pour lui, un mois est considéré comme sec si le quotient des précipitations mensuelles P exprimées en mm, par la température moyenne T exprimée en $^{\circ}\text{C}$, est inférieur à $2(P=2T)$. Grâce à un graphique dit diagramme Ombrothermique composé par un axe horizontal où sont placés les 12 mois de l'année et deux axes verticaux, un à gauche pour les précipitations et l'autre à droite pour les températures, il est possible de déterminer le type de climat à travers la distribution des mois secs et humides. Les diagrammes Ombrothermique établis sur une

moyenne de 20ans (1980-2018), montrent qu'il y a une alternance de deux périodes l'une humide et l'autre sèche pour l'ensemble des stations.

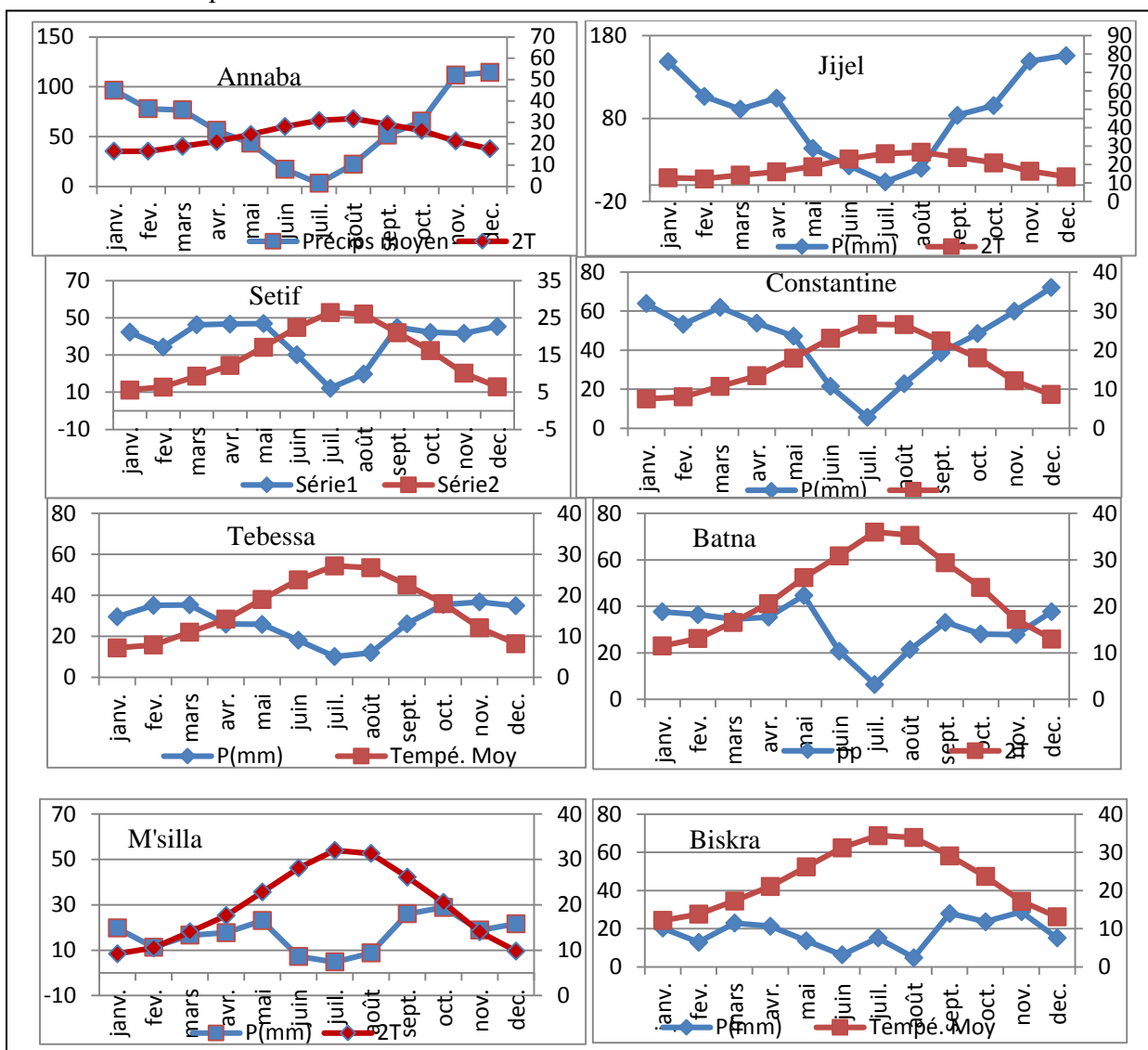


Figure. II.14: Diagrammes Ombrothermiques de la région Nord Est Algérienne

La zone littorale se caractérise ainsi par la présence de 2 saisons, une saison humide qui commence septembre et s'achève mai ; Elle dure 8 mois; (le mois le plus arrosé est placé dans les mois de Avril, et décembre).

La zone intérieure entre l'Atlas tellien et l'Atlas Saharien) se distingue également par deux saisons la première commence en Octobre et s'achève en Mai et la seconde va de Juin à Septembre.

Le piémont sud de l'Atlas saharien se caractérise quant à lui, par une seule saison sèche. Tout au long de l'année, la pluie est techniquement inexistante. Cette zone affiche une température annuelle moyenne de 21.1°C. Un volume de précipitation annuel inférieur à 125mm.

Le rythme hydrologique étant influencé par le climat, et la topographie, ces paramètres déterminent la réalité du contexte hydrologique.

3.6. Contexte hydrographique

De par la nature et le sens d'écoulement des oueds, l'Est algérien juxtapose trois grands domaines hydrographiques différents du point de vue : organisation et orientation des chevelus hydrographiques, densité de drainage, exutoire, alimentation et réponse hydrologique du milieu récepteur :

La classification selon Strehler a permis la hiérarchisation des réseaux hydrographiques des bassins. L'ordre des cours d'eau le plus élevé (ordre 5) est représenté par le Kebir Rhumel; l'ordre 4 concerne les oueds El Kebir, Seybouse Mafragh et Boulfreiss. Les oueds d'ordre 3 sont les plus répandus, il regroupe les oueds Mellegue , Djendjen , Guebli , Safsaf , Bounamoussa , Kebir Est , Bouhamdane , Maleh , Endja , Rhumel amont et aval , Boumerzoug , Chemora et Boulhilet (fig. II.16). Les ordres 2 et 1 ne représentent que des écoulements temporaire.

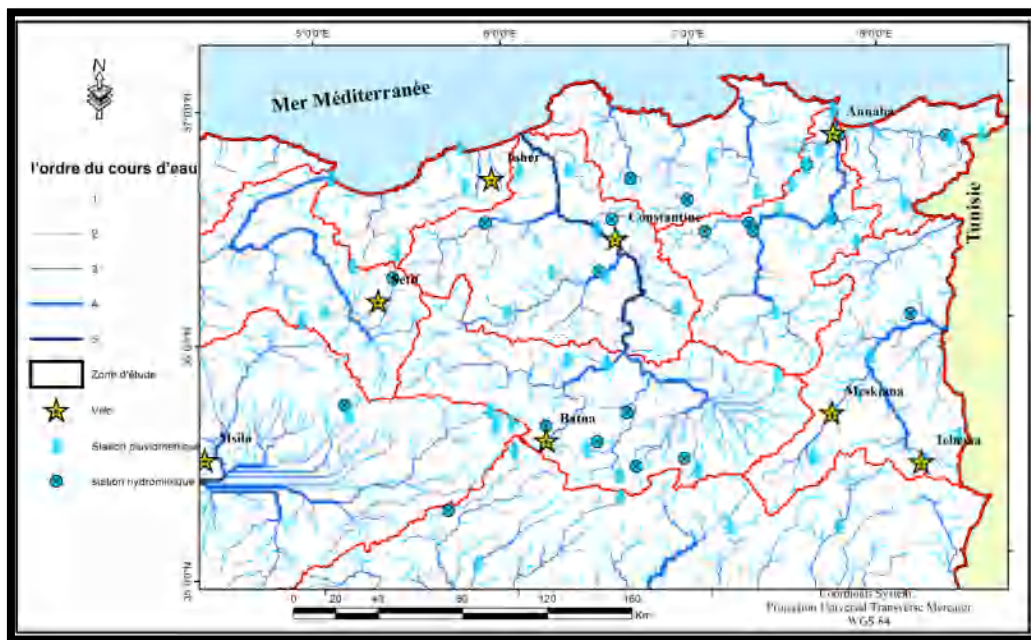


Figure. II.15 : Classification selon l'ordre des cours d'eau

La classification présentée selon la longueur des cours d'eau, met en tête les oueds permanents tels que la Soummam 190km, Kebir-Rhumel 189km, Seybouse 170 km et Mellegue 88 km (fig. II.16).

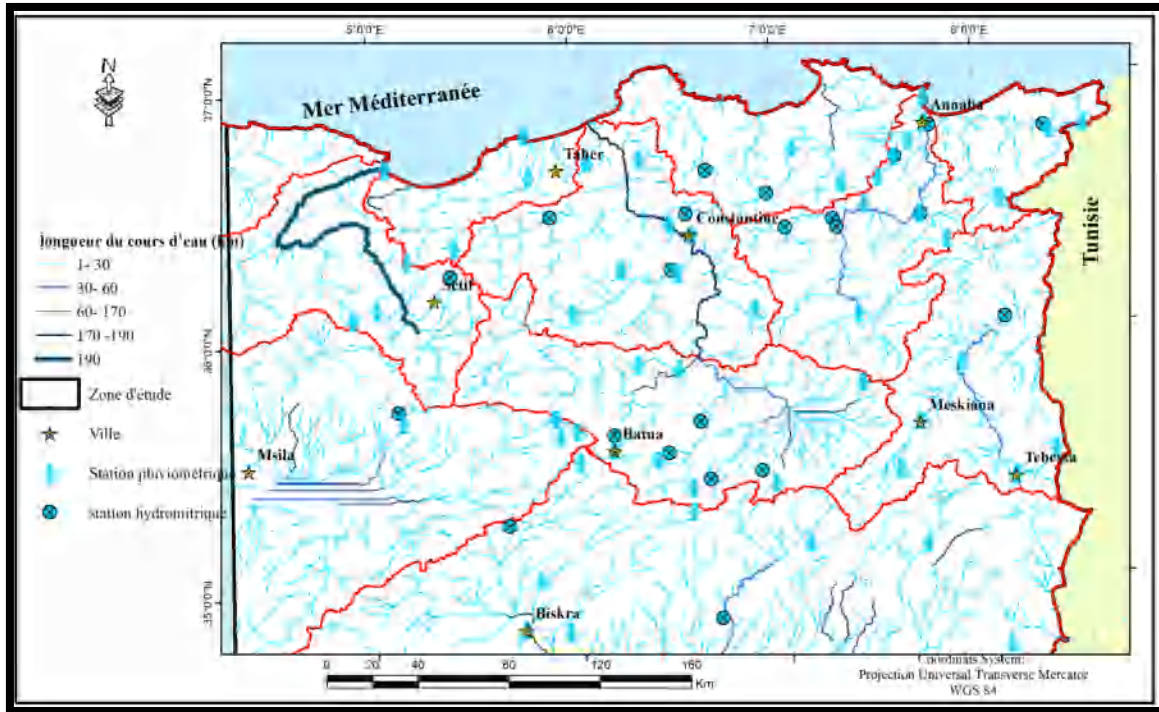


Figure. . II.16: Classification selon la longueur du cours d'eau

3.6.1. Les types des bassins hydrographiques

Les analyses de chroniques hydrologiques réalisées sur plusieurs bassins versant du Nord Est algérien montrent des comportements très différents en liaison avec la principale sollicitation qui est incontestablement la pluie avec son intensité, sa distribution spatiale et sa durée. Cette pluie qui revêt un caractère souvent complexe et imprévisible est à l'origine de différents types d'inondation, en relation étroite avec les caractéristiques des bassins : type de sol, occupation, réseau de drainage.

3.6.1.1. Les bassins exoréiques

- **Le bassin Côtiers constantinois**

Il se compose de trois sous-bassins (Bassin de l'est, Ouest, centre) à pluviométrie variée, de 650 mm à 1800 mm sur les monts de Collo – Jijel, monts, exposés aux vents humides et qui constituent la zone la plus arrosée d'Algérie. (Fig. II.18)

- Les Côtiers Est sont représentés par quatre sous-bassins répartis sur 3 203 km². A cheval sur les Monts de la Medjerda en Algérie et les Monts de Kroumirie en Tunisie, ils sont drainés par les affluents de l'oued Bounamoussa, en provenance des montagnes gréseuses très fortement arrosées.
- Les Côtiers centre regroupent neuf sous-bassins répartis sur 5 524 km². Ils ont un chevelu hydrographique important totalisant un réseau de plus de 2000km
- Côtiers Ouest composé de cinq sous-bassins occupent une surface de 2 724 km²). Leur chevelu hydrographique est également ramifié et dense. Ils totalisent un réseau de plus de 4200km (P.N.E) (A.N.R.H ; 2000)

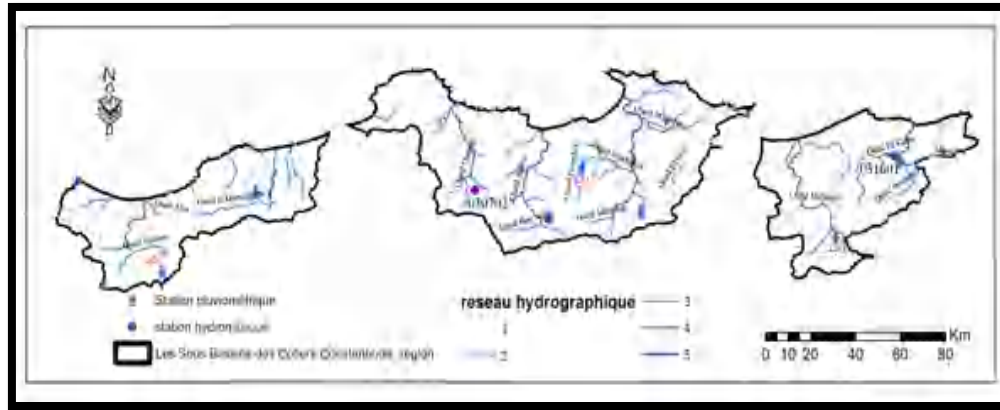


Figure. II.17: Bassin-versant de la Côtiers constantinois

- **Le bassin de la Seybouse**

Il s'étend sur une superficie de 6471 km, (Fig. II.19) et chevauche trois grands domaines physiques et bioclimatiques :

-le domaine des Hautes Plaines au Sud ;

-le domaine sud-Tellien ;

-le domaine Tellien du Nord qui comprend la Seybouse maritime soit le bassin de l'oued Ressoul, oued Derdar et la zone des plaines littorales.(Louamri A,2013). Il comprend plusieurs affluents : L'oued Cherf qui prend naissance dans les Hautes Plaines, et l'Oued Bouhamdane, à l'Ouest de Guelma donnent naissance à l'Oued Seybouse qui coule d'Ouest en Est jusqu'à sa confluence avec l'Oued Mellah, affluent issu du versant Nord-Ouest des monts arrosés de la Medjerda. Puis, la Seybouse change de direction pour rejoindre, plus au Nord, après avoir traversé la plaine côtière comprise entre Draan et Annaba.



Figure. II.18 : Bassin-versant de la Seybouse

- **Le Bassin versant L'oued Mellegue ;**

Il couvre une superficie de 7942 km²(partie Algérienne), drainé par l'oued Mellegue qui prend sa source dans les massifs de Bentaleb et des hautes plaines de Sedrata ainsi que par l'oued Medjerda qui prend naissance dans les monts de Souk-Ahras. Ces 2 derniers se déversent dans les bassins Tunisiens.

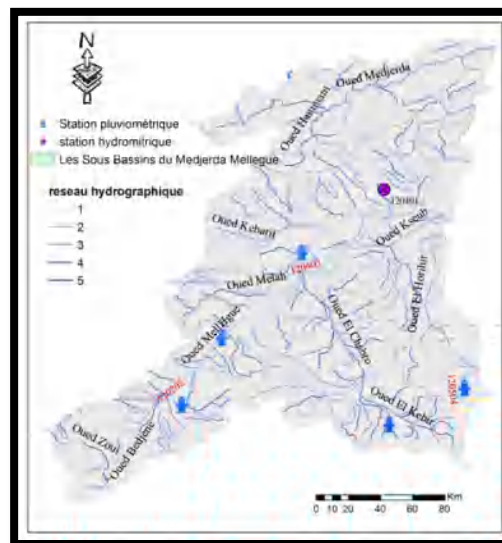


Figure. II.19 : Bassin-versant de L'oued Mellegue

- **Le bassin de la Soummam**

Il s'étend sur une superficie de 9 125 km². Il couvre une région essentiellement montagneuse dont les montagnes s'arrêtent à quelques kilomètres de la mer (Fig. II.21) Il est caractérisé par un réseau hydrographique très marqué et bien alimenté, ayant provoqué des érosions profondes (Défense, 1964 ; SEZB, 1997). Il reçoit une quantité importante d'eau,

estimée à environ 700 millions de mètres cubes par an. On y retrouve des cours d'eau permanents et temporaires dont le plus important est l'Oued Soummam. Il est formé de la confluence de l'Oued Sahel qui descend des montagnes du Djurdjura et du plateau de Bouira, et de l'Oued Bou Sellam qui descend du plateau Sétifien (Bennabi, 1985; Benhamiche, 1997).

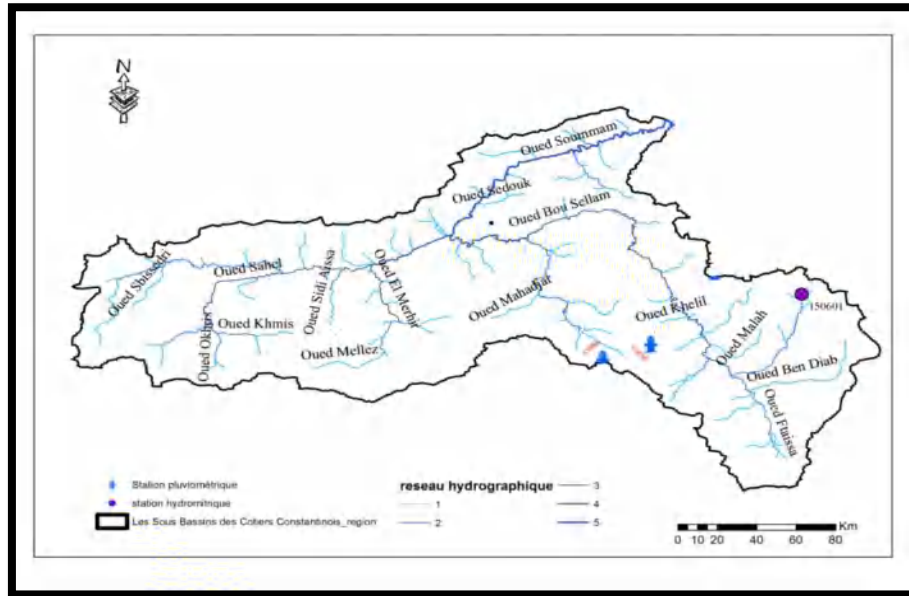


Figure. II.20 : Bassin-versant de la Soummam

- **Le Bassin Kebir Rhumel**

Il s'étend sur une superficie de 8811 Km². Il comprend trois grands oueds : Boumerzoug, Rhumel, Enndja, Kebir (Fig. II.22). La confluence de l'Oued Enndja avec le Rhumel forment l'Oued Kebir qui coule profondément au milieu des imposants massifs du Tell, puis s'élargit à la faveur de la vallée alluviale littorale. C'est un bassin de type exoréique

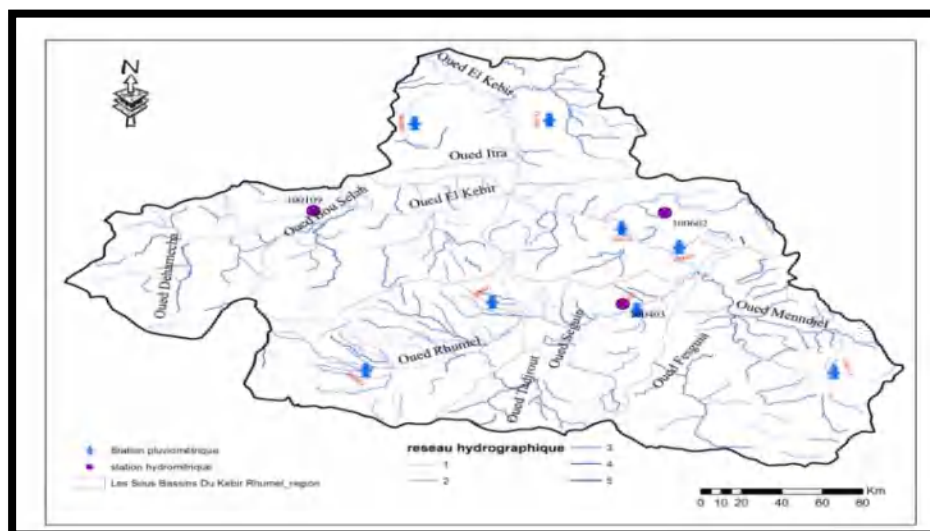


Figure. II.21: Bassin-versant de Kebir Rhumel

3.6.1.2. Les bassins endoréiques

- **Le bassin des Hauts-Plateaux Constantinois**

Il couvre une superficie de 9615 Km², et est caractérisé par un réseau hydrographique moins dense à écoulement temporaire, les principaux oueds de ce bassin sont : Oued Msil, Oued El Madher, Oued Chemoura, Oued Taga, Oued Boulefreis, Oued Maeouf. Il se caractérise par une pluviométrie qui croît d'Est en Ouest, les pluies varient en moyenne de 318 mm à l'Est du Bassin, à 700 mm à l'Ouest.

Ce bassin se caractérise par la présence de plusieurs lacs salés (Chott el Beïda, Chott el Faraine, Sebket el Hamiet, Sebket Ez Zemoul, Garaet el Marhsel, Garaet Ank Djemel, Garaet Guellif et Garaet, etc) (fig. II.23) témoins d'une topographie en forme de cuvette

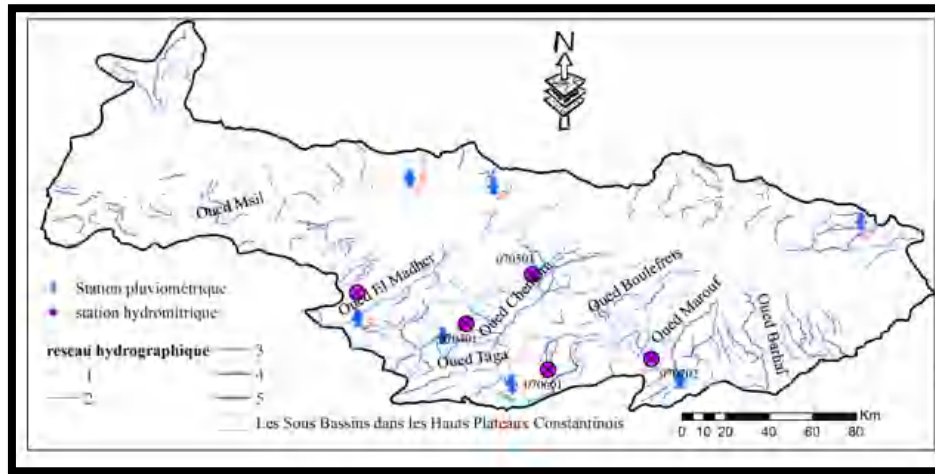


Figure. II.22: Bassin-versant des Hauts-Plateaux Constantinois

- **Le Bassin de Chemora.**

L'oued Chemora se perd après un trajet d'environ 30 km, dans les lacs salés de hautes plaines Constantinoises. Il s'agit de Sebket Djendli, Garâet Ank-Djemel, Garâet Et-Tarf. La majorité des cours d'eau sont de type dendritique.

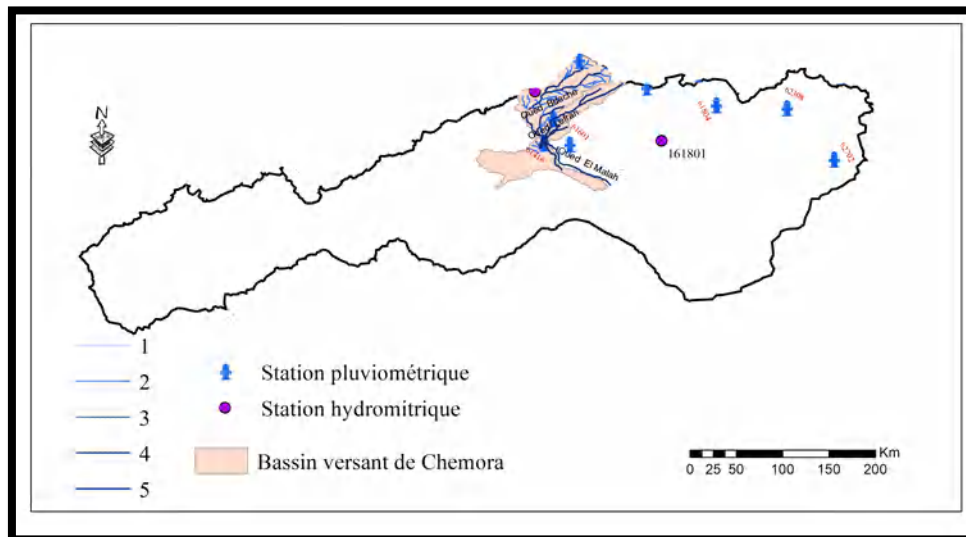


Figure. II.23: Bassin-versant de Chemora

- **Le bassin versant du Hodna**

Il couvre une superficie de 25 843 km². Le bassin versant du Hodna est un bassin endoréique où le chevelu hydrographique est peu dense. Les oueds qui le drainent sont tous des oueds temporaires, et il n'y a écoulement superficiel que pendant les fortes et rares chutes de pluies. Ces oueds trouvent leurs exutoires dans le Chott El Hodna.

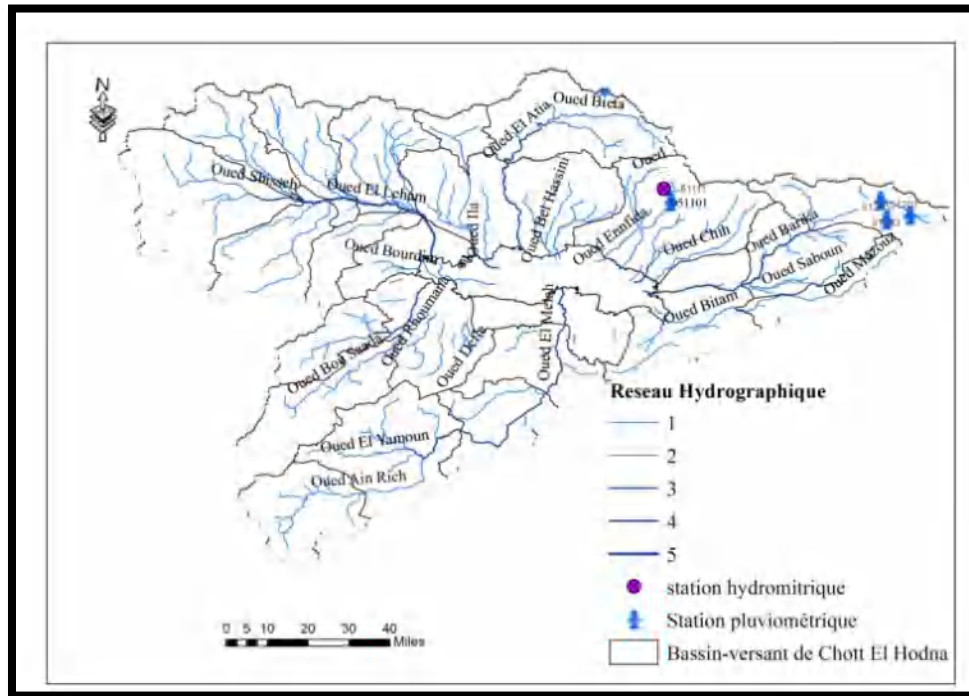


Figure. II.24: Bassin-versant de Chott El Hodna.

Le milieu géographique dont les caractéristiques ont ainsi été brièvement présentées met en évidence les ressources naturelles des bassins exploitées par une diversité de populations.

Compte tenu de leur mode de vie, et de leur culture, les groupes socioculturels pratiquent diverses activités dépendantes de l'eau comme l'agriculture qui reste l'activité principale de la région. Les effets de la croissance démographique sur l'environnement sont nombreux particulièrement sur l'eau et l'utilisation du sol. A la suite de l'explosion démographique depuis le XX^e siècle, qui s'est produite après l'indépendance, l'environnement a été profondément et irrémédiablement.

3.7. Croissance démographique de l'Algérie

Au début du XX^e siècle, la population Algérienne a été estimée à environ 8 millions d'habitants. Cinquante ans plus tard, elle atteint 36 millions en 2001, Avec un rythme de croissance de plus de 3 % par an (l'un des plus élevés du monde), la population a presque

quadruplé en quarante ans. Le taux d'accroissement de la population a aujourd'hui nettement diminué, à 1,5 % en 2009 (ONS, Rahmouni 2013). Des trois pays du Maghreb central, l'Algérie est celui où la baisse de la croissance démographique a été la plus tardive. Il en résulte, aujourd'hui, que plus du quart de la population est âgé de moins de 15 ans.

3.7.1. L'Algérie à l'aube de l'occupation française.

Dès le début de la conquête française, à cause du différend culturel opposant les colons français au mode de vie arabe et de leur désir d'imposer à la ville leur propre style architectural, d'importantes destructions ont dégradé la ville. La ville perd alors toutes ses fonctions historiques (pôle commercial, centre administratif) et elle n'est plus qu'un simple lieu de résidence, dédoublée par une nouvelle ville au style européen. Les deux villes restent totalement déconnectées l'une de l'autre. Les principaux travaux réalisés à cette époque sont: l'élaboration d'un réseau de voirie urbaine hiérarchisé, conçu pour assurer un assainissement efficace et moderne de la ville à partir de 1845.

La région de l'Est était la plus peuplée, elle comptait 40 % de la population d'Algérie d'origine locale évaluée alors à plus de 3 000.000 d'habitants, sur une surface de 87 547 km². Source : Recensement 1954. L'Algérie était alors organisée en 3 départements et le territoire divisé en communes mixtes et communes de plein exercice.

A partir de 1956, les communes mixtes disparaissent en même temps que disparaissent les trois grands départements de l'Algérie du Nord. Si en 1955, l'Algérie comptait 03 départements, 20 arrondissements, 330 communes de plein exercice et 78 communes mixtes, en 1957 le pays compte désormais 15 départements. La réforme territoriale s'intensifie en 1958 avec la promotion de beaucoup de douars et de centres municipaux au rang de commune sous son nouveau et unique statut. L'Algérie compte dorénavant 1 525 communes dont 42 % environ pour l'Est Algérien. Les arrondissements sont dès alors au nombre de 29 et émanent généralement des communes mixtes très vastes et hétérogènes sur le plan géographique. Cette soudaine transformation des collectivités par l'administration coloniale s'est effectuée sans aucune étude préalable et certaines limites sont restées mal définies.

3.7.2. Au moment de l'indépendance

Le territoire algérien s'est trouvé confronté à de graves disparités régionales et locales; "ainsi s'est mis au fil des ans à l'intérieur un découpage administratif favorable au développement régional.

A partir de 1974, l'Algérie a les moyens de procéder à une nouvelle réorganisation territoriale afin de ventiler les moyens et les outils de développement à travers le territoire national. Pour ce faire, il fallait rationaliser les structures administratives par une meilleure adaptation aux réalités du pays en optant pour une décentralisation et une déconcentration des pouvoirs administratifs. Le découpage existant ne répondait plus aux aspirations d'un développement rapide des collectivités locales et régionales. Le nouveau découpage de 1974,

intervient à un moment où l'Algérie connaît une industrialisation massive et une urbanisation très forte et très ressentie. Il fallait donc constituer les structures administratives nécessaires qui pourraient subvenir aux grandes transformations spatiales, économiques et sociales.

Il fallait également renforcer l'encadrement de l'arrière-pays afin de détourner les flux des populations rurales vers les principales villes, étouffées par les exodes antérieurs, en direction des strates inférieures. Le remaniement territorial de 1984 est intervenu à un moment où le pays en avait besoin.

Le but était d'atteindre le plus de cohésion spatiale suite aux nouvelles orientations d'ordre économique. Il s'agit également, de réduire les écarts entre les différentes régions du pays suite à la politique coloniale en premier lieu, puis la politique économique des deux premières décennies de l'indépendance où l'accent a été mis sur le littoral et les grands pôles urbains parmi lesquels le pôle de Annaba.

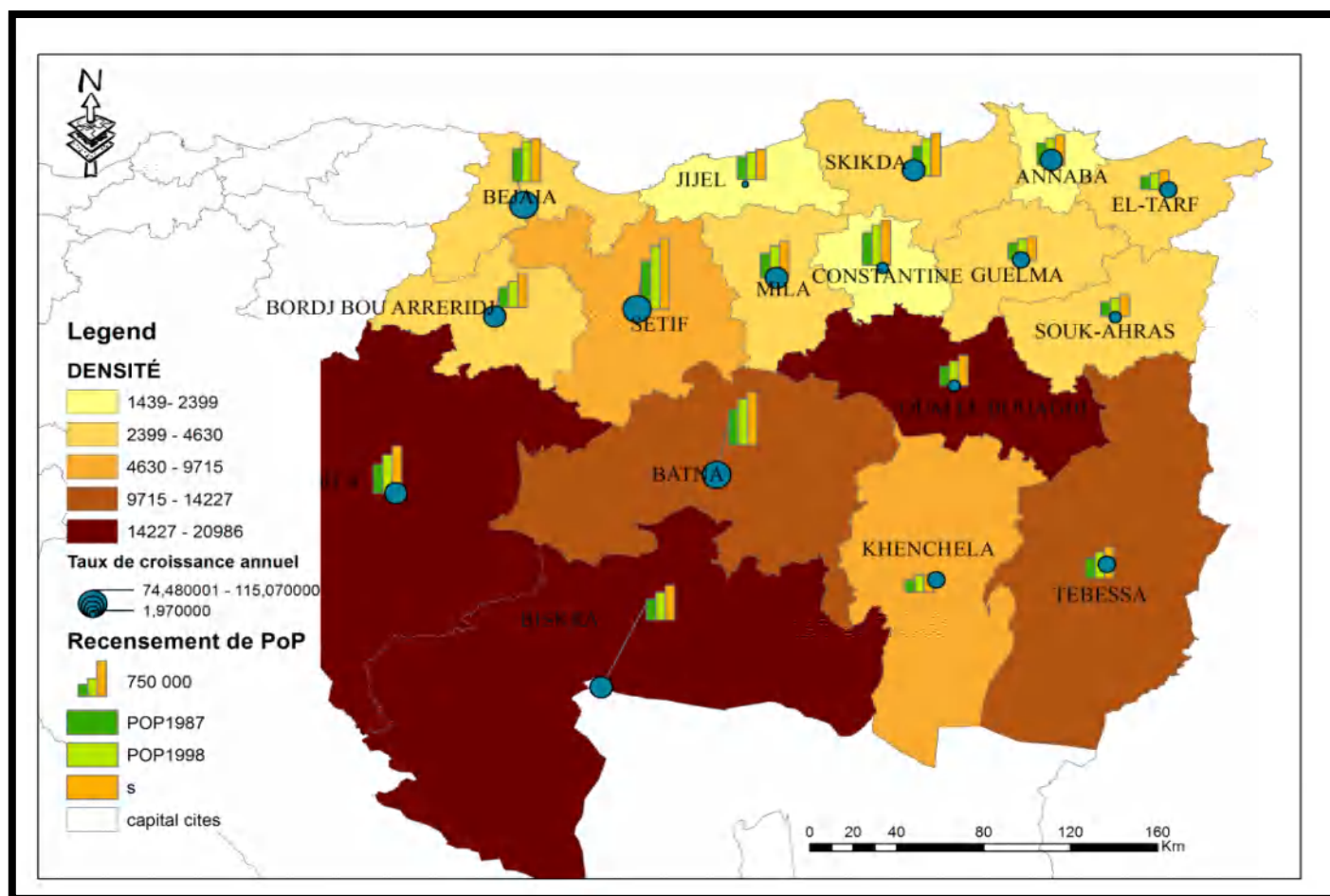


Figure. II.25 : Taux de croissance urbaine et les recensements de population

Conclusion

Au terme de ce chapitre qui présente les fondements géographiques des bassins du Nord-Est Algérien, quelques points caractéristiques sont à relever :

La zone d'étude s'étend d'Est en Ouest et du Nord au Sud sur des ensembles morpho-structuraux bien tranchés (le littoral, la bordure tellienne, l'atlas tellien, l'Atlas saharien et le Sahara) .Leurs caractères morpho métriques,quoique hétérogènes présentent dans leur majorité une sensibilité à l'érosion et de fortes aptitudes au ruissellement.

Du point de vue hydrologique le régime des oueds, conséquence directe du régime pluviométrique, est caractérisé par une alternance, d'étiages sévères, dont les débits sont parfois très faibles, voire nuls.et de crues courtes et violentes souvent à l'origine d'inondations, phénomène auquel nous portons un intérêt particulier dans ce travail.

Avec la croissance démographique, nous assistons à une forte pression anthropique sur les milieux naturels et urbains contribuant ainsi à la dégradation des formations végétales naturelles au profit des cultures, à l'imperméabilisation des sols au niveau des villes impactant en conséquence les écoulements de surface.

A cet effet, la constitution d'une base de données hydrométéorologiques à différentes échelles de temps, constitue une étape indispensable pour l'analyse de l'évolution spatio-temporelle du climat et la relation entre hydrologie, climatologie, géomorphologie et la genèse des inondations que nous allons aborder dans les chapitres suivants.

***CHAPITRE III : EVALUATION DU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE DANS LE NORD
EST ALGERIEN A PARTIR DE L'ANALYSE DES TEMPERATURES***

Introduction

Au cours des dernières décennies, Le réchauffement de la température moyenne mondiale est très net. Selon l'expert climatique (GIEC), l'écart est systématiquement positif depuis le début des années 1980. La décennie 2000-2019 (avec une température supérieure de 0,66°C à la moyenne 1961-1990) a été plus chaude de 0,19 °C que la décennie 2000-2009 (0,47°C au-dessus de la moyenne 1961-1990). Depuis la fin du XIXe siècle la température moyenne mondiale a augmenté de presque 1 °C (0,97 °C pour la moyenne 2010-2019).

En Algérie, de nombreuses études ont montré que les températures sont appelées à augmenter et passer de 1,4 à 5,8 degrés en 2040. L'Algérie du Nord est en effet considérée majoritairement comme une région très vulnérable à risque extrême selon l'index « Climat Change Vulnérabilité » Afin de décrire l'état du Climat actuel, sa dynamique dans le temps et dans l'espace et ses impacts de façon objective, ce chapitre sera consacré essentiellement à l'étude des températures.

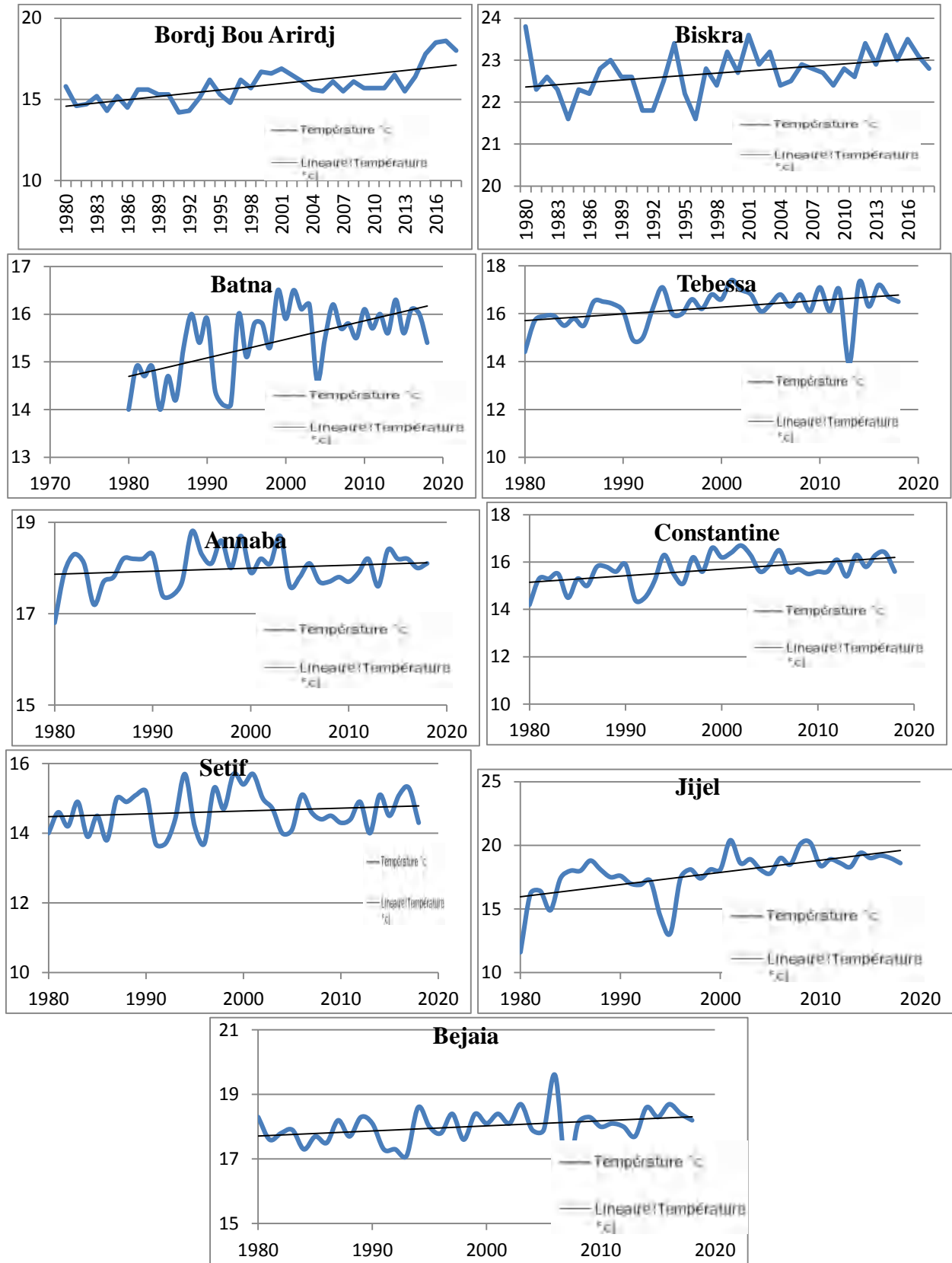
Pour l'analyse des températures, nous avons choisi les stations dont la période de fonctionnement coïncide avec la période d'étude retenue (1980-2018). Ces stations sont au nombre de 09. Les données des températures ont été recueillies auprès de l'ONM et complétées par celles des sites de (<https://fr.tutiempo.net/algerie.html>).

Afin d'évaluer l'évolution des températures, et d'en repérer les éventuelles modifications, une comparaison a été réalisée entre 2 séries de données : la série de SELTZER P.(1913-1938) et la série récente(1980-2018). Le coefficient d'Emberger a été ensuite calculé, et il a été procédé au placement des stations sur le climagramme afin de déceler les écarts réels et mettre l'accent sur les changements de position bioclimatique des différentes stations.

Les températures, de façon générale, selon les nombreuses études réalisées sur l'Est Algérien (Tir, K,2008 ; Tabet.S,2008 ; Laala, A 2016), ont connu une augmentation de plus de 0.5°C. A partir des années 80 une nette augmentation a été observée, les températures ont enregistré en moyenne une augmentation d'environ 0.7°C. Depuis 2002, une tendance à la hausse semble se dessiner.

1. Tendances des températures annuelles

Dans l'Est Algérien, les températures annuelles sont généralement peu variables d'une année à l'autre. Elles oscillent entre 14 et 23°C. Les valeurs les plus élevées concernent les régions du sud (Biskra), celles comprises entre 14,4° et 16°C concernent les régions élevées des hauts plateaux, et celles entre 16° et 20° se situent sur le littoral. (Fig. III.1).



Figur. III.1 : Évolution des températures annuelles dans les stations représentatives (1980/2018)

Ces variations sont contrôlées par trois facteurs physiques: la latitude, l'altitude et la position par rapport à la mer.

La latitude détermine une baisse de température du sud vers le nord, plus rapide à l'ouest (Sétif et BBA) qu'à l'est (Souk Ahras et Tebessa). Sur les côtes, l'effet de la latitude est atténué par l'effet du troisième facteur qui est la proximité de la mer.

Selon ces données, il est constaté que « la dernière décennie (2011-2018) a été significativement plus chaude, avec des températures minimales et maximales en moyenne plus chaudes que les normes des périodes 1913-1938 et 1981-2010 et ce, dans toute la région.

Elles révèlent également une concordance des variations des extrêmes de la température annuelle. Ainsi, par exemple, les années 1987, 1989, 1993, 1999 et 2001 ont été relativement chaudes dans toutes les stations alors que les années 1980, 1983, 1991, 1992, 1996, 2004, 2008, et 2018 ont été relativement froides.

1.1. Variabilité interannuelle des températures minimales

Pour déterminer les ruptures et les périodes caractéristiques, une deuxième procédure est entreprise. Elle consiste à affecter un nombre variant de 1 (année très sèche ou très froide) à 5 (année très humide ou très chaude) suivant les caractères, déjà déterminés, attribués à chaque année. La somme des nombres de toutes les stations pour chaque année est centrée réduite, ce qui permet d'obtenir un indice qui varie de +1,83, pour une année très humide ou très chaude, à -1,83, pour une année très sèche ou très froide. L'indice centré réduit est calculé comme suit :

$$\text{Indice} = (X_i - \bar{X}) / S$$

Où X_i est la valeur de l'année, \bar{X} la moyenne de la série et S l'écart type de la série. 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. (Z.Nouaceur 2013). La valeur calculée de l'anomalie pour les températures varie en fonction de l'année qui a été analysée et de la zone concernée. La plus forte anomalie négative est enregistrée dans la région littorale à la station de Jijel avec -2.26 en 2001 ; pour l'intérieur du pays, la station de Sétif avec -2.25 et Biskra -2.35 durant l'année 2003. La plus forte valeur positive a été affichée au niveau de la station de Sétif, 2.7 durant l'année 2002.

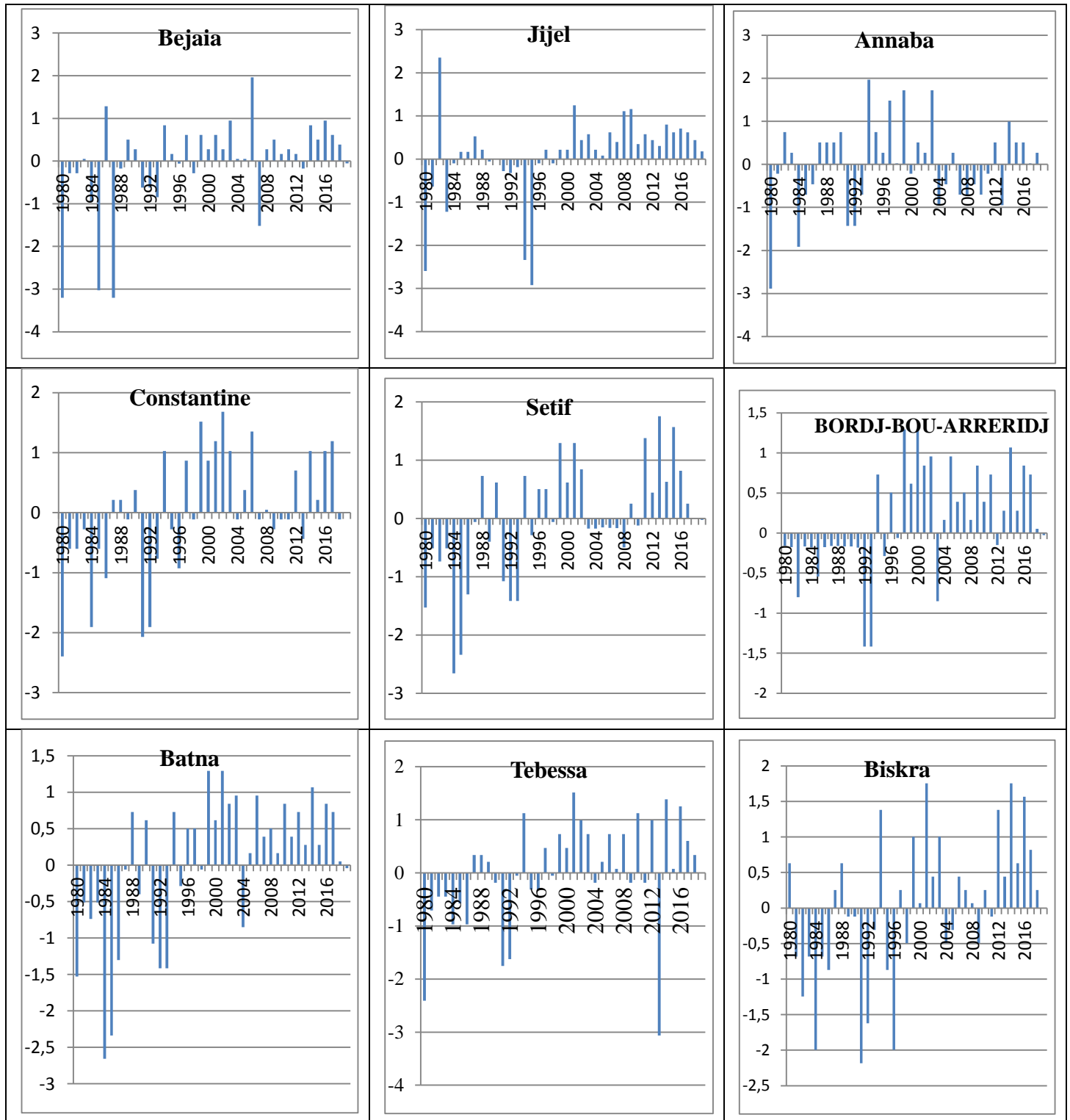


Figure. III.2: Anomalie des températures au cours de la période 1980-2018

1.2. L'étude spatio-temporelle de la température

La température est un facteur limitant qui conditionne pour une large part, la distribution des végétaux et peut déterminer leur productivité et qui peut également influencer les écoulements de surface (évaporation). C'est un paramètre qui varie dans l'espace et dans le temps. La présente étude vise à analyser la variabilité interannuelle des températures et à déterminer particulièrement la tendance de leur évolution dans le Nord Est algérien.

La méthode de la matrice graphique chronologique de traitement de l'information (MGCTI), de type "matrice BERTIN" (Nouaceur et al., 2013), permet de déterminer aisément la tendance des paramètres climatiques. Elle est appliquée aux données de températures dans le Nord Est Algérien, sur une période de 38 ans.

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, si les cyclicités sont manifestes, grâce à l'analyse régionale. Les résultats sont présentés sous forme de tableau et graphique (fig III.3). L'évolution de la température dans le Nord Est Algérien depuis 38 ans montre une organisation des valeurs extrêmes (+1,83 et -1,83).

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

- très sèches ou très fraîches, en dessous du premier quintile ;
- sèches ou fraîches, 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.

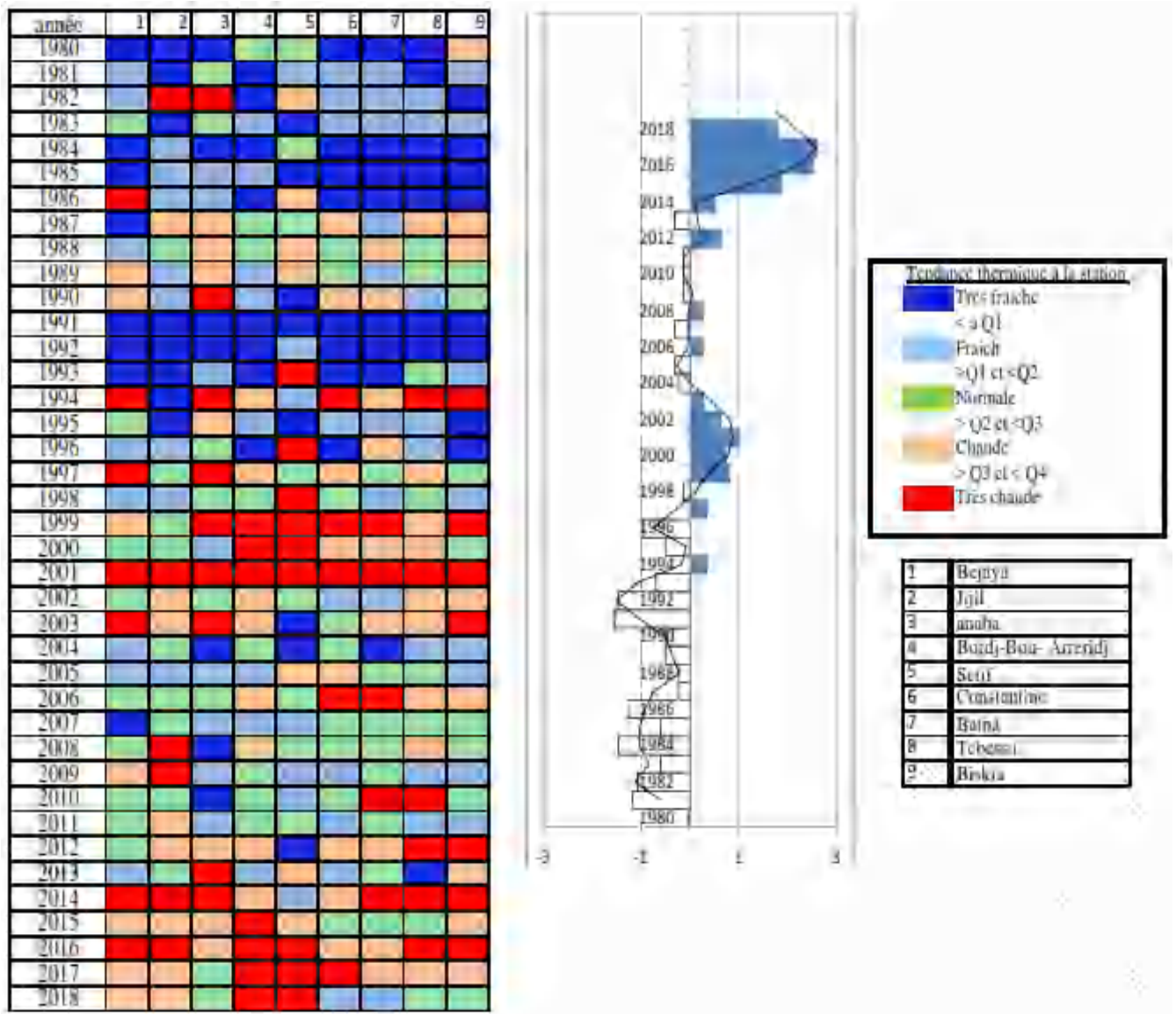


Figure III.3 : Matrice (MGCTI) appliquée aux moyennes annuelles des températures sur la période 1980-2018

Les années 1980-1984 font prévaloir des années très fraîches et fraîches. Avec une certaine exception, (Jijel et Annaba qui sont marquées par des températures élevées durant l'année 1982)

Le période de 1984-1990, est caractérisé par une augmentation des températures .Elle est bien représentée sur l'ensemble des stations.

1991-1993 voit le retour des conditions fraîches et très fraîches. Cette catégorie regroupe 100 % des stations de Nord-Est

La dernière période (1994 à 2018), correspond au retour de la sécheresse, elle se manifeste par un net réchauffement généralisé.

L'analyse détaillée de la matrice de Bertin fait ressortir que les années 1999, 2006 et 2011, sont chaudes dans 100 % des stations.

D'après les graphiques, il en ressort, pour l'ensemble de la région, la dominance des années chaudes (1987, 1989, 1993, et 2001). Le nombre d'années fraîches se situe entre 16 et 20 selon les stations. La zone côtière avec 57% des années (fraîches) connaît un régime climatique de type frais modéré « proche de la moyenne », tandis que la région intérieure (Tell et Hautes plaines) se caractérise par un nombre moindre d'années (chaudes), se situant entre 34 et 45 % des années.

Le maximum des années où les températures ont été inférieures à la moyenne a été enregistré au niveau des stations d'Annaba, Jijel et Sétif, le minimum l'a été dans les stations de Tébessa et Biskra.

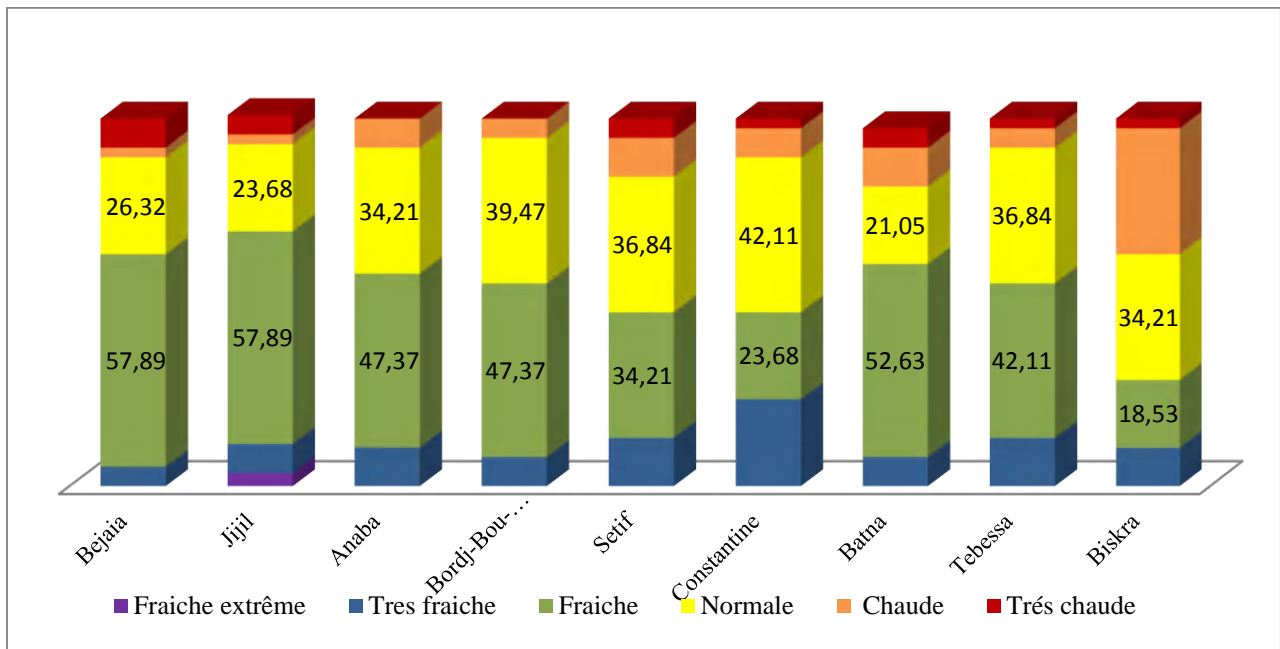


Figure. III.4: Diagramme du pourcentage de l'anomalie des températures

1.3. L'amplitude thermique annuelle

C'est la différence entre la température du mois le plus chaud et la température du mois le plus froid. Cette amplitude est sensible aux conditions climatiques des stations comme le montre le tableau 10.

La valeur de cette amplitude est légèrement supérieure à 25°C dans les régions littorales, alors qu'elle atteint 31°C au Sud (33°C à la station de Tébessa et Biskra), soit une différence de 8°C, entre le nord et le sud.

Tableau .III.1 : Amplitude des températures annuelles (1980-2018).

1913/1938	Mois chauds	Mois froids	Amplitude
Bejaia	4,1	30,2	26,1
Annaba	4,9	30,3	25,4
Jijil	2,3	30,2	27,9
Constantine	2	32,8	30,8
Bbarreridj	0,7	35,6	34,9
Setif	0,4	32,5	32,1
Batna	0,3	33,2	32,9
Tebessa	1,9	34,8	32,9
Biskra	6,4	40,1	33,7

Ainsi, les températures varient peu d'une année à l'autre, toutefois ces dernières décennies, il a été observé une tendance à la hausse de températures moyennes. La comparaison de 2 séries chronologiquement éloignées permet à juste titre d'appréhender ce phénomène.

1.4. Comparaison entre les deux séries d'observation des températures : (1913-1938), et (1980-2018)

L'analyse mensuelle et annuelle de la série de Seltzer (tableau 11, voir l'annexe) et de la série actuelle-va nous permettre d'évaluer avec suffisamment de précision le degré d'élévation des températures. (cf tab n°). De façon générale, une augmentation des températures moyennes pour l'ensemble des stations variant entre 0,4°C et 2,8°C a été relevée

Tableau. III.2: Comparaison températures des deux périodes

	1980/2018	1913/1938	Amplitude
Bordj	15,84	15,15	0,70
Biskra	22,81	21,75	1,06
Bejaia	18,01	16,92	1,09
Batna	15,43	13,82	1,62
Tebessa	16,24	15,89	0,35
Annaba	17,99	16,99	1,00
Constantine	15,67	14,67	1,00
Setif	14,63	13,90	0,73
Jijel	17,77	16,23	1,55

La figure. III.5 montre que l'écart thermique annuel entre les 2 séries est plus important dans les régions intérieures que sur le littoral (1 à 2°C dans les bassins intérieurs, 7 à 9°C dans les

hauts plateaux et jusqu'à 12°C dans le Sud). Cette amplitude relativement importante résulte évidemment du régime thermique méditerranéen caractérisant la région (hiver frais et été chaud).

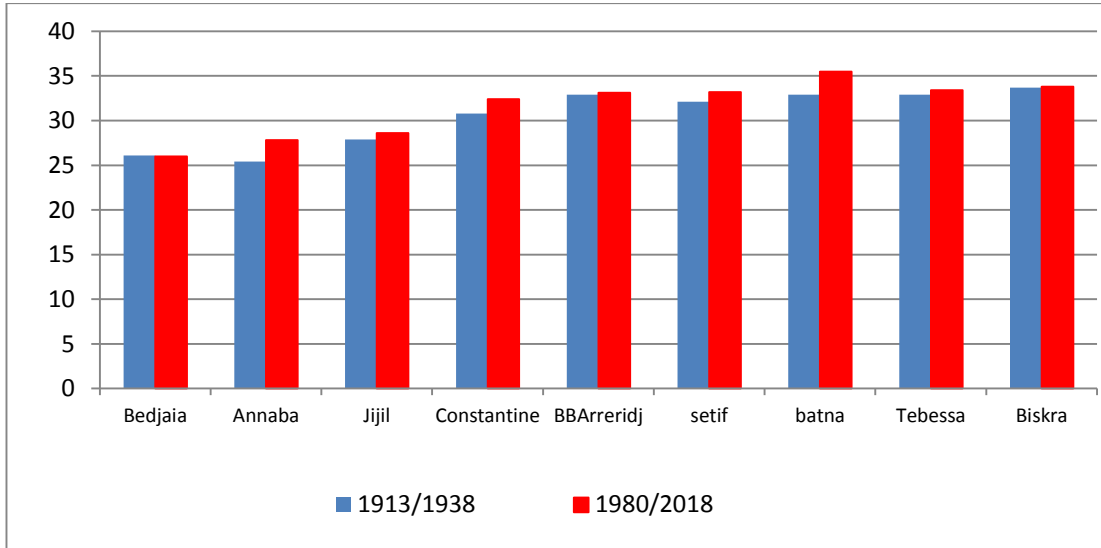


Figure. III.5 : Evolution des températures (1913-1938) et (1980-2018).

2. Températures mensuelles

2.1. Variabilité mensuelle des températures moyennes

L'évolution des moyennes mensuelles des températures minimales et maximales pour toutes les stations analysées, sont représentées par les figures ci-dessous.

L'examen des diagrammes (fig. III.6) montre que les moyennes mensuelles des températures présentent une grande variabilité. Sur la zone littorale les températures vont de 8°C en hiver à 23°C en juillet, et plus de 25° en Août. Pour l'ensemble des stations de l'intérieur, les mois les plus rigoureux sont Janvier et Décembre avec des températures souvent inférieures à 6,5°C, et les mois les plus chauds sont Juillet et Aout 24°C

Au niveau de la région présaharienne, à la station de Biskra par exemple, la température est supérieure à 30°C sur la majorité des mois, sauf pour les mois d'hiver où elle frôle les 13°C.

Selon les diagrammes des deux périodes (tableau. III.2), on remarque que les moyennes mensuelles les plus basses sont enregistrées au cours du mois de janvier pour toutes les stations (13 et 16,8 °c), à l'exception de la station de Biskra qui enregistre la valeur la plus basse le mois de Décembre

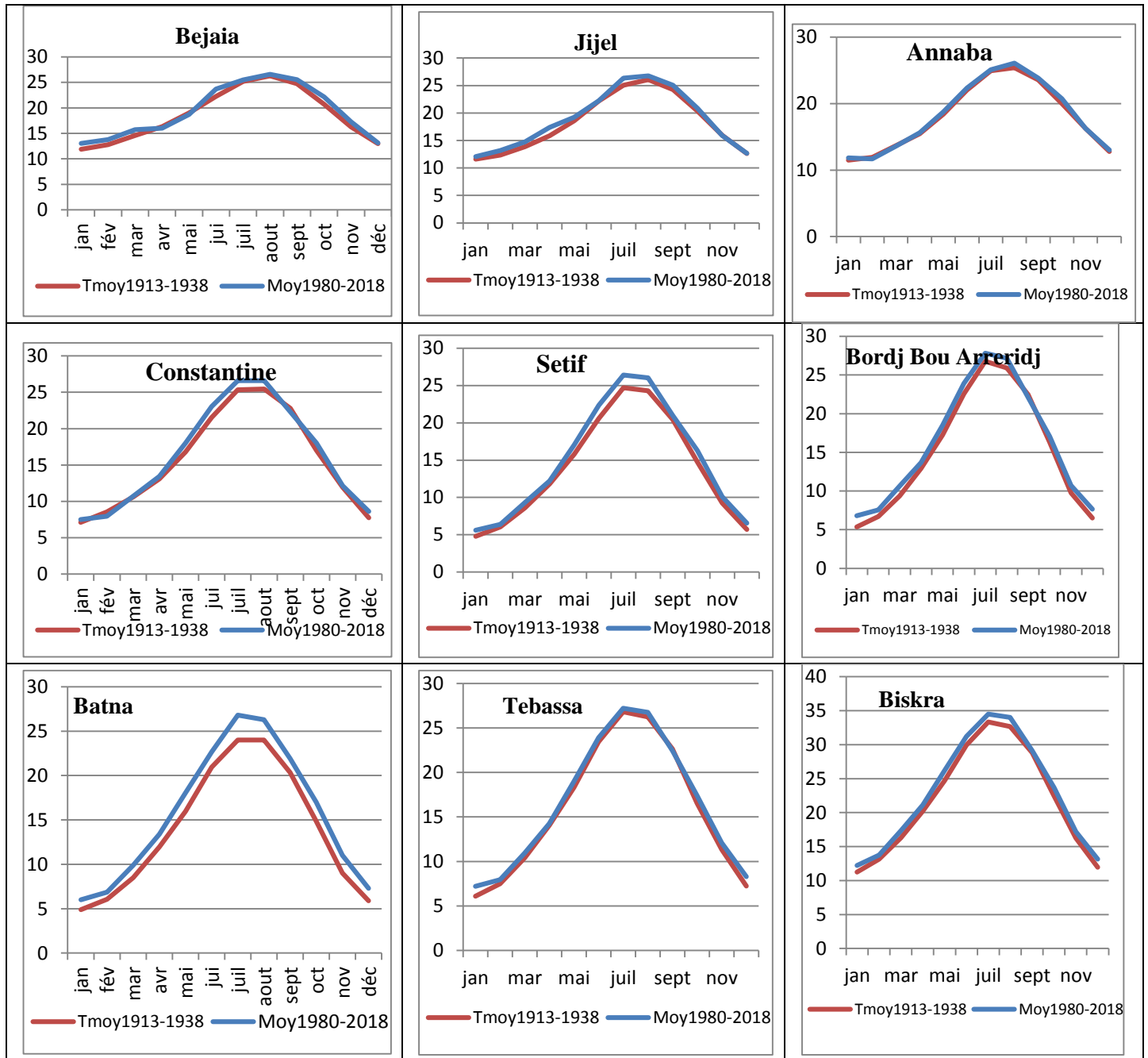


Figure. III.6 : La variation mensuelle des températures moyennes. Les deux Périodes (1913 - 1938)/ (1980 - 2018)

Il faut remettre la courbe de la serie seltzr puisque tu parles de comparaison, ensuite veille à ce que les stations qui figurent dans le ch1 climat de l'Algérie ne soient pas les mêmes. Dans climat de l'Algérie tu peux mettre une station de l'est, une du centre et une de l'ouest.

2.2. Variabilité mensuelle des températures minimales

Pour la série de Seltzer, les mêmes observations sont faites à savoir que les températures minimales moyennes sont observées sur le littoral et la marge saharienne ; Elles sont plus élevées que celles observées dans les stations intérieures et les stations des hautes plaines tout au long des mois de l'année.

L'analyse a montré que les plus basses températures sont enregistrées en janvier dans toute la région, où les températures minimales moyennes allaient de 7 à 9 degrés Celsius dans les stations côtières et la station de Biskra, et de 0,5 à 2 degrés Celsius dans d'autres stations continentales. La station de Guelma donne des valeurs médianes de 4,8 °C. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées en août dans toutes les stations, à l'exception de Sétif et B.B.A (Juillet). Dans les stations côtières, les moyennes oscillent entre 20 et 22 °C tandis qu'aux stations continentales elles oscillent entre 17 et 19 °C. La station de Biskra située dans l'Atlas saharien méridional a une valeur élevée de 27,4 °C probablement due à l'influence subtropicale

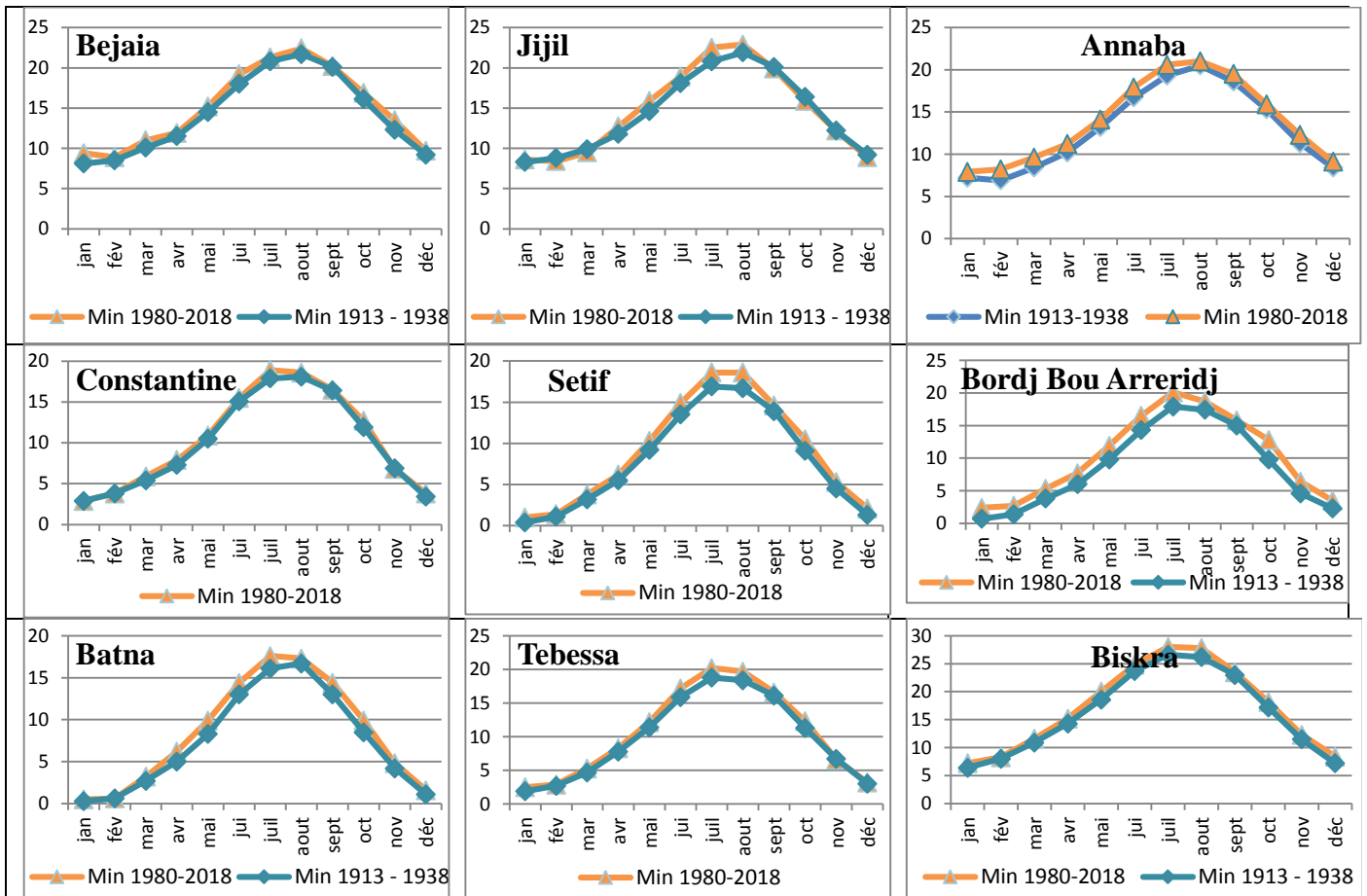


Figure. III.7 : La variation mensuelle des températures minimales absolues. Les deux Périodes (1913 - 1938)/ (1980 - 2018)

2.3. Variabilité mensuelles des températures maximales

En ce qui concerne le maximum mensuel moyen enregistré au mois d'Août dans les stations côtières, il oscille entre 29 et 31,3 °c, et pour les stations continentales, il oscille entre 33 et 44 °c au mois de Juillet.

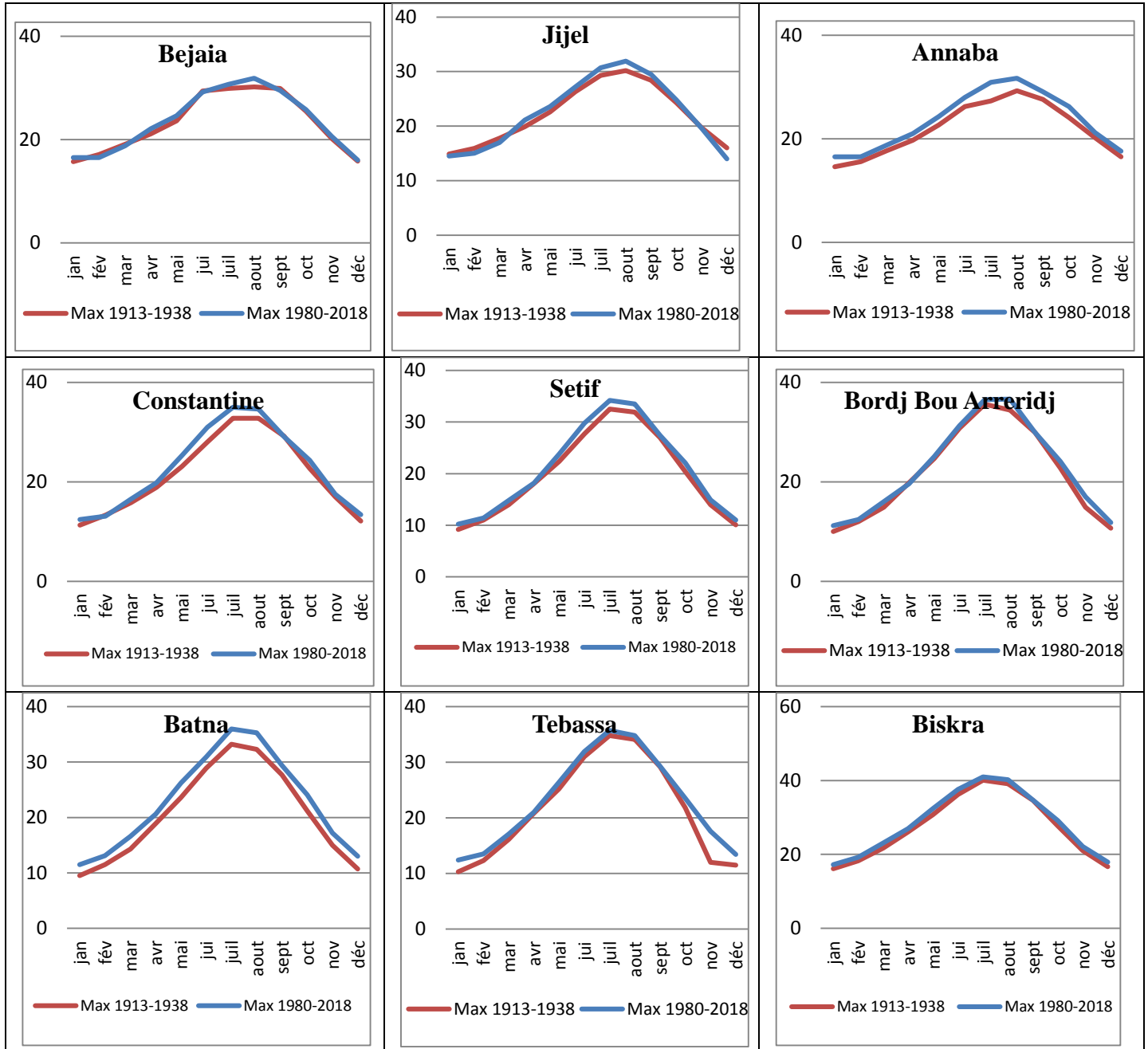


Figure. III.8 : Variation mensuelle des températures moyennes maximales. (1913 - 1938)/ (1980 - 2018)

Nous avons procédé à l'analyse de l'évolution des températures normales entre deux séries d'observations : la série de SELTZER P. (1913-1938) et la série (1978-2004), à fin de déceler les écarts éventuels et mettre l'accent sur les changements et les fluctuations de la température moyenne annuelle s'ils ont lieu. Cette comparaison concerne toutes les stations étudiées à l'exception de la station d'O.E.B (absente dans la série de SELTZER).

Au niveau des températures moyennes annuelles, les températures observées de la période (1978-2004) sont supérieures à celles de la série de SELTZER (1913-1938) (Annex.2) dans la plupart des stations. Le réchauffement a été de l'ordre de 1.2°C à Skikda, 1°C aux stations de Batna et Souk-Ahras, et 0.5°C à la station de Biskra. La station de Bejaia présente un écart de l'ordre de -0.97°C.

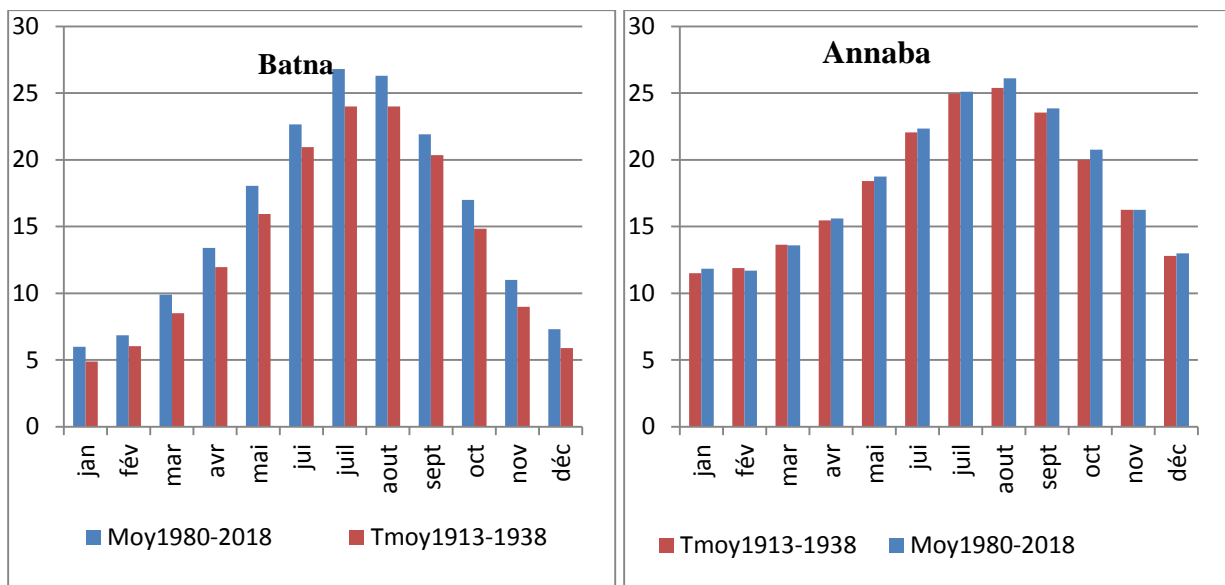


Figure. III.9 : Comparaison entre deux séries d'observation

3. Températures saisonnières

La température saisonnière est un facteur limitant, déterminant très important car elle contrôle tous les phénomènes naturels, particulièrement les cycles végétatifs, et en conséquence les écoulements qui dépendent en partie du taux de couverture végétale

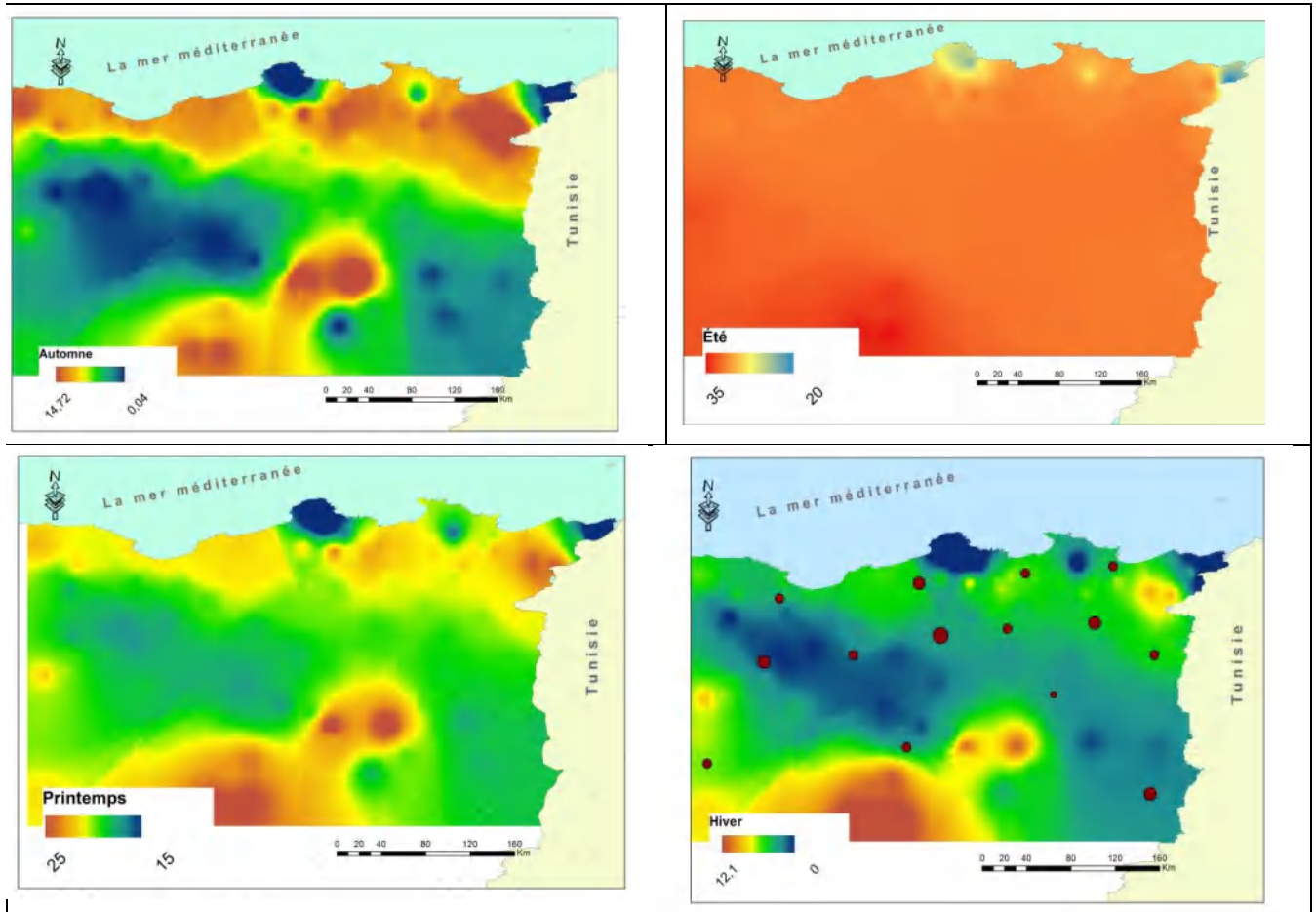


Figure. III.10: Températures saisonnières : Hivernale, Printanière, Estivale et Automnale

La figure III.10 montre la variation spatiale de la température moyenne des quatre saisons dans l'est de l'Algérie pour la période (1980-2018).

Le Nord Est Algérien est dominée par un régime thermique méditerranéen, chaud à très chaud en été, y compris en altitude, allié à la douceur relative hivernale procurée par la mer. Les températures moyennes mensuelles se situent entre 25 °C et 11 °C.

Au nord, dans les villes côtières, les températures hivernales varient entre 8 °C et 15 °C. Elles grimpent à 25 °C Au printemps et 14°C en Automne pour atteindre une moyenne de 28 °C à 30 °C En été (28°C à Skikda). Toujours au Nord, dans les montagnes de Kabylie, la température avoisine les 3°C voire -7 °C en hiver.

Dans la zone des Aurès, les hivers sont très froids, la température atteint parfois les -18 °C sous abri. Les étés sont très chauds. Le thermomètre affiche parfois 45 °C à l'ombre. Les variations de température sont très importantes dans cette région de l'Algérie. La température estivale varie de 30 °C à 38 °C.

« La diminution du Nord vers le Sud des températures saisonnières, est liée essentiellement à l'altitude, mais aussi à cause de l'effet des vents du sud et de la continentalité de la région semi-aride. ».

Sur la période 1981-2018, la hausse est observée pour l'ensemble des saisons avec toutefois des disparités régionales et saisonnières comme le montre le tableau 6. Les zones bioclimatiques saharienne (Biskra) et aride (Tebessa, Batna...) ont été les plus touchées par cette augmentation (bien que le taux de croissance le plus élevé soit enregistré pour les températures printanières de la zone semi-aride avec 2,76°C). Les zones humides et subhumides ont connu la moins forte augmentation de la température avec un minimum de 0.18°C pour la station de Annaba en hiver.

Tableau. III.3 : Ecart des températures moyennes saisonnières (°C) entre les deux périodes 1913-1938 et 1980-2018.

/	Automne	l'hiver	le printemps	Été
Skikda.	0,88	0,48	1,17	0,08
Jijel	0,10	0,47	0,45	0,10
Annaba.	0,27	0,18	0,52	0,07
Constantine	0,70	0,20	1,60	0,93
Bordj Bou Arreridj	1,23	1,22	2,03	0,93
setif.	1,53	0,68	1,73	1,35
Souk Ahras	0,45	0,48	0,57	0,10
Gualma	0,30	1,08	1,40	0,52
Batna	2,17	1,18	2,57	2,62
Tebassa	1,10	0,80	1,35	0,30
Biskra	1,00	1,08	1,60	0,92

Les structures spatiales observées pour les températures minimales et maximales saisonnières sont très proches de celles obtenues pour les températures moyennes et ne sont donc pas présentées en détail dans cette section.

4. Synthèse Bioclimatique

Cette synthèse est établie à partir des travaux d'Emberger, (1930-1955), appliqué sur nos données météorologiques dans le but d'apprécier le climat de la région d'étude et son évolution

4.1. Classification d'Emberger

Cet indice a pour but de définir les cinq différents types de climats méditerranéens, depuis le plus aride, jusqu'à celui de haute montagne.

Etabli pour 2 périodes différentes, il permet de visualiser le déplacement d'une station, d'un étage à l'autre.

Quotient pluviométrique d'Emberger

$$Q = 2000Pa / (M^2 - m^2)$$

ou $Q = 1000 Pa / ((M+m)/2) (M-m)$

Pa : Précipitation moyenne annuelle en mm.

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud (C°).

m : Moyenne des minima du mois le plus froid (C°).

$$1K = T_c^\circ + 273$$

La combinaison des valeurs « Q » et « m », va permettre de définir l'étage bioclimatique.

Tableau. III.4: Les valeurs du quotient d'Emberger (1980/2018)

Stations	P mm	T max	T min	Q
Jijel	1099,2	26,8	12,4	146,13
Setif	452,8	26,4	5,6	75,32
B Bou Arreridj	392,6	27,8	6,8	64,39
Constantine	548,2	26,6	7,5	98,95
Annaba	600,37	26,1	11,7	142,81
Biskra	195	34,4	12,2	29,64
Batna	352,5	26,8	6,4	59,66
Tebessa	445,3	27,2	7,2	76,72
Bejaia	954,6	27.9	7	141

Les calculs réalisés sur la période (1980-2018). Permettent de déterminer la présence de 4 étages bioclimatiques dans le Nord-est Algérien : (voir fig. III.10),

- Les étages bioclimatiques humide et subhumide chauds, situés dans la partie littorale allant de Bejaia, Jijel, jusqu'à El Tarf.
- L'étage subhumide frais, situé dans les Hautes Plaines telles que Setif, Constantine, Bourdj Bou Ariridj, et Mila
- L'étage bioclimatique semi aride dans l'ensemble des Hautes plaines et versant nord de L'Atlas saharien, en raison de l'effet orographique et de leur exposition, Ces zones sont caractérisées par une pluviométrie moyenne et des températures élevées
- L'étage saharien est évidemment le moins bien servi à ce niveau, car il relève intégralement du domaine aride, pour les deux stations d'étude situées dans Atlas saharien (M'silla, Biskra).

Tableau. III.5 : Comparaison du Q2 entre deux période ; (1913-1938) et (1990-2011)

Stations	Q (1980/2018)	Tmin	Q(1913/1938)	Tmin
Jijel	156,13	10	217,47	8
Annaba	100,81	8,8	127,69	8
Biskra	19,64	7	19,08	6
Batna	39,66	0,5	41,66	0,2
Constantine	51,95	2,9	61,79	3
Tebessa	37,72	1,3	40,73	1,9
Setif	45,32	2	50,08	1,8
Bordj Bou Arreridj	39,39	2,2	48,40	1,2
Bejaia	121	7,5	159,88	7,65

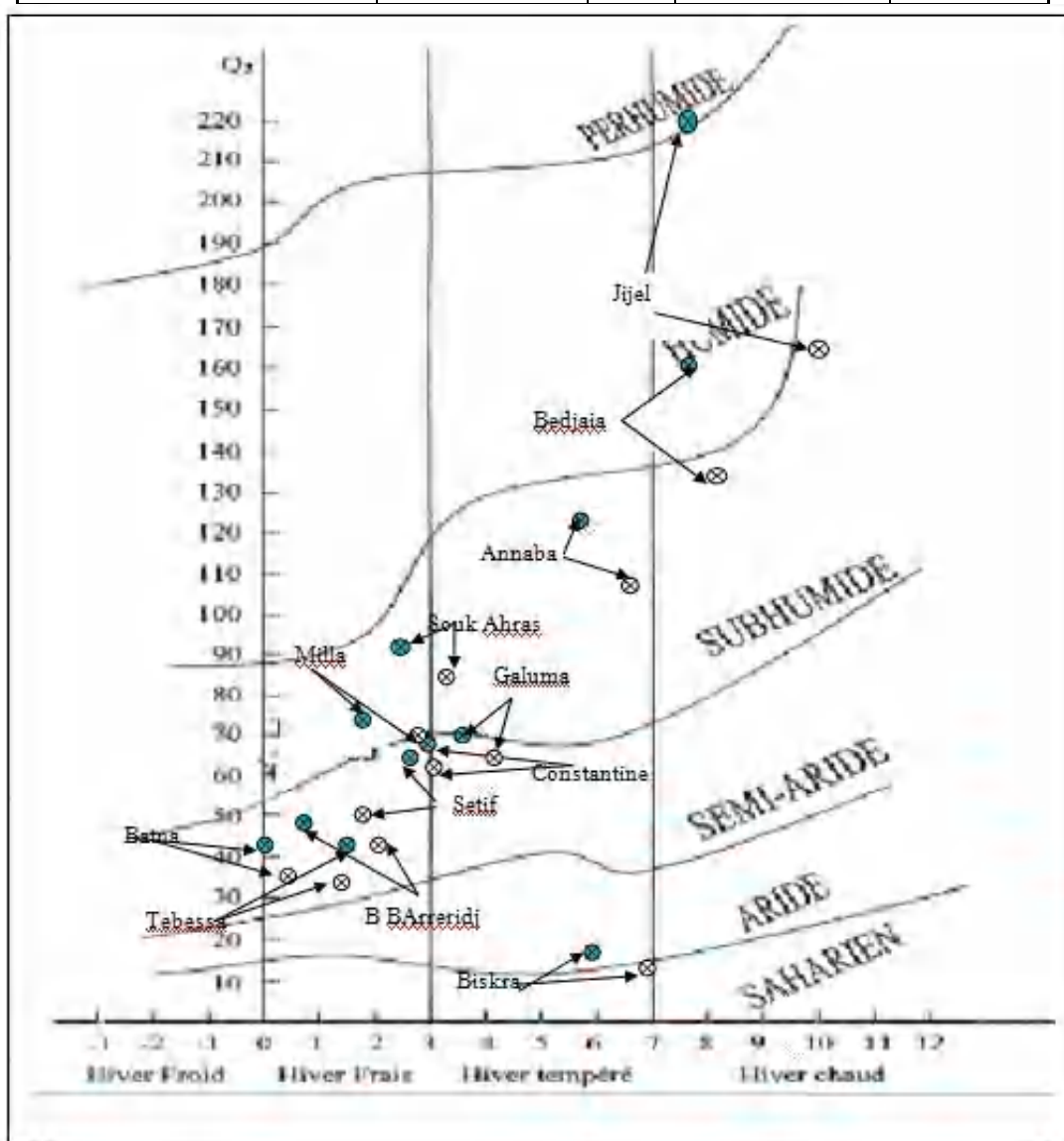


Figure. III.11: Comparaison du Q2 entre deux période ; (1913-1938) et (1990-2011)

A travers l'étude du coefficient d'Emberger sur deux périodes différentes nous constatons une modification dans le positionnement des stations : des déplacements verticaux et horizontaux des stations sont relevés :

Les glissements verticaux s'observent soit dans le même étage bioclimatique, en passant d'une subdivision vers une autre, c'est le cas Annaba qui glisse légèrement dans le même étage Subhumide, et de la station de Batna qui glisse de l'étage semi-aride supérieur au semi-aride inférieur, et Tébessa qui glisse du semi-aride moyen vers l'inférieur.

Ils peuvent se produire d'un étage vers un autre c'est le cas des stations de Jijel qui glisse du per-humide inférieur vers Subhumide supérieur, Bejaia qui glisse de l'étage humide inférieur au sub-humide supérieur, Mila de subhumide inférieur vers le semi-aride supérieur.

Un décrochement d'une variante thermique à une autre est constaté au niveau de certaines stations, comme à la station de Galam, qui glisse dans le même étage humide d'une variante semi-aride supérieur à la variante semi-aride moyenne.

Des variations latérales s'observent également, dans les stations des Hauts plateaux comme B.B.A qui conserve la même étage climatique semi-aride, ou de Souk-Ahras qui conserve le même étage mais passe de l'hiver frais à l'hiver tempéré, ou encore de Biskra (hiver tempéré à hiver chaud).

Les déplacements verticaux sont plus fréquents dans la plupart des régions littorales, telliennes et le piémont Sud de l'Atlas Saharien, ce qui de façon générale traduit une hausse des températures et une baisse de la pluviométrie. Le déplacement latéral est principalement observé sur les hauts plateaux et les bassins intérieurs, traduisant le plus souvent une augmentation de la valeur des températures minimales

Dans le schéma (fig.III.10), les distributions des stations convergent dans la même direction ; Les stations littorales se dégradent dans le sens horizontal (vers l'aridité) et les stations de l'intérieur se déplacent vers la droite (de plus en plus chaudes).

On peut dire que le climat méditerranéen affectant la rive Sud de la Méditerranée évolue vers un état d'aridité croissante.

Conclusion

Dans ce chapitre pour appuyer notre problématique de l'évolution du climat du Nord-est Algérien, nous avons utilisé les paramètres thermiques tels que les températures (maximale, minimale et moyenne) sur une période d'observation de 38ans (1980/2018) et nous avons utilisé la période de seltzer (1913/1938), à titre comparatif

Pour les moyennes des températures annuelles, le réchauffement est perceptible. Il Imprègne toute la région, les écarts les plus conséquents sont observables au niveau de la station de Guelma

avec 2,05 °C, et dans toutes les stations de hautes plaines (Sétif, Batna, Tébessa et Bord Bou Arreridj). L'écart le plus faible est présent dans la station d'Annaba et celle de Bejaia. L'année 1969 et 2003 présente une hyper humidité par contre l'année 1997 et l'année 2010 sont les deux années les plus chaudes pour tout le Nord Est de l'Algérie.

La Classification des stations sur le climagramme d'Emberger pour les 2 périodes différentes a permis de visualiser les modifications survenues dans la région : la majorité des stations a subi une migration soit dans le même étage bioclimatique, soit d'un étage à un autre ou d'une variante hivernale à une autre.

CHAPITRE IV : ANALYSE DES PLUIES ET DES DEBITS

Introduction

Connaître l'évolution et la variabilité récentes du climat, est une nécessité pour anticiper ce que pourraient être les conséquences sur les milieux hydriques notamment pour la gestion des systèmes hydrologiques, la prévision de débits et la gestion des risques liés à l'eau comme les inondations.

Ce chapitre a pour objectif d'analyser les relations de la variabilité hydroclimatique à travers certains indices comme l'indice de concentration (CI) de pluie journalière, et l'indice de la concentration des précipitations annuelles PCI

L'évolution de ces indices pluviométrique et hydrométrique sur l'ensemble de la région, indiquent respectivement les changements des états hydroclimatiques, et le déficit d'écoulement. L'étude de la structuration de la variabilité des débits qui est indispensable pour la détermination du risque inondation a été abordée, afin d'en saisir l'origine, climatique ou interne aux bassins versants (milieu physique). Les principaux modes de variabilité observés sont dans un premier temps, comparés à ceux observés dans les précipitations. L'utilisation par la suite, des ondelettes basées sur l'analyse spectrale, et qui représente un outil efficace, permettra d'identifier non seulement les fréquences temporelles, mais encore de caractériser et d'identifier ces modes de variabilité (pluies et débits).

1. Étude des caractéristiques pluviométriques

1.1. Les précipitations et leur évolution annuelles

L'ensemble des recherches sur la pluviométrie, montrent que la répartition de la pluie est basée sur quatre influences : celle de l'altitude, la topographie, la longitude et enfin celle de l'éloignement à la mer. Nous tiendrons compte de l'ensemble de ces influences dans le choix de nos stations. Ainsi 55 stations suffisamment représentatives du Nord-Est Algérien ont été retenues.

Le Nord-Est algérien est caractérisé par une diminution de la pluie moyenne mensuelle au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral. Les régimes pluviométriques expriment un maximum de précipitations supérieur à 1800mm/an dans les côtières constantinois et un minimum de moins 60 mm/an dans les Hauts plateaux.

L'analyse statistique des données (Moyenne, écart-type, et coefficient de variation des séries Pluviométriques (Annexe 1) met en évidence la très grande variabilité spatio-temporelle des précipitations de la région.

1.1.1. Évolution temporelle des précipitations annuelles

L'étude temporelle des précipitations porte sur la période 1969-2013 et concerne 55 stations, mais pour des raisons pratiques, seules 13 stations suffisamment représentatives de la région, ont fait l'objet de représentation graphique.

Les graphiques visualisent les variations des pluies annuelles et mettent l'accent sur les valeurs moyennes, ainsi, ils font apparaître une inégalité dans la distribution spatiale de la pluviométrie de la région. Deux périodes caractéristiques se détachent : la période 1969-1995 qui est déficitaire, et la période 1995-2008 où l'on enregistre une nette augmentation des précipitations.

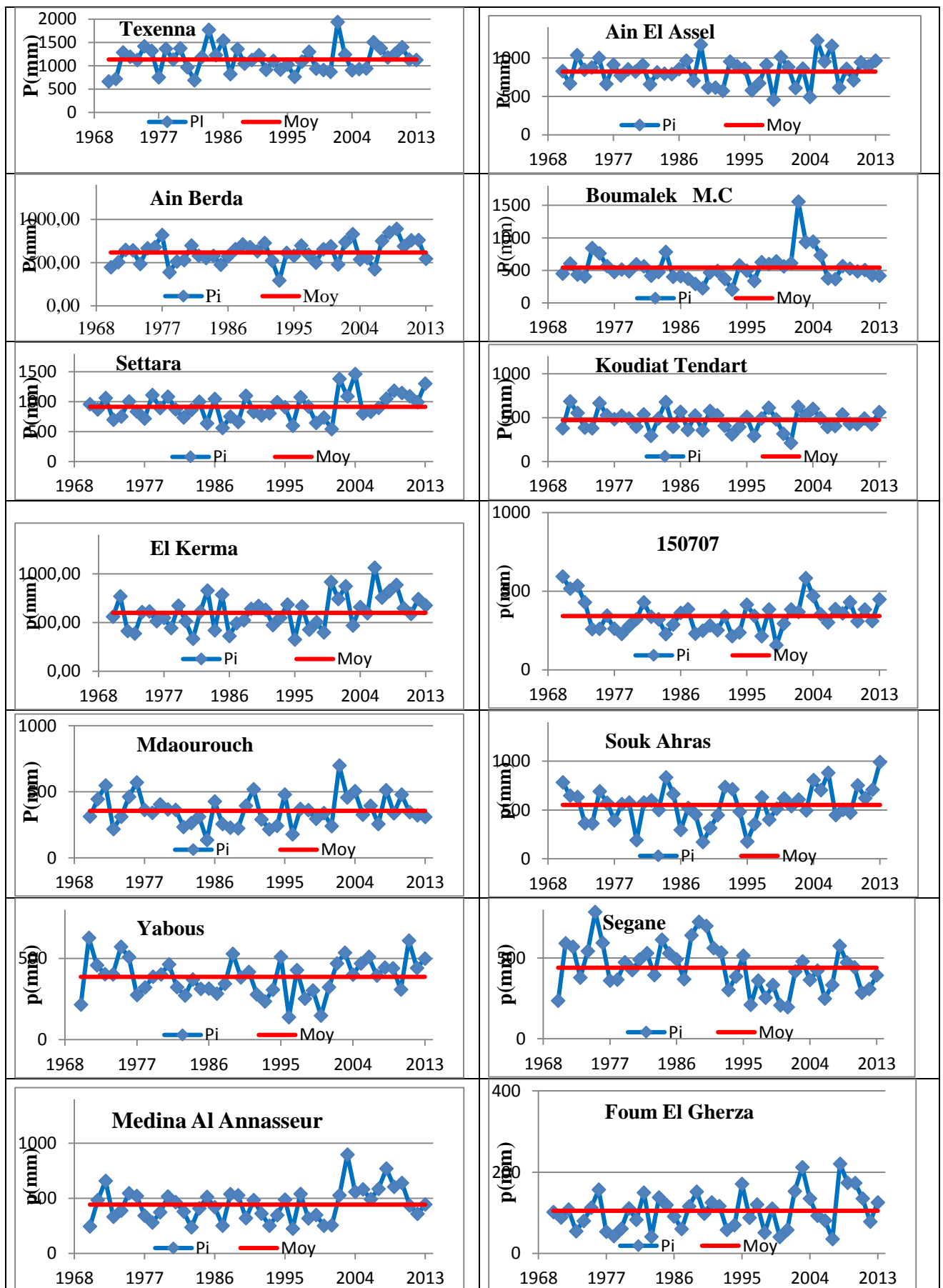


Figure.IV. 1 : Évolution des précipitations annuelles, stations du N-E algérien (1969/1970-2012/2013)

La figure. IV.1 montre une grande irrégularité pluviométrique interannuelle. Sur les 43 années d'analyse, 45% des années ont enregistré un volume de pluie inférieur à la moyenne et 48% un volume supérieur à la moyenne.

Cette dernière s'élève à 700mm dans les stations du littoral, elle varie entre 300 et 500 mm pour les stations des Hauts Plateaux, et ne dépasse pas 150mm pour les stations sahariennes.

L'évolution générale se fait en dents de scie, mais une certaine périodicité semble se dégager :

- Une période (1970-1985) marquée par des années humides avec un minimum Pluviométrique observé en 1982

- une période sèche, (1985- 2000) correspondant à des années sèches et à une période de réchauffement. La catégorie des années chaudes et très chaudes est bien représentée sur l'ensemble des stations

- Une période (2000- 2013), où l'on voit une reprise à la hausse des précipitations.

On observe également, deux années exceptionnelles 2002/03 et 2007/2008 qui marquent respectivement les années les plus sèches et les plus humides dans la région étudiée.

1.1.2. Distribution statistique des pluies annuelles

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

L'expression de la loi racine-normale se formule ainsi :

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

Avec : $u = \frac{x - \sqrt{P}}{\sigma\sqrt{P}}$

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

u : Variable réduite de Gauss ;

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

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

P : Pluie en dixièmes de millimètres

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

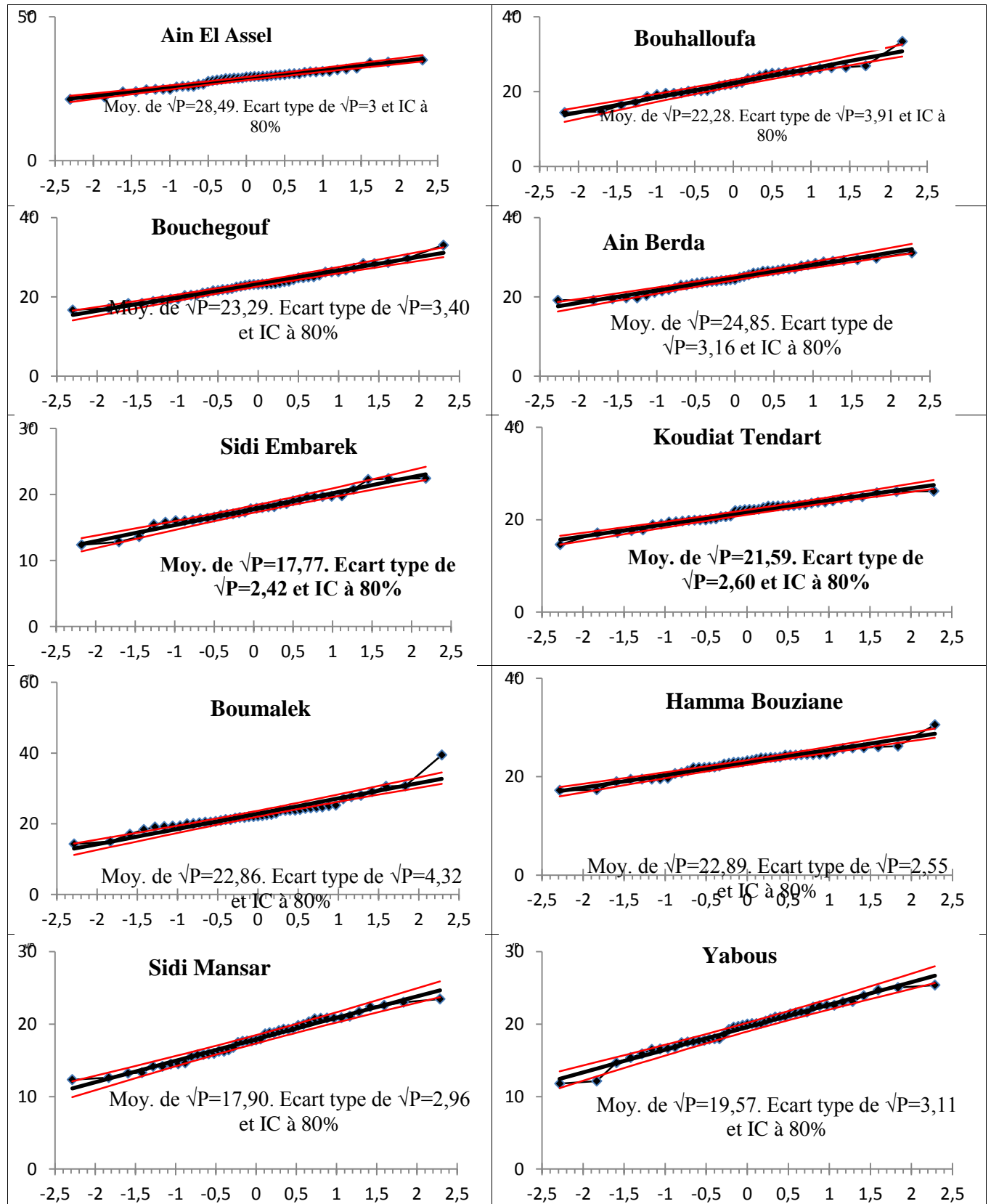


Figure. IV.2: Ajustement à la loi Racine-normale des précipitations annuelles, stations du N-E algérien (1969/1970-2012/2013)

Les pluies annuelles s’ajustent en général suivant une loi racine normale (Figure. IV.2). L’estimation numérique des pluies fréquentielles en année humide et en année sèche, se fait en appliquant l’équation de la variable réduite de GAUSS, soit, en transformant les moyennes en racines carrées.

Les quantiles estimés pour les différentes stations des bassins du Nord Algérien, et pour les probabilités de retour retenues, sont présentés dans le Tableau. A titre d’exemple, la pluie décennale sèche (fréquence 0,1) est de 387.92 mm pour la station d’Ain Assel (Située dans le Nord) et 181.34 mm pour la station de Sidi Wadah (située dans le sud).

Quant à la pluie décennale humide (fréquence 0,9), elle est respectivement de 1260 mm et 361.35mm.

Tableau. IV.1 : Précipitations annuelles fréquentielles, stations du N-E algérien (1969/1970-2012/2013)

Station	P (année sèche) (mm)			P (mm)	P (année humide) (mm)		
	T= 100 ans f = 0,01 U=-2,327	T= 50 ans f = 0,02 U=-2,054	T= 10 ans f = 0,10 U=-1,282	T= 2 ans f = 0,5 U=0	T= 10 ans f = 0,90 U=1,282	T= 50 ans f = 0,98 U=2,054	T= 100 ans f = 0,99 U=2,327
	Ain Assel	462.52	674.43	607.49	812.24	1046.68	1202.28
Bou Halloufa	173.47	202.98	298.17	496.41	744.91	919	984.68
Bouchegouf	236.25	265.66	358.34	542.70	765.18	917.64	974.76
Ain Berda	305.52	336.47	432.26	617.69	836.11	983.66	1038.61
Sidi Embarek	147.42	163.88	215.23	315.88	435.78	517.32	547.78
Koudiat Tendart	241.28	263.84	333.23	466.25	621.56	725.91	764.67
Boumalek	163.87	195.44	299.94	522.59	806.66	1007.47	1083.86
Hamma Bouziane	287.05	311.16	384.76	524.13	684.99	792.30	832.05
Sidi Mansar	121.45	139.89	199.18	320.66	470.92	575.35	614.72
Yabous	152	173.65	242.81	383.12	555.29	674.40	719.22
Daourouche	134.10	154.05	218.07	348.80	510.09	622	664.20
Sidi Wadah	140.69	150.80	181.34	238.25	308.90	345.61	361.35
Oued chelih	185.50	217.81	323.41	544.58	823	1018.48	1092.45
Guelma	212.23	240.96	328.71	504.35	717.45	863.93	918.88

1.1.3. Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales

La probabilité fournit la réitération des principaux éléments de l'analyse de la fréquence des précipitations. En hydrologie, l'analyse de la fréquence des précipitations est utilisée pour :

- Une étude d'estimation de l'intensité des précipitations qui sera utilisée dans les ouvrages de dimensionnement ou dans la gestion de l'eau des bassins versants
- Un événement pluvieux observé, une estimation de la fréquence de son occurrence
- Permettre d'évaluer la performance des ouvrages et le niveau de protection contre les risques d'inondation

Les échantillons de pluies journalières maximales sont analysés statistiquement à l'aide du programme Hydrolab développé sous forme de macros sous Excel 2010 (Fig. IV.3).

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

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du, \text{ du l'équation de GALTON s'écrit alors : } u = a \log(Q - Q_0) + b$$

a et b peuvent être représentée par :

$$a = \frac{1.517}{\sqrt{\log\left(1 + \frac{8Q^2}{(Q-Q_0)^2}\right)}} \quad b = \frac{1.1513}{a} - a \log(\bar{Q} - Q_0)$$

Q_0 : Paramètre de position, estimé sur graphique.

La variation de PJ max entre les stations du Nord-est, reflète l'effet de trois facteurs : la longitude, l'altitude et la position par rapport à la mer.

-La position par rapport à la mer détermine une décroissance des valeurs des quantiles de 2 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans du Nord vers le Sud. On peut prendre un exemple pour les valeurs centennales, le cas de la station Ain El Assel, située dans le Nord, avec une valeur 132mm. et le cas de la station de Meskiana située au Sud dans un milieu semi-aride, avec 74mm).

-La longitude indique une régression de la valeur des quantiles de l'Ouest vers l'Est, par exemple les stations de Marouana (Wilaya de Batna) situées respectivement à (5,62° LongN) et Souk-Ahras à (7.90° long N) ont les valeurs centennales respectives de 109mm et 88mm.

-L'altitude montre une majoration de la valeur des quantiles avec l'élévation. Plus l'altitude est importante, plus la valeur est importante, exemple de Sidi Embarek dont la valeur centennale de retour est de 77.43mm à 1000m d'altitude, située sur la côte, et de Merouana, située sur les flancs du djebel 1400m, la période centennale est 109.35mm.

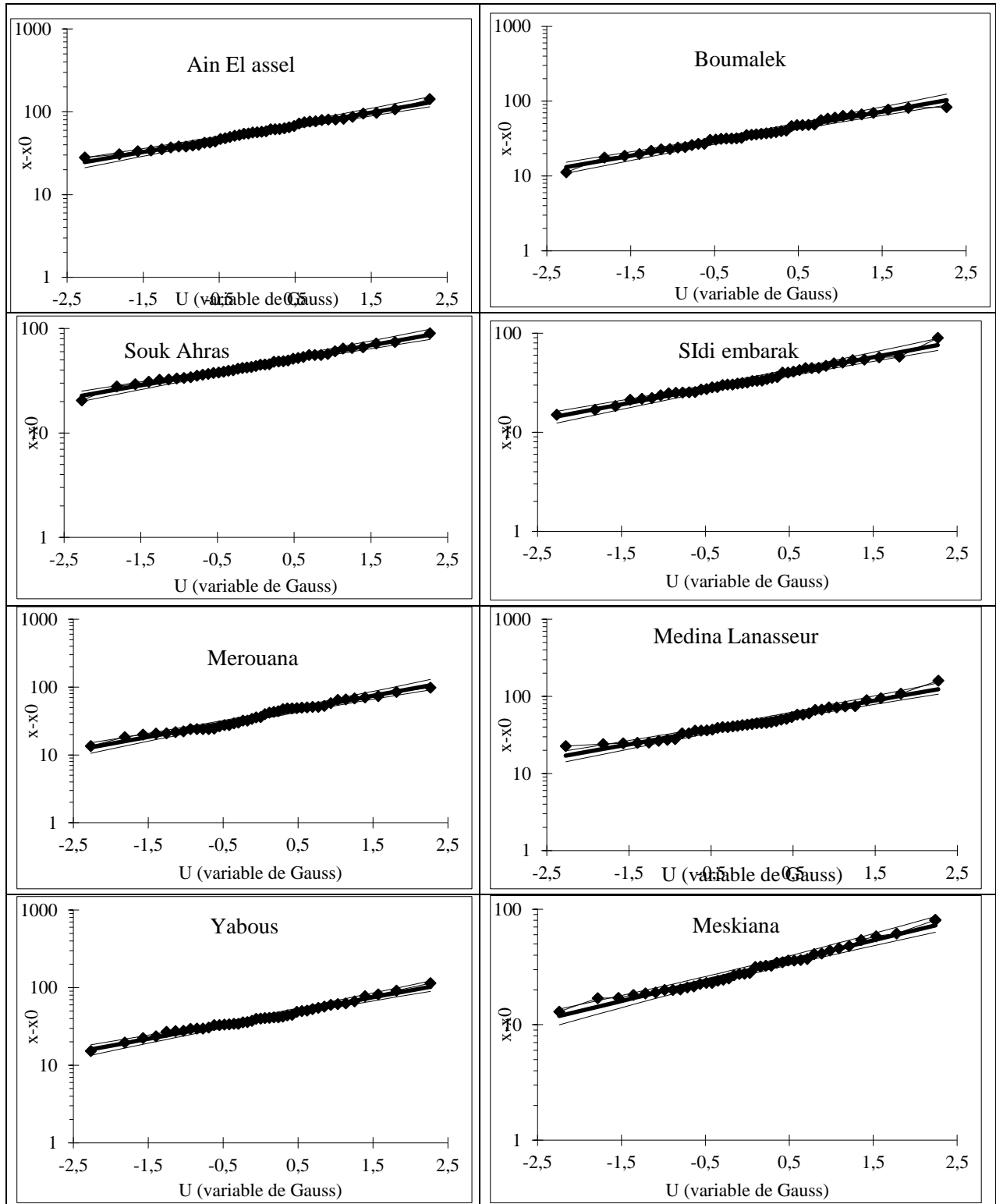


Figure. .IV.3 : Ajustement des PJ max à une loi de probabilité de Galton N-E (1969/70-2012/13)

Tableau. IV. 2 : Pluies journalières maximales fréquentielles N-E (1969/2012)

Fréquence	Période de retour	Ain El Assel	Medina Lanasseur	Merouana	Sidi Embarak	Boumalek	Yabous	Souk Ahras	Meskiena
0,5	2	56,6	45,95	37,06	33,08	36,75	40,53	44,52	29,36
0,8	5	77,03	66,42	54,81	45	53,78	57,25	57,08	41,21
0,85	6,7	82,73	72,34	60,01	48,32	58,73	62,01	60,46	44,58
0,89	9,1	88,69	78,61	65,56	51,8	64,01	67,04	63,96	48,13
0,9	10	90,5	80,53	67,26	52,85	65,62	68,57	65	49,21
0,95	20	103,38	94,41	79,64	60,35	77,34	79,59	72,37	56,97
0,98	50	120,08	112,92	96,33	70,09	93,06	94,12	81,66	67,18
0,99	100	132,69	127,23	109,35	77,43	105,27	105,26	88,51	74,99

Afin de calculer la dispersion absolue et d'étudier la variabilité structurelle des cumuls pluviométriques annuels, nous avons employé en premier le coefficient de variation et ensuite l'écart-type.

1.1.4. Le coefficient de variation (CV)

Pour mieux saisir et préciser l'intensité des irrégularités interannuelles des précipitations, le coefficient de variation, a été utilisé. Le coefficient de variation (CV) est le rapport de l'écart-type à la moyenne de précipitations. Plus la valeur du coefficient de variation est élevée, plus la dispersion autour de la moyenne est grande. Il permet la comparaison entre les distributions de valeurs de précipitations.

$$CV = \delta/p \quad -$$

δ : écart-type (mm)

P : pluviométrie moyenne (mm)

L'ensemble des coefficients de variation annuelle des 55 stations oscille entre 0,18 et 0,61 (figure .IV.4), il donne une vision générale de la variabilité qui est spatialement importante.

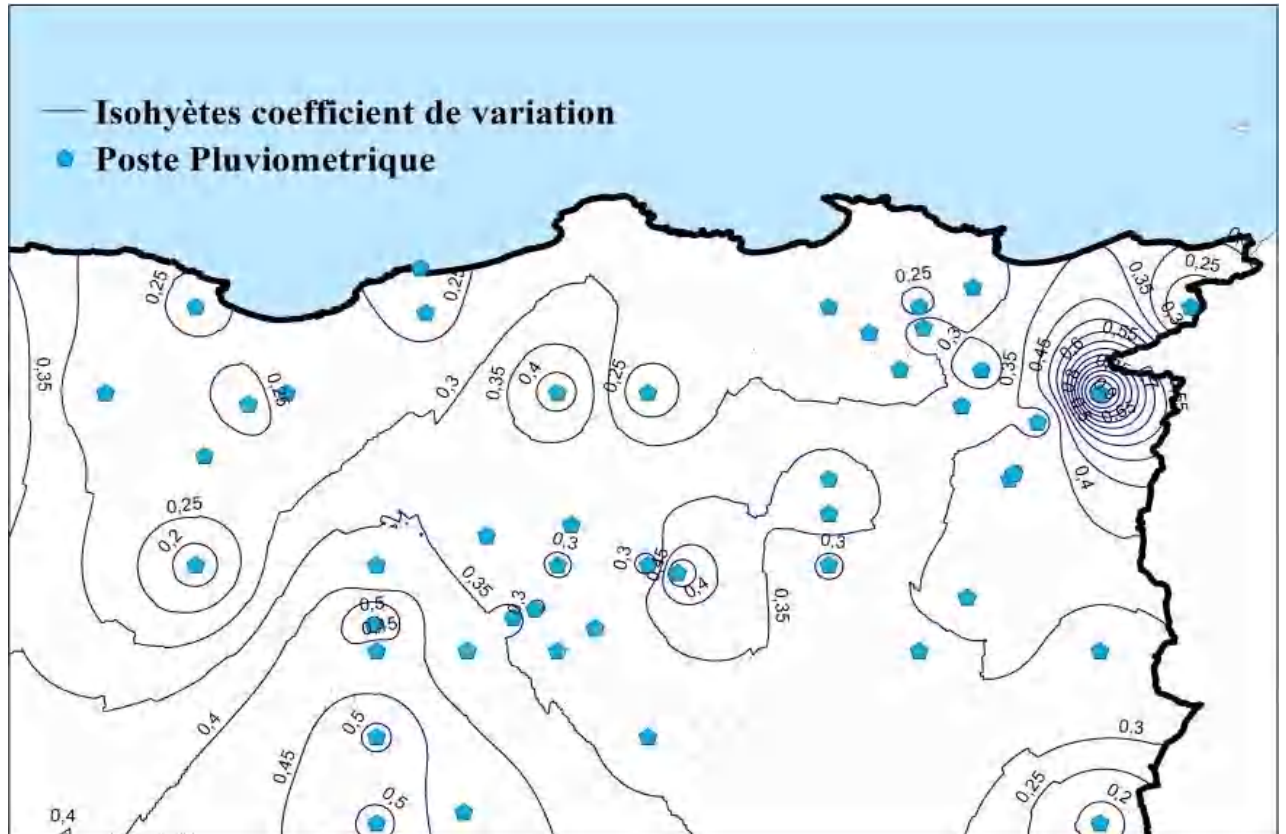


Figure .IV.4 : Esquisse des Isolignes du coefficient de variation de pluie N-E algérien (1969/70-2012/13)

- Les stations côtières et celles de l'Atlas tellien enregistrent des coefficients de Variation relativement faibles : Ain El Assel (0.21), Texenna (0,24), El Karma (0,27).
- Les Hauts plateaux, classés comme zone de climat à excès, connaissent un coefficient de variation variant entre 0.25 et 0.5 : Ngaous (0.51), Hamla (0.37), Merouana (0.43). Les stations du versant sud des Aurès, enregistrent des valeurs de CV relativement fortes, dépassant 0,5 à Biskra et Djemorah, 0,61 à Babar.

1.1.5. Ecart-type

La variation de l'écart-type en fonction de la moyenne, révèle une grande dispersion spatiale absolue des pluies annuelles. Elles varient entre 100 mm à Biskra et 1200 mm à Skikda.

Ces valeurs sont directement proportionnelles aux cumuls annuels, ce qui indique que la variabilité absolue est plus importante quand les cumuls pluviométriques sont élevés. L'analyse de ce paramètre dans les différents bassins du Nord Est montre que l'intensité et l'ampleur de l'irrégularité absolue des pluies ne sont pas uniformes, mais restent importantes sur l'ensemble de la région. (fig.IV.5)

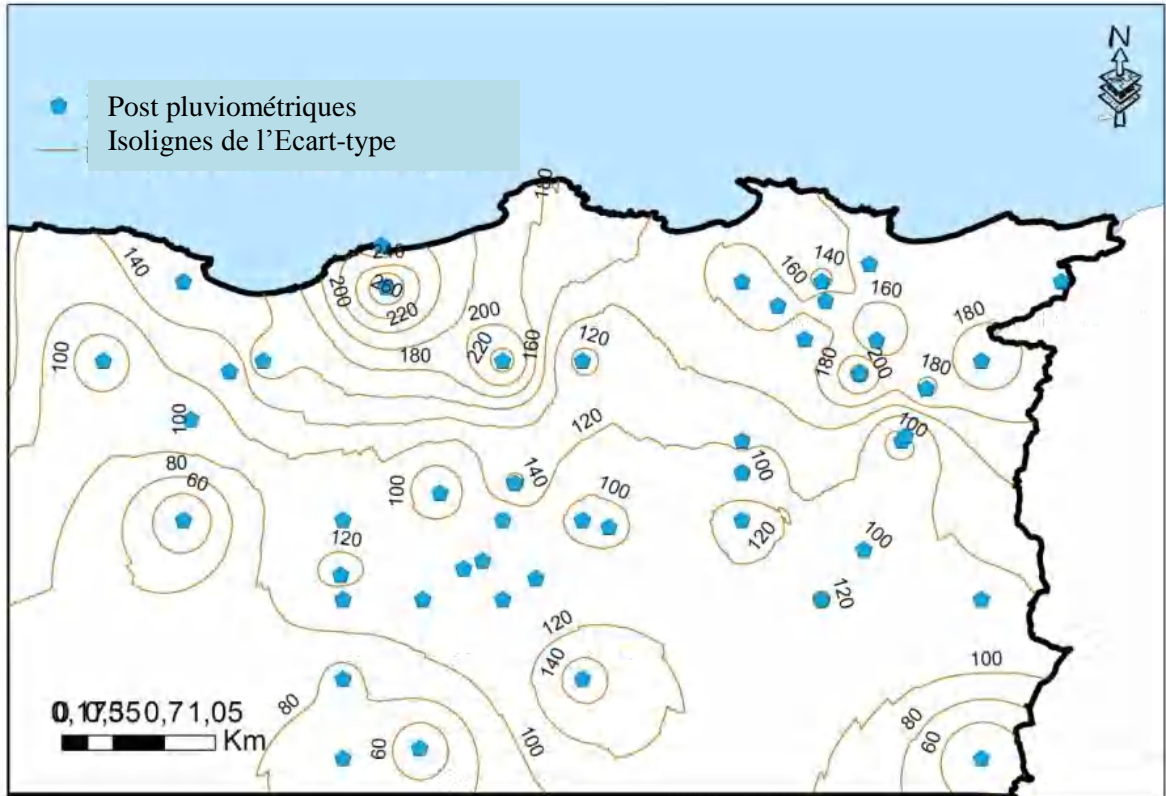


Figure .IV.5 : Isolignes de l'écart-type des précipitations annuelles N-E Algérien (1969/70_2012/13)

Cette relation de pluie et écart à la moyenne explique la variance totale. Elle décrit le degré de variabilité dans la région pour une pluviométrie moyenne donnée.

La carte de l'écart à la moyenne (fig.IV.5) met en évidence trois régions différentes correspondant aux 3 grandes unités de relief structurant le paysage algérien :

- Une forte variabilité dans les zones littorales
- Une faible variabilité qui couvre la partie orientale de la région
- Une variabilité augmentant lorsqu'on va vers le sud et vers le nord ouest.

1.2. Les précipitations mensuelles et les régimes saisonniers

L'étude des variations inter-mensuelles et inter-saisonnières des précipitations s'avère essentielle voire déterminante sur l'écoulement fluvial saisonnier et le comportement hydrologique annuel d'un bassin versant (Ghachi, 1986). En général, la plupart des précipitations tombent en Algérie entre les mois d'Octobre et d'Avril, comme dans tous les pays du Maghreb, mais d'importantes variations ont été observées, non seulement dans la hauteur moyenne mensuelle des chutes de pluie, mais également dans la période durant laquelle elles se produisent. C'est ce que nous allons tenter d'analyser de façon détaillée dans la zone étudiée.

1.2.1. Les précipitations mensuelles

L'évolution mensuelle des précipitations se caractérise par une irrégularité du nord vers le sud. D'après la (fig.III.6), les régimes pluviométriques des bassins versant de l'atlas tellien expriment un maximum de précipitations pour les mois de Novembre, Décembre et Janvier

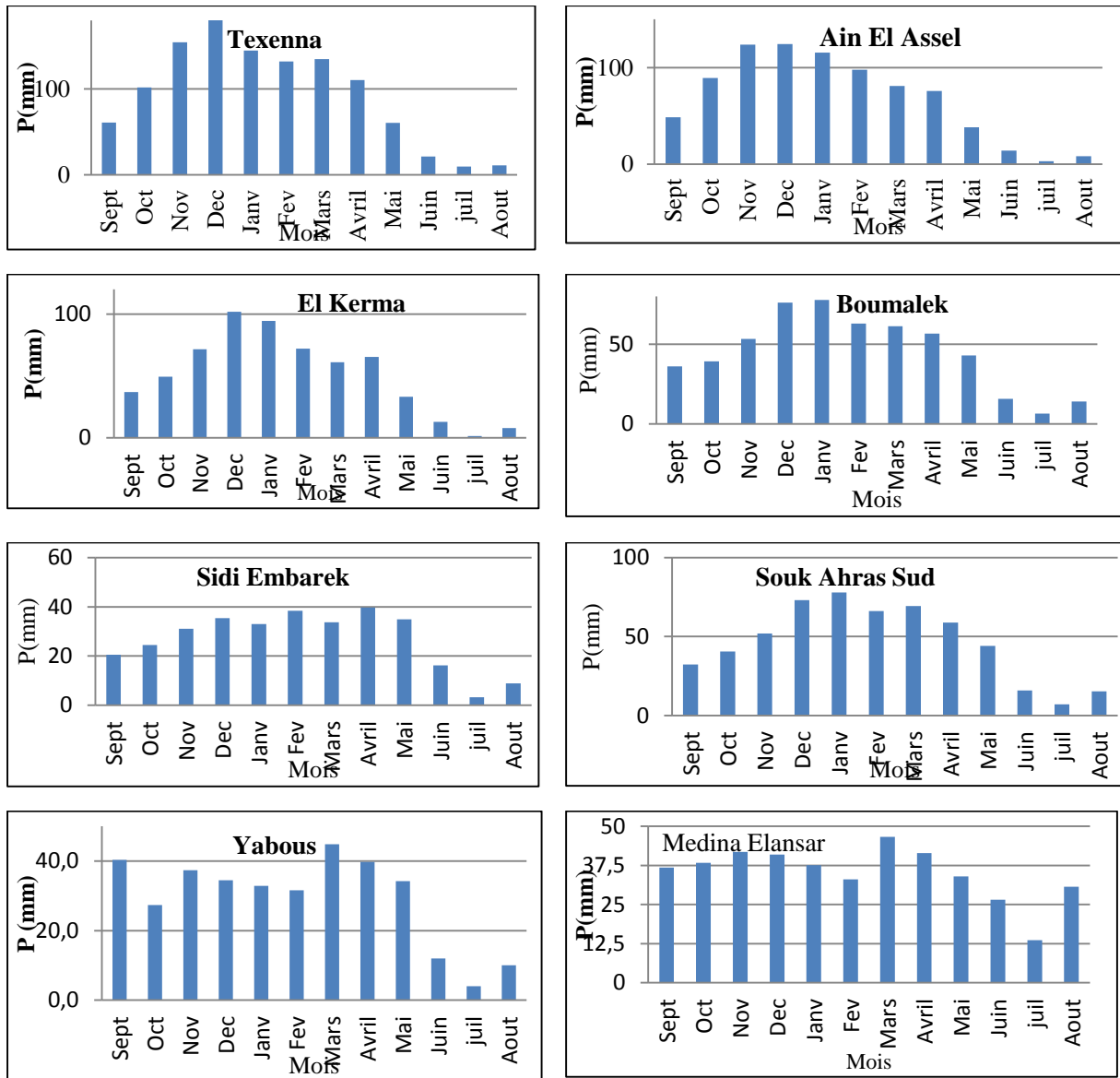


Figure. IV.6 : Évolution des précipitations mensuelles, stations du (N-E Algérien (1969/70-2012/13)

Les valeurs mensuelles pluviométriques relatives à la période 1969-2013 représentées par des histogrammes (Figure. IV.6) traduisent clairement les variations mensuelles de la distribution des précipitations à l'échelle annuelle. D'après la figure .IV.7 , Novembre Décembre et Janvier sont les mois les plus humides dans la majorité des stations situées entre le littoral et le piémont sud tellien, (cas des stations Aine Assel, Souk Ahras, Texenna, El Kremme, Boumelak). Pour la région des hauts plateaux et du versant septentrional des Aurès, les mois de Mars, Avril et Mai sont les plus arrosés (cas de la station Yabous). Les mois les plus pluvieux sur le revers méridional des Aurès sont ceux de la saison automnale (Septembre-Novembre) et différent d'une station à une autre, excepté pour la station, Medina El Anser. Le mois de juillet est le mois le plus sec dans la quasi-totalité des stations. On relève une amplitude importante des valeurs pluviométriques, entre les mêmes mois de la série étudiée, ceci est mis en évidence par le coefficient de variation (Annexe I, tableau 04). En effet, les coefficients les plus élevés sont ceux des mois d'été, avec un maximum de 3,00

en juillet à la station Ngaous; Ce maximum s'élève à 3,61 à Djemorah au mois d'Août. Ces coefficients extrêmement élevés, s'expliquent par l'indigence pluviométrique d'une part, et le caractère orageux des précipitations (averses) de la fin d'été d'autre part

1.2.2. Le régime pluviométrique saisonnier

La distribution saisonnière des pluies « rainfall pattern », est très importante pour anticiper des catastrophes, telles que des inondations.

Durant toutes les saisons, la région Nord Est, est classée comme la zone la plus arrosée avec une variabilité faible. Cette dernière augmente lorsqu'on va vers le sud. A cet effet, le coefficient de variabilité saisonnière montre que l'hiver enregistre la plus faible valeur dans la partie littorale (0,45 Ain El Assel) et la plus forte en Eté avec 01. Pour le Sud les valeurs les plus élevées sont celles de la saison d'été, avec un maximum de 2,64 à Foum El Gherza.

Tableau .IV.3 : Régime pluviométrique saisonnier N-E Algérien (1969/70_2012/13)

Station	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Oued Chelih	86,22	103,28	87,57	31,41
Settara	430,06	234,19	227,06	19,9
Oued El Ma	66,13	84,96	82,65	20,3
Sidi Ouadah	82,48	70,34	67,35	14,91
Mdina Lan Assour	127,1	114,74	134,85	72,5
Biskra	38	40,45	44,48	6,98
Ain Berda	179,99	263,68	167,64	21,94
Guelma	140,21	216,4	158,25	27,81
Sidi Mancar	94,68	98,07	107,98	46,12
Les Lacs	63,18	80,44	78,87	27,93
Sidi Embarek	92,44	97,29	100,77	27
Azzaba	157,47	317,92	131,05	11,14
Taher	183,11	335,54	325,08	112,37
Bouhaloufa	84,79	193,7	38,32	189,92
Emdjez Chich	96,96	225,47	42,17	229,55
Chelia	50,86	151,39	37,66	58,55
El Kheneg	121,61	216,09	191,63	51,2

Notre analyse révèle que la région littorale, et l'Atlas Tellien, sont soumis à un régime saisonnier «classique», les cycles annuels présentent un seul mode (Figure. IV.7). La saison des pluies (en prenant en compte les cumuls mensuels supérieurs à la moyenne) débute en Octobre-Novembre et s'achève en avril-mai, avec un pic au mois de Décembre ou Janvier.

Les précipitations fournissent environ de 40 % des précipitations annuelles totales selon les stations. Les pluies hivernales sont partout les plus abondantes et elles suivent dans l'espace les mêmes variations que les pluies annuelles. En revanche, la saison d'été (les mois de Juin, Juillet et Aout) présentent des précipitations inférieures à la moyenne mensuelle de l'année. Cette période peut être étendue jusqu'au mois de Septembre.

Presque partout, le printemps est la seconde saison la plus pluvieuse de l'année (régime saisonnier de type HP AE). Néanmoins, une certaine concentration géographique du régime saisonnier HAPE apparaît à l'extrême nord (stations Pont Bouchet, Berrahal et EL karma).

Le régime saisonnier pluviométrique dominant dans les hauts plateaux et sur le versant septentrional des Aurès est de type P (AH ou HA) E, (Tableau.IV.3, Figure.IV.7). Ce régime continental est caractérisé par des précipitations en Automne équivalentes à peu près à la quantité de pluie printanière (environ 30% de moyenne annuelle), et une proportion de pluie hivernale relativement moindre, soit 25% des précipitations annuelles. Alors que la saison d'été est caractérisée par une faiblesse quantitative des précipitations, soit un pourcentage de

15% de la pluie annuelle. Il est surprenant d'observer qu'à Hamla, le régime saisonnier et de type HAPE. La fiabilité des données, demeure raisonnablement la seule explication à envisager ici. Le régime APHE (le maximum survient en période automnale) se manifeste pratiquement partout sur le versant sud des Aurès et dans les localités présahariennes. Le printemps est la seconde saison la plus arrosée de l'année. Il est non moins intéressant d'observer que dans les stations de la zone méridionale des Aurès, profitant des pluies orageuses nées aux frontières du Sahara, plus fréquentes ici que sur la façade septentrionale (Guidoume, 2017), la pluviométrie automnale représente en moyenne 33 % (28 à 41 % selon la station) du total annuel.

Toutes les pluies qui tombent sur la région du Nord Est algérien n'ont pas la même origine. Selon Isnard, H. 1950, les zones côtières sont surtout intéressées par le passage du NO au SE, des cyclones de front polaire dont le maximum de fréquence est en hiver, tandis que la zone intérieure Hauts plateaux, reçoit une partie de ses précipitations des perturbations qui viennent du SO vers le NE, suivant le front des alizés, avec un maximum de fréquence au printemps.

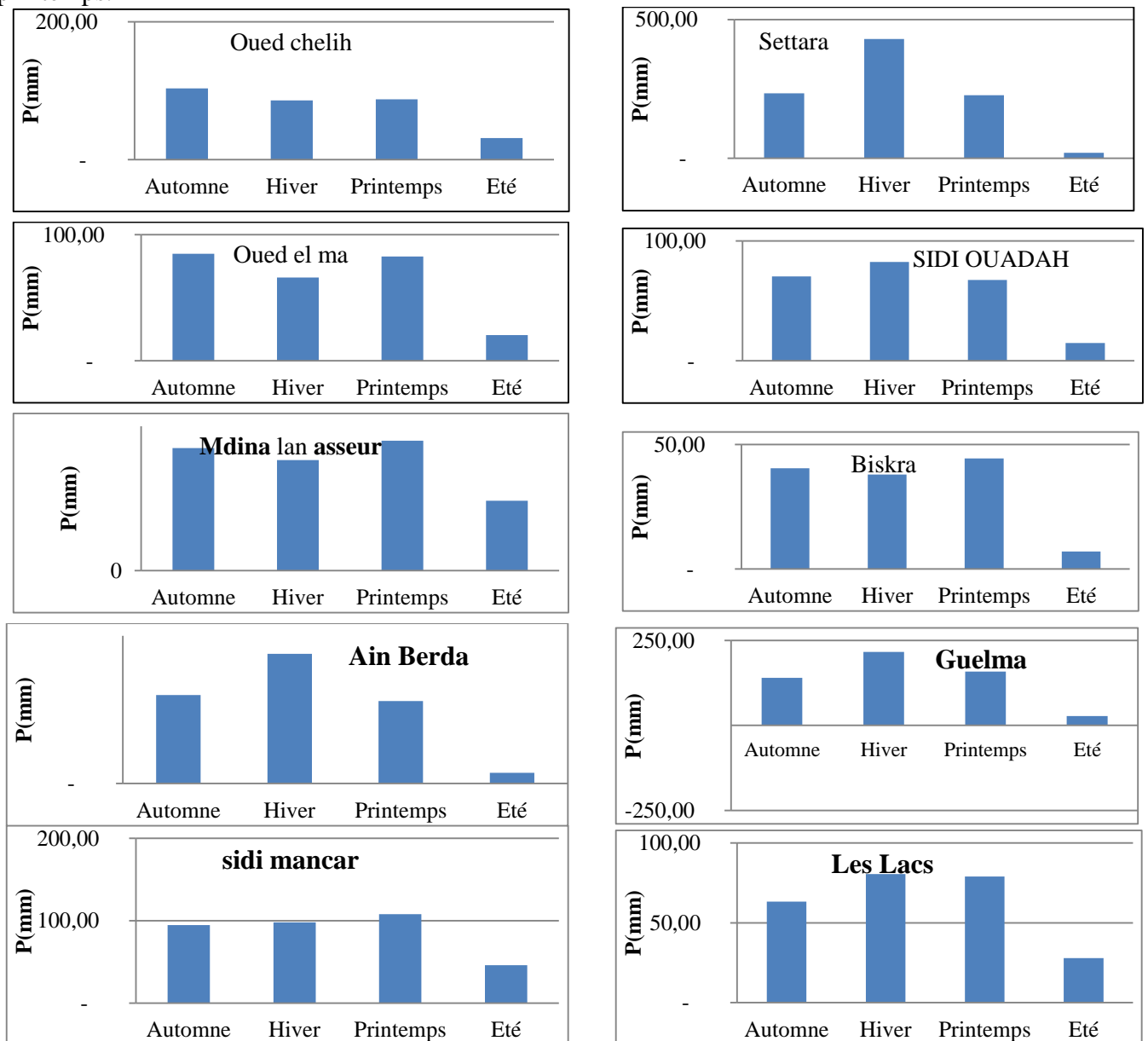


Figure. IV.7: Évolution des précipitations saisonnières N-E Algérien (1969/70_2012/13)

L'étude pluviométrique sur le Nord Est de l'Algérie montre une succession de cycles pluvieux et secs. La variabilité intra-annuelle et mensuelle des précipitations est manifeste, cependant, elle l'est plus dans les stations du littoral que dans celles de l'intérieur. L'existence de trois régions distinctes caractérisées par des régimes pluviométriques différents, sont étroitement liées à la position géographique, et au relief. Ainsi, la pluviométrie moyenne annuelle augmente selon les gradients latitudinal et longitudinal, à savoir de l'Ouest vers l'Est et du Sud vers le Nord.

Les précipitations dans la région Nord Est Algérienne montrent un caractère compulsif. Elles peuvent être nulles durant plusieurs jours et intervenir avec une intensité élevée durant quelques heures voire quelques minutes. Leur caractère convectif et torrentiel, en particulier durant la moitié chaude de l'année, soit de Mai à Octobre, explique souvent l'intensité élevée et la fréquence des cumuls extrêmes enregistrés.

Les valeurs extrêmes des variables climatiques, présentent un intérêt tout particulier lorsqu'on parle en termes de risque. « Le terme "précipitations extrêmes" caractérise des événements pluviométriques de forte intensité se produisant sur un pas de temps court, et de faible occurrence à la fois dans le temps et dans l'espace » (Berolo et Laborde, 2003). L'analyse des précipitations journalières maximales et même des hauteurs de pluie horaire, présente un intérêt particulier pour les études de protection contre les crues (Galevski 1955).

2. Analyse des pluies journalières grâce à l'indice de concentration

Cette analyse propose une étude fine de la variation pluviométrique. Afin de caractériser les événements pluviométriques extrêmes, qui affectent l'augmentation de la surface de ruissellement, nous avons tenté d'identifier de façon détaillée ce phénomène climatique, grâce à des indices de concentration (l'indice de concentration des précipitations (PCI) et de l'indice de concentration (CI) proposés par Martin Vide.

2.1. Étude spatiale des intensités pluviales

Dans l'étude des précipitations, la notion de l'intensité de pluie joue un rôle important dans l'apparition des phénomènes extrêmes (inondations, sécheresses). A juste titre, ce chapitre, va nous permettre de quantifier et de spatialiser, dans la mesure du possible, les concentrations maximales grâce à l'utilisation de l'indice de concentration (CI) dont le but est de déterminer les lieux de concentration maximum de pluie par une analyse spatio-temporelle des précipitations journalières.

En raison des problèmes hydrologiques résultants de la forte intensité et de la mauvaise répartition temporelle des précipitations, l'analyse de ces dernières, avec une résolution quotidienne s'avère quelque peu délicate, d'autant qu'un manque flagrant de stations météorologiques automatiques sur de vastes zones de l'Algérie est observé.

L'analyse des précipitations avec une résolution quotidienne est pourtant un sujet de grand intérêt, non pas seulement climatologique, mais aussi environnemental et sociétal. Elle n'a cependant pas suscité beaucoup d'intérêt auprès des scientifiques, particulièrement du côté de la rive Sud de la Méditerranée. Seuls quelques articles ont été publiés sur la structure statistique des précipitations avec une résolution quotidienne ; on citera en exemple une étude réalisée sur l'Algérie (Benhamrouche, 2015; y Ghanim, 2016), quelques études effectuées sur le bassin de la Mer Méditerranée (De Luis et al, 1996, 1997; Martín-Vide, 2004; Sánchez-

Lorenzo, Martín-Vide, 2006, Benhamrouche, 2011; 2012; 2017) et d' autres dans le reste du monde, dont celle d'Iran (Alijani et al, 2008), concernant l'Europe (Cortesi et al, 2012) et celle de la Chine (Zang et al, 2009).

Nous abordons l'étude des précipitations journalières, afin de déterminer l'impact relatif de précipitations journalières et surtout, afin d'évaluer la part de cette tranche de pluie (1mm), dans le cumul total, et dans la genèse des inondations.

Pour cela une analyse statistique est réalisée à partir de l'indice de concentration proposé par Martin-Vide, (2004), indice très sensible à la qualité des données brutes, car exigeant la comptabilisation de toutes les quantités quotidiennes de précipitations, si petites soient-elles (1 mm).

Dans un premier temps la détermination des lieux de concentration maximum avec la lame d'eau de 1mm, souvent à l'origine d'inondations, a été réalisée, sur les stations disposant de données précises et continues (22). Ensuite une cartographie permettant la visualisation du phénomène de concentration a été entreprise.

L'analyse des corrélations entre l'indice de concentration calculé et les variables géographiques et pluviométriques (1980-2012) du Nord-est de l'Algérie ont permis de cerner les zones d'intensité pluviométrique où la probabilité d'inondation est élevée.

Sachant que la répartition des fréquences des quantités quotidiennes de précipitations est réglable par des courbes exponentielles négatives (Brooks et Carruthers, 1953), l'évaluation de la contribution relative des journées pluvieuses, a été saisie par l'approche de (Martín-Vide, 2004) qui stipule, d'un côté, l'utilisation des mesures de concentration des précipitations journalières et leur part dans le volume annuel, et de l'autre l'établissement des corrélations entre l'indice de concentration et les variables spatiales.

Enfin, les notions de risque et de vulnérabilité sont analysées en fonction des impacts du climat sur l'environnement.

2.1.1. Calcul de l'intensité pluviale par la méthode de MARTIN Vide

Une pluie se caractérise par une intensité, une durée et une fréquence d'apparition. Basées sur ces trois paramètres, les études d'aménagement doivent en tenir compte afin de bien gérer le risque inondation. Le risque est élevé là où l'indice de concentration de pluie est élevé. Exemple d'Annaba (Tab. IV.4).

Chapitre IV : Analyse des pluies et des débits

Tableau. IV. 4 : Distribution de fréquence de classe de 1 mm du nombre de jours pluvieux (Annaba)

lim.sup.(mm)	Xi(mm)	Ni (jours)	$\sum Ni$	Pi(mm)	$\sum Pi$ (mm)	$\sum Ni\%=X$	$\sum Pi\%=Y$
0,90	0,50	1062,00	1062,00	531,00	531,00	29,30	2,47
1,90	1,50	501,00	1563,00	751,50	1282,50	43,12	5,97
2,90	2,50	347,00	1910,00	867,50	2150,00	52,69	10,01
3,90	3,50	261,00	2171,00	913,50	3063,50	59,89	14,26
4,90	4,50	191,00	2362,00	859,50	3923,00	65,16	18,26
5,90	5,50	150,00	2512,00	825,00	4748,00	69,30	22,10
6,90	6,50	137,00	2649,00	890,50	5638,50	73,08	26,24
7,90	7,50	107,00	2756,00	802,50	6441,00	76,03	29,98
8,90	8,50	89,00	2845,00	756,50	7197,50	78,48	33,50
9,90	9,50	79,00	2924,00	750,50	7948,00	80,66	36,99
10,90	10,50	81,00	3005,00	850,50	8798,50	82,90	40,95
11,90	11,50	90,00	3095,00	1035,00	9833,50	85,38	45,77
12,90	12,50	45,00	3140,00	562,50	10396,00	86,62	48,39
13,90	13,50	59,00	3199,00	796,50	11192,50	88,25	52,09
14,90	14,50	46,00	3245,00	667,00	11859,50	89,52	55,20
15,90	15,50	39,00	3284,00	604,50	12464,00	90,59	58,01
16,90	16,50	40,00	3324,00	660,00	13124,00	91,70	61,08
17,90	17,50	37,00	3361,00	647,50	13771,50	92,72	64,10
18,90	18,50	29,00	3390,00	536,50	14308,00	93,52	66,59
19,90	19,50	23,00	3413,00	448,50	14756,50	94,15	68,68
20,90	20,50	21,00	3434,00	430,50	15187,00	94,73	70,68
21,90	21,50	16,00	3450,00	344,00	15531,00	95,17	72,29
22,90	22,50	20,00	3470,00	450,00	15981,00	95,72	74,38
23,90	23,50	14,00	3484,00	329,00	16310,00	96,11	75,91
24,90	24,50	8,00	3492,00	196,00	16506,00	96,33	76,82
25,90	25,50	18,00	3510,00	459,00	16965,00	96,83	78,96
26,90	26,50	12,00	3522,00	318,00	17283,00	97,16	80,44
27,90	27,50	6,00	3528,00	165,00	17448,00	97,32	81,21
28,90	28,50	6,00	3534,00	171,00	17619,00	97,49	82,00
29,90	29,50	9,00	3543,00	265,50	17884,50	97,74	83,24
30,90	30,50	4,00	3547,00	122,00	18006,50	97,85	83,81
31,90	31,50	7,00	3554,00	220,50	18227,00	98,04	84,83
32,90	32,50	6,00	3560,00	195,00	18422,00	98,21	85,74
33,90	33,50	2,00	3562,00	67,00	18489,00	98,26	86,05
34,90	34,50	3,00	3565,00	103,50	18592,50	98,34	86,54
35,90	35,50	5,00	3570,00	177,50	18770,00	98,48	87,36
36,90	36,50	3,00	3573,00	109,50	18879,50	98,57	87,87
37,90	37,50	1,00	3574,00	37,50	18917,00	98,59	88,05
38,90	38,50	4,00	3578,00	154,00	19071,00	98,70	88,76
39,90	39,50	7,00	3585,00	276,50	19347,50	98,90	90,05
40,90	40,50	4,00	3589,00	162,00	19509,50	99,01	90,80
41,90	41,50	4,00	3593,00	166,00	19675,50	99,12	91,58
42,90	42,50	2,00	3595,00	85,00	19760,50	99,17	91,97
43,90	43,50	2,00	3597,00	87,00	19847,50	99,23	92,38
44,90	44,50	5,00	3602,00	222,50	20070,00	99,37	93,41
46,90	46,50	2,00	3604,00	93,00	20163,00	99,42	93,84
47,90	47,50	2,00	3606,00	95,00	20258,00	99,48	94,29
48,70	48,50	2,00	3608,00	97,00	20355,00	99,53	94,74
50,50	50,50	1,00	3609,00	50,50	20405,50	99,56	94,97
54,90	54,50	2,00	3611,00	109,00	20514,50	99,61	95,48
56,90	56,50	2,00	3613,00	113,00	20627,50	99,67	96,01
59,90	59,50	1,00	3614,00	59,50	20687,00	99,70	96,28
61,90	61,50	1,00	3615,00	61,50	20748,50	99,72	96,57
62,90	62,50	1,00	3616,00	62,50	20811,00	99,75	96,86
64,90	64,50	2,00	3618,00	129,00	20940,00	99,81	97,46
65,90	65,50	1,00	3619,00	65,50	21005,50	99,83	97,77
66,90	66,50	1,00	3620,00	66,50	21072,00	99,86	98,08
73,90	73,50	3,00	3623,00	220,50	21292,50	99,94	99,10
74,90	74,50	1,00	3624,00	74,50	21367,00	99,97	99,45
118,90	118,50	1,00	3625,00	118,50	21485,50	100,00	100,00

X : fréquences accumulées

Y : pourcentages cumulés correspondants aux précipitations d'Annaba (1980-2012).

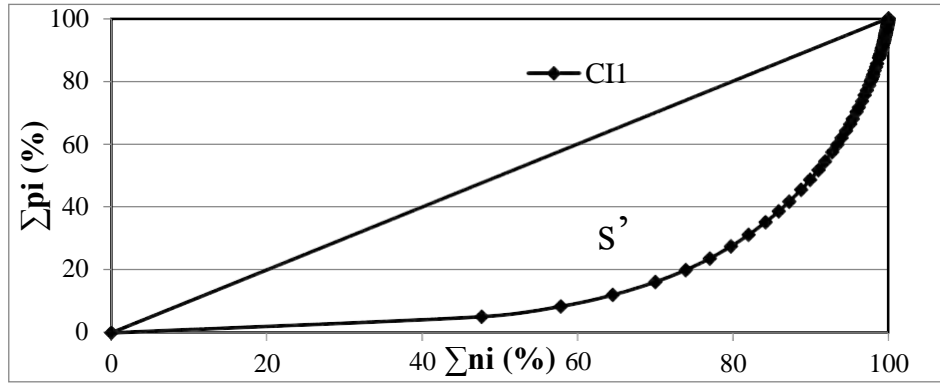


Figure. IV.8 : Courbe de concentration ou de Lorenz de la station météorologique d'Annaba(1980-2012).

La courbe obtenue pour la station de Annaba (Fig. IV.8) montre une concentration et une irrégularité des plus élevées. Nous pouvons ainsi observer différentes concentrations de précipitations journalières où 60 % des jours pluvieux représentent 10 % de la quantité totale de pluie (soit 90 % des précipitations totales représentant 40 % des jours avec pluie).

Cependant, nous pouvons perfectionner la courbe de Lorenz ou de concentration de la station météorologique d'Annaba, en remplaçant les polygones par des courbes exponentielles (Jolliffe et Esperanza, 1996). Les travaux de (Riehl, 1949), (Olascoaga, 1950) et (Martín-Vide, 2004). Ces courbes sont ajustées à travers des fonctions exponentielles de la forme :

$$Y = aX e^{bx} \quad (1)$$

Avec **a** et **b** deux constantes.

La détermination des paramètres a et b des équations (1) par la Méthode des moindres carrés est donnée par les équations (2) et (3)

$$\ln a = \frac{\sum x_1^2 \sum \ln y_1 + \sum x_1 \sum x_1 \ln x_1 - \sum x_1^2 \sum \ln x_1 - \sum x_1 \sum x_1 \ln y_1}{N \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{N \sum x_1 \sum \ln y_1 + \sum x_1 \sum \ln x_1 - N \sum x_1 \ln x_1 - \sum x_1 \sum \ln y_1}{N \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2} \quad (3)$$

Sachant que N nombre des classes.

L'indice CI est défini comme le rapport de la zone (\acute{S}) délimité par la ligne d'équidistribution, la courbe exponentielle d'ajustement peut calculer CI par l'aire du triangle définie par la ligne d'équidistribution, l'axe des abscisses

$$X = 100 \quad (4)$$

$$CI = \acute{S} / 5000 \quad (5)$$

De cette manière, des valeurs plus élevées seront obtenues dans les stations météorologiques qui présentent une concentration plus élevée dans les précipitations quotidiennes. Selon les équations 2, 3 et 5, la station de Annaba présente les valeurs de

$$a = 0,009, b = 0,045 \text{ et } CII = 0,68.$$

L'utilisation de classe de 1 mm de longueur pour le calcul de l'indice CII peut être considérée comme coûteuse, pas pour le temps de calcul, mais pour la demande de données quotidiennes de haute résolution et de qualité. En soi, le CI est très sensible à la qualité des données. Lorsque les plus faibles quantités, quelques dixièmes de millimètres (hors valeurs

inestimables) ou les quantités de deux jours consécutifs n'ont pas été enregistrés dans un observatoire, les valeurs CII obtenues sont anormales, en général inférieures à celles qui correspondraient, si toutes les données journalières avaient été enregistrées.

Nous avons procédé de la même manière avec les analyses en série, pour les autres stations (Annexe .3). Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau. IV.5 : Valeurs des indices CII des 22 stations sur la période N-E Algérie
1980-2012

Stations	CII
Ain Berda	0,57
Annaba	0,6
Azzaba Pepiniere	0,62
Bb Arreridj Demrh	0,58
Biskra Secteur	0,53
Bou Halloufa	0,54
Chellal (Hodnet O, Msila)	0,5
Dhalaa	0,54
El Kheneg	0,54
Emdjez Chich	0,54
Guelma	0,56

Stations	CII
Les Lacs	0,56
Medina Lanasser	0,54
Oued Chelih	0,53
Oued El Ma	0,52
Settara	0,52
Sidi Embarek	0,47
Sidi Mancar	0,53
Sidi Ouadah	0,54
Taher	0,68
Taoura	0,54
Yakourene	0,62

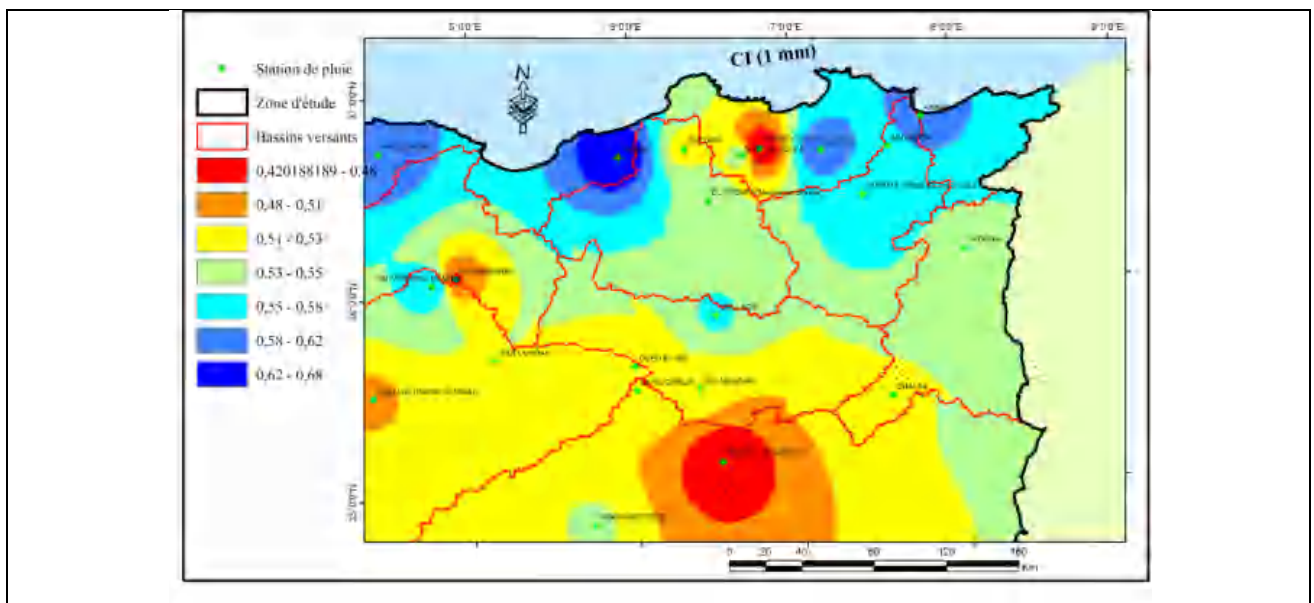


Figure. IV .9: Isolignes des indices CII dans le Nord-Est de l'Algérie, (1980-2012)

Le graphique et le (Tab. IV.5) ci-dessus illustrent l'évolution spatiale et temporelle de l'intensité pluviométrique, de l'indice CII. Elle est similaire à celle trouvée dans les travaux antérieurs (Benhamrouche et Martín-Vide, 2015) et (Benhamrouche et Martín-Vide, 2017). Ainsi la partie centrale de la zone d'étude concentre les valeurs les plus élevées quotidiennement. Pour la région de Taher et Annaba la valeur est de 0,68, suivie par Yacourene et Azzaba Pépinière, dont les valeurs sont de (0,62). En comparaison des valeurs

obtenues dans le Bassin Occidental de la mer méditerranée, les valeurs de CII trouvées pour les 22 stations permettent d'affirmer que la concentration quotidienne des précipitations dans le centre de la zone d'étude est élevée. Les valeurs maximales des deux indices quotidiens de concentration des précipitations se trouvent dans la partie côtière orientale et dans le sud de l'Aurès (Fig. IV .9) tandis que les valeurs les plus basses se trouvent dans les stations situées au sud de la zone d'étude.

Enfin, l'indice de concentration des précipitations annuelles (CII) est corrélé de façon acceptable avec la latitude, les précipitations annuelles moyennes et le nombre de jours pluvieux (corrélations positives) et avec la distance à la mer. Quant au coefficient de variation des précipitations et l'altitude la corrélation est négative, de même qu'elle est peu significative entre le CII et la longitude dans le territoire étudié.

2.1.2. Corrélation de l'indice de concentration (CII) avec des variables géographiques et pluviométriques

Suite aux corrélations établies entre l'indice de concentration et les variables géographiques et pluviométriques sur les 22 stations pluviométriques, il en ressort que les corrélations sont suffisamment significatives. Ainsi l'indice de concentration CII est en corrélation avec l'ensemble des variables géographiques, à l'exception de la variable longitude (Tab. IV.6). La relation de l'indice CII avec l'altitude est illustrée par la (fig. IV. 10), où est observée une corrélation linéaire négative, soit un coefficient de corrélation linéaire de **-0,67 (p-valeur = 0,0006)**.

Ceci correspond à une corrélation forte et inverse, traduisant un niveau de confiance de 99,94%. Ce qui signifie que la concentration quotidienne de précipitations (CII) augmente au fur et à mesure que l'altitude diminue.

La relation entre l'indice de concentration CII et la distance à la mer, s'exprime également par une corrélation linéaire négative (fig. IV. 11), avec un coefficient de corrélation linéaire **r = -0,47 (p- valeur = 0,026)**, ce qui signifie une corrélation assez significative au niveau de confiance (97,4%). Cette corrélation nous permet d'indiquer, selon l'échantillon étudié, que la concentration quotidienne de précipitations augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche de la mer.

Tableau. IV.6 : Analyse des corrélations avec les valeurs de r de Pearson et p-valeur entre l'indice de concentration de précipitation (CII) et les facteurs géographiques

	Corrélation	Longitude (°E)	Latitude (°N)	Altitude (m)	La distance à la mer
CII	R	0,05	0,4	-0,67	-0,47
	p-valeur	0,1	0,032	0,0006	0,026

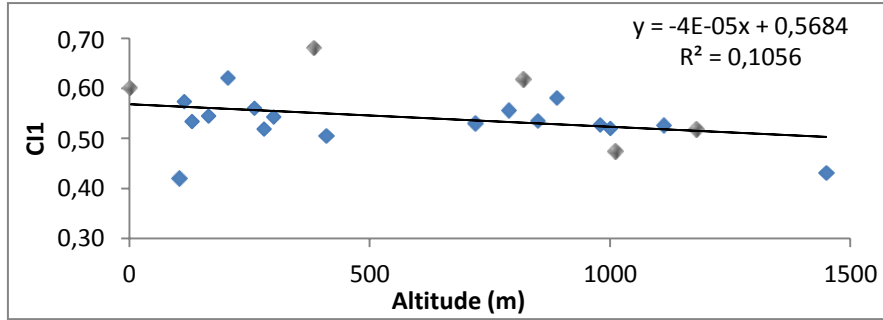


Figure. IV.10 : Corrélation entre l'indice de concentration CI1 et l'altitude (m) des 22du Nord -Est Algérien.

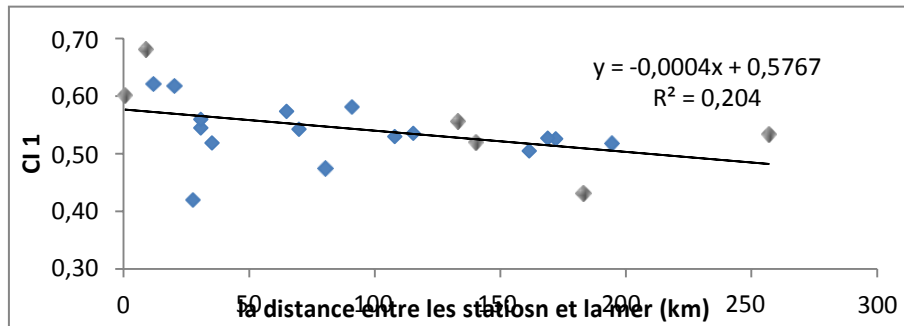


Figure. IV. 11: Corrélation entre l'indice de concentration CI1 et la distance à la mer (km)CI1.

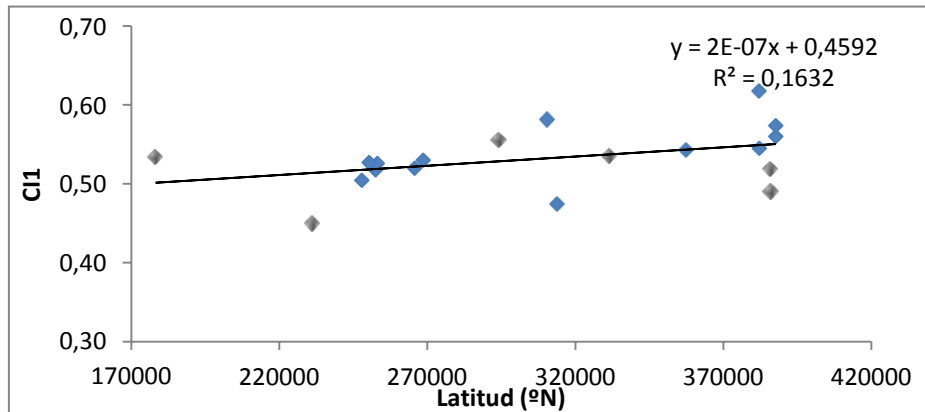


Figure. IV.12: Corrélation entre l'indice de concentration CI1 et la latitude (N °).

En revanche, pour le facteur de la Longueur, la valeur de r est de **0,05** (**p-valeur = 0,1**), elle est non significative ou très faiblement significative. Cette corrélation s'explique par la faible incidence de ce facteur sur la concentration quotidienne de précipitations (CI1) dans la zone d'étude.

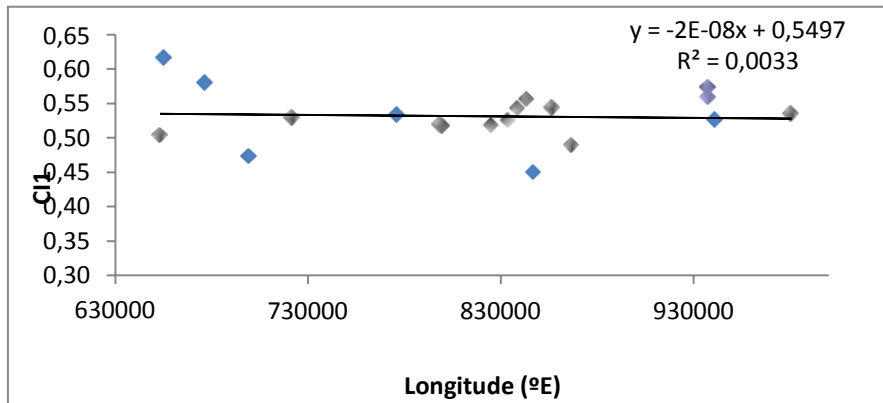


Figure. IV.13 : Corrélation entre l'indice de concentration CII et la longueur (E°) des 22 de toute la zone d'étude.

Les corrélations respectives de Pearson (r) entre l'indice de concentration annuel moyen des précipitations (CII), avec les précipitations annuelles moyennes, le coefficient de variation CV% et le nombre de jours pluvieux durant la même période, sont respectivement de 0,52 (p-valeur = 0,023), 0,25 p-valeur = 0,049) y 0,49 (p-valeur = 0,022), (Tab. IV. 7). Elles sont peu significatives.)

Si l'on compare nos résultats à ceux de Martín Vide (2004) en Espagne, on constate une absence de corrélation entre CII et les paramètres pluviométriques, en raison du caractère de nos pluies :

Il en ressort de ces résultats, que les précipitations annuelles et les jours pluvieux ne sont pas des indicateurs clairs de la concentration du temps de précipitation, puisque des valeurs annuelles similaires pourraient être obtenues avec des distributions quotidiennes différentes. Les figures 7, 8 et 9 montrent respectivement les corrélations entre l'indice de concentration (CII) et la précipitation annuelle, le coefficient de variation (CV%) et le nombre de jours pluvieux. Les valeurs sont peu significatives avec $\alpha = 0,05$ (Tab. IV. 7)

Tableau. IV.7 : les résultats des corrélations avec les valeurs **r** de Pearson et **p-valeur**

	Corrélation	P moyennes annuelles (mm)	CV (%)	N jours de pluie
CII	R	0,52	- 0,25	0,49
	p-valeur	0,013	0,049	0,022

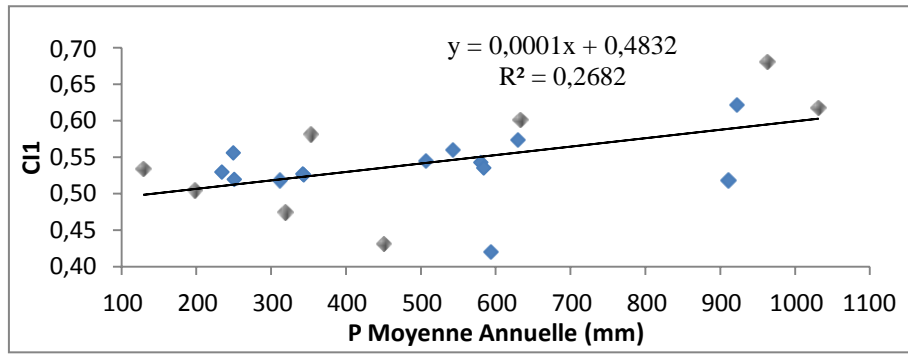


Figure. IV.14: Relation entre l'indice de concentration CI1 et les précipitations annuelles moyennes (mm) pour les 22 postes.

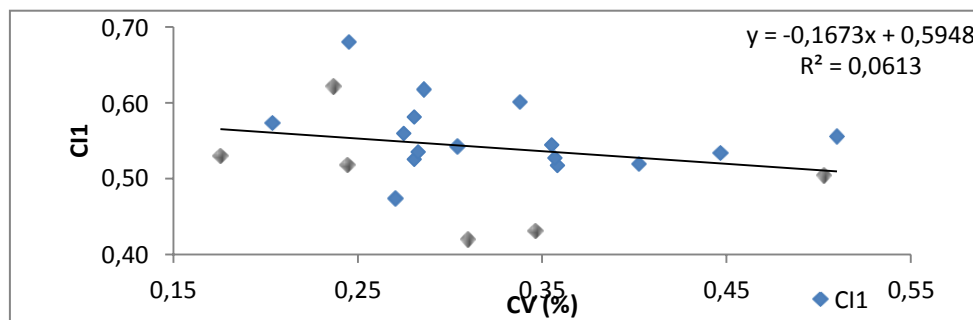


Figure. IV.15 : Relation entre l'indice de concentration CI1 et le coefficient de variation des précipitations (CV %) pour les 22.

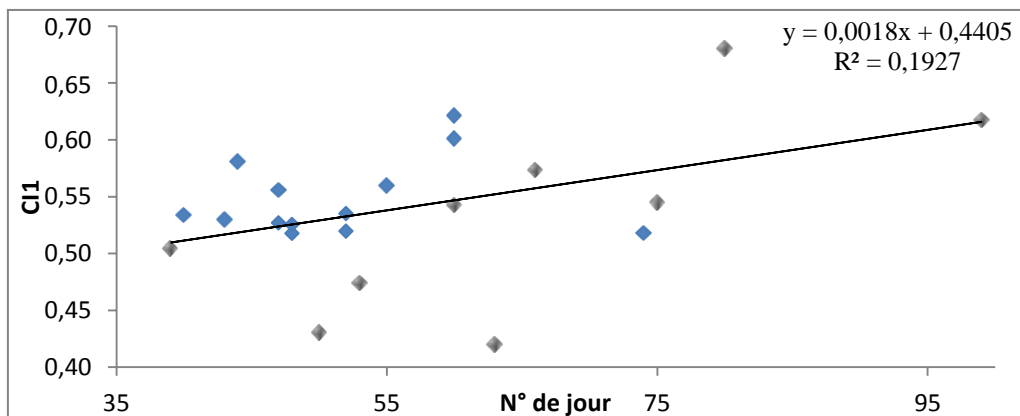


Figure. IV.16 : Relation entre l'indice de concentration CI1 et le nombre de jours pluvieux pour les 22 stations.

La concentration journalière de précipitations est une variable climatique d'un grand intérêt, car elle exprime l'irrégularité des valeurs des précipitations journalières et surtout de la concentration ou de l'accumulation de précipitations durant 24 heures.

Les indices de concentration, qui permettent une évaluation précise, peuvent être statistiquement analysés et corrélés avec d'autres indices pluviométriques. En outre, ces indices de concentration sont des indicateurs utiles de la capacité érosive des précipitations, du risque d'inondation et de sa torrencialité, etc.

2.2. L'indice temporel de concentration des précipitations

L'indice de concentration des pluies (PCI), proposé par Oliver en 1980, exprime la variabilité saisonnière et annuelle des précipitations en %. Les faibles valeurs du PCI indiquent une distribution uniforme des précipitations dans l'année. Par contre, des valeurs élevées représentent une concentration élevée des pluies mensuelles ou bien une saisonnalité. Cet indice est déterminé par la formule suivante :

$$PCI = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} P_i)^2}$$

Avec P_i la précipitation mensuelle en mm.

D'après Olivier, une valeur de $PCI < 10$ traduit des précipitations relativement uniformes dans l'année. Une valeur comprise entre 11 et 15 est caractéristique d'une concentration modérée des précipitations, une valeur entre 16 et 20 traduit une concentration moyenne des précipitations. Enfin, une valeur de $PCI > 20$ est signe de forte concentration des précipitations.

Selon les résultats obtenus ci-dessous, (Fig. IV. 15/16) il a été fait recours à la concentration des pluies comme facteur explicatif, de concentration et d'agressivité des pluies. En effet, le PCI est élevé lorsque les pluies se produisent pendant une période très réduite de l'année hydrologique et faible lorsque les pluies sont réparties de façon homogène. Ainsi, la concentration moyenne entre les séquences humides et sèches est restée dans les mêmes proportions pour l'ensemble des stations (entre 11 et 20), excepté pour certaines années particulières (Annexe .4)

L'analyse du degré de concentration de précipitation tout au long de l'année est extrêmement importante pour son impact sur les phénomènes environnementaux liés à l'eau tels que la répartition des précipitations saisonnières, et ses conséquences sur les inondations.

Pour évaluer le caractère saisonnier de la précipitation nous avons étudié l'indice de concentration de précipitation (PCI).

Selon la figure 12 et la classification de l'indice PCI, on remarque que :

Les valeurs du PCI montrent une répartition saisonnière modérée des précipitations dans toute la zone d'étude, elle varie entre 11 et 15 avec toutefois quelques exceptions concernant les années (1976, (station de Ain Babouche) 1982 (station les Lacs), 1987 (station de Djemorah), 1994 (station de Biskra), 1996 (station de Foug El Gherza), 2010 (station de Sidi Embarek). ($PCI > 20$).

Le déficit pluviométrique qui est essentiellement ressenti durant la saison humide (hiver et printemps) s'est repercuté sur les indices de concentration et d'agressivité des pluies.

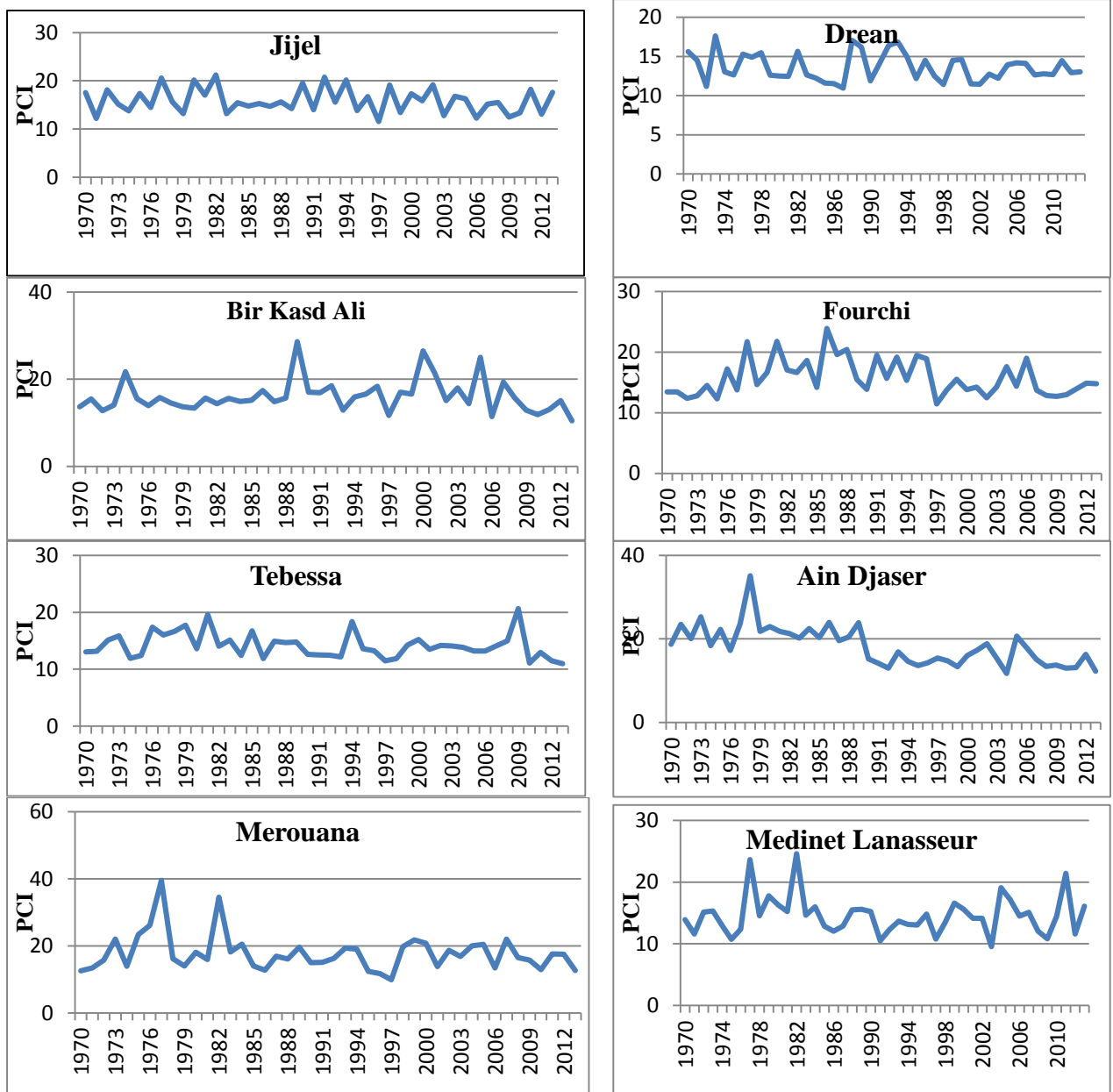


Figure. IV.17: Diagramme de PCI dans le Nord-est Algérien. (1970/69-2012/13)

Selon les graphiques ci-dessus, on pourrait conclure que les résultats obtenus, situés entre 11 et 15 représentent une répartition saisonnière modérée, ceux supérieurs à 20 représentent de forts effets saisonniers, avec des valeurs croissantes montrant une augmentation de la concentration mensuelle des pluies.

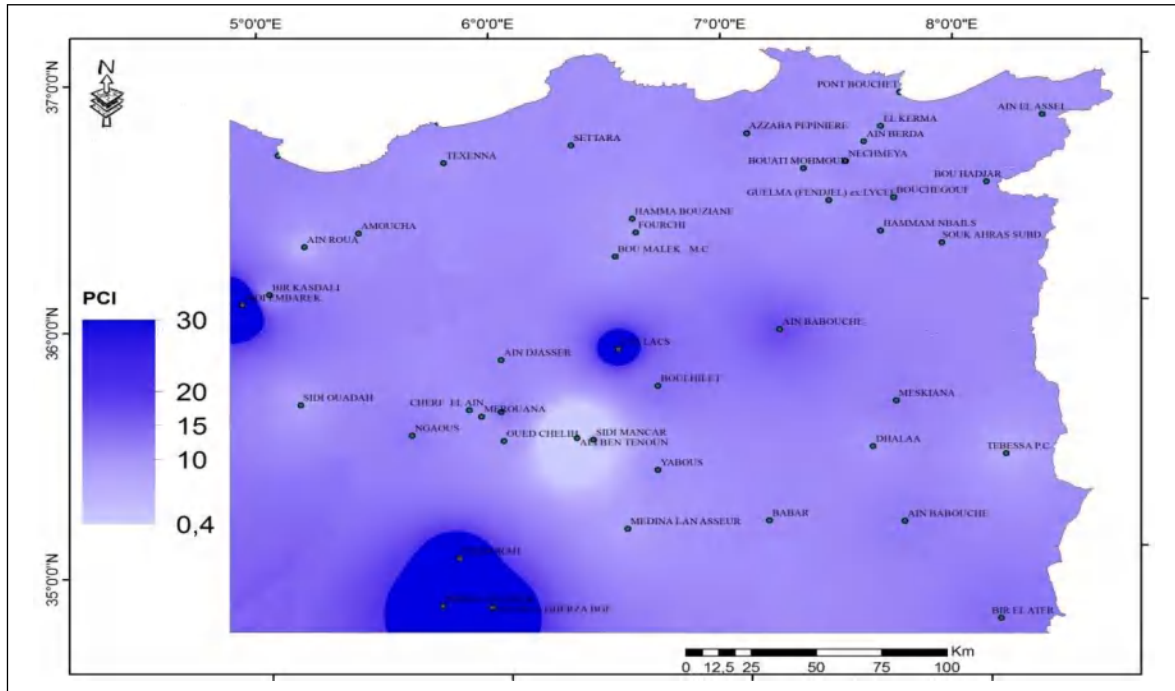


Figure. IV. 18 : Indice de concentration des précipitations annuelles dans le N-E algérien (1969/70_2012/13)

Les influences sur l'écoulement des différentes variables climatiques exposées dans cette partie de l'étude, pourraient être cernées de manière plus précise, si on les envisage au niveau des unités contrôlées par des stations hydrométriques, lesquelles feront ultérieurement l'objet de l'analyse de la variation hydrométrique, et l'étude de bilans hydrologiques.

3. Analyse du régime hydrologique

Le régime hydrologique d'un bassin versant dépend d'un ensemble de paramètres qui caractérisent les apports physiques. Ceux-ci consistent en grande partie en :

- Facteurs climatiques, tels que la pluviométrie et le phénomène d'évaporation.
- Paramètres physico-géographiques comme les formations géologiques, lithologiques, le couvert végétal, les reliefs, les pentes et la nature du réseau hydrographique

Les systèmes hydrologiques varient en fonction de la répartition des précipitations et des caractéristiques physiques des bassins versants. Les ressources en eau dépendent directement du comportement hydrologique du bassin. Le but de ce chapitre est de caractériser la variabilité hydrométrique des bassins du Nord Est algérien à partir des séries chronologiques (1973-1974/2002-2003) concernant les débits moyens annuels, et des séries de 1980-1981 /2002-2003 concernant les débits journaliers.

Dans ce chapitre, nous mettrons en évidence l'évolution de l'écoulement hydrologique, annuel et saisonnier dans le Nord-est Algérien, qui se compose de 8 bassins versant ; de même qu'un intérêt particulier sera accordé à l'étude des écoulements extrêmes (crues).

Le réseau hydrographique des bassins du Nord-est de l'Algérie est bien développé. Les cours d'eau côtiers appartenant aux cinq bassins versants (03, 10, 15, 12, et 14) drainés respectivement par les oueds Soummam, Medjerda, Rhummel, Seybouse, Macta, Oued

Mafragh sont de type exoréique. Ces oueds prennent naissance dans la chaîne des monts de l'Atlas et se jettent dans la mer méditerranée. Leur chevelu hydrographique est fourni et très ramifié dans l'ensemble, exceptée la partie Est, où il se distingue par un réseau hydrographique atrophié et incomplet.

Au sud du Tell, les cours d'eau ne sont pas permanents. Les bassins sont de type endoréique. Ils sont drainés par des oueds de type temporaire qui se déversent dans les chotts comme Chott Melghir où se déversent les oueds El Hai, Abdi. Chott el Hodna où se déversent l'oued Ksob, oued Lougmen. Ils descendent de l'Atlas saharien et forment des nappes phréatiques. Les cours d'eau des Ziban sont alimentés par les réseaux souterrains des Aurès.

3.1. L'évolution Des débits

3.1.1. Variabilité temporelle des débits interannuels

L'analyse des variations spatio-temporelles des débits des bassins versants, est une étude nécessaire pour comprendre leur fonctionnement et éventuellement d'en saisir les dysfonctionnements. La figure IV.19 présente l'évolution annuelle des débits moyens annuels de chacun des bassins-versant.

La classification et la détermination des régimes hydrologiques annuels pour chaque bassin versant permettent une bonne représentation de la distribution des débits moyens au cours de l'année et surtout permettent de mettre en évidence les extrêmes hydrologiques, données nécessaires pour une bonne gestion des cours d'eau

Les données retenues (Fig. IV.19) ont été sélectionnées suite à l'étude des débits établis pour toutes les stations étudiées sur une période malheureusement non homogène en relation avec la disponibilité des données.

Dans les graphiques ci-dessous, nous avons choisi les stations qui portent une période de temps homogène (8 stations), sur une moyenne de 33 années. Elles reflètent visiblement la variation annuelle des débits du Nord-est Algérien. Il en ressort une grande irrégularité des débits pour l'ensemble des stations. Pour celles du littoral, les années déficitaires sont supérieures aux années excédentaires : de 18 à 19 années sur 33 se caractérisent par, un débit variant entre 0,3 à 2,6.m³/s

Pour les stations du centre, les histogrammes montrent clairement une variabilité plus prononcée, le nombre d'années déficitaires varie de 15 à 23 années, et les débits moyens annuels, de 9,6 m³/s enregistré à la station Tassadane en 1985/1986 à 0,0 m³/s minimum observé à El Aouinet en 1984/1985.

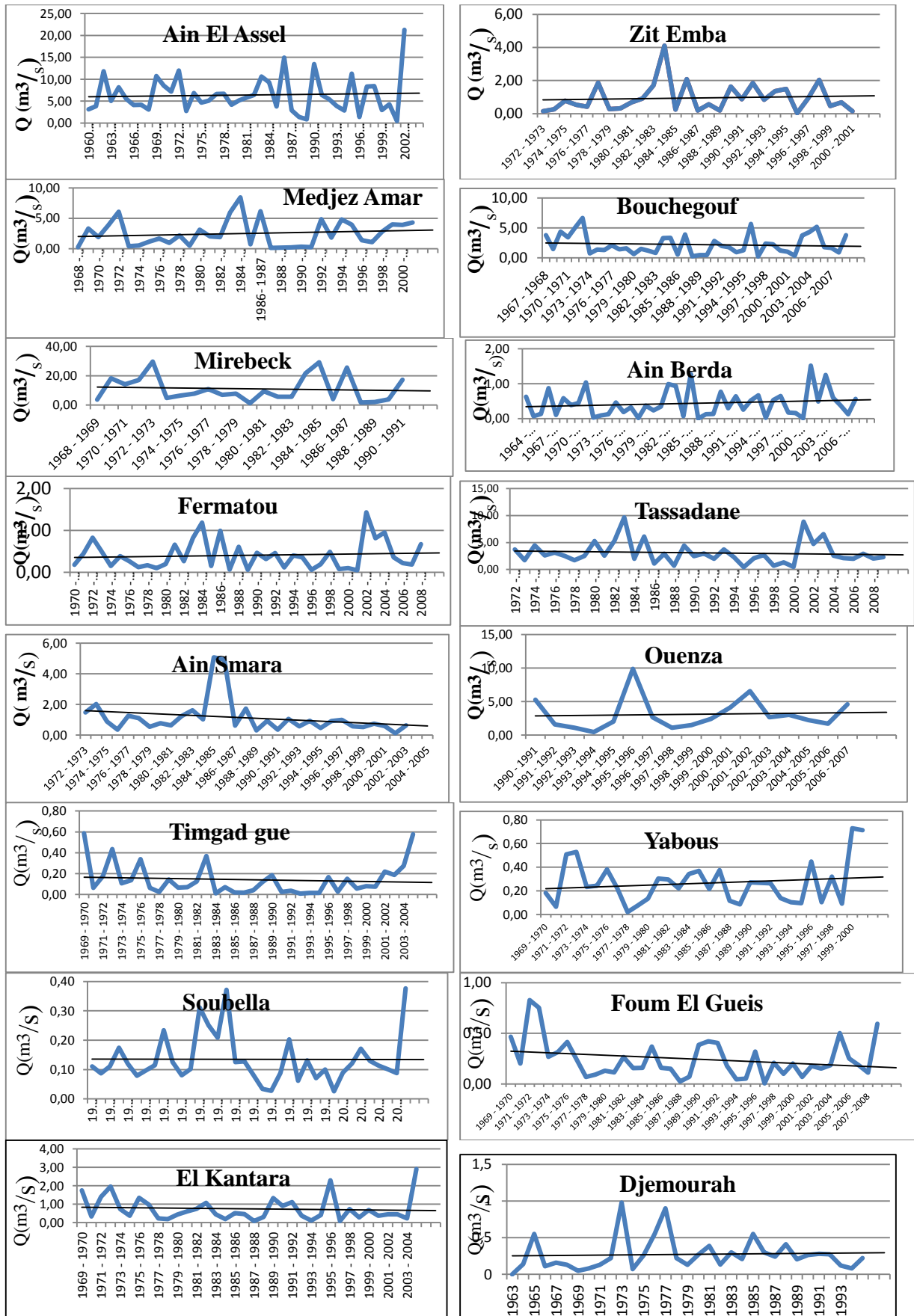


Figure. IV.19 : Tendances des débits annuels dans la région de N-E algérien

(1969/70-2012/13)

3.1.2. Distribution des débits Annuels

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

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} . L'équation de GALTON s'écrit alors : u = \log(Q - Q_0) + b$$

$$a \text{ et } b \text{ peuvent être représentées par : } a = \frac{1.517}{\sqrt{\log(1 + \frac{8Q^2}{(Q-Q_0)})}} \quad b = \frac{1.1513}{a} - \log(\bar{Q} - Q_0)$$

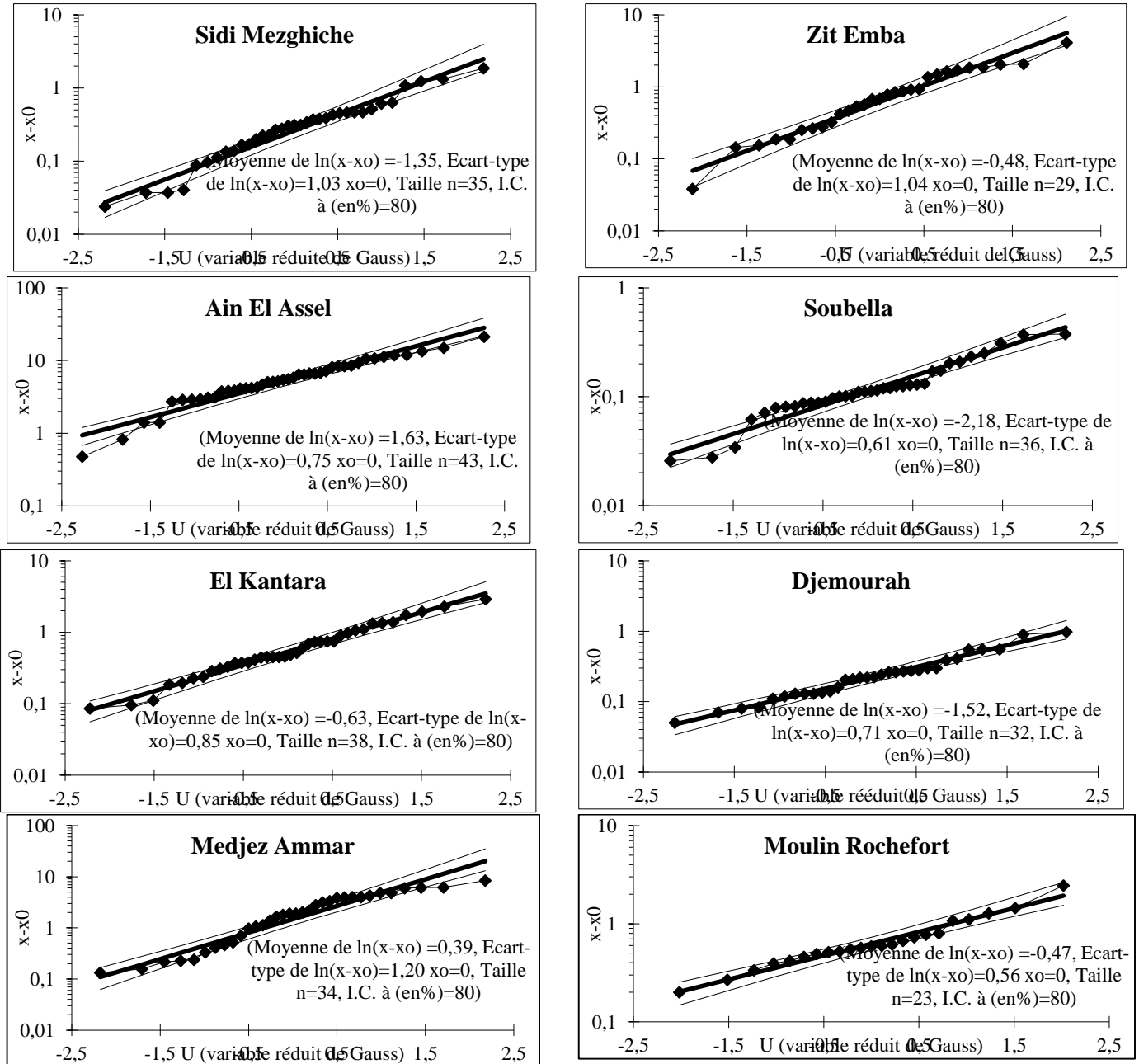


Figure. IV.20: Ajustement des débits moyens annuels à une loi de probabilité

Q_0 : Paramètre de position, estimé sur graphique.

Le graphique d'ajustement (Fig. IV.20) confirme l'adaptation de cette loi à la distribution statistique des débits annuels dans notre région. Ainsi, on a calculé pour l'ensemble des stations, le module ayant une durée de récurrence de 2, 10, 50 et 100 ans, en

année sèche et en année humide (Fig.V.20et Tab. IV.8). La station de Ain Smara a connu un débit de type centennal (année humide) pendant l'année hydrologique 1984/85. A noter que les autres stations n'ont jamais enregistré un débit de type centennal.

Tableau. IV. 8: Débits moyens annuels (m³/s) et durée de récurrence (années) loi de Galton, Station N-E algérien

T (an)	Année sèche			Module médian	Année humide		
	100	50	10		10	50	100
F	0,01	0,02	0,1	0,5	0,9	0,98	0,99
U	-2,327	-2,054	-1,282	0	2,282	3,054	2,327
Sidi Mezghiche	0.02	0.03	0.07	0.26	0.97	2.16	2.86
Zit Emba	0.05	0.07	0.16	0.62	2.34	5.24	6.95
Ain El Assel	0.89	1.09	1.95	5.11	13.37	23.87	29.28
Soubella	0.02	0.03	0.05	0.11	0.25	0.40	0.47
El Kantara	0.07	0.09	0.18	0.53	1.58	3.05	3.84
Djemourah	0.04	0.05	0.08	0.21	0.54	0.93	1.13
Khemakhem	0.06	0.08	0.17	0.65	2.41	5.32	7.04
Moulin Rochefort	0.17	0.2	0.31	0.62	1.28	1.97	2.29
Medjez Ammar	0.09	0.13	0.32	1.48	6.86	17.32	24
Bouchegouf	0.21	0.27	0.52	1.60	4.90	9.61	12.20
Mirebeck	0.94	1.21	2.44	7.82	25.03	50.48	64.66
Fermatou	0.03	0.04	0.08	0.28	0.92	1.88	2.42
Douar Tassadane	0.42	0.52	0.94	2.53	6.79	12.32	15.20
Ain Smara	0.16	0.19	0.33	0.85	2.20	3.90	4.78
Bouchdira	0.09	0.12	0.27	1.09	4.35	9.99	13.39
Timgad	0.01	0.02	0.03	0.08	0.35	0.85	1.16
Yabous	0.03	0.04	0.08	0.21	0.56	1.02	1.27
Foum El Guéiss	0.01	0.02	0.05	0.17	0.60	1.27	1.65

3.2. Le coefficient d'hydraulicité des débits interannuels

C'est le rapport entre le débit moyen annuel sur le débit moyen de la durée

Ainsi : $Ch > 1$ année excédentaire < 1 année déficitaire On compte comme année normale l'année où $0,7 < Ch < 1$.

La visualisation de la variation interannuelle du débit liquide moyen pour les différentes stations (Fig. IV. 19), laisse apparaître une disparité entre les années pouvant être exprimée par le coefficient de débit ou d'hydraulicité (Ch), distinguant ainsi les années humides des années sèches.

Tableau. IV.9: Hydraulicité des cours d'eau observés sur 14 stations (1973-74 à 1993-94)

	Ain El Assel	Sidi Mezghiche	Medjez Ammar	Bouhegouf	Ain Berda	Ferमतou	Douar Tassadane	Ain Smara	Bouchdira	Timgad	Foum El Gueiss	El Aouinet	Soubella	El Kantara
1973 - 1974	0,37	0,04	3,86	5,06	0,44	0,44	2	0,9	2	0,43	0,75	2,81	0,11	0,74
1974 - 1975	0,39	0,02	6,08	6,67	1,04	0,83	3,70	1,48	1,90	0,11	0,27	5,68	0,09	0,37
1975 - 1976	0,43	0,23	0,41	0,72	0,03	0,49	1,73	2,03	0,27	0,14	0,31	0,87	0,11	1,35
1976 - 1977	0,04	0,22	0,52	1,36	0,09	0,15	4,47	0,88	0,23	0,34	0,41	2,35	0,17	0,98
1977 - 1978	0,02	0,20	1,14	1,29	0,12	0,38	2,63	0,35	0,89	0,06	0,24	2,92	0,12	0,23
1978 - 1979	0,23	0,31	1,65	2,10	0,46	0,26	3,16	1,27	0,72	0,02	0,07	2,95	0,08	0,20
1979 - 1980	0,22	0,04	0,97	1,40	0,19	0,12	2,53	1,10	0,82	0,14	0,09	1,51	0,10	0,44
1980 - 1981	0,20	0,34	2,17	1,57	0,32	0,16	1,73	0,55	1,43	0,07	0,13	1,83	0,11	0,60
1981 - 1982	0,31	0,14	0,47	0,61	0,01	0,10	2,50	0,78	0,42	0,07	0,11	3,15	0,23	0,75
1982 - 1983	0,04	0,46	3,13	1,49	0,37	0,20	5,25	0,64	1,82	0,13	0,26	1,23	0,13	1,07
1983 - 1984	0,34	0,51	2,02	1,16	0,23	0,66	2,56	1,25	1,27	0,37	0,16	2,68	0,08	0,45
1984 - 1985	0,14	1,32	1,92	0,81	0,34	0,26	5,29	1,61	4,07	0,01	0,16	0,00	0,10	0,19
1985 - 1986	0,46	0,10	5,97	3,29	0,98	0,82	9,66	1,02	2,90	0,07	0,37	1,46	0,31	0,52
1986 - 1987	0,51	0,63	8,44	3,33	0,93	1,19	1,96	5,08	1,58	0,02	0,16	2,39	0,25	0,46
1987 - 1988	1,32	0,46	2,70	2,54	0,07	0,15	6,09	4,92	2,86	0,02	0,15	1,90	0,21	0,10
1988 - 1989	0,10	0,27	6,16	3,90	1,27	0,99	1,10	0,62	0,37	0,04	0,02	2,06	0,37	0,31
1989 - 1990	0,63	0,11	0,13	0,26	0,00	0,06	2,91	1,73	0,96	0,12	0,07	3,06	0,13	1,34
1990 - 1991	0,46	0,61	0,16	0,46	0,12	0,61	0,72	0,30	0,37	0,18	0,39	2,42	0,13	0,91
1991 - 1992	0,27	0,17	0,22	0,43	0,13	0,06	4,41	0,94	3,53	0,03	0,42	5,80	0,08	1,11
1992 - 1993	0,11	0,45	0,33	2,81	0,77	0,46	2,46	0,35	1,38	0,04	0,40	5,27	0,03	0,37
1993 - 1994	0,61	0,09	0,24	1,99	0,30	0,31	2,96	1,06	2,35	0,01	0,18	1,59	0,03	0,11
1994 - 1995	0,17	0,31	4,84	1,76	0,64	0,46	2,01	0,57	1,34	0,01	0,04	1,12	0,09	0,42
1995 - 1996	0,45	0,46	1,81	0,94	0,25	0,11	3,72	0,94	2,28	0,02	0,05	0,47	0,20	2,30
1996 - 1997	0,09	0,14	4,83	1,24	0,52	0,40	2,30	0,47	2,52	0,17	0,32	2,03	0,06	0,09
1997 - 1998	0,31	0,28	3,96	5,65	0,67	0,36	0,42	0,93	0,14	0,03	0,01	6,89	0,13	0,74
1998 - 1999	0,46	1,28	1,38	0,22	0,02	0,06	2,08	0,99	0,98	0,15	0,21	0,50	0,07	0,29
1999 - 2000	0,14	0,15	1,07	2,37	0,53	0,19	2,68	0,57	3,08	0,06	0,10	2,45	0,10	0,69
2000 - 2001	0,28	0,33	2,79	2,23	0,65	0,49	0,69	0,53	0,53	0,08	0,20	2,66	0,03	0,38
2001 - 2002	1,08	0,14	3,99	1,99	0,17	0,07	1,33	0,75	1,33	0,07	0,07	5,16	0,09	0,45
2002 - 2003	0,17	1,24	3,93	0,99	0,16	0,10	0,46	0,59	0,08	0,22	0,18	1,50	0,12	0,45
2003 - 2004	0,30	0,38	4,30	0,34	0,01	0,04	8,85	0,13	6,04	0,19	0,15	2,41	0,17	0,24
2004 - 2005	0,04	1,86	2,24	3,75	1,52	1,43	4,72	0,64	2,96	0,28	0,19	4,14	0,13	2,91
Moyen	0,33	0,41	2,62	2,02	0,42	0,39	3,10	1,12	1,64	0,12	0,21	2,60	0,13	0,67

L'examen des divers critères statistiques et graphiques (tab. IV.9) et (figure. IV.21 met en lumière le système hydrologique et sa variation annuelle. Une irrégularité chronique se dégage ainsi, marquée par une forte dispersion annuelle de l'écoulement. A l'échelle des stations étudiées, il apparaît également une coïncidence dans la fréquence du comportement hydrologique, notamment en ce qui concerne les années d'occurrence déficitaire qui ont enregistré une hydraulicité inférieure à 1, comme les années 1979-1980 (hydraulicité moyenne de 0,6) ou l'année 1990-1991 qui a été marquée par le paroxysme de la sécheresse dans tout le Nord-est Algérien (hydraulicité moyenne de 0,7). Les années de profusion hydrologique dans la région sont 1973/74 (1,4), 1974/75 (2,04), 1986/87 (1,9), 2004/2005(1.9) 1987/1988(1.85), (1983/84 (1, 67). (Fig. 79 à 82).

Les valeurs extrêmes ont été enregistrées au niveau des stations, Ain El Assel (bassin des Côtiers Constantinois) avec Tassadan, Ain Smara, Bouchdira (bassin de Kebir Rhumel), Mirbeck, Medjez Amar II, Bouc

hegouf (bassin de la Seybouse) et El Aouinet (bassin de Medjerda). Ces valeurs sont respectivement: 21,25 m³/s; 8,44m³/s; 6,67 m³/s; 29,6 m³/s ; 9,66 m³/s; 5,08 m³/s; 6,04 m³/s; 6,89 m³/s.

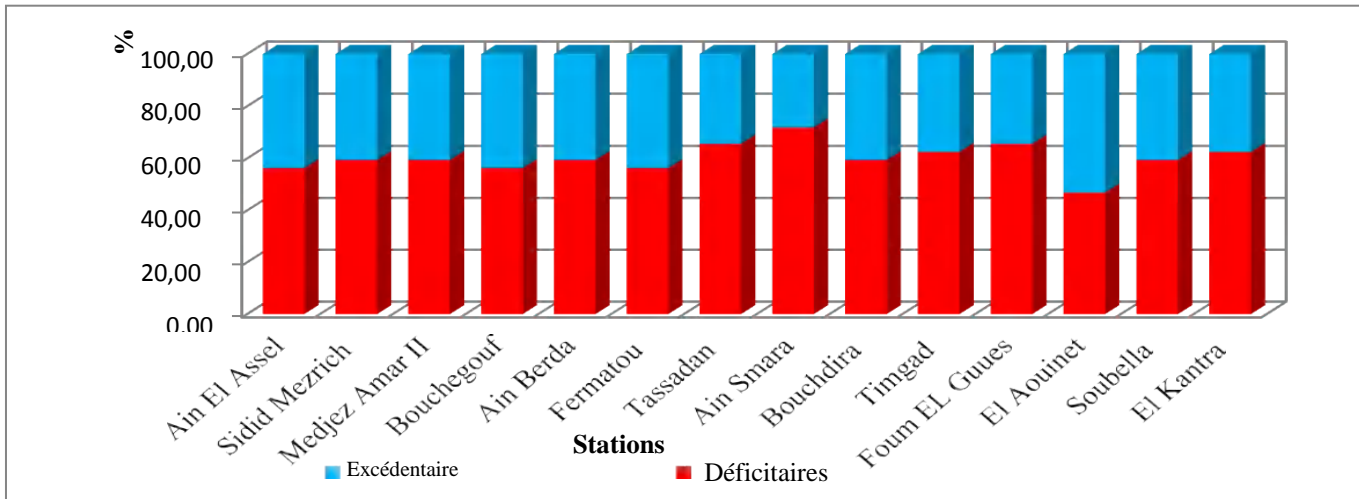


Figure. IV. 21: Hydraulicité des cours d'eaux : Part des années excédentaires et déficitaires (1973-74 à 2004-05)

On notera la faiblesse des écoulements annuels dans le bassin de l'oued Sabbath à cause de sa modeste surface. Les débits moyens annuels sont toujours inférieurs à 1,6 m³/s (Louamri, 2014), malgré de forts cumuls de pluie reçus.

Les valeurs moyennes annuelles des débits sont influencées par les années extrêmes déficitaires et les années d'abondance hydrologique

3.3. Variabilité temporelle des débits mensuels et les régimes saisonniers

Les relevés des débits des oueds durant une longue période montrent des variations saisonnières systématiques en relation principalement avec le régime pluviométrique puis en fonction d'autres facteurs qui influencent l'hydraulicité tels que la forme du bassin, l'occupation du sol, la situation géographique, l'infiltration, etc.

Le régime d'un réseau hydrographique résume l'ensemble de ces caractéristiques hydrologiques et son mode de variation.

Il se définit par les variations de son débit habituellement représentées par le graphique de l'écoulement mensuel moyen. La figure. IV. 22 représente les valeurs de modules mensuels moyens de certains cours d'eau dans le Nord-est Algérien sur une moyenne de 20 à 35 années. Au niveau de l'ensemble des stations du littoral et de l'Atlas Tellien, les histogrammes établis montrent la variation inter-mensuelle et inter-saisonnière des débits. De façon générale, les hautes eaux s'observent durant la saison froide et les basses eaux durant la saison chaude.

Le débit moyen mensuel maximum intervient le plus souvent au mois de Février dans la majorité des stations : à Khemakhem ($3 \text{ m}^3/\text{s}$) Sidi Mesrich ($1,2 \text{ m}^3/\text{s}$), Ain El Assel ($18,8 \text{ m}^3/\text{s}$), Fermatou ($1,3 \text{ m}^3/\text{s}$), Bouchdira ($13,66 \text{ m}^3/\text{s}$) Medjez Amar II ($5,6 \text{ m}^3/\text{s}$) et à Bouchegouf ($5,29 \text{ m}^3/\text{s}$) Mirebeck ($25 \text{ m}^3/\text{s}$).

En ce qui concerne le débit moyen mensuel minimum, il se produit naturellement en Été pour l'ensemble des stations du littoral et de l'Atlas Tellien. Il est rare qu'il dépasse les $2 \text{ m}^3/\text{s}$, à titre d'exemple, la station de Medjez Amar avec un débit minimal enregistré de $1,13 \text{ m}^3/\text{s}$, à Ain El Berda, il est nul en Juillet, il est également très faible à Bouchegouf ($0,19 \text{ m}^3/\text{s}$) en Août, et négligeable à la station de Khemkhem Sidi Mesrich et Bouchdira

Au niveau des stations du piémont nord de l'atlas saharien, la période des hautes eaux se produit au cours des quatre mois successifs (Février, Mars, Avril et Mai), en relation avec les pluies relativement copieuses de printemps et du rôle important de la neige qui doit être pris en compte lors des années exceptionnelles.

Pour la période d'étiage, elle débute de juin et va jusqu'à Janvier, mais avec une relative augmentation des débits durant les mois de Septembre et Octobre en raison des orages de fin d'été - début d'Automne, avant de revenir à la diminution en Décembre.

Pour les stations de l'Atlas Tellien, la période d'étiage correspond à l'Eté. A travers les histogrammes du débit moyen mensuel minimum, il est clairement indiqué que la correspondance avec le mois de juillet est évidente, les stations du piémont nord de l'atlas saharien (Yabous $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ Ouenza $0,98 \text{ m}^3/\text{s}$ Fesdis $0,22 \text{ m}^3/\text{s}$).

D'un autre côté les valeurs maximums sont enregistrées au mois de Septembre à Timgad et Fesdis qui sont respectivement de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ et $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$, et au mois de Mars pour la station de Yabous avec un débit $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

A travers la moyenne mensuelle des débits, on remarque de façon évidente la différence entre le système hydrologique de l'Atlas tellien et de l'Atlas Saharien.

Pour les stations du piémont sud des Aurès, le régime hydrologique inter- mensuel est très irrégulier. La fin d'Eté et le début de l'Automne enregistrent une remontée rapide des eaux, sous l'effet des orages et l'état de sécheresse du sol. Au printemps, les mêmes écoulements se produisent avec toutefois une intensité moindre en raison de l'état hygrométrique des sols.

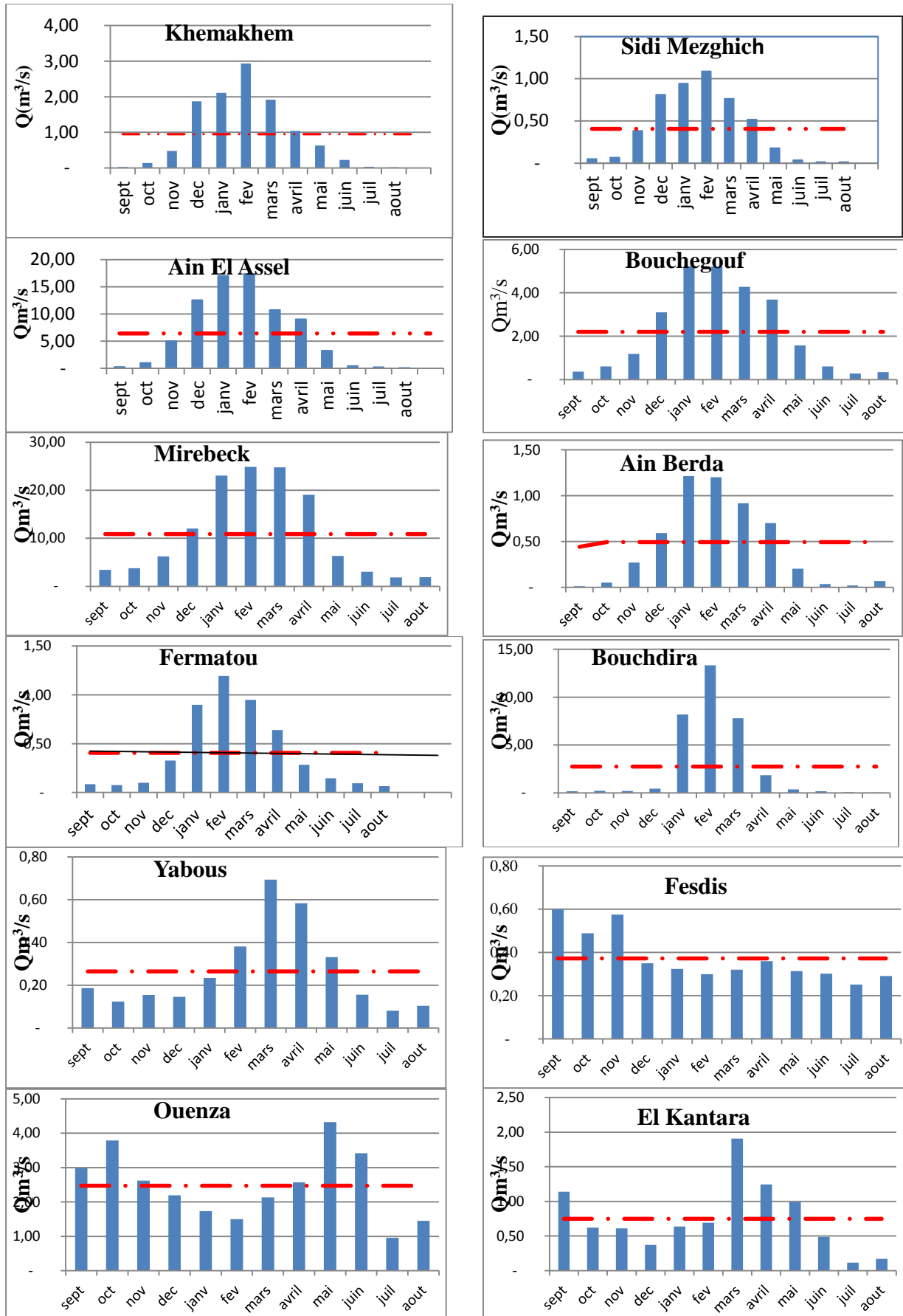


Figure. IV.22 : Variations mensuelles des débits moyens (1973/74-2004/2005)

Les influences sur l'évaluation de l'écoulement moyen annuel qui interfère avec des différents paramètres hydroclimatiques exposés dans cette partie de l'étude, pourraient être cernées de manière plus précise, si on les envisage au niveau des unités contrôlées par des stations hydrométriques lesquelles feront ultérieurement l'objet d'étude de bilans hydrologiques.

3.4. Bilans hydrologiques annuels

Dans un bassin versant, il est nécessaire de connaître les entrées et les sorties d'eau afin de calculer le bilan hydrique, et estimer de façon plus ou moins objective les réserves de sol. Ces informations sont très utiles pour une bonne gestion du risque « inondation » lié à un bilan hydrique très excédentaire. : « Inondations par remontée de nappes »

Tableau. IV. 10: Bilans hydrologiques annuels moyens (période moyenne : 1973-74 /2004/05)

Station	Bassin versant	Sous bassin	Surface km ²	Q (m ³ /s)	P(mm)	Lame écoulée EC mm	Coefficient d'écoulement C%	Déficit d'écoulement D=ETR(mm)
Bouchdira	Kebir Rhumel	Oued Rhumel-Smendou	3120	1,85	530	18,70	3,53	511,30
El Aouinet	Medjerda-Mellegue	Oued Mellegue Amont	3535	1,4	330	12,49	3,78	317,51
Ouenza	Medjerda-Mellegue	Oued Mellegue Amont	4575	2,6	358	17,92	5,01	340,08
Grarem	Kebir Rhumel	Oued Rhumel	5320	3,7	409	21,93	5,36	387,07
El Kantara	Chott Melrhir	Oued El Hai	1170	0,51	218,73	13,75	6,28	204,98
Moulin Rochfort	Seybouse	Cherf Aval	1710	1,302	361	24,01	6,65	336,99
Timgad Gue	Hauts Plateaux Constantinois		194	0,14	340	22,76	6,69	317,24
Mirebeck	Seybouse	Seybouse Maritime	2590	3,8	550	46,27	8,41	503,73
Djemourah	Chott Melrhir	Djammrah	595	0,31	153,37	16,43	10,71	136,94
Ain Smara	Kebir Rhumel	Oued Rhumel-Segen	1070	1,19	369	35,07	9,50	333,93
Sidi Ouadah	Soubella	Soubella	176	0,13	208	23,29	11,20	184,71
Sidi Mesrich	Cotiers Centre	Oued Guebli	100	0,22	606	69,38	11,45	536,62
Ain Erkell	Medjerda-Mellegue	Oued Mellegue Aval	16	0,03	450	59,13	13,14	390,87
Zit Emba	Cotiers Centre	Oued Kebir Hammam	485	1,4	683	91,03	13,33	591,97
Foum El Gueis	Hauts Plateaux Constantinois	El Gueis	144	0,26	410	56,94	13,89	353,06
Ain Berda	Seybouse	Ressoul	103	0,34	615	104,10	16,93	510,90
Douar Tassadane	Kebir Rhumel	Dehamcha-Kebir	960	3,4	534	111,69	20,92	422,31
Bordj Sabat	Seybouse	Oued Bouhamdane	560	2,5	611	140,79	23,04	470,21
Bouchegouf	Seybouse	Melah	550	3,1	722	177,75	24,62	544,25
Fermatou	Sommame	Sidi Embarek	105	0,4	438,16	120,14	27,42	318,02
Ain El Assel	Cotiers Est	Oued Kebir Est	680	6,9	800	320,00	40,00	480,00

En général, la distribution géographique du bilan hydrologique fait apparaître trois zones selon l'échantillon plus ou moins homogènes :

- Sud de l'atlas saharien avec du valeur des débits faibles (Soubella 0,4 m³/s, El Kantra 0,74 m³/s, Djemourah 0,31 m³/s);
- L'Aurès septentrional et les hauts plateaux où l'abondance spécifique et très variables (0,24 m³/s Yabous à Fom El Gueiss, 0,14 m³/s à Timgad Gue, et 0,76 m³/s Yabous à Moulin Rochefort) ;
- Le Tell et les littorale avec un débit spécifique relativement important qui varie entre 11,06 m³/s à Mirebek et 2,72 m³/s à Bouchegouf, 6,9 m³/s Ain El Assel;

3.4.1. Les précipitations

Pour déterminer les précipitations moyennes annuelles, nous avons utilisé les données de la carte de précipitation réalisée en 2004 par l'ANRH et revue en 2005 (Mebarki, 2005), par la méthode des isohyètes. La valeur moyenne des pluies observées dans l'Est Algérien par rapport aux stations retenues dans l'étude, est de 460mm. La valeur minimale a été relevée dans le bassin du Chott Melghir avec 150 mm et la valeur maximale à Zit El Emba avec 683 mm.

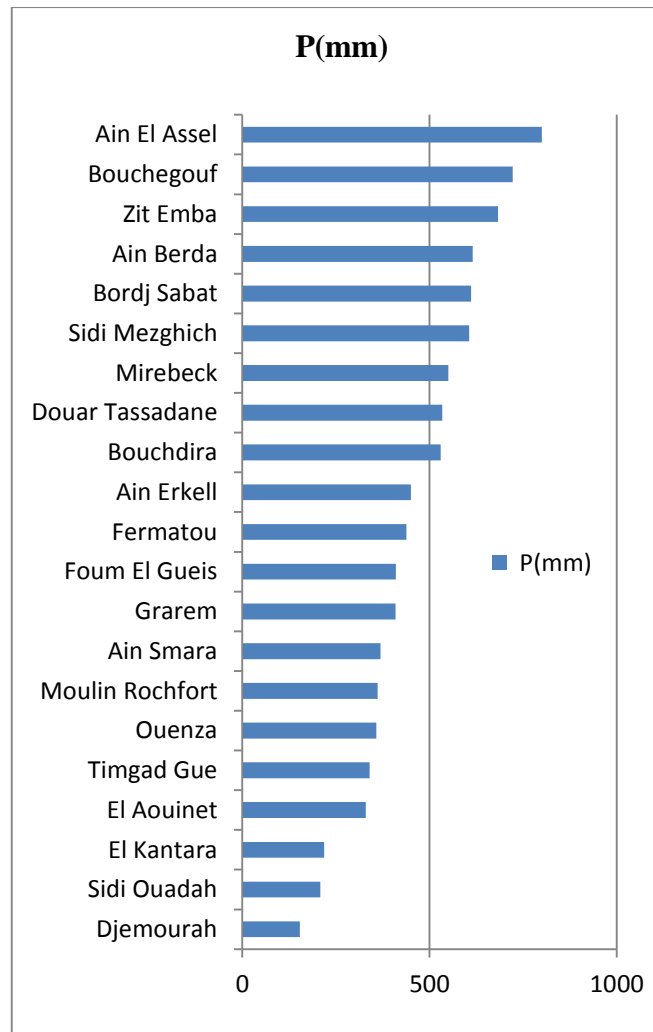


Figure. IV. 23: Répartition par ordre croissant des lames précipitées annuelles moyennes observées aux bassins

3.4.2.L'écoulement

La lame d'eau se définit comme étant la hauteur de précipitations qui s'écoule en moyenne, elle s'exprime en millimètres par unité de temps (mois ou année). On parle dès lors de lame d'eau mensuelle ou annuelle. Sur le total de la pluie qui s'accumule :

Une première partie s'évapore ;

Une deuxième partie s'infiltré dans les sols ;

Le reste s'écoule, alimentant ainsi le cours d'eau.

Plus le terrain est accidenté, plus la quantité d'écoulement est importante, car l'eau ruisselle plus rapidement et n'a pas le temps de s'évaporer ou de s'infiltrer.

Si nous multiplions la lame d'eau par la superficie du bassin, nous obtenons la quantité qui s'est écoulée dans un certain temps, et si nous la divisons par le nombre de secondes au cours desquelles s'est constituée la lame d'eau, on obtient le débit du cours d'eau par seconde.

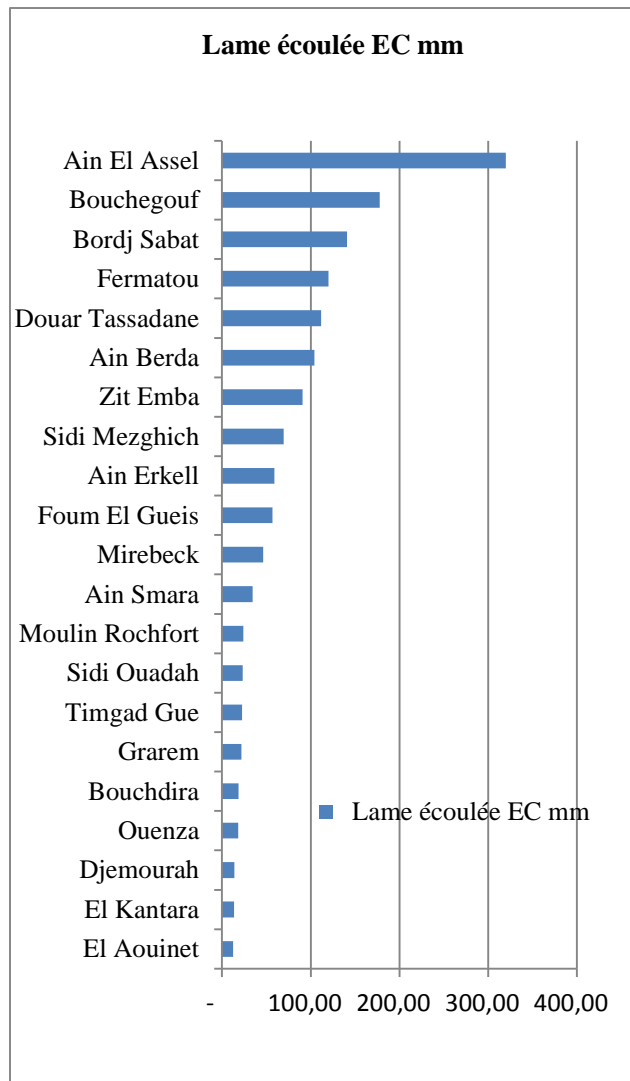


Figure. IV. 24 : Répartition par ordre croissant des lames écoulées annuelles moyennes observées aux bassins

3.4.3. Le déficit d'écoulement

La région orientale de l'Algérie reçoit en moyenne 460mm (précipitations). Elle varie d'un bassin à l'autre, entre 150 mm et 1200 mm de précipitations par an, ces quantités s'évaporent ou s'infiltrent définitivement. L'évapotranspiration réelle est estimée à 388 mm, elle varie entre 139 mm et 619 mm. Les valeurs faibles ont été enregistrées dans le bassin de Chott Melghir (station oued Djoummoura de 139 mm), et Chott Hodna (dans la station d'Oued Soubella 225 mm) et les valeurs extrêmes ont été enregistrées au niveau des stations de Zit Emba (592mm) bassin du littoral.

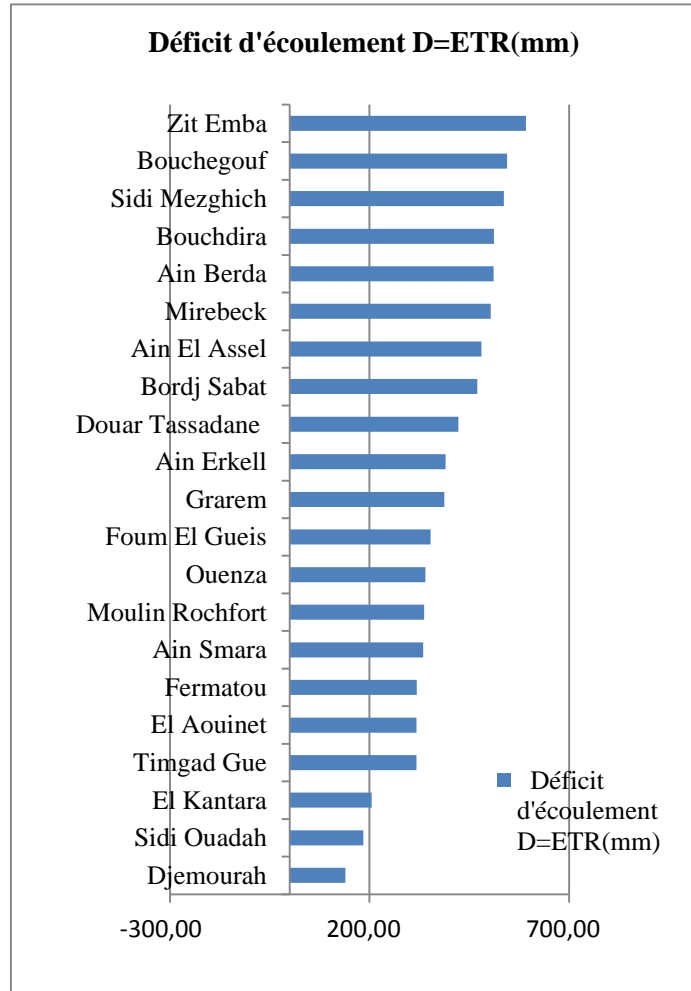


Figure. IV. 25: Répartition par ordre croissant des déficits d'écoulement annuels moyens observés aux bassins

3.4.4. Le coefficient d'écoulement

Le coefficient d'écoulement est le rapport, exprimé en pourcentage, entre la quantité d'eau écoulee et la quantité d'eau précipitée, $C_e (\%) = (E/P \times 100)$.

Etabli Sur l'échantillon des bassins retenus, il reflète néanmoins l'interaction des divers facteurs physico-géographiques, leur influence sur l'écoulement, et sert aussi à comparer des bassins d'étendues différentes. Le sous bassin versant de la Oued Kebir Est la station de Ain El Assel qui occupe une surface de 680 Km², enregistre la valeur la plus élevée de la région avec un coefficient d'écoulement de l'ordre de 39% correspondant à un débit moyen de 6,9 m³/s. Il atteint en moyenne 22 % pour le Bassin de Kebir Rhumel station Tassadane, dont la

surface est de 960km²soit, un débit moyen de 3, 4 m³/s, et une valeur minimale de 3,5 % dans le bassin de Kbir Rhumel (station Bouchdira) (3120km²). Les résultats de calcul pour chaque bassin versant sont consignés dans la Fig. IV. 26.

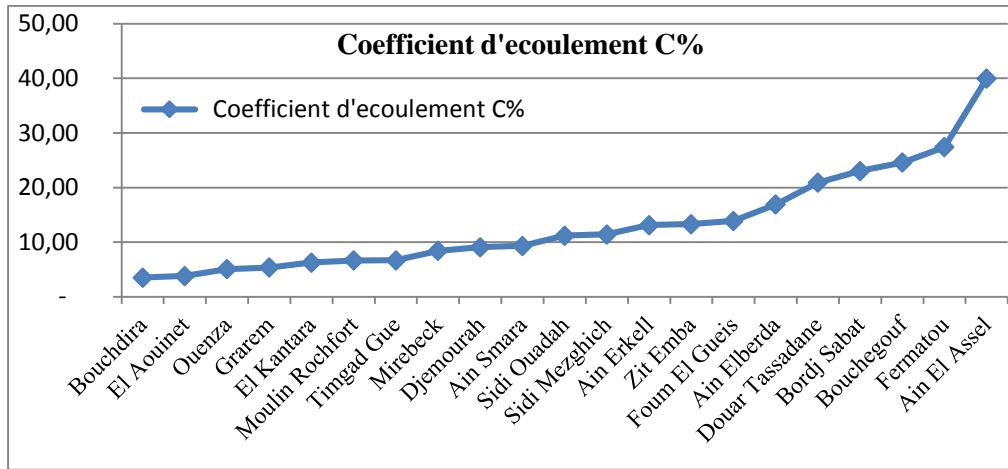


Figure. IV. 26: Rangement par ordre croissant du coefficient d'écoulement annuel moyen des stations hydrologiques de l'Est algérien

Les zones d'écoulement moyen, sont donc réparties en fonction de plusieurs facteurs, la topographie, l'occupation du sol et le climat. Une relation de dépendance existe entre la lame d'eau précipitée et la lame d'eau écoulee, qui se manifeste par un contraste spatial presque simultané (figure IV. 27). En général, les régions les plus arrosées sont les plus abondantes en écoulement.

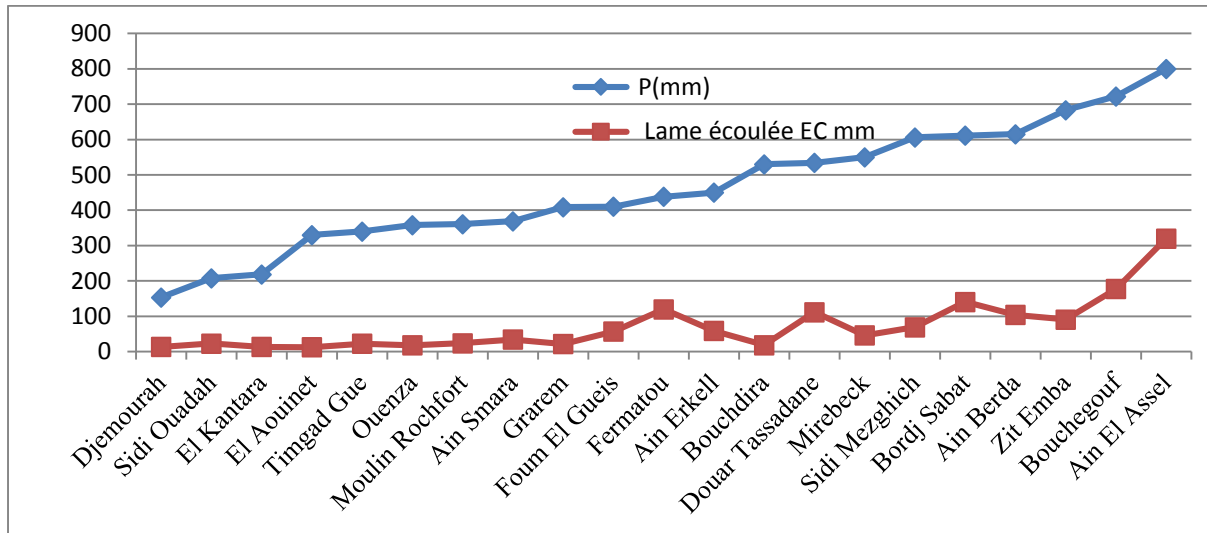


Figure. IV. 27: Courbes de variation spatiale des lames d'écoulement et de précipitations annuelles moyennes observées aux bassins

Il s'avère ainsi que le déficit d'écoulement est généralisé à toute la région du Nord Est Algérien, ce qui traduit la forte détermination du climat sur les écoulements. En zone semi-aride particulièrement, les contrastes hydrométriques très marqués reflètent les contrastes climatiques, d'autre part une teneur considérable des eaux infiltrées dans le sol.

A l'examen des résultats, il apparaît que les facteurs qui commandent le mieux l'écoulement sont la pluviométrie moyenne annuelle et la superficie des bassins.

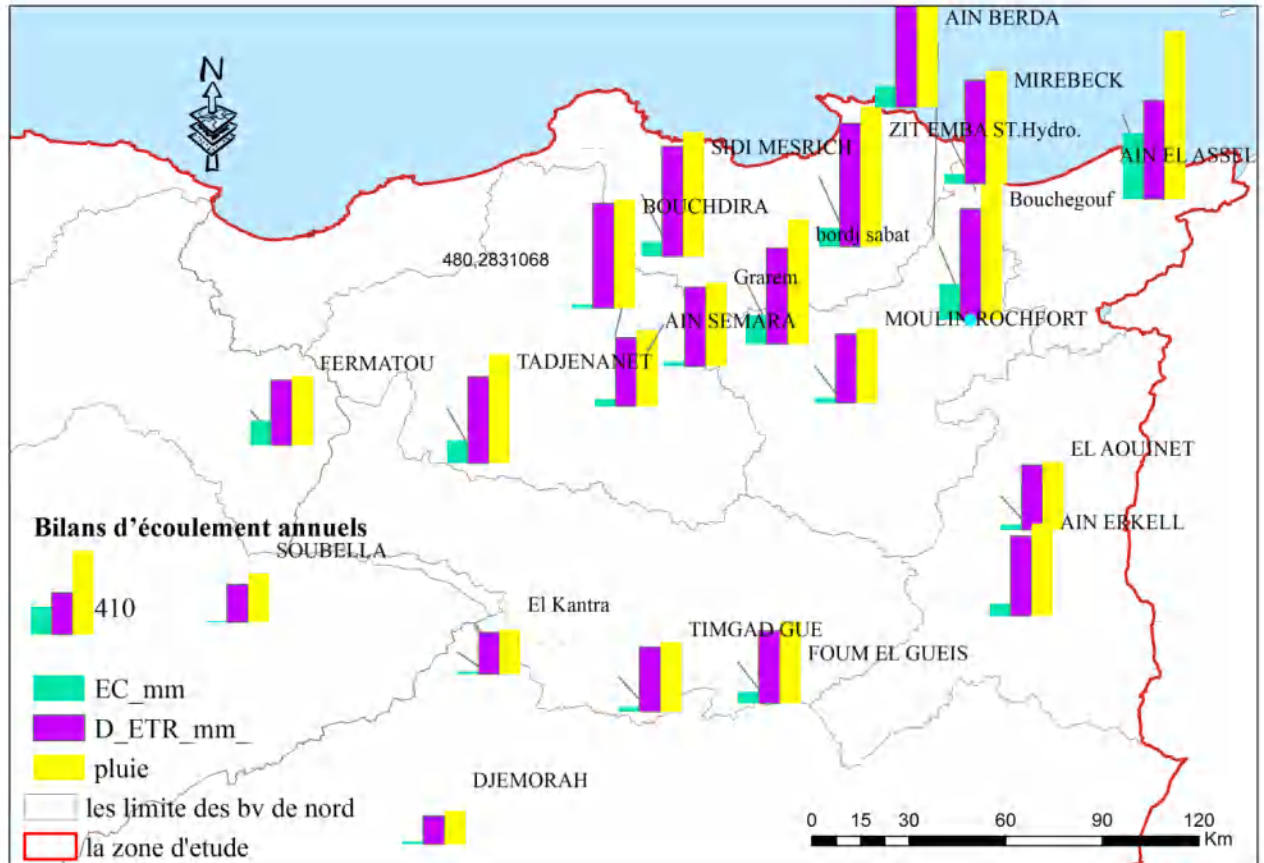


Figure. IV. 28: Bilans d'écoulement annuels moyens du Nord est Algérien

Le système hydrologique du Nord est Algérien, est caractérisé par une importante variabilité entre le nord et le sud. En effet, l'écoulement croît avec l'augmentation de la précipitation. La lame d'eau écoulee sur le bassin versant est dépendante de la variation de la hauteur d'eau précipitée et du déficit d'écoulement.

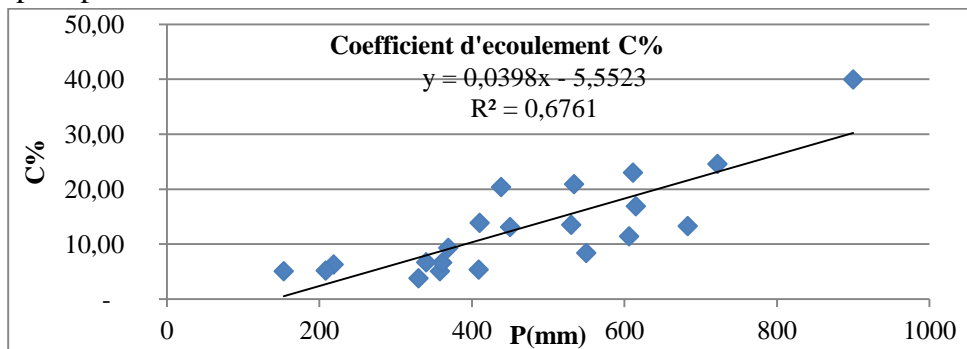


Figure. IV. 29 : Relation entre la pluie moyenne des bassins (mm) et les lames écoulees (mm)

Les résultats présentés dans le diagramme expliquent la régression linéaire entre ces deux paramètres le coefficient d'écoulement C_e % et la pluie moyenne. Cette relation est exprimée avec un coefficient de corrélation : $R = 0,82$ avec la formule suivante (fig. IV. 29):

$$C\% = 0,034 * P - 1,78$$

Elle exprime clairement la prédominance du régime hydrologique de type «pluvial méditerranéen », le facteur pluviométrique demeure déterminant comme l'atteste la liaison forte ($R = 0,85$), de type puissance, qui existe, au pas de temps annuel moyen, entre les lames écoulées et les lames précipitées ramenées aux surfaces des bassins.

La soustraction des lames d'eau écoulées des lames précipitées correspondantes conduit au déficit d'écoulement : les quantités de perte d'eau sont spatialement moins variables, mais en terme temporelle le régime d'écoulement est donc variable et irrégulier, selon le régime climatique et de la réponse du milieu physique des bassins.

4.Étude des caractéristiques de variabilité hydroclimatique

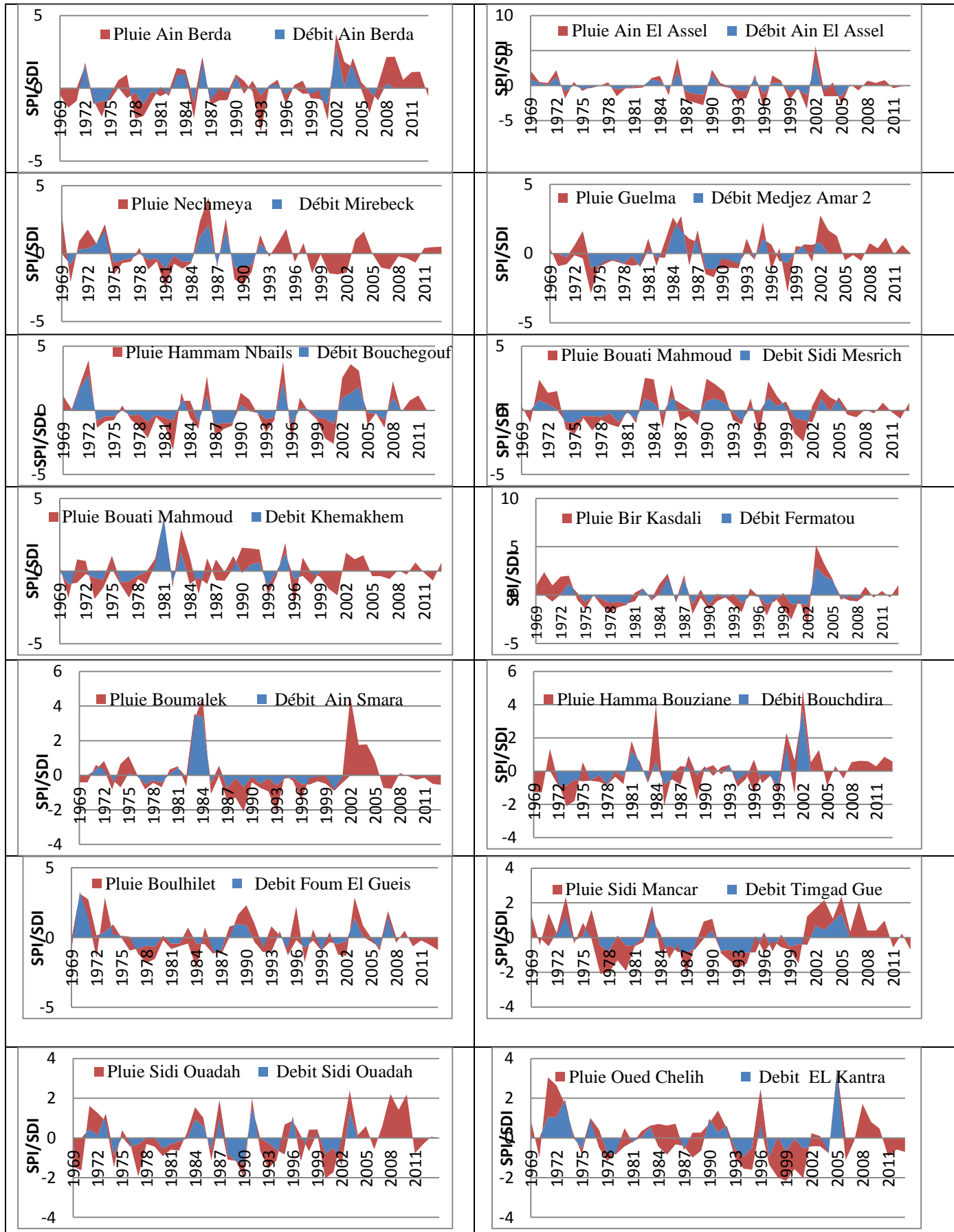
4.1. Indice pluviométrique et hydrologique

Les indices pluviométriques et hydrométriques permettent de dégager les grandes tendances dans les séries chronologiques et mieux visualiser les périodes de déficit et d'excédent à l'échelle annuelle. Pour déterminer les périodes de déficit et d'excédent à l'échelle interannuelle, les moyennes calculées ont été centrées et réduites à partir de la formule suivante :

$$V_{cr} = \frac{(P - \bar{P})}{\sigma}$$

Où V_{cr} est la variable centrée réduite (Indice pluviométrie ou hydrométrie selon la variable étudiée), P est le cumul de la variable sur une période t donnée, (la moyenne de la série chronologique sur la période d'étude et l'écart type de la série sur la période d'étude). La pluviométrie est très hétérogène dans le temps et dans l'espace. L'étude des variations interannuelles des séries de pluies et de débits par l'indice centré réduit est développée en vue de caractériser les années déficitaires et excédentaires

La longueur de la série des débits, des pluies stationnelles est différente d'un bassin à l'autre, tandis qu'elle est identique pour les pluies. La variabilité hydroclimatique se matérialise généralement par une alternance entre période humide, sèche et normale dont la durée est différente d'une région à l'autre.



Figur. IV.30 : Évolution interannuelle de la pluviométrie et des débits du Nord-Est algérien

L'évolution à long terme des débits du Nord-est Algérien (fig. IV.30) suit approximativement la même tendance que celle des pluies.

Dans Les stations côtières et celles des Hautes plaines, les deux signaux, révèlent une organisation des valeurs structurée en deux périodes :

- La première période, de 1973 à 1983, se démarque par une très forte sécheresse, et est considérée comme déficitaire, sur l'ensemble des stations (Ain El Assel, Mirebeck, Medjez Ammar, Bouchegouf, Sidi Mesrich, Fermatou)
- La deuxième période commence en 1984 et se termine en 2001 pour les pluies et 2005 pour les débits. Elle est caractérisée par une variation des années humides ou très humides et des années sèches et très sèches, elle est considérée comme une période d'oscillation entre les années d'abondance hydrologique et les années déficitaires.
- Les années d'abondance hydrologique sont ($V_{cr} > 2$), 1984/85, 1986/87, 1990/91, 2003/04, 2004/05. Le reste des années correspond à des années déficitaires.

Pour le piémont Sud et Nord de l'Atlas saharien, une forte oscillation inter annuelle est relevée dans les stations de Sidi Ouadah, Foum Gueis, Timgad, El kantra. Cette forte variabilité s'explique par le caractère propre de la région aride.

4.2. Apport de la cohérence par ondelettes continues pour déterminer les liens pluies et débits

En fin de chapitre, notre étude vise à analyser la variabilité climatique au niveau de la région du Nord Est Algérien, à comprendre son impact sur les ressources en eau superficielle des bassins versants, et à saisir en particulier l'évolution temporelle (long au court terme) de la variabilité hydrologique. Grâce à l'analyse de séries chronologiques (précipitations, débits) par ondelettes continues, les éventuelles périodicités, ruptures ou discontinuités temporelles pourront être détectées. 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.

4.2.1. Détermination des modes de variabilité pluviométrique

Pour consolider et confirmer les résultats obtenus par les indices, une étude selon la méthode spectrale visant à analyser la variabilité des précipitations au pas de temps mensuel, au niveau des bassins est effectuée. Cinq bandes fréquentielles d'énergie (1 an, 1-2 ans, 2-4 ans, 4-8 ans, et 8-12 ans) sont distinguées par la méthode de la transformée en ondelettes dans le but de distinguer les éventuelles périodicités, les ruptures ou discontinuités temporelles susceptible(fig IV. 31). Il ressort de cette analyse spectrale du Nord au Sud ce qui suit :

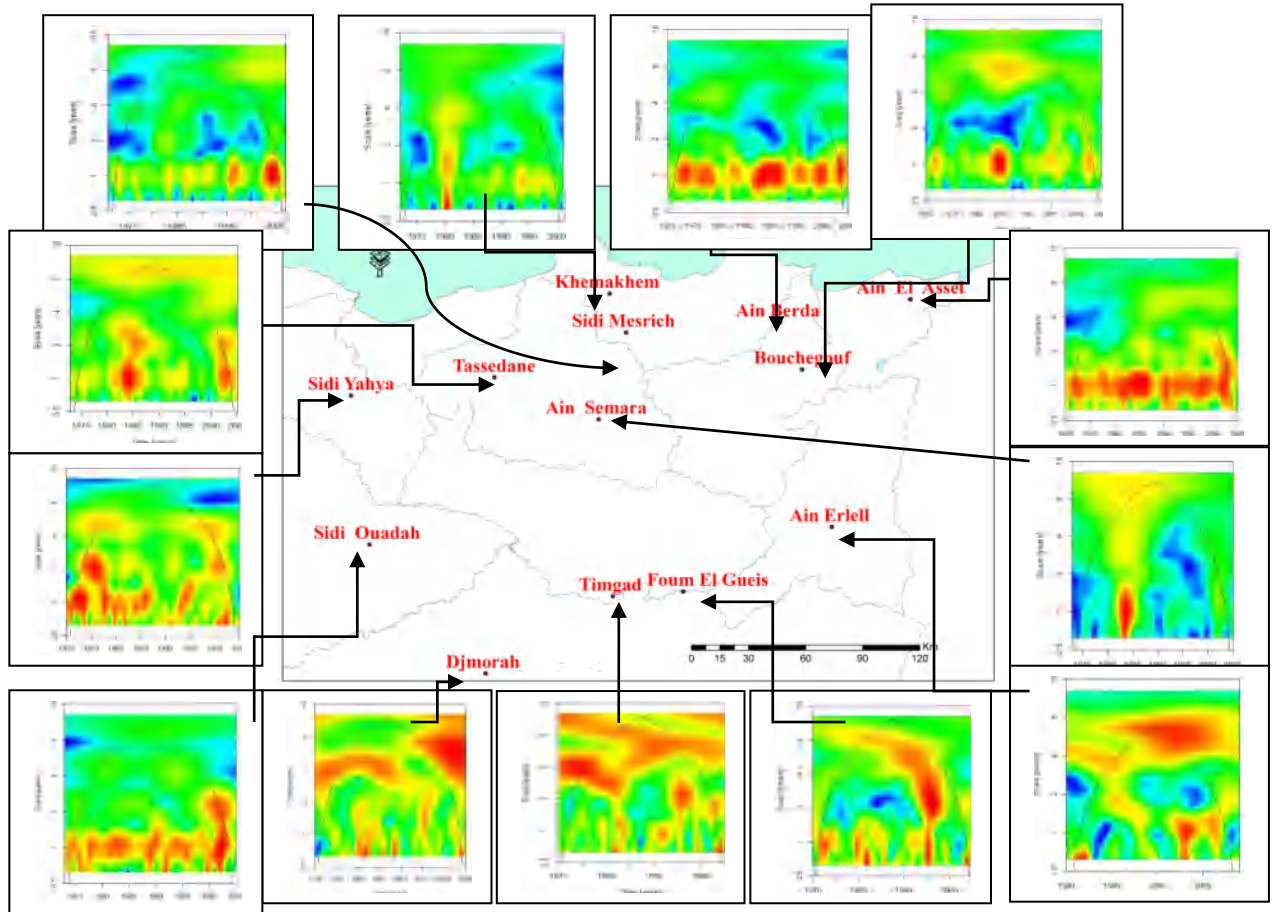


Figure. IV. 31: Spectres locaux de l'analyse en ondelettes continues des précipitations

Tous les spectres en ondelettes des précipitations de la région ont enregistré des fluctuations communes, pour les différents modes de variabilité (de 1 an, 2-4 ans). Pour les fluctuations sur les bandes (4-8 ans, 8-12 ans,) seules les stations du sud ont été concernées par une forte énergie à savoir les stations situées dans les bassins de Medjerda, des Hauts Plateaux Constantinois, et de Chott Melghir.

Les résultats de l'analyse spectrale montrent une double influence sur le régime pluviométrique, une influence globale liée aux facteurs de position géographique (longitude, latitude, altitude), et une seconde locale en relation avec les facteurs physiogéographiques (type de sol, couvert végétal, exposition...)

Plusieurs modes de variabilités générés par l'influence globale sont observés à travers la série chronologique retenue, ils reflètent les différents étages climatiques de la zone d'étude. Trois périodes apparaissent sur le spectre en relation avec l'influence locale :

- Une première période est visible autour de 1980-1985 caractérisée par une forte énergie sur la bande de 1 an et 1-2 ans pour les bassins des côtières constantinois, de la Seybouse, de la Soummam. Pour Kebir-Rhumel la fluctuation est observable sur toutes les bandes de 1 an à 8-12 ans et pour le bassin des Hauts plateaux, les fluctuations n'apparaissent que sur les bandes 2-4 ans et 4-8 ans...
- La deuxième période est enregistrée entre les années 1984-2000, elle est caractérisée par une faible puissance d'énergie dans la majorité des stations sur les bandes

fréquentielles de 2-4 ans et 4-8 ans. Les autres stations (Djmorah, Khmekhem, Sidi Mesrich, Ain Erkel, Foum el gueis et Timgad) par contre présentent un spectre sous forme de spots de quelques années, sur toutes les bandes.

- La troisième période peut être observée vers 2001, elle enregistre de nouveau une forte énergie sur toutes les bandes à l'exception de la station de Ain Semara.

4.2.2. Détermination des modes de variabilité hydrologique

Les analyses en ondelettes continues sont donc ici utilisées pour identifier les principaux modes de variabilité des débits des oueds étudiés selon toujours une coupe nord-sud, afin de détecter d'éventuelles ruptures temporelles dans la structuration de cette variabilité. (Middelkoop et al., 2001, Hadria et al, 2005, Greene et Pershing, 2000; Parsons et Lear, 2001; Lomas et Bates, 2004; Zamrane, 2018)

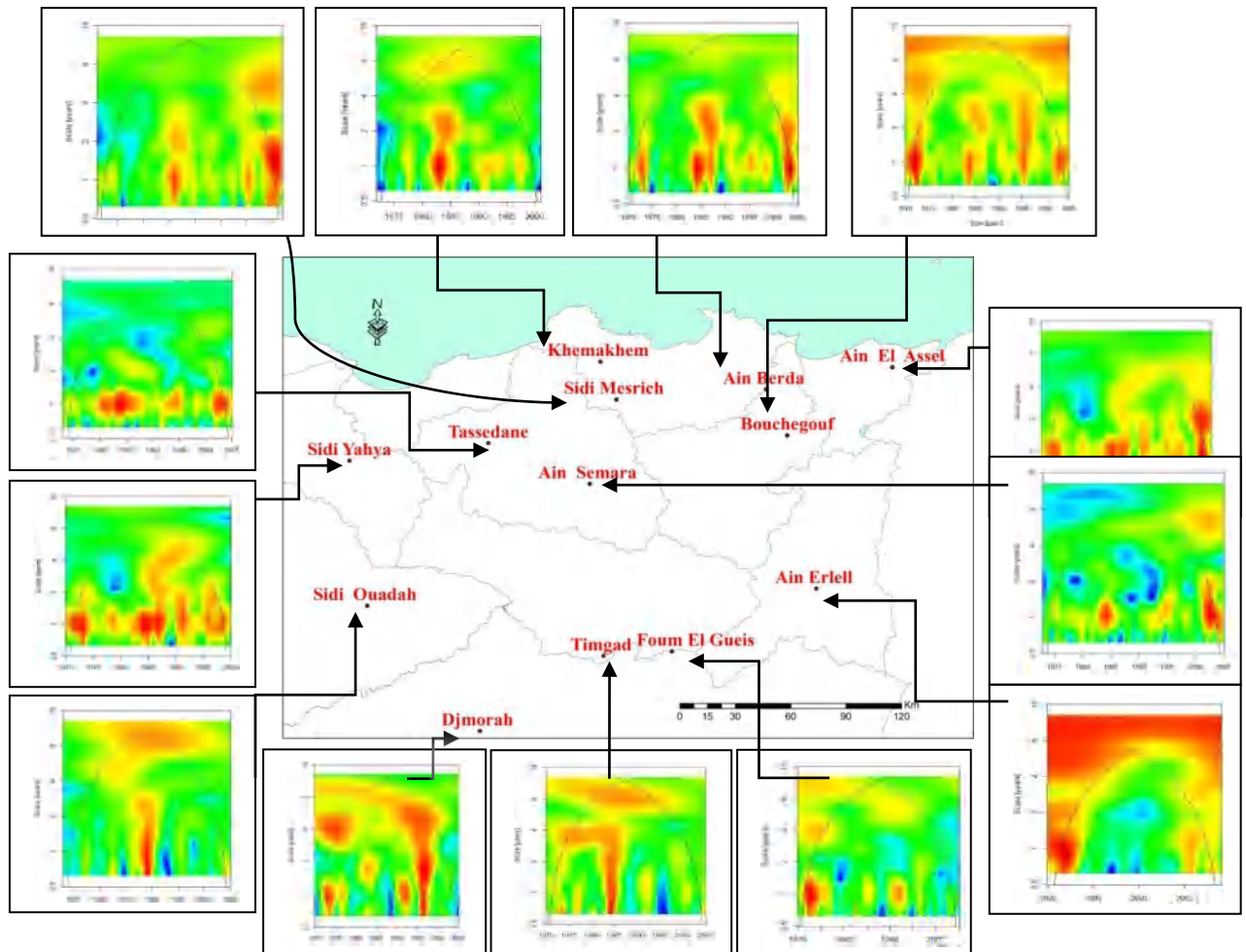


Figure. IV. 32: Spectres locaux de l'analyse en ondelettes continues des apports hydrologiques

A partir de la variabilité des apports, les principales périodes apparaissant sur le spectre en ondelettes locales pour chaque station.

- Pour les stations du Nord (huit stations situées ou nord dans les bassins Côtiers Constantinois, Seybouse, Soummam, kebir Rhumel) quatre périodes ont été distinguées :

- Une première période, 1970-1980 caractérisée par une instabilité de l'énergie visible sous forme de spots de quelques années, sur toutes les bandes.
 - Une deuxième période (1980-1986) distinguée par une forte énergie sur les bandes 1 an, 1-2 ans, pour les stations Ain El Assel, Tassedane Ain Smara, Sidi Yahya et 1 an, 1-2 ans, 2-4 ans, 4-8 ans pour les stations de Ain Berda, Khmakhem sidi Mesrich, et Bouchegouf. Correspondant aux analyses précédentes.
 - Une troisième période 1987- 2001 marquée par une diminution des bandes fréquentielles (1-2 ans pour toutes les stations, et 8-12 ans pour la station Khmekhemet Ain Berda), et correspondant étroitement à la première période hydrologique sèche observée dans l'analyse de l'indice centrées réduites
 - Enfin une quatrième débutant vers 2002 caractérisée par une forte puissance d'énergie sur les fluctuations 1-2 ans, 2-3 ans, et également 4-8 ans sur toutes les stations des bassins des Côtiers Constantinois, de la Seybouse, de la Soummam, et du kebir Rhumel. Seules les stations de Bouchegouf, située dans le bassin de la Seybouse et Sidi Mesghiche, située dans le bassin des Côtiers Constantinois) ont enregistré une fluctuation exceptionnelle de 8-12 ans indiquant un certain retour vers l'humidité
- Pour les stations du Sud (cinq stations situées dans les bassins des Hauts Plateaux Constantinois, de la Medjerda, du Chott El Hodna, et chott Melghir), la non homogénéité spectrale domine. Les fluctuations diffèrent d'un bassin à l'autre :
- Pour le bassin des Hauts plateaux, les spectres en ondelettes de la station de Foum El Gueis et de Timgad se caractérisent par de nombreuses et longues discontinuités qui se manifestent à travers quatre périodes bien définies. La première se situe avant 1980 et se manifeste par une forte énergie sur les bandes 1 an, 1-2 ans, pour la station de de Foum El Gueis et 2-4 ans, 4-8 ans, 8-12 ans, pour la station de Timgad et de Foum El Gueis); Elle correspond à la phase humide. La deuxième est visible entre 1980-1990 et est caractérisée par une perte d'énergie sur les bandes 1 an, 1-2 ans correspondant à la phase sèche, la troisième intervient entre 1990-1995, avec une puissante énergie sur les bandes 1 an et 1-2 ans. Et la dernière après l'année 1995 marquée par une perte d'énergie générale.
- Pour le bassin du Hodna, Le spectre en ondelette de débits de Sidi Ouadeh, se distingue par trois périodes : La première se situe avant 1985, avec une perte d'énergie sur la fluctuation 1 an, 1-2 ans, 2-4 ans, la seconde est visible durant 1985-1991, caractérisée par une forte énergie sur les bandes 1 an, 1-2 ans, 2-4 ans 4-8 ans, et la troisième , après 1991, avec une perte totale d'énergie correspondant à des cycles d'humidité et de sécheresse évoquées précédemment par les graphiques de centrées réduites
- Pour le bassin de chott Melghir, 4 périodes se détachent dans le spectre de la station Djemorah : deux périodes marquées par une forte énergie, 1972-1978 et 1990-2001, sur les bande, 1 an, 1-2 ans, 2-4 ans, 4-8 ans, 8-14ans, et deux période (1979-1990 et 2001-2005, marquées par une faible énergie sur les bandes 1 an, 1-2 ans
- Pour le bassin de la Medjerda, le spectre de Ain Erkel porte sur une courte durée, aussiseule une discontinuité est visible pendant la période 1994-2004, elle est caractérisée par

une faible puissance d'énergie des bandes fréquentielles de 1an et 1-2 ans, (ce marqueur correspond aux années sèches observées par l'étude de l'indice SPI).

4.2.3. La cohérence en ondelettes continues : évolution de degré de corrélation entreapports et pluies au cours du temps

Afin de comparer plus précisément les principaux modes de variabilité des débits et des précipitations il serait important de pouvoir identifier la variabilité commune entre les deux signaux, et surtout de saisir l'impact des fluctuations des pluies sur les fluctuations des débits. Pour cette raison, la méthode de la cohérence par ondelettes continues a été appliquée. Cette analyse permet de quantifier les degrés de corrélation entre les deux paramètres (pluie/ débit), suivant les différents niveaux d'échelles, au cours du temps.

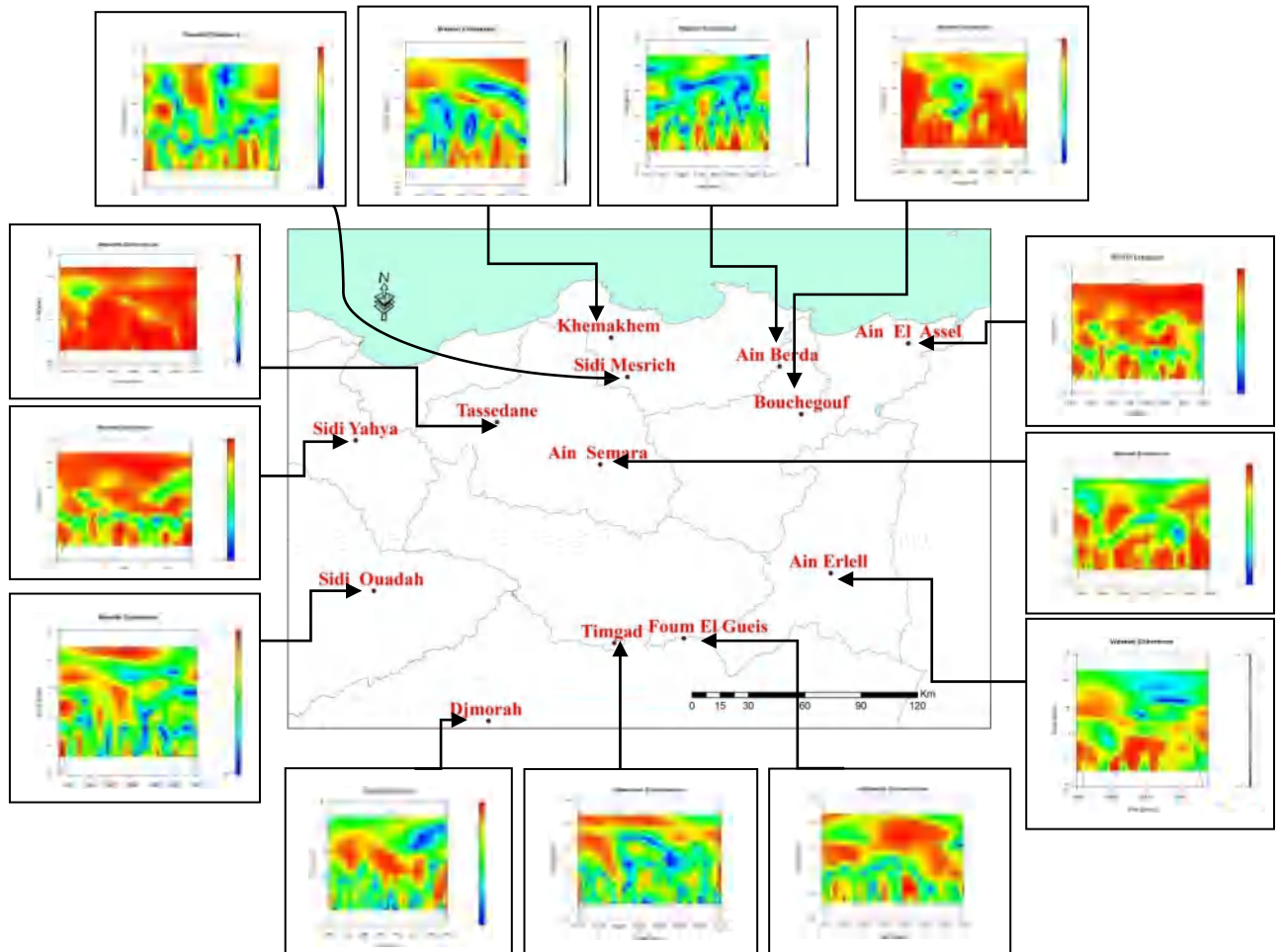


Figure. IV. 33: Spectres locaux de l'analyse de la cohérence par ondelettes continues desapports/ précipitations

Les spectres de la cohérence en ondelettes de débits et des précipitations indiquent que la variabilité des débits montre globalement une forte cohérence avec les précipitations, observée essentiellement dans le sous bassin de Douar Tassedane, Sidi Yahya, Ain Assel, Bouchegouf. En revanche, la corrélation est moins forte pour les autres bassins situés au sud

(Sidi Mesghiche, Sidi Ouadah, Foum El Gues, Timgad) et également Khemakhem située au Nord en raison de sa position géographique (situation d'abri) mais les pourcentages de cohérences restent à un niveau $>50\%$

Des pertes de cohérences sont observées sur les différentes échelles de temps pour tous les bassins versants sauf pour Douar Tassadane (absence de la couleur bleu). Ces pertes (ou diminutions) de la cohérence sur quelques années peuvent être liées aux périodes sèches observées déjà dans les spectres en ondelettes des pluies et débits, ou à d'autres facteurs d'origines diverses (physiographie des bassins, autres facteurs climatiques...). La forte cohérence observée entre la variabilité des débits et des précipitations suggère une influence du climat sur la réponse hydrologique de la région. Cette influence peut être estimée globalement en calculant la cohérence moyenne débits/ précipitations sur la période de temps étudiée.

Nous pouvons remarquer que la cohérence est variable d'un bassin à l'autre. Elle est presque totale pour tous les pas de temps dans le sous bassin de Douar Tassadane, (Kebir Rhumel) $92,6\%$; Elle n'est que de $66,38\%$ au bassin de Timgad dans les Hautes plaines.

Certaines pertes de cohérence observées à travers les différents spectres, ont pour origine la variabilité climatique $>50\%$, et seulement 10% à 41% de la variabilité observée dans les débits ne sont pas directement reliées à la variabilité des pluies, mais à d'autres facteurs d'origine diverse (physiographie des bassins, autres facteurs climatiques...).

Conclusion

Dans ce chapitre, à l'aide de différents indices climatiques les principaux changements extrêmes qui ont affecté le régime des pluies ont été saisis. L'analyse montre que la région étudiée est soumise à un régime méditerranéen, saisonnier « classique très marqué », à maximum pluviométrique centré sur la saison hivernale. Presque partout, le printemps est la seconde saison la plus pluvieuse de l'année (régime saisonnier de type HPAE).

Pour connaître les intensités de concentration des précipitations spatiotemporelles et déterminer les années extrêmes sèches et humides, nous avons utilisé les indices de Martin vide CI qui indiquent la concentration journalière de précipitations

Cet indice qui est une variable climatique d'un grand intérêt, car elle exprime l'irrégularité des valeurs des précipitations journalières et surtout celles de la concentration ou de l'accumulation de précipitations durant 24 heures, nous a permis de quantifier et de spatialiser les concentrations les plus fortes. Dans le cas de Biskra Annaba, et Jijel, elle est supérieure à 0.5.

L'indice PCI qui caractérise les fluctuations annuelles des concentrations pluviométriques, indique une fluctuation modérée à Fortement saisonnière. Les résultats du PCI montrent une répartition saisonnière modérée de précipitation dans toute la zone d'étude (PCI entre 11 et 15) avec quelques années exceptionnelles. Seules les stations de Ain Babouche et Sidi Embarek au nord, les stations les Lacs, Djemorah Biskra Foum El Gherza), au sud indiquent de fortes concentrations des précipitations mensuelles (PCI >20). En outre, ces indices de concentration sont des indicateurs utiles de la capacité érosive des

précipitations, du risque d'inondation et de sa torrencialité.

Les méthodes de caractérisation des régimes hydrologiques ont fait l'objet d'une étude détaillée, à partir de séries de données provenant de l'ANRH. Les ressources en eau superficielles dans le Nord Est Algérien sont soumises à une oscillation annuelle et saisonnière, et par conséquent à une fluctuation de l'écoulement. Cette fluctuation résulte du type de la pluviosité, de la réponse de la caractéristique physique des bassins versant, et du degré des activités anthropiques

Les apports ont été étudiés à l'échelle des bassins jaugés du Nord Est algérien, en mettant l'accent sur la relation débits fréquentiels/pluie /. L'étude a concerné l'oued : Kebir Est, Guebli, Ressoul, Kebir Hammam, Seybouse Maritime Bouhamdane, Cherf Aval, Melah, Soubella, El Hai, Djammrah, Mellegue Amont et aval, Sidi Embarek, Dehamcha-Kebir, Oued Rhumel-Segen et Smendou.

Leur analyse a permis de faire ressortir suivant un axe Nord-Sud, la large gamme des débits annuels moyens (0,23 m³/s à 26,7m³/s), en relation avec les lames d'eau précipitées (150 mm à 1200 mm).

L'évolution à long terme des débits du Nord-Est Algérien, suit approximativement la même tendance que celle des pluies. On peut dire que les sécheresses sont survenues dans la période de 1973 à 1983, se démarque par une très forte sècheresse, et est considérée comme déficitaire, sur l'ensemble des stations.

Pour la relation entre les paramètres, pluies et débits, la méthode des variables centrées réduites a permis de mettre en valeur leur forte variabilité spatio-temporelle, liée aux grands ensembles géographiques du pays. Leur évolution temporelle s'inscrit dans un schéma presque identique, avec quelques décalages entre les bassins : Pour les stations côtières et celles des Hautes plaines, deux périodes distinctes se dégagent confortées par l'analyse en ondelettes une humide et une sèche, et pour les stations du piémont Sud et Nord du l'Atlas saharien l'évolution se fait en dents de scie.

Le facteur climatique influe donc sur le débit des oueds, et par conséquent sur les risques d'inondation. Parmi les facteurs de risque les plus importants, mentionnons le volume et le type de précipitations, de même que la nature et l'état du bassin versant, ainsi que l'urbanisation. C'est ce que nous allons essayer d'aborder dans les chapitres suivants.

**CHAPITRE V : APERÇU SUR LES INONDATIONS DANS LE MONDE ET EN
ALGERIE**

Introduction

Dans le cadre de ce chapitre, nous essayerons principalement de bien cerner la définition des concepts clés intervenant dans la problématique des risques hydroclimatiques. Dans un premier temps, les concepts vont être définis dans un contexte général de risque dans le monde, puis étoffés, pour permettre de dresser le cadre terminologique précis, en spécifiant les aspects de la problématique des inondations qui vont être pris en charge en Algérie. Il est donc très important de bien différencier les notions de crue et d'inondation.

1. Les inondations dans le monde

L'inondation est un des principaux risques naturels dans le monde ; c'est la catastrophe naturelle causant le plus de dégâts. Pour la période 1996-2005, environ 80 % des catastrophes naturelles mondiales étaient d'origine météorologique ou hydrologique. Les inondations auraient affecté en moyenne 66 millions de personnes par an entre 1973 et 1997 (I'EM-DAT) et elles devraient s'aggraver dans beaucoup de ports et communes littorales. Selon une étude évaluant le coût probable de l'élévation des océans et des phénomènes météorologiques extrêmes pour les 136 principales métropoles littorales (tab. V.1), les inondations pourraient coûter environ 1 000 milliards par an de 2010 à 2050, rien que pour ces villes.

Tableau .V.1 : Typologie génétique des inondations dans le monde (L'EM-DA)

	Causes principales	Causes secondaires	Manifestations	Principales zones exposées	Exemple
Inondation d'origines météorologiques directes	Pluies intenses	Pente forte	Crue torrentielle	Collines ou montagnes sous climat tropical, continental	Big Thompson floods 31 juillet 1976
	Pluies peu intenses	Fonte nivale Remontée de nappe	Inondation lente (cumulatives)		Inondation de plaine (Seine en 1910),
	Fonte glaciaire	Rupture de bouchon de glace	Débâcle	Sibérie, Canada, Alaska	Fleuves sibériens au printemps
	Fonte nivale			Montagnes tempérées, Zones continentales des latitudes	Crues du Rhone
	Tempête	Basses pressions atmosphériques	Marée de tempête	Littoraux de la zone tropicale	Cyclone acqua alta à Venise
Inondation d'origines météorologiques indirectes	Rupture lac glaciaire	Fonte ou écoulement de glacier	Crue brutale	Montagnes tempérées et subpolaires	Alpes
Inondation d'origines non météorologiques	Éruption volcanique	Fonte glaciaire	Fonte de neige ou de glace lahar	Pourtour du Pacifique, Volcans de la zone froide (Islande)	Jokulhaup en Islande en 1996, Nevado des Ruiz (Colombie) en 1986
	Séisme, éruption volcanique ou glissement de terrain sous-marin		Tsunami	Pourtour du Pacifique	Océan indien 26/12/2004
	Glissement de terrain	Fortes précipitations	Rupture de barrage naturel	Océan Indien	Inondation (Équateur, 1993)
Inondations d'origines anthropiques	Rupture de digue	Crue fluviale	Submersion des zones basses	Plaines fluviales ou littorales	Inondation Nouvelle Orléans août 2005
	Rupture de barrage	Séisme, fortes pluies glissement de terrain	Onde de submersion à l'aval		Fréjus, 1959

A partir des sources majeures L'EM-DAT, Le site du Dartmouth Flood Observatory (DFO), les inondations les plus catastrophiques en termes de perte de matériels ou de vies humaines sont liées aux cyclones, mais il est difficile de séparer les effets du vent de ceux propres aux inondations. La carte (fig .V.1.) établie selon le classement du CRED et les chiffres fournis par les réassureurs, sous-estiment le nombre de décès dus aux inondations car les victimes des cyclones ne sont pas intégrées. Ils soulignent tout de même la prédominance de l'Asie du Sud-est et en particulier de la Chine dans ces bilans.

L'intégration des victimes de cyclones ne ferait qu'amplifier cette répartition géographique. Le cyclone Nargis a fait plus de 84 000 victimes dans les plaines littorales du sud du Myanmar en mai 2008. Comme au Bangladesh ou en Louisiane en 2005, la plupart des victimes ont péri noyées. En août 2005, le cyclone Katrina combiné aux inondations de la Nouvelle-Orléans, a été la catastrophe naturelle la plus coûteuse de l'histoire avec 125 milliards de dollars. Pourtant, il n'est pas cité en tant qu'inondation par les réassureurs ou les tableaux du CRED. Son bilan varie de 1 300 à 1 800 morts selon les sources (F. Vinet, 2010).

- Bangladesh 1970 : 300 000 morts;
- Calcutta 1971 : 10 000 morts;
- Sud-Est de l'Inde 1977 : 14 000 morts;
- Bangladesh 1985 : 11 000 morts;
- Alger Bab El Oued 2001 : 772 morts, 126 disparus, 320 blessés, 1454 sinistres

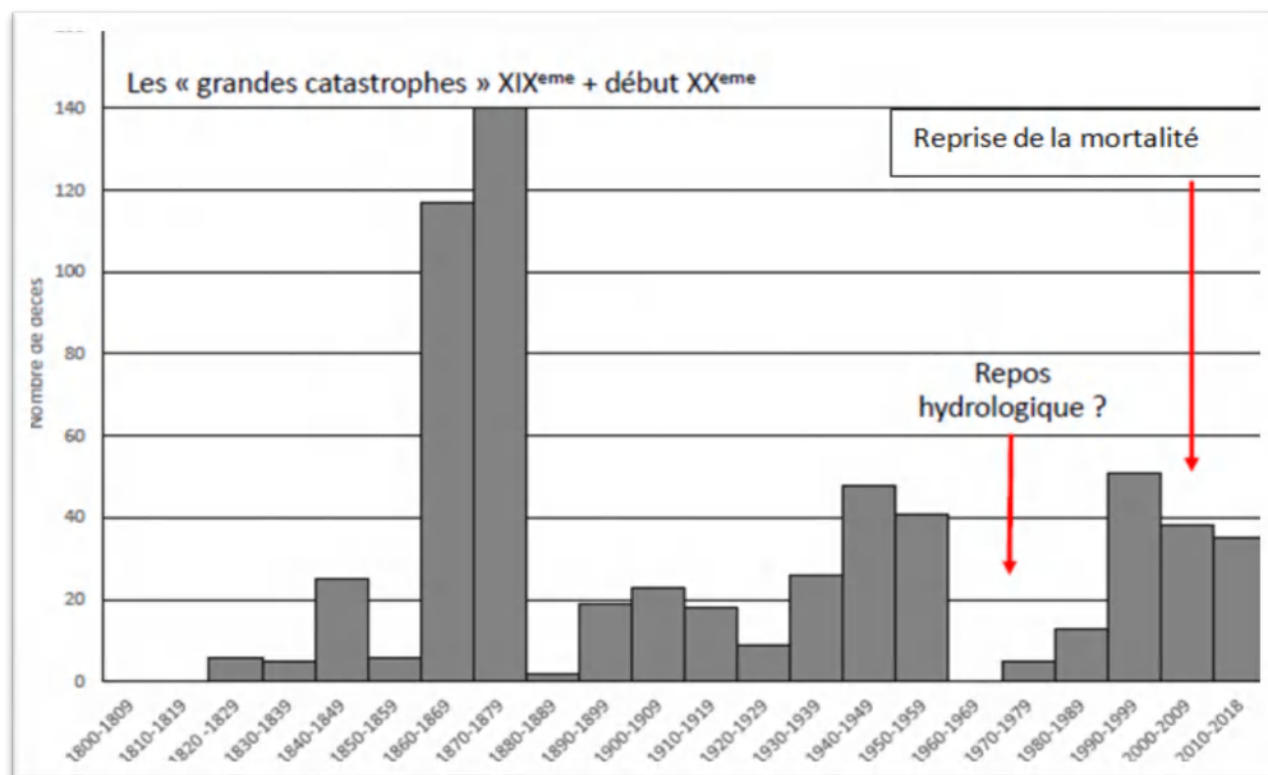


Figure .V.1 : Evolution décennale des décès liés aux inondations (1800_2018) (GFDRR, 2020).

Les inondations constituent un risque quasi universel : aucun des 189 pays examinés n'est épargné. Cependant, le nombre de personnes vivant sous cette menace est particulièrement important en Asie de l'Est et en Asie du Sud. Ces deux régions abritent la majorité des personnes exposées aux inondations, soit environ 1,36 milliard d'individus, dont un tiers rien qu'en Chine (329 millions) et en Inde (225 millions). Plusieurs grandes régions densément peuplées se trouvent en effet dans des zones à haut risque d'inondation, comme les zones côtières ou les plaines fluviales de basse altitude

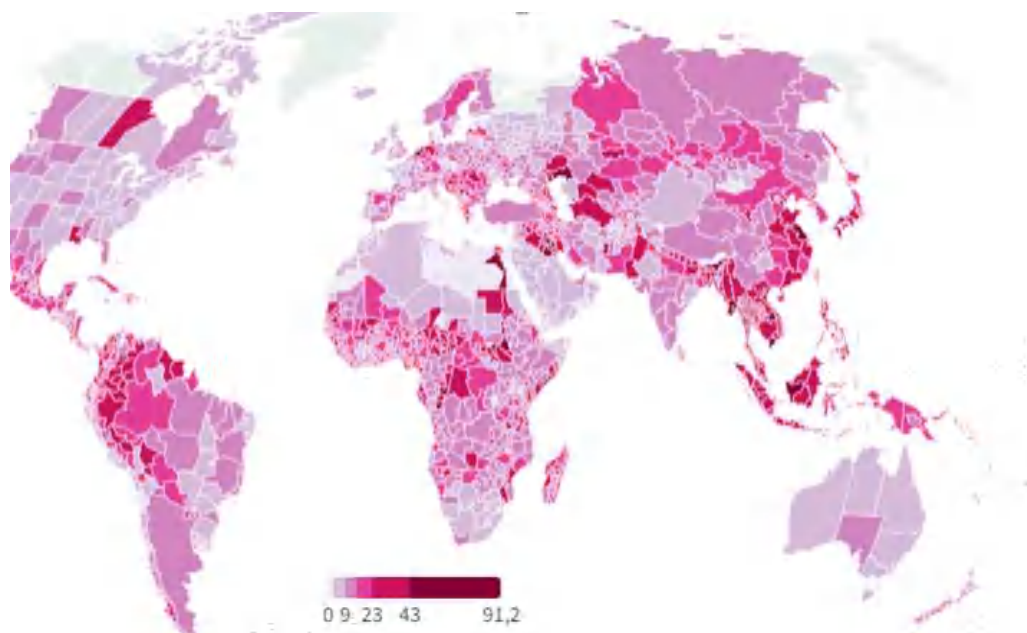


Figure V.2: Population exposée à un risque d'inondation (en %)

Source : J. Rentschler, M. Salhab, People in Harm's Way: Flood Exposure and Poverty in 189 Countries, Document de travail n° 9 447, Washington DC, Banque mondiale, 2020

Tableau. V.2 : Les inondations les plus coûteuses entre 1980 et 2008 (Munich Re 2011)

Date	Lieu	Montant des dommages (millions de US\$ courants)	Montant de dommages assurés (millions de US\$ courants)	Nombre de morts
Mai-Sept 1998	Chine	30700	1 000	4 159
27.6-13.8.1996	Chine	24000	445	3 048
27.6-15.8.1993	États-Unis	21000	1 300	48
12-20.8.2002	Europe centrale	16500	3400	39
24.7-18.8.1995	Corée du Nord	15000	?	68
Mai-Sept 1991	Chine	13600	410	2 628
21.6-20.9.1993	Chine	11 000	?	3 300
Juin 2008	États-Unis	10000	500	24
4-6.11.1994	Italie	9 300	65	68
13-20.10.2000	Europe	8 500	470	38

2. Vulnérabilité et risque d'inondation dans les villes Algériennes

En relation avec le caractère et le volume des précipitations, les inondations ont toujours fait partie du paysage hydrologique national. Par le passé, ces dernières se produisaient surtout suite aux débordements des grands cours d'eau dans les plaines agricoles. Depuis une vingtaine d'années, elles ont davantage touché les centres urbains où elles ont engendré de nombreuses pertes en vies humaines et des dégâts matériels considérables.

Le recensement des zones inondables qui figure dans ce travail permet d'estimer qu'une commune sur trois environ (485 communes ; Rapport de protection civile Algérie) est susceptible d'être inondée en partie ou en totalité (fig. V.3).

2.1. Causes des crues catastrophiques en Algérie

Parmi les facteurs mis en cause dans les inondations, les causes anthropiques directes comme les implantations humaines inadaptées dans une plaine d'inondation ou en zone inondable figurent en premier, puis viennent les causes indirectes liées aux montées du niveau des mers observées rarement en Algérie, et des cours d'eau, en milieu urbain la cause principale étant attribuée à l'extension du tissu urbain non contrôlée.

- Les causes liées à des situations climatiques remarquables se traduisant par une forte pluviosité telles que celles à l'origine des inondations de décembre 1957 des bassins du Mazafran et du Sebaou, de l'automne 1969 en Algérie et en Tunisie, de Mars 1974 des bassins versants de l'Algérois et du Sebaou, de Décembre 1984 sur tout l'Est Algérien, de 1997 du bassin de la Mekerra à Sidi Bel Abbés et les inondations de 18 avril 2007 de Moulay Slissen etc. (Oufella, 2003) et (Bahlouli, 2001). Ces inondations résultent généralement de précipitations importantes, généralisées sur des grandes étendues et caractérisées par leur quantité et leur durée qui peut atteindre 10 à 15 jours. Elles génèrent des crues massives, lentes et à évolution facilement prévisibles sauf lorsqu'elles sont brutalement aggravées par des affluents avals plus courts et plus rapides. En Algérie, ce type d'inondation survient généralement en saison hivernale entre les mois de Décembre et Mai. Cas des inondations de mars 1974 des bassins versant de l'Algérois et de la Sebaou, décembre 1984 sur tout l'Est Algérie. (Lahlah, S, 2004).

- Les causes liées à l'effet de l'homme sont essentiellement d'ordre technique. Il s'agit le plus souvent de la défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux pluviales, et du manque de curage des oueds à l'origine du gonflement des oueds par les débris et les détritus. Les cas de la ville de Tiaret inondée presque à chaque hiver et la plaine du Mزاب où des inondations se produisent tous les 02 à 03 ans illustrent parfaitement l'influence de ces facteurs dans l'apparition du phénomène d'inondation (Oufella, 2003 et ; Bahlouli, 2001).
- Les causes naturelles liées au site et à la gestion urbanistique ne sont pas des moindres. Dans le cas de l'Algérie elles concernent les régions présentant un environnement topographique défavorable comme le cas des villes traversées par des oueds (Bordj Bou Arréridj, Oued R'hiou, Sidi Bel Abbés) ou situées au pied d'une montagne (Ain Defla,

Batna, Médéa). Ces agglomérations à forte population et sous l'effet d'une urbanisation anarchique et non réglementée connaissent des submersions récurrentes aux conséquences non négligeables : pertes humaines et destructions de constructions sont enregistrées à chaque inondation aussi légère soit-elle (Bahlouli, 2001; Oufella, 2003).

2.2.Types de crues

Les premiers critères de distinction des crues dépendent :

- du sol (nature, état de saturation en eau, couverture (végétale, imperméable)) ;
- des précipitations : selon leur intensité - durée - extension spatiale ;
- des caractéristiques géographiques du bassin versant (pentes, forme du bassin, taux de couverture.....).

Il existe 2 types de crue :

- Des crues torrentielles à l'origine des inondations : elles affectent les petits bassins versants de quelques dizaines de Km² et elles sont le plus souvent liées à des chutes de pluies isolées et localement intenses issues de phénomènes de convection sous forme de tempêtes orageuses, se produisant généralement en Automne et Été. Elles sont particulièrement dangereuses en raison de la soudaineté et de la rapidité avec lesquelles elles se produisent, les ruissellements extrêmement rapides et violents peuvent intervenir moins d'une heure après la pluie et les débits des oueds passent de quelques m³ /s à plusieurs milliers de m³ /s en 02 ou 03 heures seulement. Tel est le cas de l'inondation de la ville de Oued R'Hiou, (le 20 octobre 1993) où 20 minutes de pluies ont fait 23 morts, 20 blessés et plusieurs disparus. Il est l'exemple parfait de ce type de crues (Lahlah.S, 2004).

- Des crues lentes : ont un temps de montée supérieur à 12 heures et se produisent sur un grand bassin versant (supérieur à une dizaine de milliers de km²) en plaine sur les fleuves et les grandes rivières. Les pluies continues sur de larges zones, comme la mousson, vont ruisseler vers les cours d'eau. Dans ces cas, même si la pente est faible, la quantité importante de pluie peut les faire déborder.

Basé sur les informations figurant dans les rapports effectués par l'ensemble des directions de la protection civile des 48 wilayas, un inventaire préliminaire des zones présentant des risques réels d'inondation, est présenté dans le tableau suivant :

Tableau.V.3 : L’historique des inondations et leurs dégâts (Protection civile)

Date de L’inondation	Inondation	Dégâts			Cause
		Morts Blessés	Sinistrés	Matérielle	
09.10.69	Inondations catastrophiques généralisées aux bassins de l’Est	27morts Et 44 blesses	5014	495 Millions De DA	Pluies torrentielles généralisées à l’Est Du pays
12/10/1971	Inondations catastrophiques localisées à Azazga	40 morts		Des centaines d’habitations détruites	Fortes pluies orageuses localisées (pluies journalières de 182,6 mm)
Du 28 au 31/ /03/1974	Dans les bassins versants des côtiers Algérois, la Sebaou, l’isser, Soummame.	52 morts à Tizi- Ouzou	18000 sinistrés	4570maisons détruites et 27millions de DA	Des précipitations exceptionnelles sur les bassins côtiers (688mm et529mm de pluies respectivement sur les cols de Sakamody et Ain El Hammam en 03 jours)
01/09/1980	Des inondations catastrophiques sur un rayon de 15 km à la ville d’ El Eulma	44 morts et 50 blessés	365		Pluies très violentes Localisées sur un rayon de 15 km à la ville (40mm en l’espace de 15 mn) provoquant la crue de l’Oued Djehadi
11/11/1982	Inondations dans la ville de Annaba	21 morts		Plusieurs habitations détruites	Fortes pluies orageuses localisées aux monts de l’Edough sur quelques km2 (167 mm à l’Edougues et160mm à Séraïdi et ce pendant 24 h) provoquant les crues des Oueds (Bouhdid, Forcha, Zied et Aneb
Du 29/12/1984 Au 01.01.1985	Des inondations généralisées sur les wilayas de : Jijel, Constantine, Skikda, Guelma, Annaba et El Taref.	29 morts à Jijel	11000 Personne s		Des précipitations exceptionnelles sur les bassins versants : Côtiers Constantinois, de la Seybouse et du Kebir Rhummel (plus de250 mm en 04 jours et 195 mm en 01 journée)
20.10.93	Inondation dans la ville de Oued R’hiou wilaya de Relizan	23 morts et 20 blessés	21	Dégâts matériels	Pluies orageuses intenses pendant 20 mn causant crues violente de Oueds Grigra, petit cours d’eau situé en amont de la ville de Oued Rhiou.
08.10.95	Des inondations catastrophiques sur la wilaya de Laghouat	40 morts		D’importants Dégâts matériels	Crues des oued, M’zie ET Sidi Bouzide suite à des pluies violentes et généralisées
10/11/2001	Inondation catastrophiques s’abattant sur Alger (le bassin versant de Oued Koriche et les communes : Alger centre, Elbiar, El -Hammamet, Rais Ha -Midou, Ain El-Benian...)	750 morts et 120perso nnes disparues	Plus de 10000	1800 battisses fortement sinistrées plus de 1000 véhicules emportés	Des pluies exceptionnelles et intenses, sur un étendu de 40 km ² , de l’ordre de 214 mm à Bouzarea pendant 24h, ce qui a engendré des crues brusques et brutaux surtout à Bâb El Oued

2.3. Historique des inondations en Algérie

Les inondations en Algérie ont toujours fait partie de la dynamique hydrologique algérienne (B TOUAIBIA, 2014). Elles se sont produites de façon régulière en réponse à certaines conjonctures climatiques. Toutefois elles constituent, depuis ces dernières années, une menace sévère. Elles ont touché un grand nombre de villes, leur survenance s'est accélérée, elles se sont produites à un rythme inhabituel. Elles sont de plus en plus fréquentes et n'épargnent quasiment aucune région du pays, même les zones sahariennes à très faible pluviométrie, comme ce fut le cas à Tamanrasset et In Guezzam en 2018, ou Illizi en 2019.

On peut rappeler, par exemple, les événements pour la période allant de 1962 à ce jour, les inondations de l'automne 1968 qui ont affecté de nombreuses villes algériennes, celles de Mars 1973 affectant l'Est du pays, celles de 1974 qui ont touché les bassins de l'algérois et du Sebaou, celles de 1984 qui ont sévi dans tout l'Est Algérien.

Ces inondations provoquées surtout par des orages, ont engendré des ruissellements urbains importants, notamment en Automne et en Été. (Cas des inondations du 10 novembre 2001 qui furent les plus meurtrières de l'histoire des inondations en Algérie).

Bourdj u Ariridj 23-09-1994 16 morts

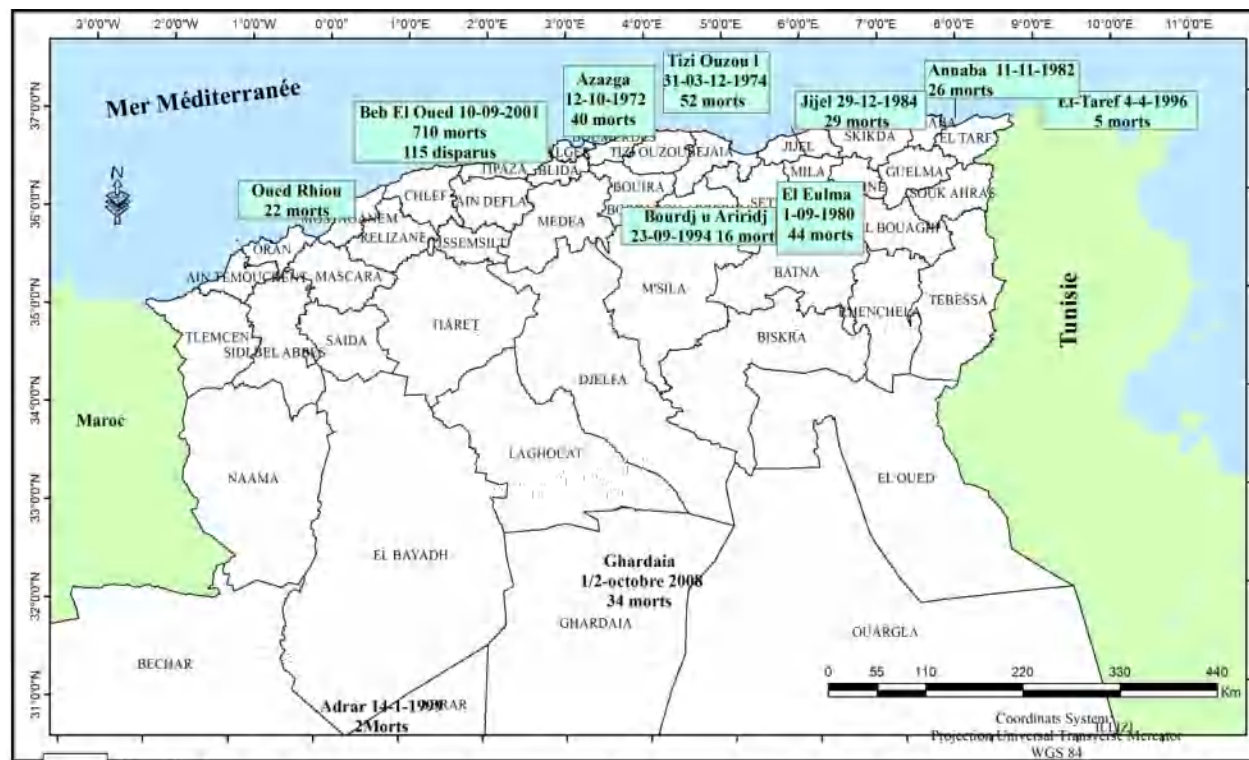


Figure. V.3 : Localisation des inondations en Algérie

Un bref aperçu des inondations survenues en Algérie au cours des trente dernières années permettra de saisir l'importance, la récurrence et les conséquences de ce phénomène (A, Yahiaoui 2012).

- 05 juillet 1987 Pluies orageuses très violentes à Batna (pluie journalière de 57 mm). Dégâts : - 05 morts et des dizaines de famille sinistrées ; - Dégâts évalués à 175 millions de centime.
- 01 Septembre 1989 Fortes chutes de pluies orageuses à la wilaya de BISKRA accompagnées de grêles et d'un vent d'une rare violence provoquant le débordement des oueds El Arab, El Mellah et El Kheddra. Dégâts : - 02 morts et 35 blessés ; - 400 palmiers, des serres et des cultures de maraichages détruites.
- 03 Juin 1991 Orage local et très violent à Ghardaia (80 mm en 03 h) Dégâts : - 09 morts et des pertes importantes en cheptel et des palmiers ; - Destruction partielle de la digue d'El-Atteuf ; - Ponts, chaussée et réseaux d'assainissements avoisinant oued Mzab dégradés.
- 26 - 27 Janvier 1992 Fortes pluies généralisées du 24 au 28 janvier 1992 sur plusieurs régions du centre du pays engendrant des inondations catastrophiques aux wilayat d'Alger, de Blida, Tipaza, Chlef, Ain Defla, Medea... Dégâts : - 10 morts et un nombre important de blessés ; - 637 familles sinistrées (361 à Alger, 106 à Tipaza, 87 à Medea, 36 à Ain Defla et 23 à Chlef) ; - Dégâts importants aux infrastructures routières et aux exploitations agricoles.
- 20 Octobre 1993 Pluies orageuses intenses à la ville d'Oued Rhiou causant crues violentes d'Oued Grigra, petit cours d'eau situé en amont de la ville d'Oued Rhiou. Dégâts : - 22 morts, 20 blessés et plusieurs disparus ; - Des dizaines de familles sinistrées et d'importants dégâts matériels.
- 29 Septembre au 02 Octobre 1994 Inondations catastrophiques dans plusieurs régions du pays (Ghardaia, Laghouat, Biskra, Mascara, Tissemsilt, Sidi Bel Abbés). Dégâts : - Biskra : 08 morts 22 familles sinistrées et routes endommagées ; - Mascara : 02 morts et implorants dégâts matériels ; - Tissemsilt : 09 morts ; - Sidi Bel Abbès : 02 morts ; - Ghardaia : dégâts matériels évalués à 270 millions DA ; - Laghouat : dégâts matériels évalués à 05 millions DA dans le secteur de l'hydraulique.
- 06 Février 1996 Forte pluie dans la Daira El Khemis à Ain Defla (81 mm en 17h35 mn) provoquant des débordements catastrophiques des cours d'eaux menant du massif Zaccar vers l'oued Cheliff. Dégâts : - 158 familles sinistrées et importants dégâts matériels.

- 14 Octobre 2000 Fortes pluies (56 mm en l'espace de 04 h) dans la wilaya d'Ain Temouchent et crues catastrophiques de l'oued El Maleh. Dégâts : - 04 morts et plusieurs disparues ; - Plusieurs habitations démolies et immenses dégâts matériels.
- 10 et 11 novembre 2001 Des inondations catastrophiques à Bab El Oued (Alger) Dégâts : - 733 victimes, 30 000 personnes sans-abris et d'importants dégâts matériels.
- 6/7 Décembre 2002 Inondations à Béjaia : - 3 morts. - 200 familles sinistrées. - RN 9, 12 et 26 menant à Béjaia, totalement coupées à la circulation pendant la journée du 7. - Piste de l'aérodrome submergé. - La digue édifiée à l'intérieur du barrage de Tichi-Haf, à Bouhamza a fini par céder, ce qui causera un arrêt de travail de plusieurs mois.
- 3/4/5 Avril 2003 187 mm de pluviosité sur la ville de Béjaia : - 45 milliards de centimes de dégâts ; - Dommages occasionnés au niveau de l'aéroport Abane Ramdane qui a nécessité 5 jours de fermeture pour travaux ; - Détériorations au niveau des réseaux routiers, d'AEP et du gaz de la ville ; - Forages colmatés et puits remplis de boues ; - Poulailleurs détruits et pertes de bétails.
- 1 Octobre 2008 Des pluies diluviennes s'étaient abattues sur la région de Ghardaïa, à 500 km au sud d'Alger faisant dangereusement monter les cours d'eau. Dégâts : - 33 morts et 84 blessés en plus de 600 maisons détruites.
- Novembre 2014 Inondations dans plusieurs wilayas du pays (Bechar, Khenchela, Bordj Baji Mokhtar). Dégâts : - 10 morts et plusieurs blessés et des dégâts considérables.
- 24 Aout 2015 Inondations catastrophiques à Constantine et El-Khroub. Dégâts : 12 morts 50 familles sinistrées ; - 200 habitations détruites. (Lahlah, 2004).

Les inondations de Chlef le 7 mars 2021 des pluies Orageuses locales et très violentes abondantes et continues sur plusieurs jours. Les précipitations quotidiennes maximales ont atteint 137 mm. Au moins sept morts (A, Yahiaoui 2012)

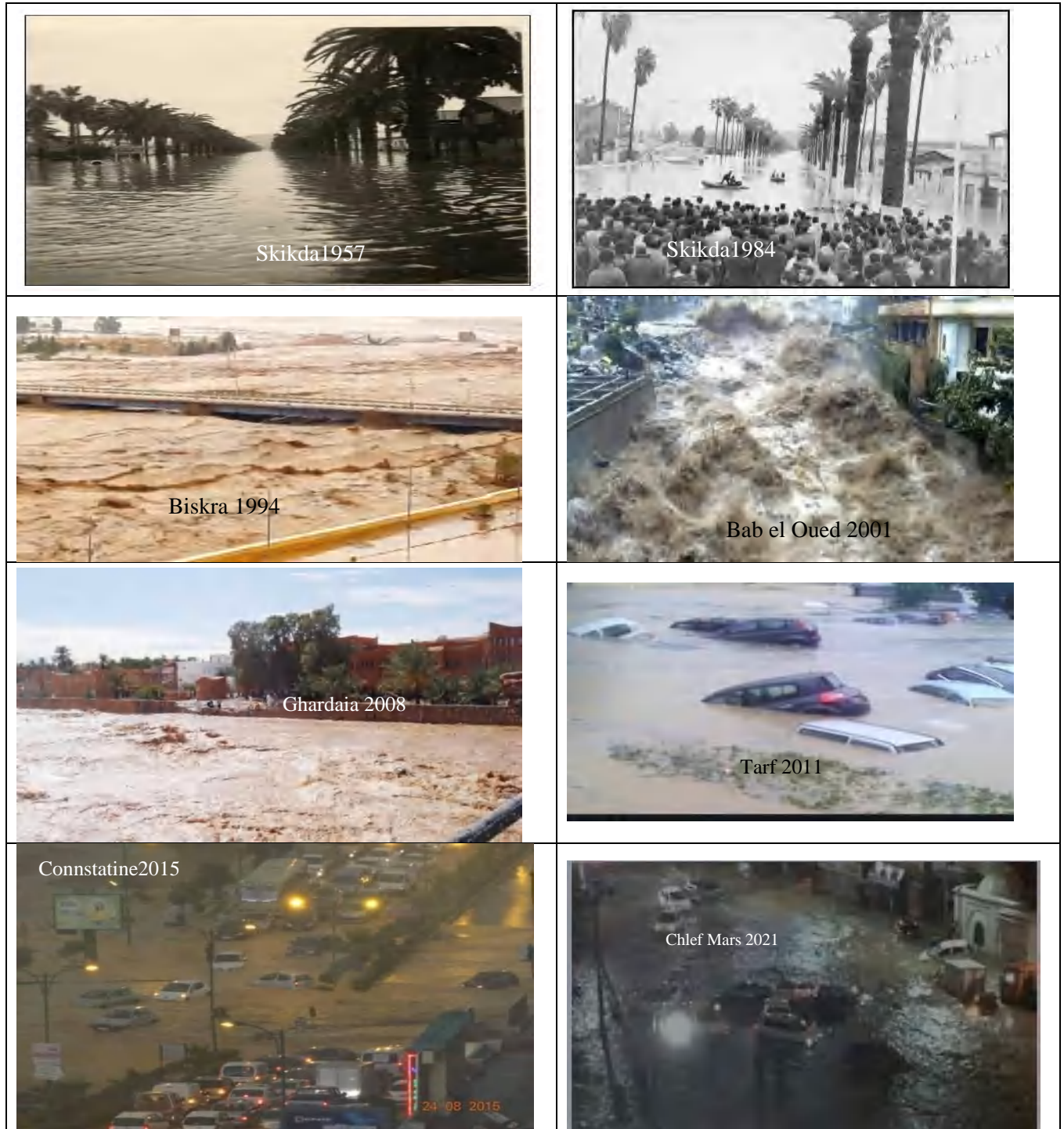


Figure. V.4 : La mémoire des crues en Algérie

La source : Protection civile

3. Etude des inondations dans le Nord-Est Algérien

Pour l'étude des inondations dans le Nord Est Algérien, les données hydrométriques disponibles relatives aux stations hydrométriques proviennent de l'ANRH (fig.V.5), Elles ne concernent que quelques crues majeures ayant provoqué des inondations.

Le choix des 17 stations, obéit donc à ces phénomènes majeurs et répond à certains critères, parmi eux : La hauteur et la durée de submersion, la vitesse du courant, l'influence des facteurs anthropiques (les dégâts). Il s'agit des stations de Nord-est Algérien, (Sidi Mesrich, hemakhem, Ain El Assel, Sidi Ouadeh, El Kantara, Timgad, Yabous, Foum El Guies, Tassadane, Merbek, Bouchegouf, Fermatou, Medjez Amar, Moulin Rechfort, Ouenza, Bouchdira, Ain Smara).

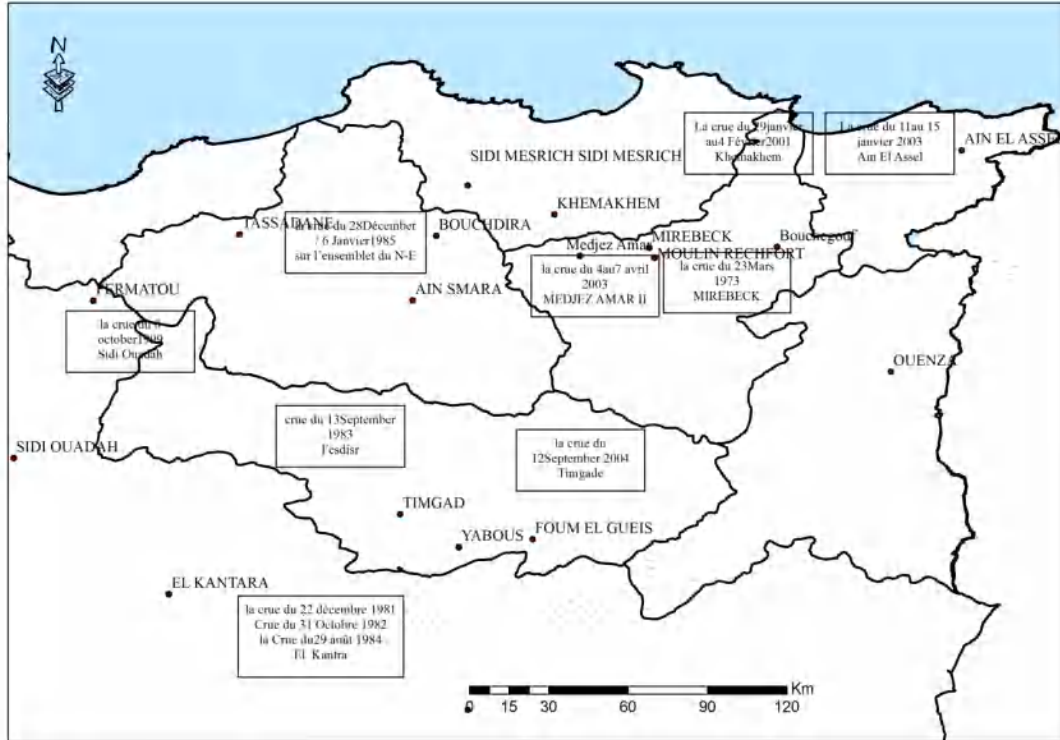


Figure. V.5 : Carte interactive historique de localisation des Inondations

3.1. Analyse statistique des débits extrêmes des oueds qui sont jaugés par les stations retenues

L'ensemble des oueds du secteur étudié est caractérisé par un système d'écoulement présentant des débits maximums instantanés, souvent à l'origine d'inondations. Considérées comme des phénomènes indépendants d'une année à l'autre, les inondations peuvent être contrôlées par une estimation de ces débits.

Pour mieux cerner le problème d'écoulement extrême, il est nécessaire de descendre à une échelle plus fine dans l'analyse des valeurs extrêmes, c'est-à-dire à l'analyse des fréquences de Q_{maxj} et instantané. La prédétermination des crues a pour but de relever les crues fréquentielles les plus importantes afin de garantir un maximum de sécurité pour les aménagements. Ces crues peuvent être déterminées par la loi de Galton bien adaptée aux écoulements et apports extrêmes.

Elles sont réellement représentatives de l'échantillon pour chaque station étudiée ont été conservées à des intervalles de confiance de 95%, (la dispersion des points est assez sensible quand la fréquence diminue).

Etude fréquentielle des Q maximaux journaliers (loi de Galton). Les fréquences de Qmaxj et instantané sont ajustés à une loi statistique à l'aide du modèle Hydrolab. Les représentations graphiques des résultats d'ajustement à la loi de Galton des débits maximaux journaliers et instantanés pour la période de 1985 à 1999 (Fig.V.6 et 7), a permis de calculer les paramètres d'ajustement suivants : (L'exemple de la station de Foug El Gues.

La moyenne des débits maximums journaliers =7.01 m³ /s, le mode $\sigma =95$, le gradex $\alpha = 56.19$ et la moyenne des débits maximums instantanés= 32 m³ /s

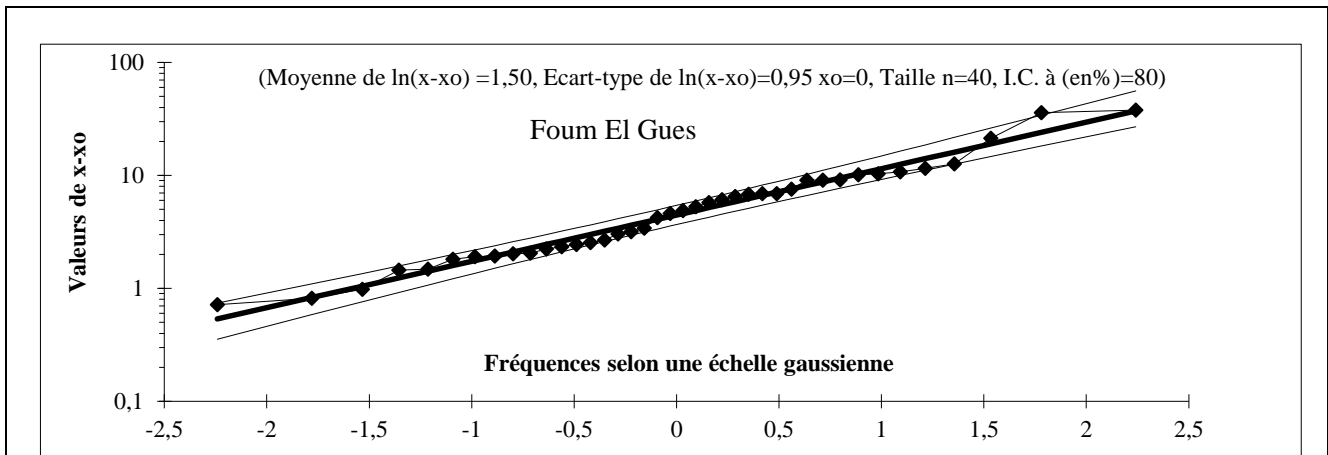


Figure. V.6 : Ajustement à la loi log-normale des débits maximaux annuels, Foug El Gues

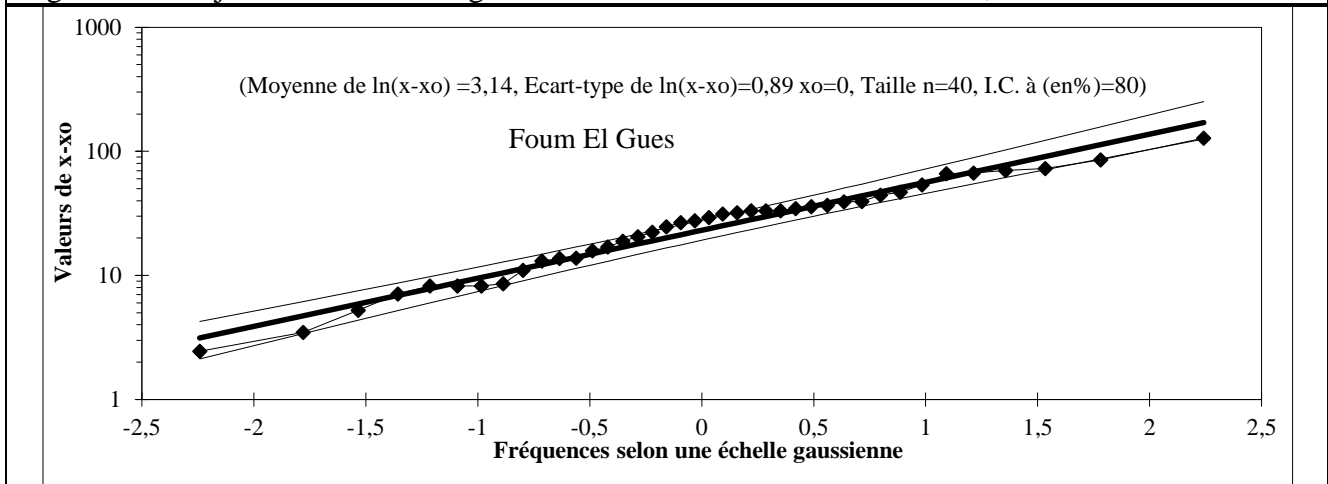


Figure. V.7: Ajustement à la loi log-normale des débits instantanés annuels, Foug El Gues

Selon les graphiques ci-dessus, les débits de crue potentiels pour différentes périodes de retour sont estimés. Les résultats sont présentés dans (le tableau. V.4.) qui montre les valeurs des débits journaliers et instantanés maximums, qui ont une distribution annuelle très variable.

En effet, il n'existe pas de liaison marquante entre les valeurs de ces débits (Q_{maxI} , Q_{jmax}). On note aussi également que la crue la plus forte n'a pas été enregistrée simultanément durant la même année dans les stations voisines qui ont la même taille d'échantillon :

- la station d'El Kantara enregistre un $Q_{jmax} = 152,05 \text{ m}^3/\text{s}$ et un Q_{max} Instantanés = $467 \text{ m}^3/\text{s}$ en septembre 1979.

- Timgad a un $Q_{jmax} = 77,6 \text{ m}^3/\text{s}$ en Novembre 1982 et un Q_{max} Instantané = $291,4 \text{ m}^3/\text{s}$ en Mai 1989, alors dans la station de Foum El Gueis $Q_{jmax} = 37,2 \text{ m}^3/\text{s}$ Avril 1982 et $Q_{maxI} = 127,3 \text{ m}^3/\text{s}$ en Août 1990 ;

- Medjez Amar II marque un $Q_{jmax} = 649 \text{ m}^3/\text{s}$ en Décembre 1984 et $Q_{maxI} = 1235 \text{ m}^3/\text{s}$ en février 1984, tandis que Bouchegouf enregistre un $Q_{jmax} = 903,7 \text{ m}^3/\text{s}$ en Décembre 1982 et un $Q_{maxI} = 1010,8 \text{ m}^3/\text{s}$ en Novembre 1976, alors dans la station de Ain El Assel $Q_{jmax} = 467 \text{ m}^3/\text{s}$ Mars 1973 et $Q_{maxI} = 558 \text{ m}^3/\text{s}$ durant la même période 1990 ;

L'étude approfondie de la répartition des fréquences d'apparition de Q_{jmax} et Q_{maxI} , pour les stations du bassin des Hauts Plateaux, montre qu'ils sont plus fréquents au début de l'année hydrologique (Septembre). Les fréquences les plus faibles sont marquées entre Décembre et Février. Au nord et pour les stations de bassin Côtier, et Seybouse, les fréquences d'apparition les plus élevées sont enregistrées aux mois de Février et Mars et avec un degré moindre en Décembre et Avril.

Ces maxima et leurs fréquences, ne coïncident pas nécessairement avec le mois le plus pluvieux de l'année.

Tableau. V.4 : Crues maximums probables dans le Nord-est m³/s

Station	Retour	2	5	7	9	10	20	50	100
	Fréquence	0.5	0.8	0.85	0.89	0.9	0.95	0.98	0.99
Sidi Mesrich	Q instantanée	31	91	117	149	160	255	431	612
	Q max journalier	12	30	36	37	45	47	74	141
Khemakhem	Q instantanée	66	180	227	285	305	471	767	1062
	Q max journalier	27	73	93	116	124	193	315	438
Ain El Assel	Q instantanée	292	480	539	603	623	772	984	1156
	Q max journalier	175	280	312	347	358	438	549	639
Sidi Ouadeh	Q instantanée	78	165	197	233	245	338	486	620
	Q max journalier	3	8	11	14	15	23	39	55
El Kantara	Q instantanée	120	181	199	218	224	267	326	372
	Q max journalier	23	45	52	61	64	86	120	149
Timgad	Q instantanée	60	143	184	225	235	312	469	573
	Q max journalier	9	23	29	36	38	58	92	126
Yabous	Q instantanée	20	52	64	79	85	127	201	273
	Q max journalier	3	7	9	11	12	16	25	32
Foum El Guies	Q instantanée	23	49	58	69	73	100	144	184
	Q max journalier	4	10	12	14	15	21	31	40
Tassadane	Q instantanée	127	227	259	295	307	394	522	630
	Q max journalier	56	98	112	128	133	169	223	268
Ain Smara	Q instantanée	70	226	296	386	417	693	1227	1795
	Q max journalier	23	59	73	90	96	143	225	305
Bouchdira	Q instantanée	71	178	220	271	287	428	668	900
	Q max journalier	45	130	166	212	227	358	600	846
Ouenza	Q instantanée	384	772	908	1063	1112	1503	2110	2645
	Q max journalier	164	320	373	434	453	604	835	1036
Moulin Rechfort	Q instantanée	17	34	40	47	49	67	95	120
	Q max journalier	17	34	40	47	49	67	95	120
Medjez Amar	Q instantanée	30	136	193	271	299	573	1192	1942
	Q max journalier	28	118	165	228	251	467	939	1497
Fermatou	Q instantanée	24	70	89	113	121	192	321	452
	Q max journalier	7	23	30	39	42	71	127	187
Bouchegouf	Q instantanée	118	278	339	411	435	630	956	1263
	Q max journalier	50	125	155	191	203	303	474	639
Merbek	Q instantanée	218	589	742	930	992	1525	2475	3418
	Q max journalier	199	552	700	881	942	1464	2404	3346

L'analyse des résultats des écoulements extrêmes (les valeurs des débits maximaux moyens journaliers et les débits instantanés annuels) (tab. V.5) montre que les stations du nord

est algérien enregistrent des écoulements très forts pour les années les plus pluvieuses (1972/73, 1983/84 et 1984/85) ; pour les stations de Hauts Plateaux les crues arrivent dans les années déficitaires (1989/1982/1972/1998) celles qui touchent les bassins du Sud de la région.

Tableau. V.5: Valeurs de Q maximaux moyens journaliers et instantanés

Cod	nom de station	Date	Q max m ³ /s	Date	Qmax (m ³ /s) instantanés	Ec moyen
030702	Sidi Mesrich	30/12/1984	88,49	30/12/1984	224	20,83
030901	Khemakhem	30/12/1984	404,04	30/12/1984	558,6	86,34
031601	Ain El Assel	27/03/1973	467,92	27/03/1973	558	102,11
051101	Sidi Ouadah	11/09/1979	33,84	11/09/1979	303,88	9,01
061201	El Kantara	28/05/1989	20,62	28/05/1989	239,75	42,61
070301	Fesdis	02/06/1982	14	02/06/1982	311	19,06
070401	Timgad Gue	11/11/1982	77,65	11/11/1982	240,5	18,84
070601	Yabous	20/08/1998	42,63	20/08/1998	300,24	8,90
070702	Foum El Gueis	08/04/1972	37,73	08/04/1972	66,14	8,11
100109	Tassadane	25/01/2003	250,71	25/01/2003	609,44	46,91
100403	Ain Smara	30/12/1984	255,77	30/12/1984	481	48,84
100602	Bouchdira	30/12/1984	304,33	30/12/1984	317,27	66,98
120401	Ouenza	04/11/1989	221,93	04/11/1989	1601,6	97,91
140202	Moulin Rechfort	27/03/1973	114,02	27/03/1973	154,02	24,34
140301	Medjez Amar 2	03/02/1984	649,11	03/02/1984	1235,66	154,20
140501	Boucheqouf	27/03/1973	268,84	27/03/1973	501,24	75,53
140601	Mirebeck	31/12/1984	1217,38	31/12/1984	1302,58	6,50
140602	Ain Berda	27/03/1973	73,76	27/03/1973	137,2	16,57
150601	Fermatou	09/03/1985	49,48	09/03/1985	171,52	13,48

3.2. Etude des crues

La genèse des fortes crues ou hautes eaux est liée aux régimes hydrologiques, en fonction des conditions géographiques, climatiques et d'occupation des sols qui les caractérisent. Ces inondations selon les caractéristiques des crues, leurs durées et leurs étendues sont de deux types:

- Les crues des grands bassins versants : elles résultent le plus souvent des Précipitations importantes généralisées sur des grandes étendues et caractérisées par leur quantité et leur durée qui peut atteindre 3 à 15 jours. Ces crues sont massives, lentes et à évolution facilement prévisibles sauf lorsqu'elles sont brutalement aggravées par des affluents à l'aval plus courts et plus rapides.

Leurs hydrogrammes fournissent des informations sur leur débit de base et les précipitations journalières qui ont participé à leur apparition.

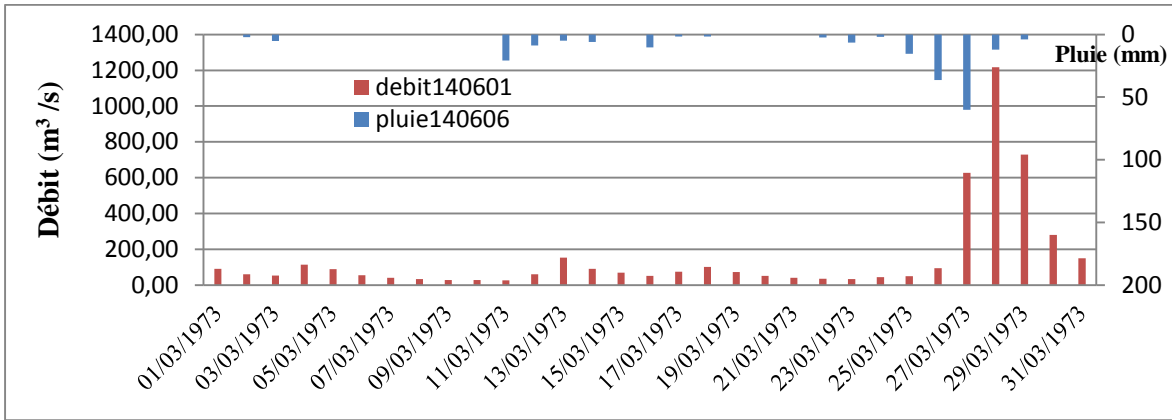


Figure. V.8: Hyétogramme et hydrogramme journalier du 23 Mars 1973 MIREBECK

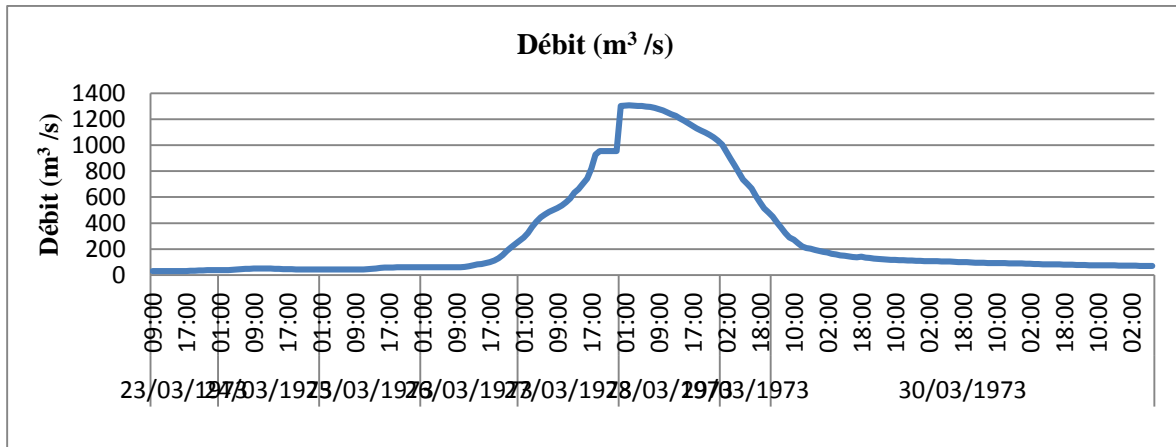


Figure. V.9: Évolution horaire de la crue du 23 Mars 1973 Mirebeck

L'exemple des crues violentes de 1973 qui sont le résultat d'averses exceptionnelles qui se sont succédé du 26 au 29 mars (pluie journalière de 160mm à Annaba et 60mm à Ain Berda). La hauteur des eaux a atteint 15 mètres au niveau de l'Oued Seybouse aval, avec un débit maximum instantané de $2400 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station Mirbeck. Le débit maximum observé était de $1216,75 \text{ m}^3/\text{s}$. Le nombre de familles affecté s'était élevé à 4870 et les dégâts en milieu rural ont été colossaux, les eaux ont débordé sur des parcelles cultivées, détruisant toutes les cultures, et provoquant la perte de 2126 têtes de bovins et 3345 d'ovins.

Un autre exemple, celui des violentes pluies de l'hiver 1984/1985, concentrant plus de 284 mm en continu, du 28 Décembre au 1 Janvier et généralisées sur l'ensemble des bassins versant du Nord-Est Algérien avec un foyer maximum sur les monts de Constantine, correspondant aux valeurs maximales des débits moyens journaliers et maximums instantanés relevés dans les stations : Exemple de la station de Grarem qui a enregistré un débit moyen journalier de $942,82 \text{ m}^3/\text{s}$ et un débit max de $1085 \text{ m}^3/\text{s}$, provoquant des inondations

catastrophiques. Les Figures ci dessus récapitulent la relation pluie-débit observée. Cette forte crue, résultat de la combinaison de la saturation en eau du sol à laquelle se joint une diminution de la température, a provoqué des inondations catastrophiques dans la willaya de Constantine. Les dégâts enregistrés étaient considérables endommageant sérieusement les installations de la zone Industrielle et provoquant l'évacuation de 250 familles (Zebiri) 200 ha de cultures détruites.

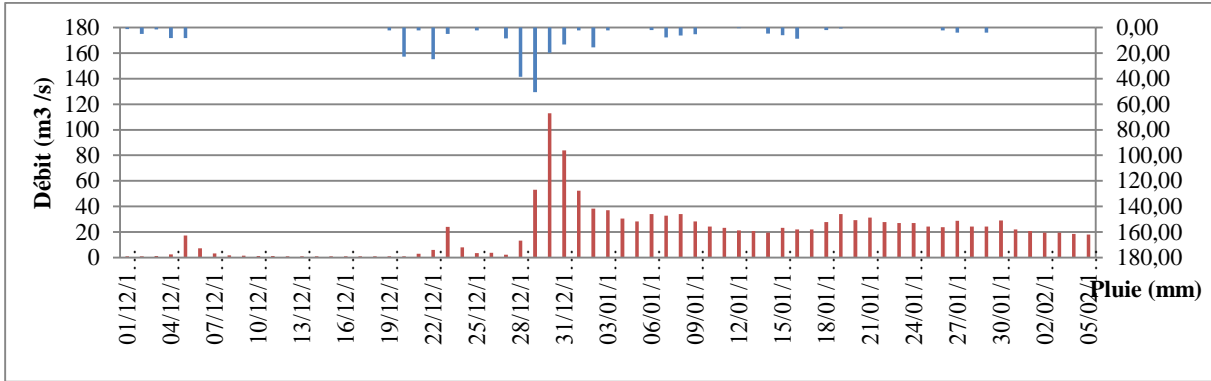


Figure. V.10 : Hyétogramme et hydrogramme , crue 30 decemder1984 6 Janvier1985. Station El Khnag+ Grarem

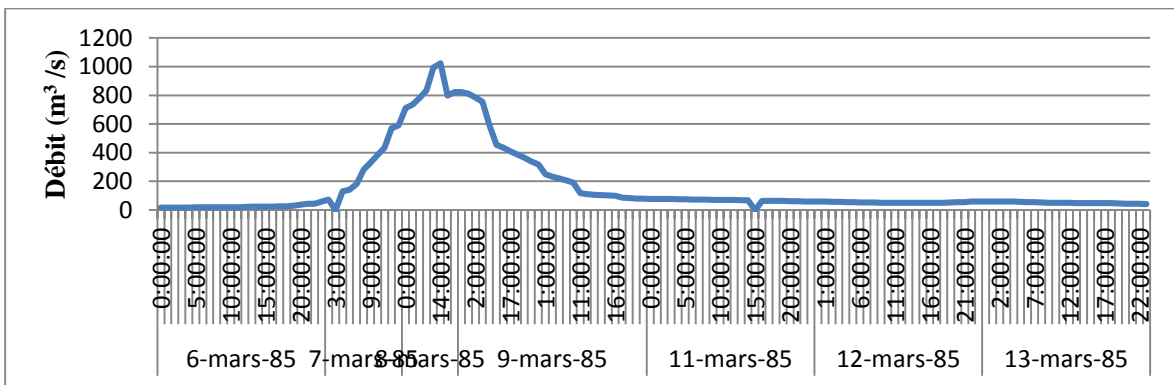
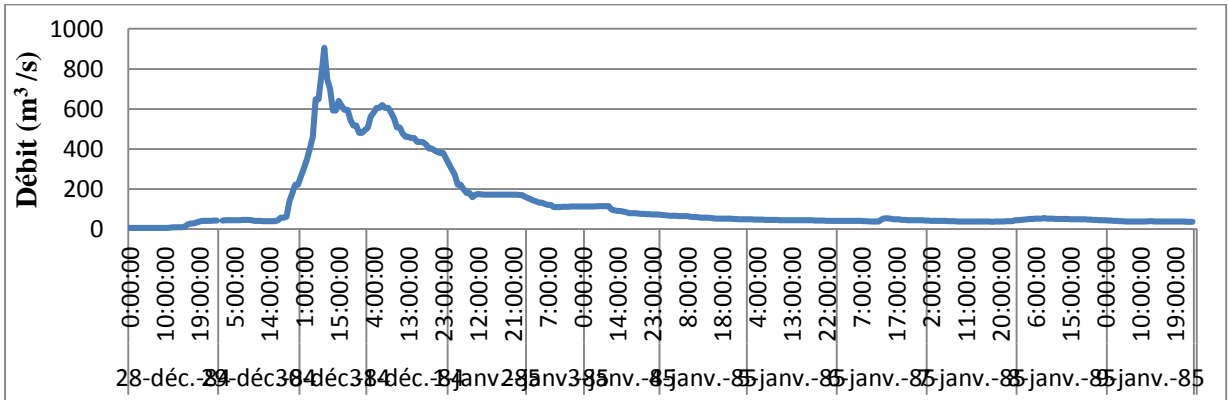


Figure. V.11: Évolution horaire de la crue du 28Décember / 6 Janvier1985. Station El Khnag+ Grarem

De pareils phénomènes sont récurrents dans cette partie du territoire, ainsi quelques années plus tard le même scénario s'est reproduit dans la région, avec toutefois moins d'ampleur, exemple de la station de Medjez AmarII :

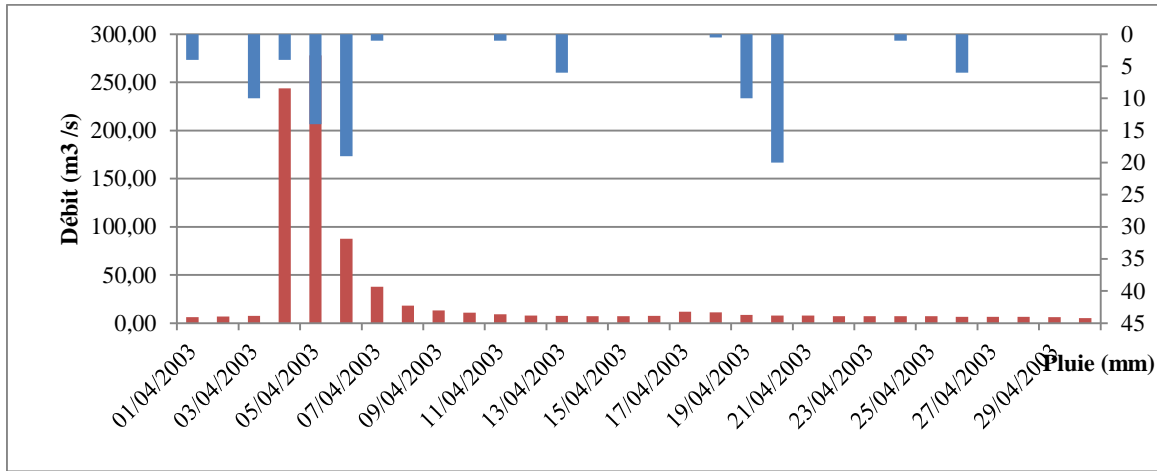


Figure. V.12 : Hyétogramme et hydrogramme journalier du 4 au 7 avril 2003 Medjez Amar II

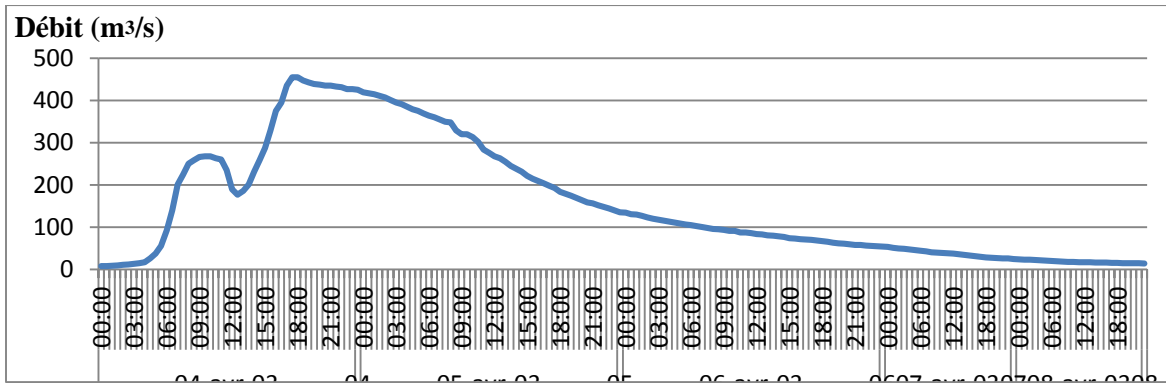


Figure. V.13: Évolution horaire de la crue du 4 au 7 avril 2003 Medjez Amar II

- La crue de 4 au 7 novembre 2003 est intervenue soudainement. Après un débit de base de 3 m³/s, le débit est passé d'une façon éclair à 490,2 m³/s. suite à des pluies exceptionnelles. D'après le (tableau. V.5) ci-dessus, ce type de crue se distingue par une période de retour de vingt ans.
- Les inondations engendrées par des crues torrentielles appelées aussi crues « éclair » :elles affectent les petits bassins versants de quelques dizaines de Km² et sont le plus souvent liées à des chutes de pluies isolées et localement intenses issues de phénomènes de convection sous forme de tempêtes orageuses se produisant généralement en Automne et Été.

Cas des crues de septembre 1983 à Fesdis Oued El Madler; de 2004 à Timgad Oued Chemora ; et celle de 1999 qui s'est produite le 8 Octobre à Sidi Ouadah, avec plusieurs débits de pointe.

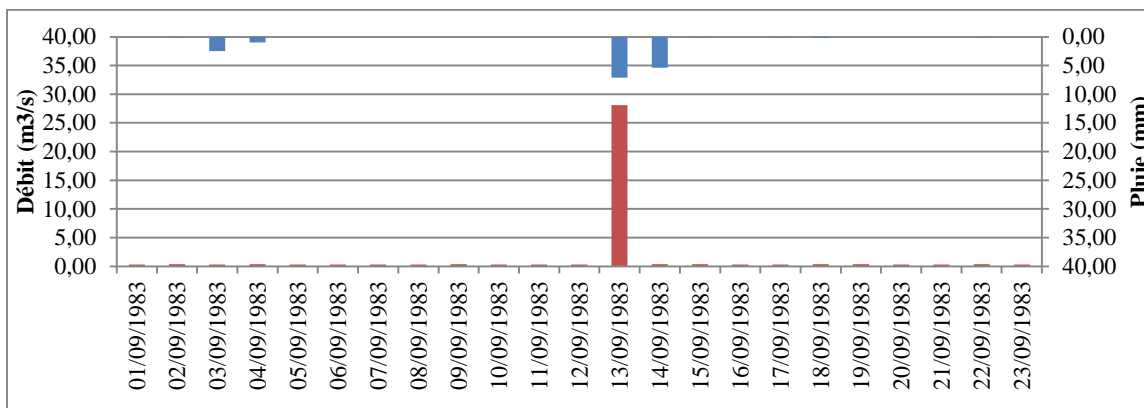


Figure. V.14: Hyétogramme et hydrogramme journalier du 13 septembre 1983 Fesdis Oued El Madler

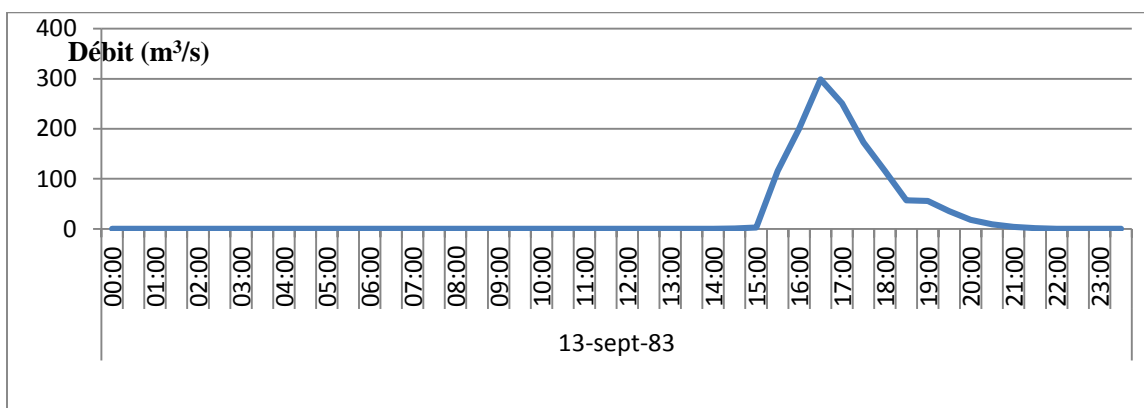


Figure. V.15: Évolution horaire de la crue du 13 septembre 1983 Fesdis Oued El Madler

- La crue du 13 septembre 1983, en une heure de temps le débit est passé de 0,29 m³/s, à 299 m³/s. Le débit maximal instantané a atteint 312 m³/s.

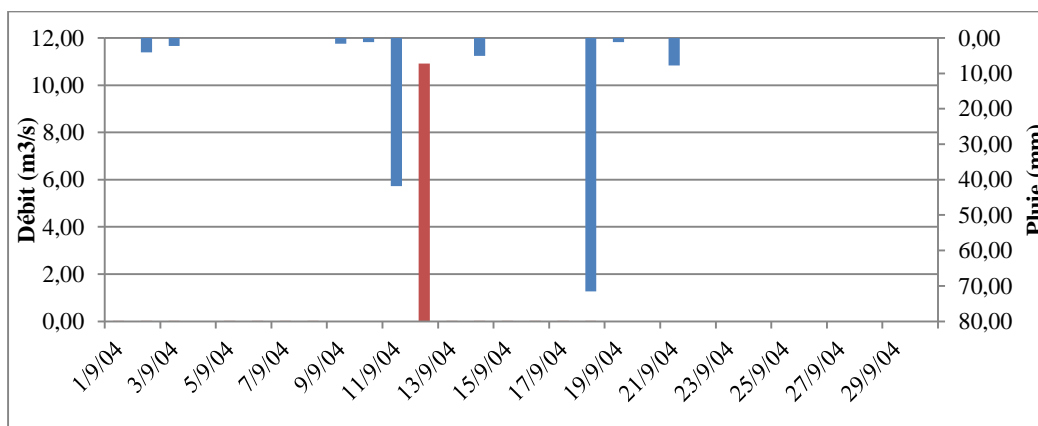


Figure. V.16: Hyétogramme et hydrogramme journalier du 12 septembre 2004 station Timgad Oued Chemora

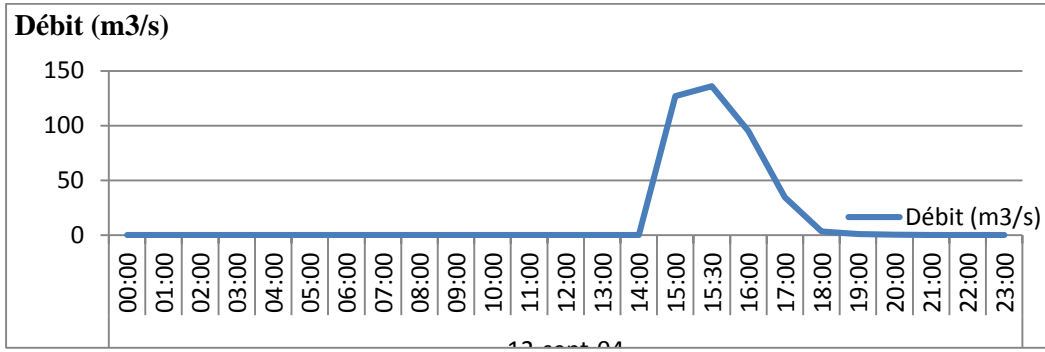


Figure. V.17: Évolution horaire de la crue du 12 septembre 2004 station Timgad Oued Chemora

- La crue du 12 septembre 04 : La montée de la crue a été très soudaine, au niveau d'Oued Chemora, elle a enregistré un débit max de 139 m³/s. L'allure de l'hydrogramme relative à la crue donne une image suggestive de la rapidité et de la brutalité de la montée des eaux et de leur baisse en un laps de temps très court (2 heures) (figure. V.17) en raison notamment du caractère « flach » des pluies et de la nature lithologique des formations alluvionnaires traversées par l'oued.

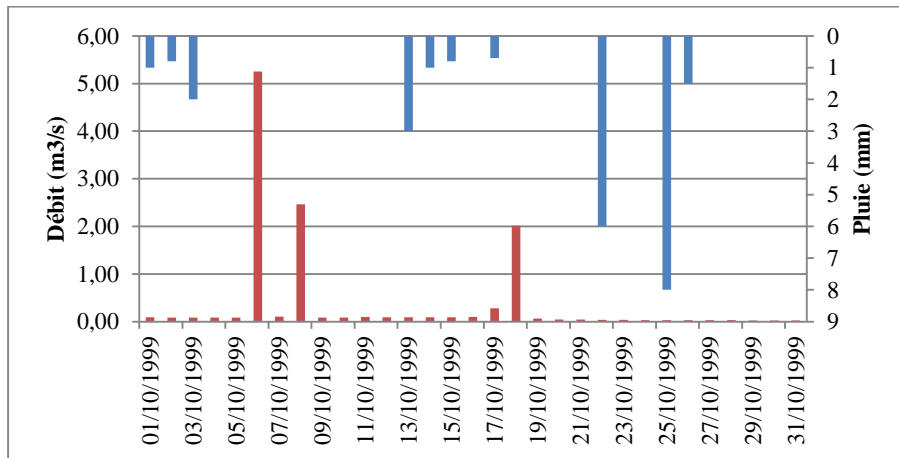


Figure. V.18: Hyétochrome et hydrogramme journalier du 8 octobre 1999 Sidi Ouadah

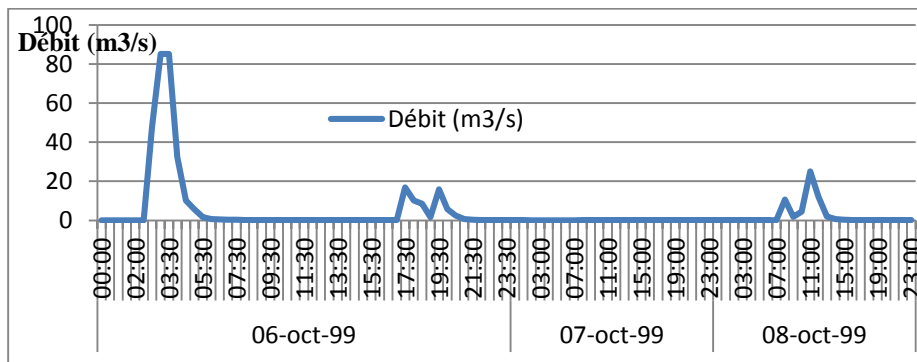


Figure. V.19: Évolution horaire de la crue du 8 octobre 1999 Sidi Ouadah

- La crue de 1999 a enregistré plusieurs valeurs maximales de débit, c'est une crue complexe. La valeur la plus importante est arrivée le 6 octobre avec un débit de pointe moyen de $89\text{m}^3/\text{s}$ en 25 minutes et un débit instantané de $126\text{m}^3/\text{s}$.
- Les crues ayant affectées les oueds de notre étude de cas, Annaba et Biskra, qui sont identifiées comme des villes vulnérables face à ce phénomène, seront étudiées ultérieurement.

Pendant la période allant de 1972 à 1986, le bassin de la Seybouse a été marqué par des crues de grande amplitude qui le plus souvent ont provoqué d'importants dégâts dans la ville de Annaba (fig.VI.20).

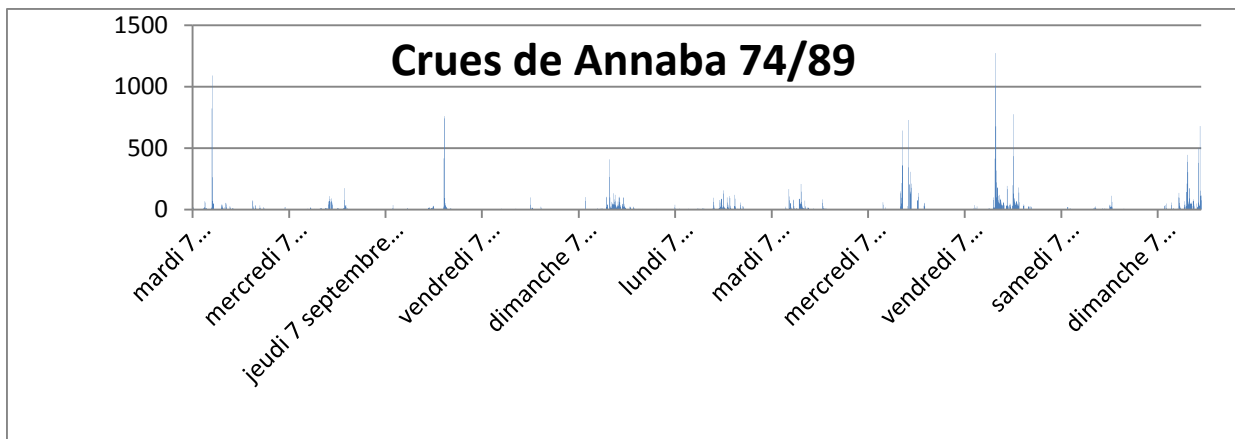


Figure. V.20: Les débits maximaux journaliers de la période 76/89 Annaba

Parmi les crues les plus destructrices, nous pouvons citer celles de l'année 84/85 et celle du 26/11/2002

- l'année 84/85 a été caractérisée par la coïncidence entre le débit de pointe et le débit maximal journalier de $1250\text{ m}^3/\text{s}$.

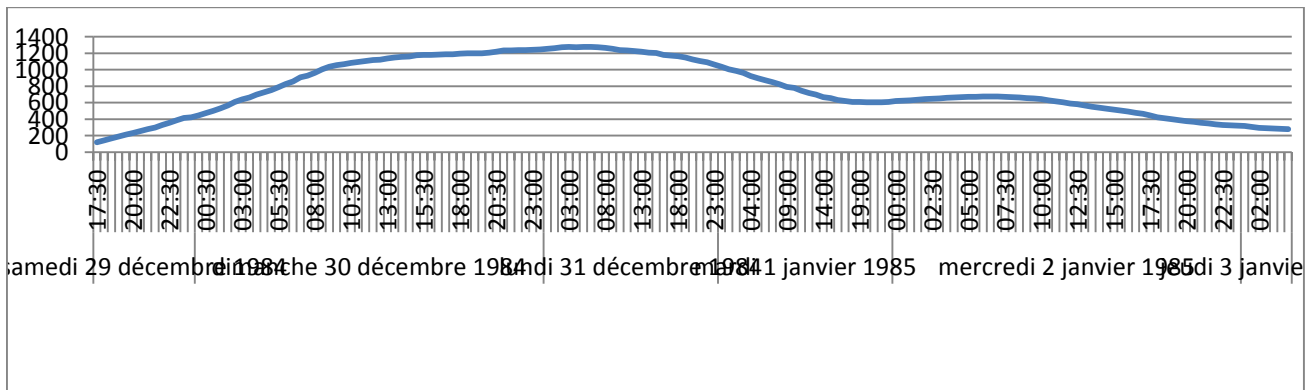
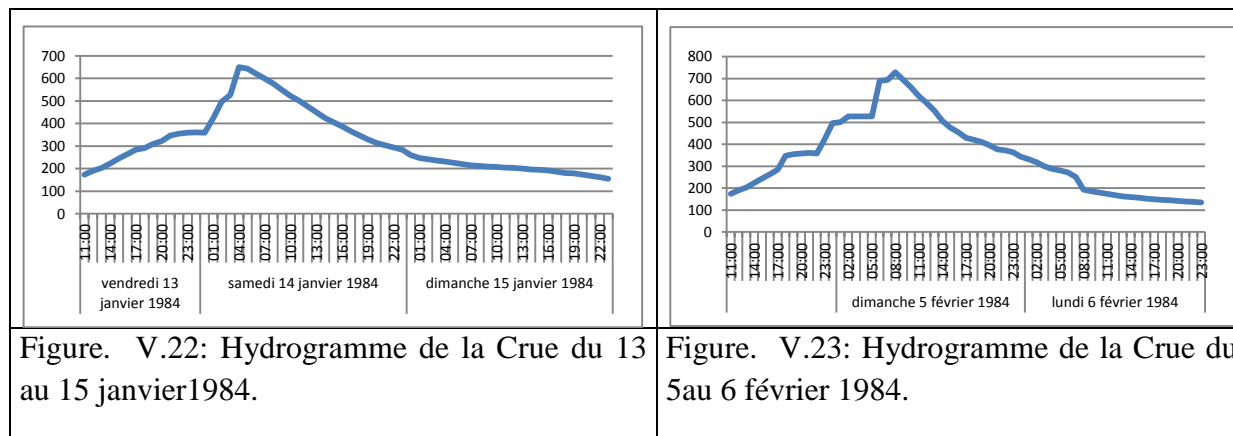


Figure. V.21: Crue du 29décembre 1984 au 3 janvier 1985.

Des épisodes pluvieux de 04 jours (28 au 31 Déc.) de plus de 1000mm sont survenus après des chutes de pluies intenses depuis le début du mois provoquant la saturation du sol. L'intensité des pluies relevée le 29 à 1h30 était de 78 mm/h Les débits de pointe de l'Oued Seybouse ont atteint 1250m³/s, et ont provoqué des crues exceptionnelles.

D'autres crues de moindre ampleur comme celles de Janvier et Février 1984 ont affecté la ville de Annaba et ont eu des conséquences importantes sur la totalité du tissu urbain



Ces deux crues sont engendrées par des pluies abondantes et continues sur plusieurs jours, généralisées à l'Est Algérien. Les précipitations quotidiennes maximales ont atteint 650mm en Janvier et 137 mm en Février Ces pluies exceptionnellement fortes ont été à l'origine de la montée des eaux qui ont atteint un niveau exceptionnel de plus de 10m, et par la suite du débordement de la Seybouse aval avec un débit de plus de 720 m³/s.

La crue du 13 Décembre 2005 également peut être signalée comme événement extrême. Il s'agit d'un événement localisé engendré par des pluies isolées et instantanées (tempêtes orageuses) qui ont atteint un volume de (61,5mm) à l'origine du débordement du canal de ceinture en plusieurs endroits. Plusieurs quartiers de la ville ont été affectés par les inondations telles que le Campus universitaire de sidi Achour et l'Institut de communication...

- **Biskra**

Pour l'oued Biskra, la relation est évidente entre un seuil de précipitations et le niveau du cours d'eau. Cette relation varie entre la valeur de 100 et 350 mm de pluies comme indiqué ci-dessous :

Le diagramme (fig.VI.24) présentant les débits, montre les valeurs exceptionnelles enregistrées au cours des années 82 et 86 où les chiffres ont atteint des seuils rarement observés soit des valeurs respectives de 310 m³/s. et 120m³/s.

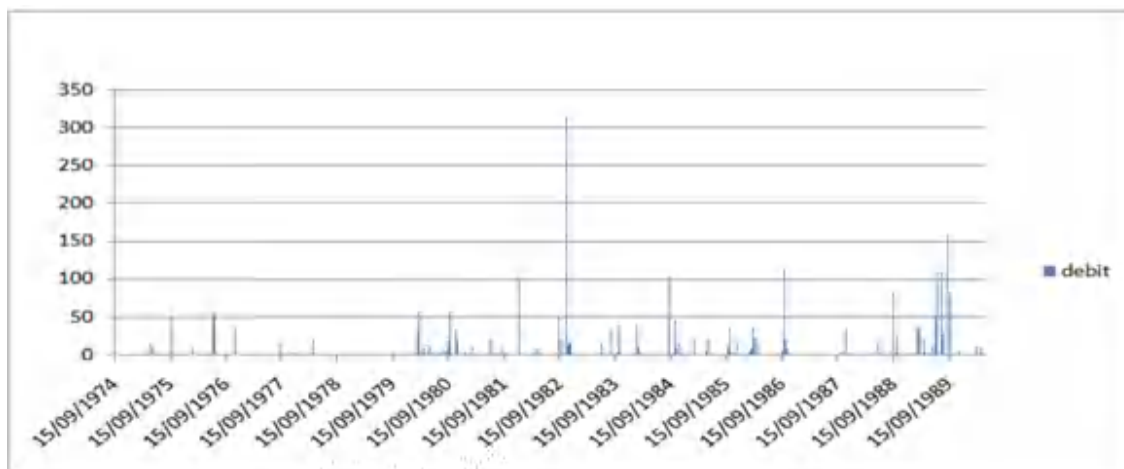


Figure. V.24: Les débits maximaux journaliers de la période 74/89 Biskra

La hauteur pluviométrique à la station de Djemoura a été de 138.50 mm/an.

A la station hydrométrique d'El Kantara le niveau élevé de pluie du 22 /12/1981 a provoqué une crue avec 2 pointes, la première pointe avec un débit de plus de 35 m³/s et une hauteur du niveau des eaux de 183 cm, et la deuxième avec un débit de 101,6 m³/s, et une hauteur de 192 cm (fig 25).

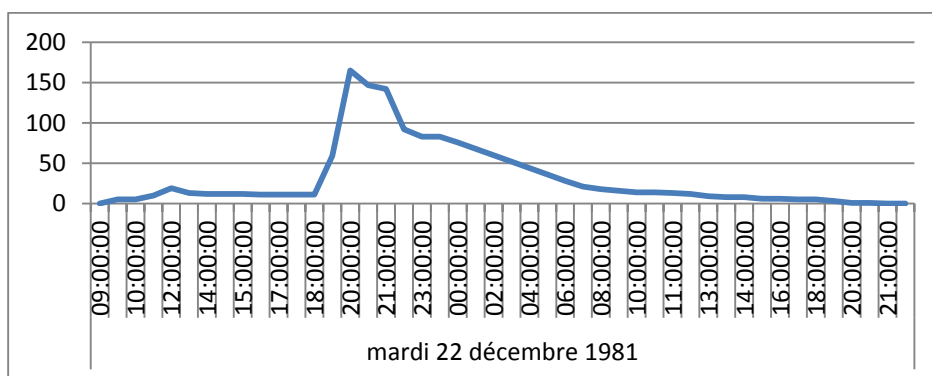


Figure. V.25: Hydrogramme de la Crue du 22 décembre 1981.

En ce qui concerne les inondations de 1982, elles ont été générées par une série d'averses de forte intensité.

Les débits de pointe de crues ont dépassé 100m³/s et ont atteint 314.8 m³/s le 31 octobre à la station de Djemoura. Le graphique indique la force, la rapidité et la brutalité de la crue : le débit journalier est passé de 0,105 m³/s à 314,80 m³/s, au bout de deux heures.

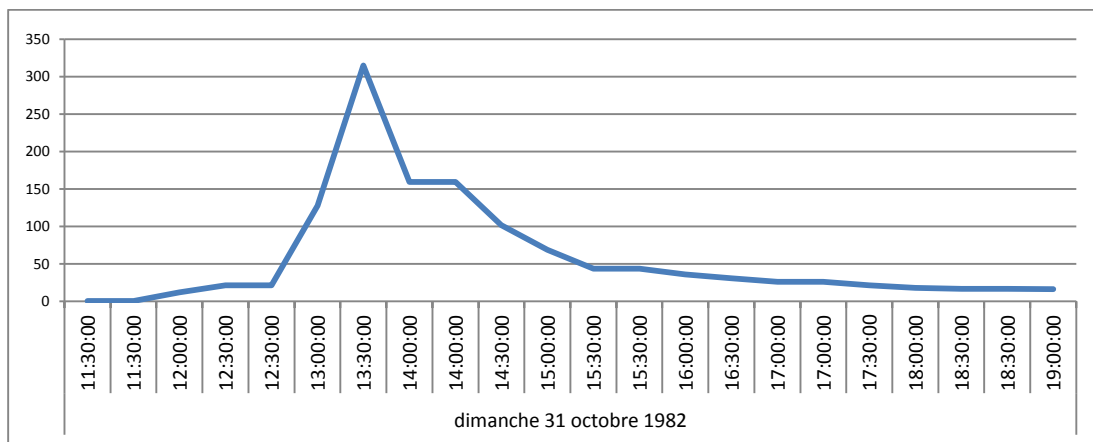
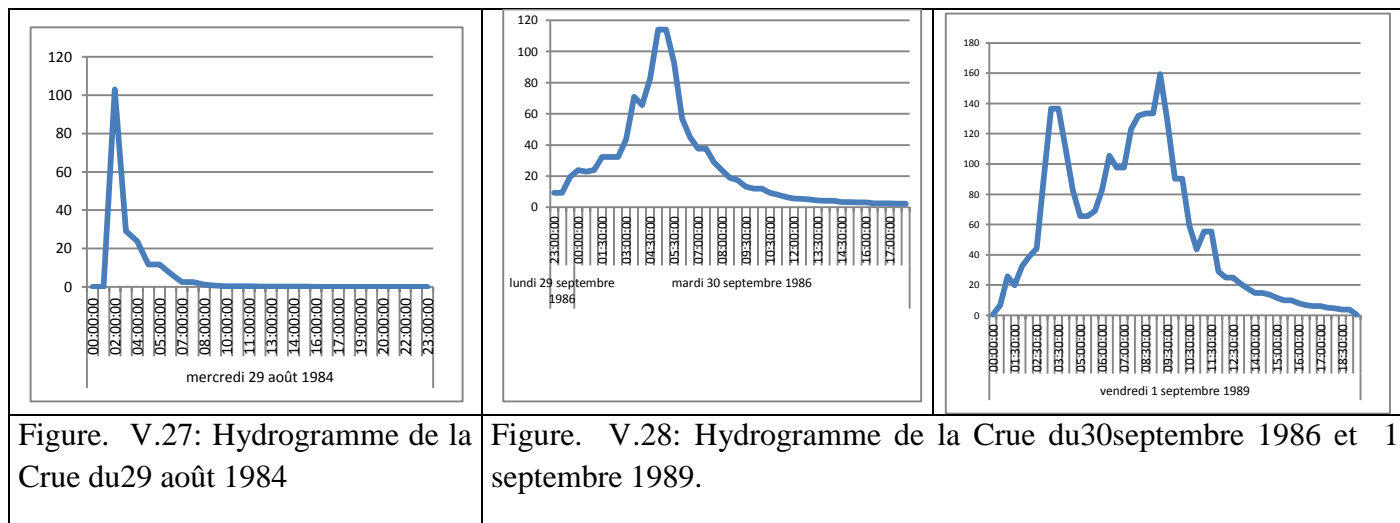


Figure. V.26: Hydrogramme de la Crue du 31 Octobre 1982.

D'autres valeurs extrêmes de débit ont été observées, mais n'ont pas causé de catastrophe dans la ville de Biskra, telles celles de 1984 (120, 59 m³/ s); de 1986 (118, 16 m³/ s); ou de 1989 (169,25m³ / s) en raison de l'intervention de pluies lentes sur une longue période de temps, ce qui permet à l'eau de s'évaporer et de s'infiltrer avant qu'elle n'atteigne l'embouchure.



Conclusion

Le phénomène d'inondations pèse sur les sociétés humaines à travers le monde ,il est considéré comme un événement climatique extrême qui prend de plus en plus d'ampleur. Souvent qualifié de risque naturel, il est lourd de conséquences (pertes humaines, sociales, économiques et environnementales). La capacité à gérer son impact, varie d'un pays, à l'autre.

En Algérie, l'Etat dépense chaque année plusieurs centaines de millions, voire des milliards, de dinars pour réparer les dégâts dus aux inondations, particulièrement ces dernières décennies. Il a été possible de différencier les inondations causées par des pluies exceptionnelles généralisées affectant plusieurs wilayas à l'exemple des inondations catastrophiques de mars 1973 et décembre 1984, des inondations générées par les orages locaux et exacerbées par les facteurs anthropiques, inondations affectant notamment les périmètres urbains telles que celles de Biskra(1999).

Dans le Nord-Est Algérien, la vulnérabilité à l'inondation est très élevée. Elle est liée à de nombreux facteurs. L'étude des crues qui a inclus les extrêmes de débits sur les différents oueds de la région, a permis de saisir le caractère d'irrégularité et de récurrence de ce phénomène. Cette analyse a mis principalement en évidence, la brutalité des crues due principalement à la forte intensité des précipitations, leur mécanisme de propagation et enfin leur répartition fréquentielle. En effet, ces crues, plus spécialement celles du début de l'année hydrologique sur les bassins endoréiques et printanières pour les bassins exoréiques revêtent un caractère brutal et soudain difficilement prévisible et rarement domptable

**CHAPITRE VI: ANALYSE DES FACTEURS PHYSIQUES ET ANTHROPIQUES
LIES AU RISQUE DES INONDATIONS. ETUDE DE CAS (ANNABA ET BISKRA)**

Introduction

La question du risque d'inondation est une question épineuse en Algérie et dans le monde, et en particulier sa gestion. Celle ci est devenue une nécessité absolue dont toutes les parties doivent tenir compte, décideurs, techniciens et résidents, afin de déterminer la vulnérabilité et y faire face. Dans ce chapitre, un intérêt est porté à juste titre aux problèmes inhérents à cette problématique. Une étude approfondie, à l'aide de l'indice de vulnérabilité contre les inondations' (FVI) qui tient compte à la fois du tissu urbain et de son site va, nous permettre de déterminer le degré de sensibilité face aux inondations des deux villes retenues pour notre étude. Diverses méthodologies ont été élaborées pour évaluer la vulnérabilité. Selon (SIVA Sankaria et al. 2015) La plupart de ces méthodes reconnaissent la nécessité d'intégrer les aspects pertinents qui interagissent, à la fois entre les facteurs de vulnérabilité d'exposition, de susceptibilité et de résilience et les composantes de la vulnérabilité :

Sociale-économique : Trois couches composent ce sous-indice l'urbanisation, le réseau routier et la densité de population.

Environnementale et physique : Quatre facteurs intervenants dans la vulnérabilité « physique » sont mis-en-œuvre ; « la bathymétrie, la pente, morphologie et couvert végétaux)

. Une autoanalyse de la vulnérabilité par les populations à risque d'inondation dans la ville de Annaba et Biskra, est réalisée pour mieux explorer les spécificités de la nature de la vulnérabilité de ces zones exposées aux risques d'inondation.

Auparavant (Mclaughlin Cooper, 2010) on vient essayer. Mais peu ont été en mesure de le faire en raison de manque cruel de données de base.

Cette analyse a permis de mettre en exergue une conjonction de phénomènes environnementale, climatique et beaucoup plus anthropique à l'origine des inondations. Le couplage de plus d'une méthode dans l'analyse de la vulnérabilité donne un avantage de comprendre, au-delà des indicateurs globaux entrant dans la détermination de l'indice de la vulnérabilité aux inondations de la ville, les spécificités des zones à risque et les stratégies individuelles et collectives de réponses face aux inondations.

L'évaluation de vulnérabilité aux inondations à travers divers méthodes utilisées permet aux décideurs de comprendre la vulnérabilité sociale, économique, environnementale et physique afin de mieux cibler les actions de mitigations à travers une gestion intégrée des risques d'inondation par des approches mixtes et contextualités aux réalités des villes moyennes pour tendre vers des villes sûres et résilientes dans ce contexte de transition démographique accentué par la décentralisation.

1. Caractéristiques des sites d'étude

L'étude s'intéresse à deux villes, situées dans des milieux diamétralement opposés, l'une sise sur le littoral (Annaba), et l'autre, à la porte du désert (Biskra, affectées souvent par le phénomène d'inondation.

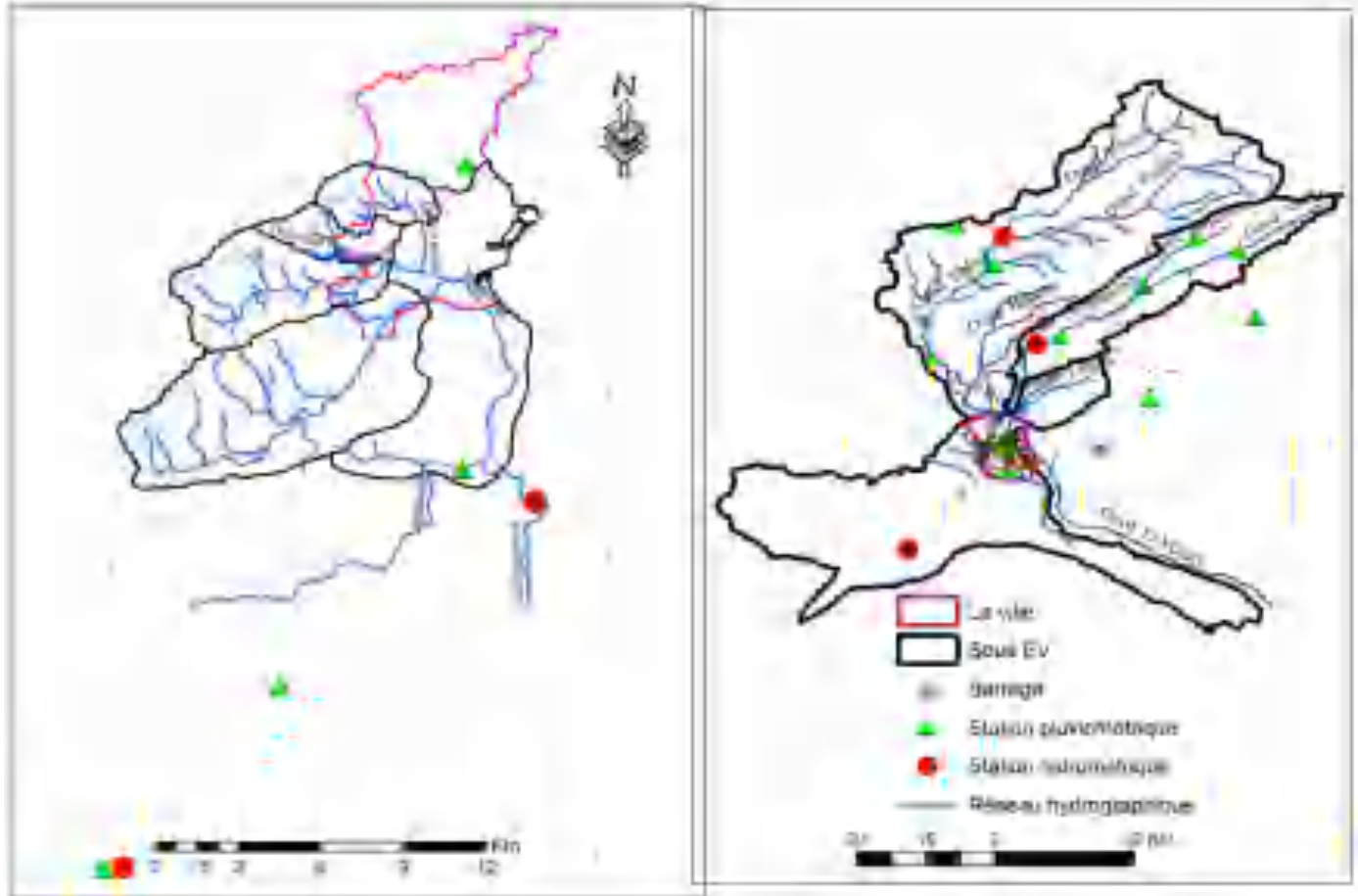


Figure. VI.1: Ville de Annaba et Biskra

La ville de Annaba : Est située dans le sous Bassin versant de la Seybouse Maritime, avec un périmètre de 140 Km, compris entre 7° et 7° 30' Est. Il est drainé par 5 affluents importants : L'Oued koubba, Oued sidi herba, Oued Forcha, Oued Bouhdid, et Oued Boudjemaa qui se jettent vers l'embouchure de Sidi Salem. A l'Est les sous bassins s'étalent sur des basses terres dont l'altitude est inférieure au niveau de la mer à (-2 et 10m.). A l'Ouest Le sous-bassin versant de la basse Seybouse s'étend jusqu'au piémont du massif de l'Edough qui s'élève jusqu'à 1008 m, (fig.VI.2)

Le sous-bassin de la Seybouse Maritime est généralement caractérisé par la présence de vasières salées longuement inondées, accusant souvent des variations très fortes de niveau à proximité immédiate du cours d'eau et moins marquées au fur et à mesure que l'on s'en éloigne, se couvrant d'une végétation assez abondante de Tamarix réparties sur l'ensemble du linéaire fluvial.

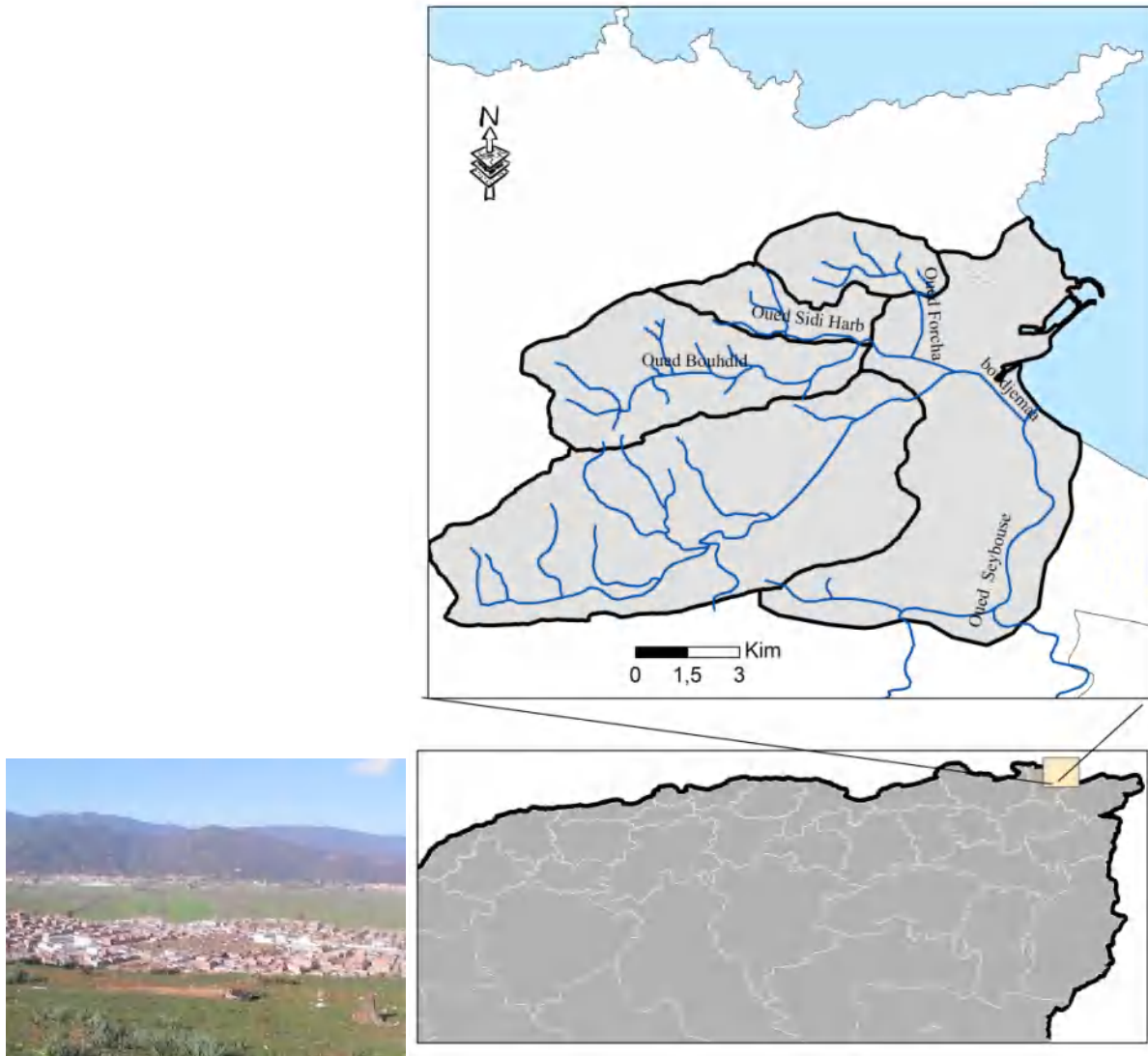


Figure. VI.2: Le sous Bassin versant de Annaba

La ville de Biskra: est située au pied du versant méridional du massif de l'Aurès, avec une superficie d 128 km².

Le sous Bassin versant de l'oued Biskra qui traverse la ville s'étale sur une superficie de 2787km²; il fait parti du grand bassin Chott Melghir (BV06), (carte n°03). Le bassin versant de l'oued Biskra est allongé suivant la direction (SO.NE), il résulte de la confluence de deux oueds : oued El Hai et l'oued Djemoura. Tout au long de son parcours, il reçoit plusieurs affluents, qui sont le plus souvent à sec; l'oued Bouguatou, l'oued Lafrah, l'oued Bouzina, l'oued Abdi, Hassi Ben Tamtam et l'oued Tanit; ces derniers sont dangereux lors des écoulements flash qui se produisent de façon irrégulière, vu leur effet direct sur la genèse des crues inondantes. A ce propos, une multitude de documents concernant ce type d'événements a été consultée parmi lesquels :

- l'étude portant sur la protection de la ville Biskra contre les crues, réalisée en 2020, par Ben Lamri 2020
- l'étude de Menad 2013 qui s'intéresse au problème des inondations de ruissellement superficiel en métropole méditerranéenne : cas de la partie ouest du Grand Alger
- la thèse de Khoualdia 2014 qui s'intéresse à la variabilité climatique et son impact sur les ressources hydriques « cas d'oued Medjerda Nord-Est Algérie »
- l'étude de Beloulou 2008, qui met en relation les résultats des calculs hydrologiques (pluies et crues de projet) et hydrauliques (capacité d'écoulement du lit des oueds et des ouvrages hydrauliques actuels) ;
- la thèse de Boumessenagh 2007 qui concerne l'oued Biskra.

1.1. Des caractéristiques topographiques favorables

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) à 30 m, permet d'obtenir de nombreuses indications sur les valeurs de pentes, d'exposition, des formes topographiques et des réseaux hydrographiques.

- **Annaba**

Ainsi pour Annaba, les altitudes varient de -2 à 1008 m au Kef Seba (massif l'Edough) ; la plage dominante demeure celle des altitudes moyennes et faibles occupant 76 % de la surface. Les pentes les plus fortes (+40%) occupent en moyenne 20% de la surface du bassin, les pentes comprises entre 25% et 39%. concernent environ 40% de la superficie totale, et les pentes entre 3% et 25%. environ 30% de la superficie totale. Les terrains de faible pente (inférieure à 3 %), se situent en bordure de mer et occupent les vallées et les terrasses, ils ne représentent que 10 % de la superficie totale du terrain étudié.

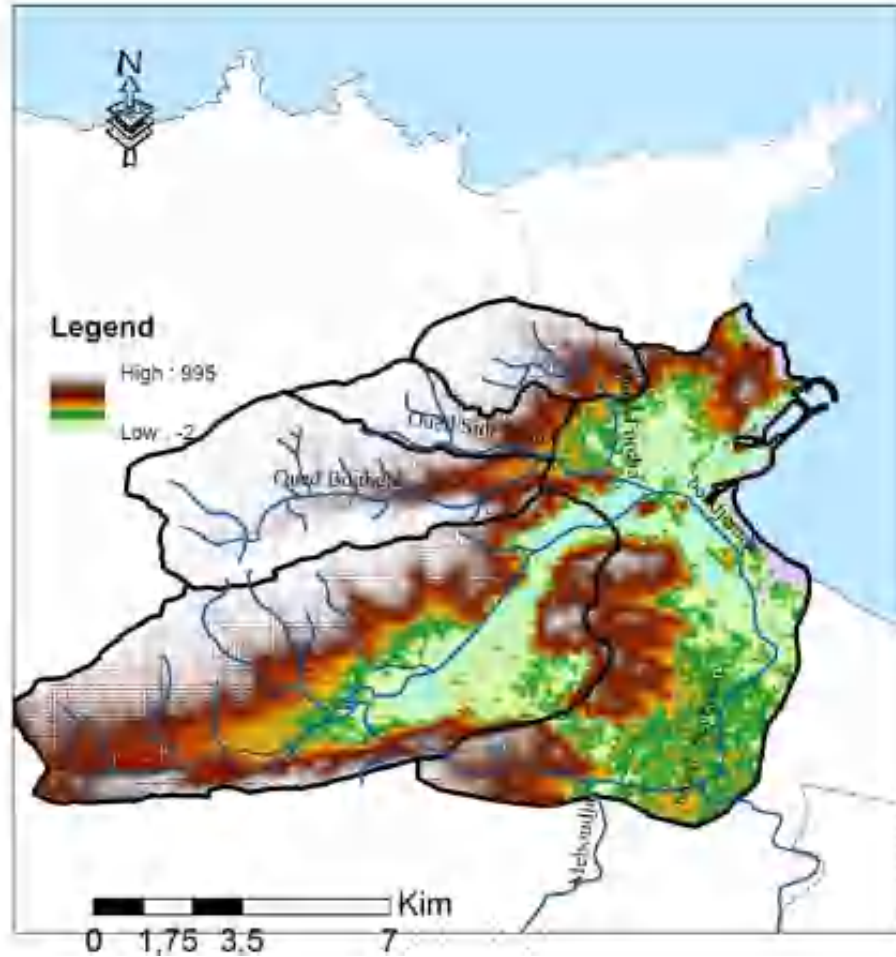


Figure. VI.3 : Carte des altitudes du bassin versant de Annaba

Le bassin versant de Annaba est caractérisé par des altitudes inférieures au niveau de la mer, la tranche (-3 à 10 m) occupe (22%) de la surface du bassin ; le reste du bassin connaît une hypsométrie variable. (diagrame01). Une première tranche est représentée par des altitudes allant de 10 à 100 m, elle concerne généralement les plaines (58%), une deuxième tranche, au delà de 100m concerne les montagnes souvent de moyenne à forte pente.

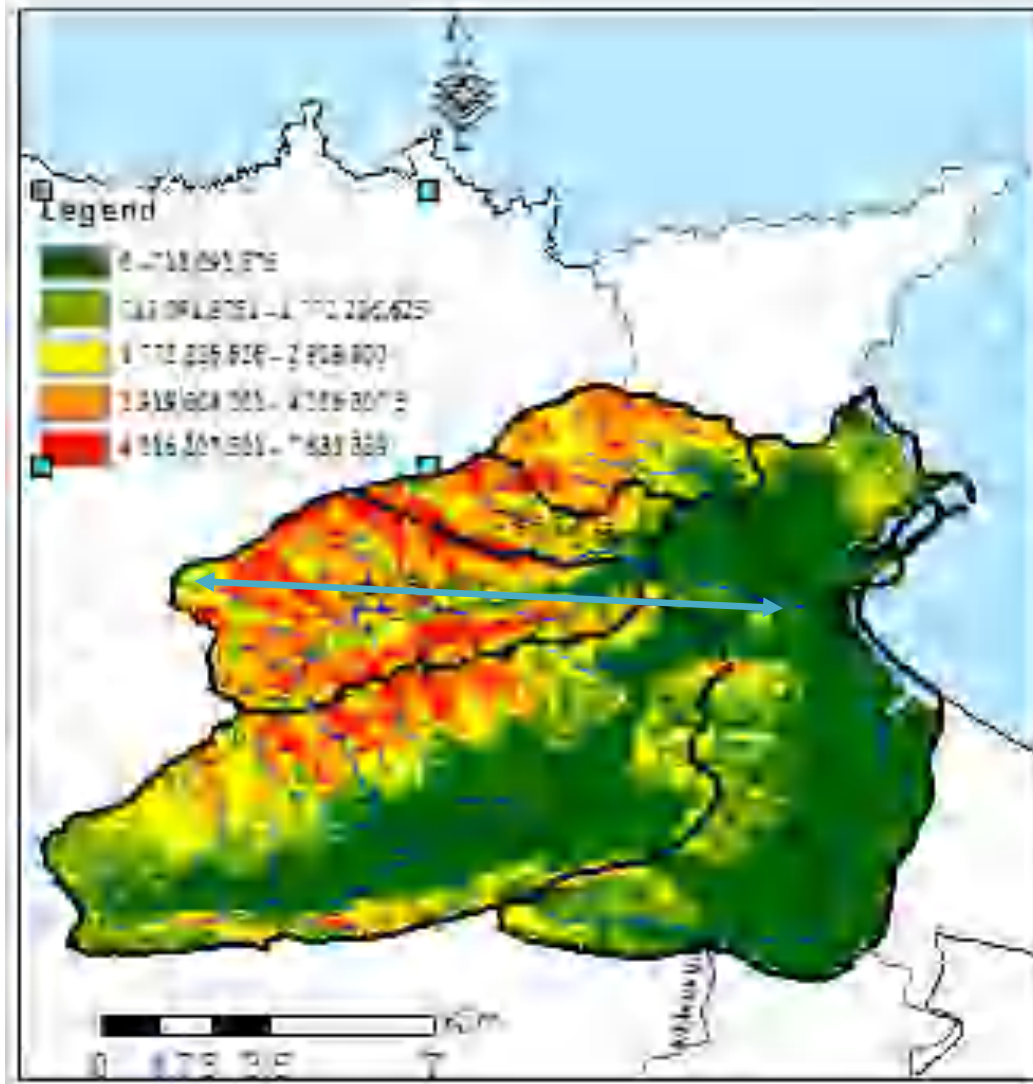


Figure.

VI.4 : Carte des pentes du bassin versant de Annaba

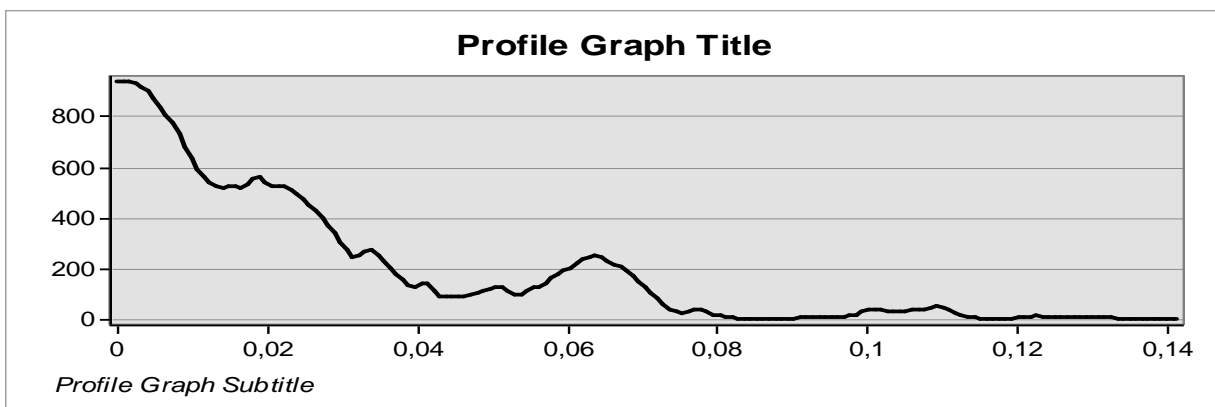


Figure. VI.5: Courbe topographique du bassin versant de la ville de Annaba

- **Biskra**

Le site et la situation du périmètre urbain de Biskra, en contrebas du Dj-Boumenkouche expliquent en grande partie la vulnérabilité de la ville par rapport aux inondations. La plus grande pente étant orientée du Nord vers le Sud, les écoulements sont accélérés. L'analyse des pentes du bassin versant de Biskra permet de souligner la présence d'une dénivelée importante entre le Nord et le Sud du bassin où se situe la ville de Biskra Carte 06

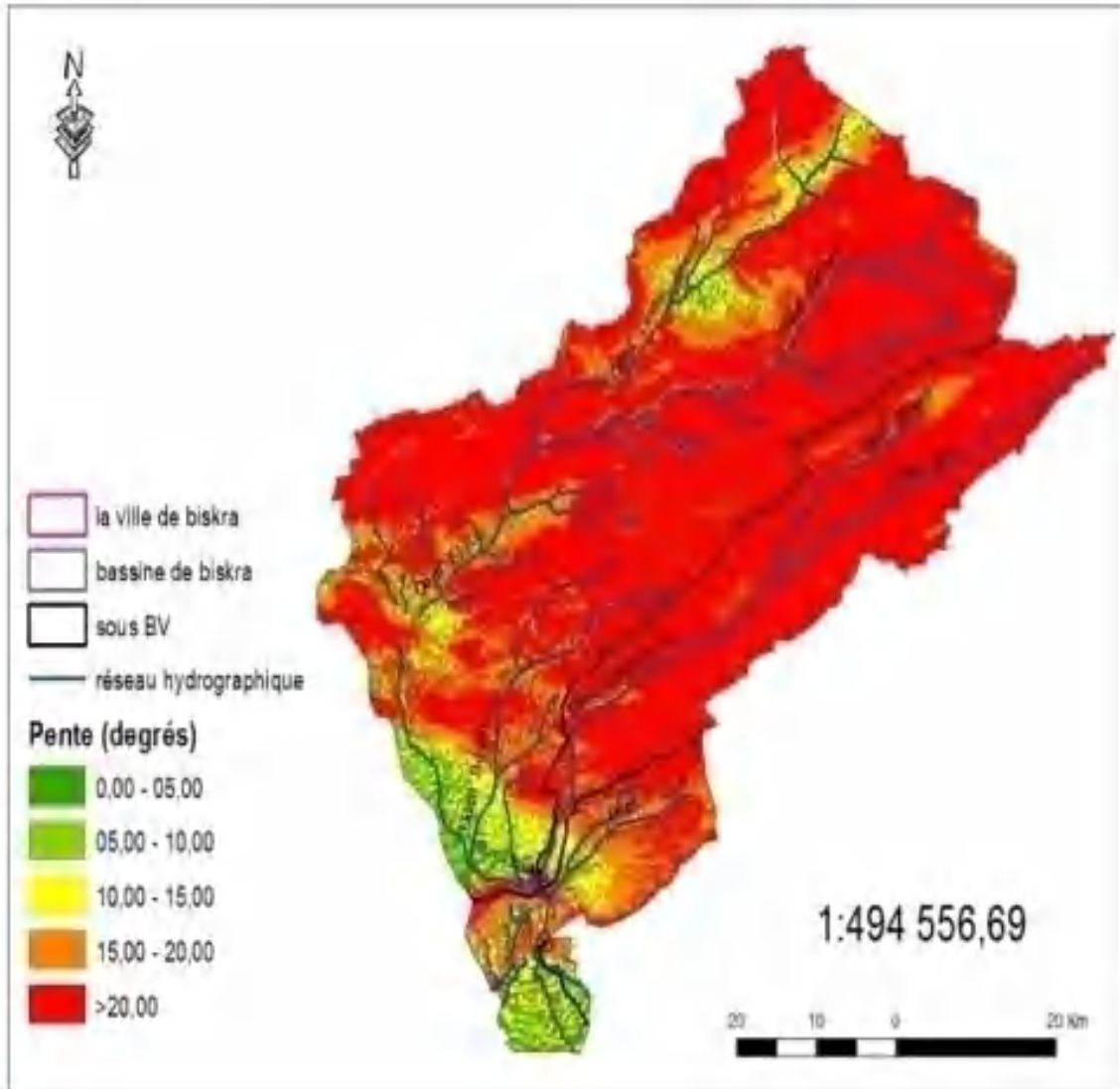


Figure. VI.6 : Carte des pentes du bassin versant de Biskra

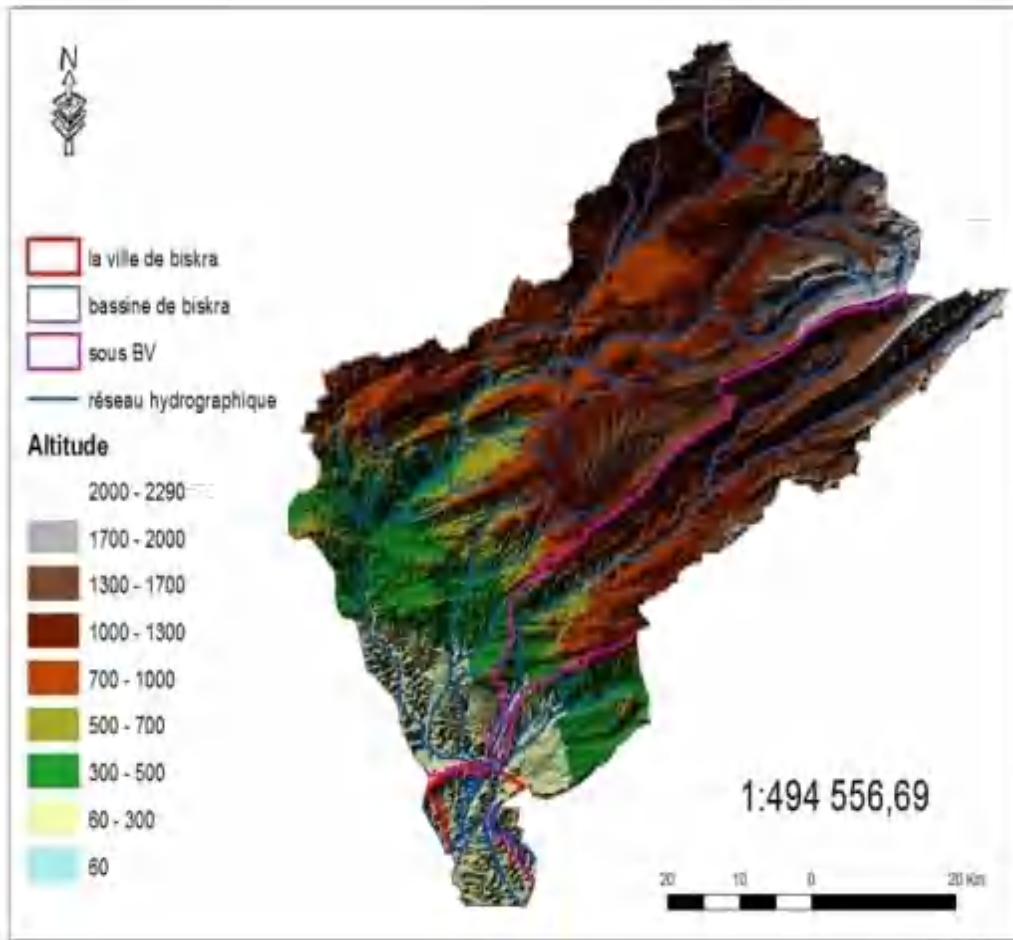


Figure. VI.7 : Carte des altitudes du bassin versant de Biskra

-La classe des pentes fortes ($> 20\%$) n'occupe qu'une faible surface, (11%), elle concerne surtout les sommets des monts de Bellezma, Djebel El Mahmel (2321m) et Djebel Boutlarmine au Nord-est. mais elle est à l'origine de la plupart des ruissellements.

-Le secteur des pentes comprises entre 10% et 20% représente également une faible part (10%) mais il contribue grandement au renforcement des écoulements. Elle concerne les versants des Aurès et Djebel Metlili.

- le secteur des pentes comprises entre 5% et 10%, beaucoup plus important (25%), couvre la zone des piedmonts où l'absence de la couverture végétale favorise l'accélération du ruissellement superficiel. Ce secteur est considéré comme zone d'inondation elle correspond en partie à la zone urbanisable.

-La classe des pentes ($< 5\%$) est celle qui prédomine, soit 50% de la surface du bassin elle s'étend dans la partie Sud du bassin versant de l'oued Biskra et une partie au Nord-est de celui-ci ; c'est un secteur de plaine, où les conditions sont défavorables à l'écoulement superficiel et à la propagation des crues

1.2. Les caractéristiques lithologiques

- **Annaba :**

Les caractéristiques des formations superficielles d'une façon directe ou indirecte influent sur la propagation de l'écoulement des oueds. Au niveau de la plaine d'Annaba, les sols les plus répandus sont : les sols alluviaux et les sols salins développés dans les marécages et sur le littoral. Au sud des plages et du cordon dunaire, entre la ville d'Annaba et l'aéroport à l'Est et au NE de la wilaya, on trouve également des sols salins. Notons aussi que les sols de cette plaine, au niveau de la wilaya d'Annaba, sont fortement modifiés par l'anthropisation (développement et extension de la ville d'Annaba et de sa zone industrielle). Au niveau des piémonts sud, les sols insaturés dominent les paysages et correspondent généralement aux terrains argilo-gréseux numidiens,

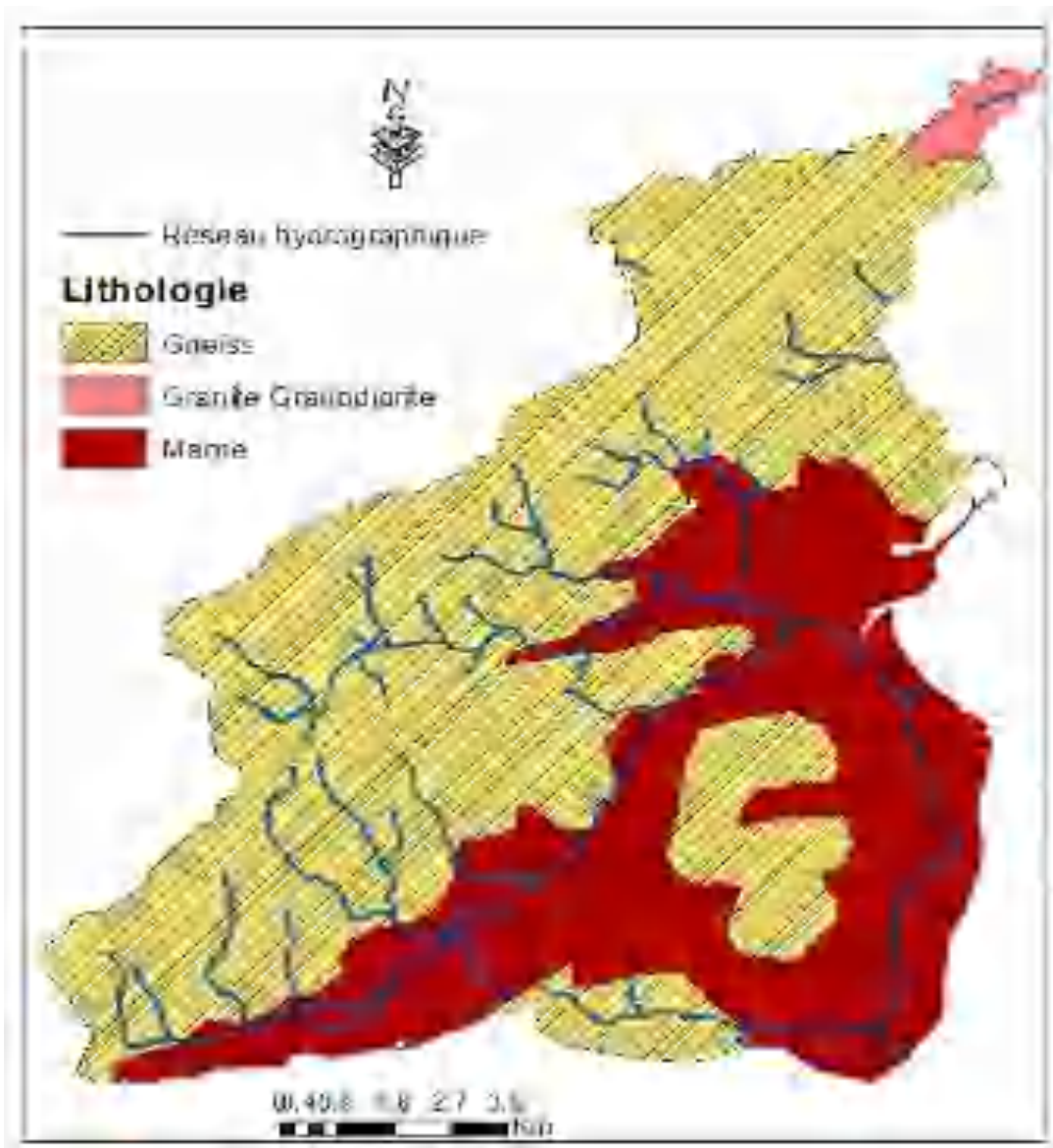


Figure. VI.8 : La carte de lithologie du bassin versant de Annaba

• **Biskra :**

Les terrains imperméables et semi-perméables sont majoritaires dans le bassin de l'oued Biskra, la partie Nord du bassin notamment, donc la plus arrosée, correspond aux terrains à dominance imperméable : roches marneuses et argileuses, ...etc ; la partie sud en revanche, est le domaine des formations perméables, défavorables à l'écoulement de surface et siège des dépôts détritiques. A cette relative imperméabilité viennent s'ajouter des conditions morphologiques particulières pour favoriser le ruissellement superficiel et la formation des crues, ce qui augmente le risque d'inondation. Le bassin de l'oued Biskra représente en effet une zone géologique très tétanisée (R. Laffitte 1939). Elle a été le siège d'un tectonique assez complexe, qui est relativement souple, ayant abouti à la formation des anticlinaux et synclinaux de direction générale NE-SO.

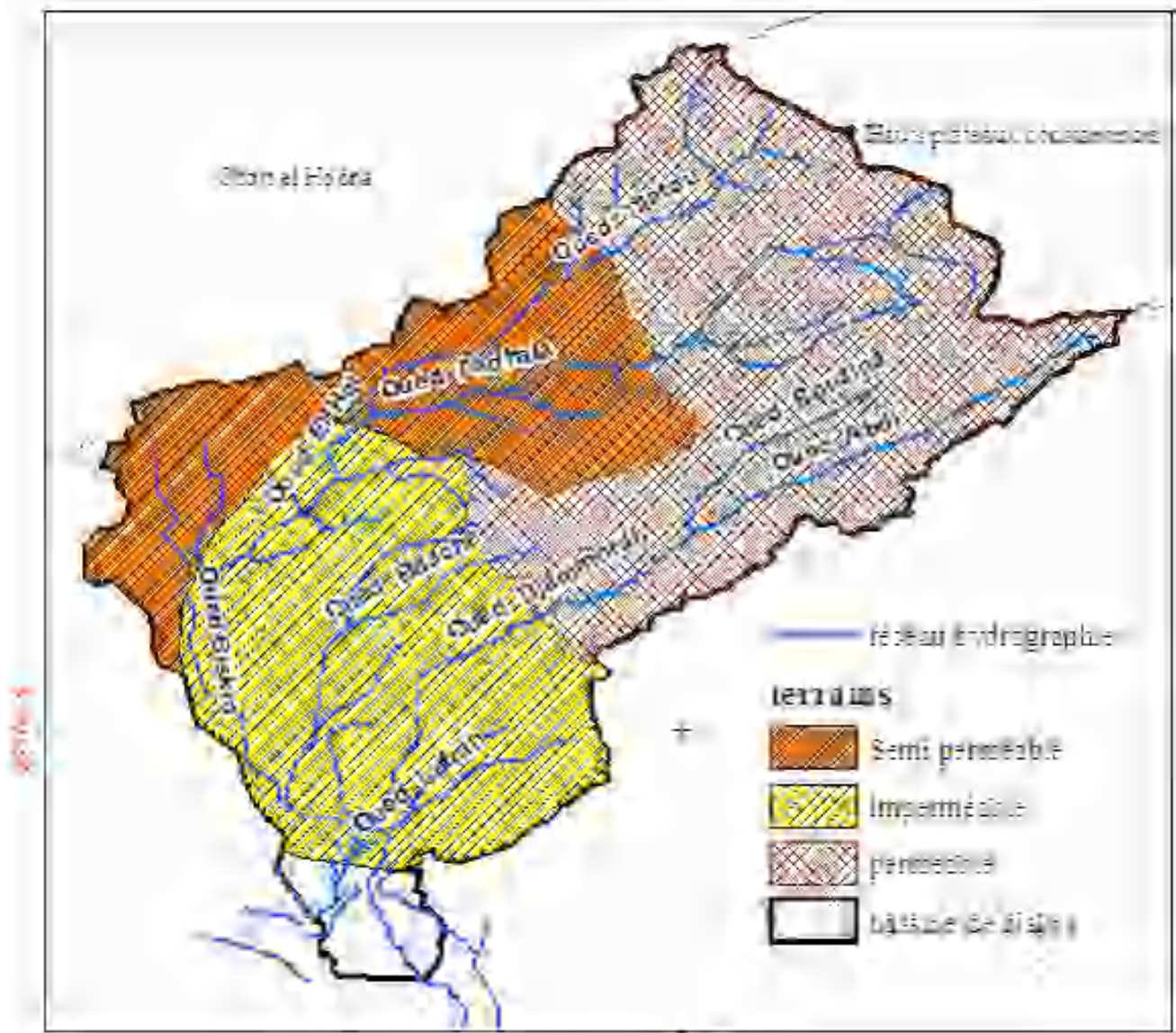


Figure. VI.9 : Carte lithologique du bassin versant de Biskra

1.3.Les caractéristiques de couvert végétal

- **Annaba**

Le couvert végétal caractérisant l'aire d'étude, se distingue par des formations forestières assez importantes, et le taux de recouvrement peut atteindre (30%). Toutefois les nombreuses dégradations subies, notamment à travers les incendies, et le surpâturage, l'ont relativement fragmentée. La commune de Ain El Berda a particulièrement été sujette à ces phénomènes, au point que la roche mère a été mise à nue. (fig . VI.10).

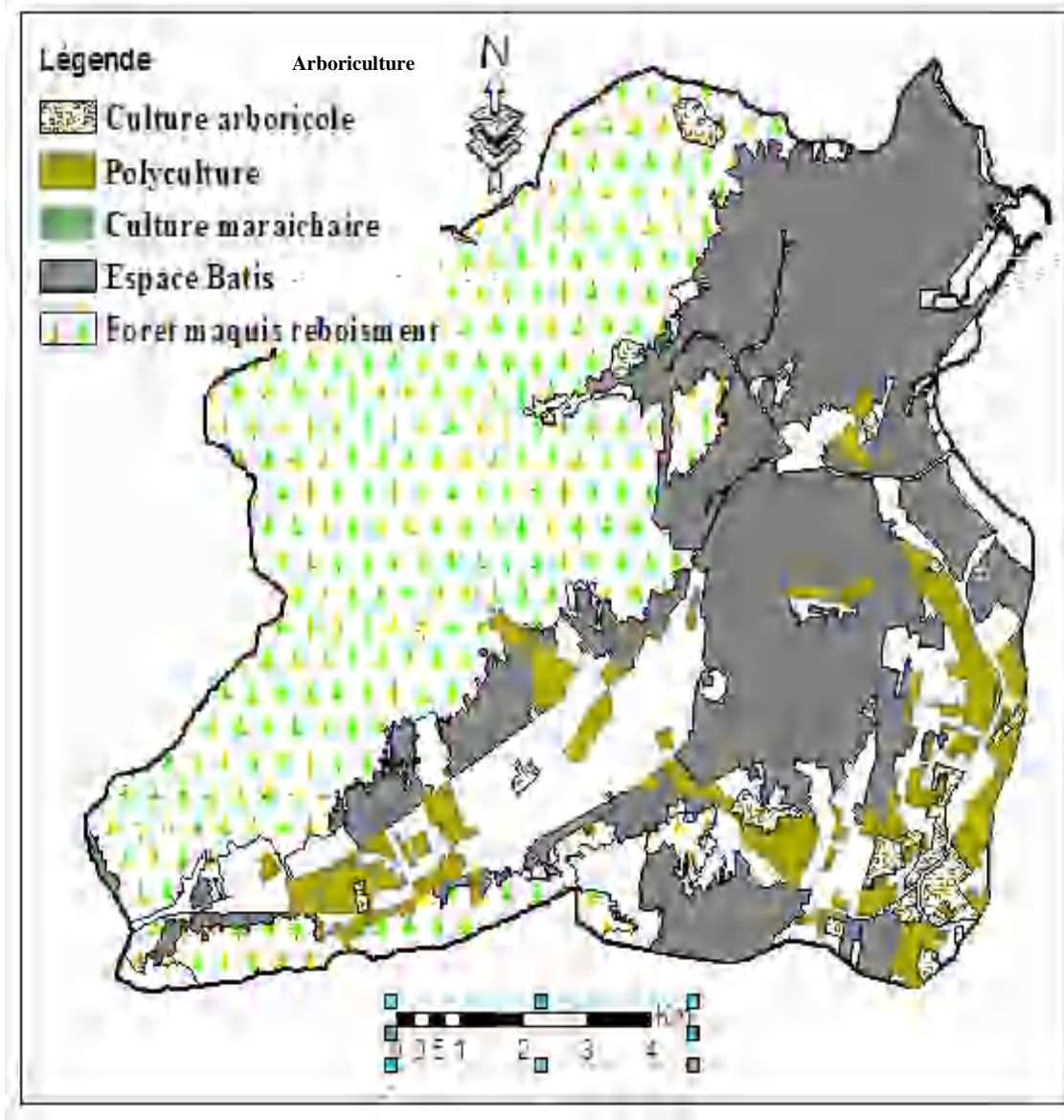


Figure. VI.10 : Carte du couvert végétal de la ville de Annaba

- **Biskra**

La majorité des terres du bassin de l'oued Biskra est mal protégée ou nue. Couverte le plus souvent par des formations steppiques en état de dégradation avancée ou des broussailles, elle

n'offre pratiquement pas d'obstacle à l'écoulement, qui se manifeste par un chevelu de Chaabet bien développé. Dans la plaine d'El Outaya, par exemple, où la végétation très rare a laissé place à de vastes nappes sableuses, aucun frein ne s'oppose désormais, à la remontée des eaux et à la production de crues désastreuses.

Les seules surfaces bien protégées, sont celles constituées par une couverture forestière au niveau des reliefs. Elles occupent les reliefs de Djebel Mahmel, Metlili et Asker.

Enfin, les surfaces incomplètement et moyennement protégées sont celles occupées par les céréales et l'arboriculture, elles sont semi-perméables.

Au total, les formations végétales assurent une protection médiocre du sol. La discontinuité ou l'absence totale de la couverture végétale favorise l'écoulement superficiel donc la remontée des crues, elles constituent 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.

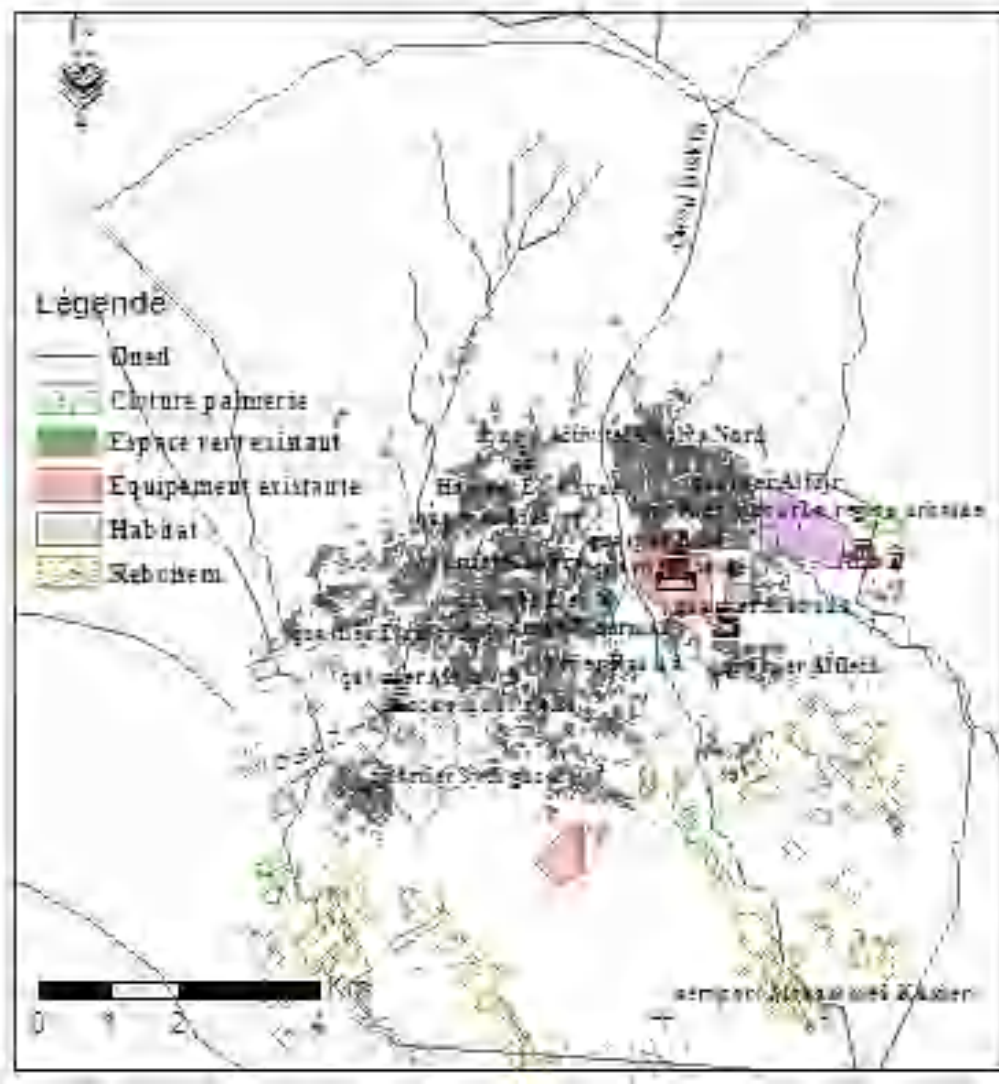


Figure. VI.11: Carte de couverture végétale Biskra

2. Evolution des anomalies et tendances pluviométriques

Cette étude porte sur l’analyse de la corrélation de la variabilité spatio-temporelle et met en évidence les variances des événements sur la série chronologique non-stationnarité. Les données journalières des pluies, aux stations les plus proches de la zone d’étude, ont été collectées. Pour chaque année, les données relatives aux stations de la ville Annaba (Pont Bouchet, Ain Berda, El kerma) et la ville de Biskra la station de (Medina Lanasseur) dont les coordonnées sont consignées au (Tab. VI.1), ont été relevées. Un intérêt particulier a été accordé aux extrêmes pluviométriques, pour l’appréhension des phénomènes de crues.

Tableau. VI.1 : variabilité des pluies annuelles

Mois		sept	Oct	Nov	dec	janv	fev	Mars	Avril	mai	Juin	Juil	Aout
Ain Berda	MOY	42,01	71,9	99,03	81,47	72,23	54,24	62,76	30,37	9,71	1,5	7,86	8,84
	E.Type	32,26	53,98	59,91	73,54	55,36	47,91	48,73	26,36	13,56	2,92	10,97	14,37
	CV	0,77	0,75	0,6	0,9	0,77	0,88	0,78	0,87	1,4	1,95	1,4	1,62
Pont Bouchet	Moy	39,71	66,99	98,1	71,51	71,76	46,51	65,84	29,98	10,68	1,72	8,45	8,28
	E.Type	26,63	61,78	55,49	83,56	60,49	51,14	52,34	28,11	14,8	2,27	10,91	6,39
	CV	0,67	0,92	0,57	1,17	0,84	1,1	0,79	0,94	1,39	1,32	1,29	0,77
El KERMA	Moy	39,41	64,92	95,44	73,53	67,04	45,86	61,89	28,67	10,42	1,62	9,19	6,71
	E/Type	26,7	57,05	56,54	77,81	57,54	47,88	50,54	27,46	13,47	2,62	11,41	5,04
	CV	0,68	0,88	0,59	1,06	0,86	1,04	0,82	0,96	1,29	1,62	1,24	0,75
Medina Lanasseur	Moy	39,41	64,92	95,44	73,53	67,04	45,86	61,89	28,67	10,42	1,62	9,19	6,71
	E/Type	26,7	57,05	56,54	77,81	57,54	47,88	50,54	27,46	13,47	2,62	11,41	5,04
	CV	0,68	0,88	0,59	1,06	0,86	1,04	0,82	0,96	1,29	1,62	1,24	0,75

Variabilité spatiale et variabilité temporelle s’expriment à travers ces données. Le calcul du coefficient de variation permet d’en saisir l’importance.

2.1. Caractérisation des périodes de retour

A partir de la loi de Galtone, loi le plus souvent utilisée et vrais semblable, sur les bassins du Nord Est algérien, les échantillons de pluies journalières maximales des deux stations sont analysés statistiquement à l’aide du programme Hydrolab développé sous forme de macros sous Excel 2010 (Figures). La représentation de la loi log-normale est la suivante: La fonction de répartition est

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

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

$$a \text{ et } b \text{ peuvent être représentée par : } a = \frac{1.517}{\sqrt{\log(1+\frac{\delta Q^2}{(\bar{Q}-Q_0)}}} \quad b = \frac{1.1513}{a} - \log (\bar{Q}-Q_0)$$

Q_0 : Paramètre de position, estimé sur graphique.

Le calcul des périodes de retour appliquées aux données de précipitations journalières des deux stations analysées montrent une grande irrégularité et soulignent le caractère imprévisible des événements.

Les résultats obtenus sont présentés par la (figure VI.12et 13) pour des valeurs de pluie de retour de 2 ans, 5 ans, 10 ans et 100ans, correspondant respectivement à des volumes de 82.29mm, 112.64mm, 132.72mm 151.99 mm et 195.97 mm

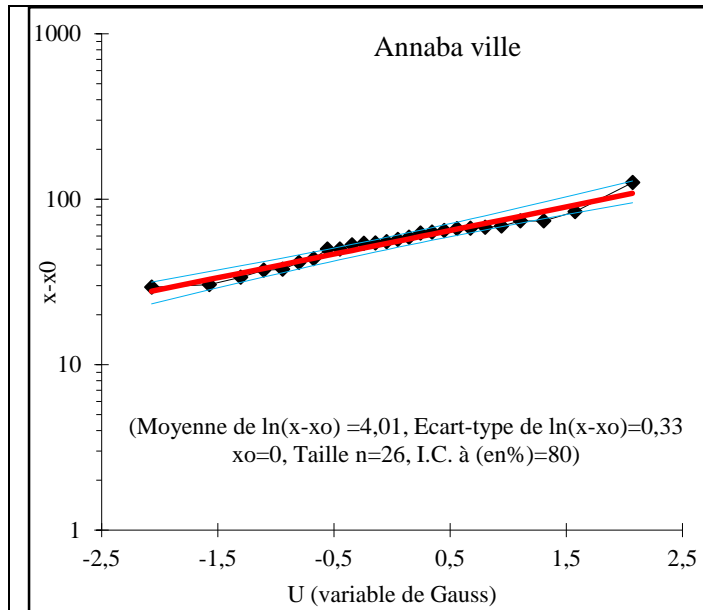


Figure. VI.12 : Ajustement des PJmax à une loi de probabilité de Galton(Annaba)

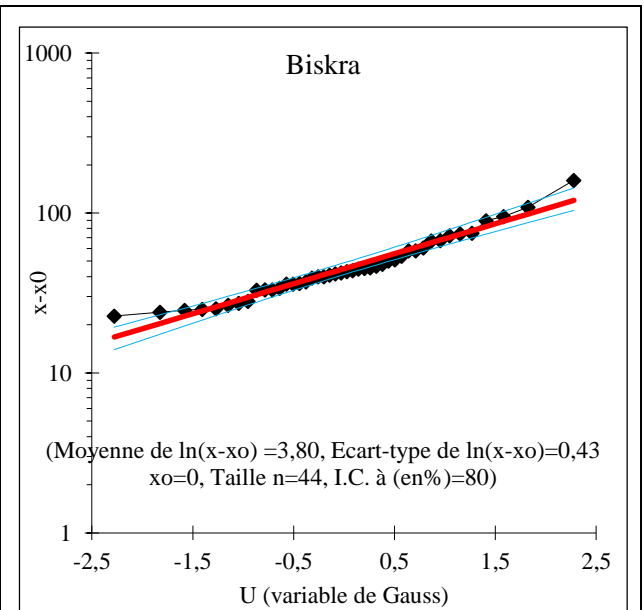


Figure. VI.13 : Ajustement des PJ max à une loi de probabilité de Galton (Medina El anser)

Tableau. VI.2 : Précipitations annuelles fréquentielles (mm)

Stations	k (N° d'année de la série disponible)	Période de retour (ans) et Fréquence F				
		2ans F 0,5	10ans F 0,90	20ans F 0,95	50ans F 0,98	100ans F 0,99
Annaba	1969/2013	54.89	83.67	94.29	108.86	122.43
Biskra	1969/2013	44.83	77.97	91.21	107.83	117.98

Les valeurs centennales des stations varient de 117.98 mm (Biskra) à 122.43 mm (Annaba). Pour les valeurs cinquantenales, elles varient de 108.86 mm (Annaba) à 107.83 mm (Biskra) (Tableau VI.2).

Pour la station de Medina El Anser (Biskra) le risque augmente avec l'augmentation de la période de retour jusqu'à atteindre une valeur de 117.98mm pour une période de retour de 100 ans, puis diminue jusqu'à atteindre une valeur de 44.83mm pour une période de retour de 2 ans.

2.2. Fréquence de retour des pluies en lien avec les inondations

Il a été constaté que les fréquences les plus courtes engendrent moins de dégâts que celles plus longues ; toutefois pour l'oued Boudjemma quelque soit la période de retour, il provoque des dégâts inestimables, causés par le débordement de ses eaux. Ainsi au moment des hautes eaux, de 2002 (fréquence cinquantennale) le débit a été estimé à environ $1303,6\text{m}^3/\text{s}$, avec des pluies journalières maximales de la valeur de (107,4mm).

Tableau. VI.3: Fréquence de retour des pluies en lien avec les inondations a Annaba

inondations signalées	Dates prévues par calcul	Pluviométrie (mm)	Période de retour	Type de pluie
11/11/1972	27-mars-72	56,2	5	Normale
05/04/1973	03-déc-73	48	2	Normale
10/11/1982	29-oct-82	97,5	20	Normale
27/09/1992	03-nov-92	142,7	>100	très exceptionnelle
26/11/2002	26-nov-02	107,4	50	Exceptionnelle
04/04/2003	04-avr-03	88,2	10	Normale
14/12/2005	13-déc-05	103,7	50	Exceptionnelle
24 au 26/01/ 2019	24-déc-19	80	10	Normale

Ces fréquences de retour dont les conséquences destructrices diffèrent, sont retenues pour permettre une analyse des pluies exceptionnelles selon la classification internationale des évènements extrêmes.

Tableau. VI.4: Les inondations dans la ville de Annaba.

Date	Lieu de la catastrophe	Dégâts Occasionnés	Observations
11/11/1972	Bidons Ville Sidi Harb, Vieux quartiers, Cité 08/05/1945, Cité Oued Edheb, Cité 11/12/1960, Cité Sidi Brahim, Cité El Moukaouama, Cité des Orangers, Cité Didouche Mourad, Port Said, Partie Centre-Ville, Cité Oued Forcha, Cité Faubour	26 Morts	45000 Sinistrés suite aux inondations.
		9490 Personnes sans abris	
		1436 Familles sans abris et Dégâts importants.	
05/04/1973	Bidons ville et tous les quartiers situés dans le centre-ville de la commune de Annaba	Dégâts importants dans les récoltes et les animaux domestiques	4870 Familles Sinistrées 2126 têtes de Bovins 3345 tête d'Ovins
10/11/1982	Ville d'annaba	Dégâts importants et les routes bloquées	26 morts et plusieurs blessés
27/09/1992	Vieux Quartiers Bas-Annaba, cité 08/05/1945, Cité Kouba, habitations plage El-Kharouba, cité sidi Brahim, cité El Moukaouama, cité Didouche Mourad, cité FLN, cité oued Forcha, cité oued Edheb, cité 11/12/1960,	Dégât importants sur les habitations, les écoles situées oued Kouba, Mess officiers, plage Rizi Amor.	Pas de dégâts Humains
26/11/2002	Cité Chaiba, Sidi Ammar, cité Houari Boumedienne, cité 508 Logts, Commune de Sidi Ammar	22 Baraques Détruites, 74 Baraques touchées Partiellement	01 Blessé , 02 Personnes Sauvées
04/04/2003	El Bouni Annaba (Plaine Ouest)	Inondation de toutes les habitations à simple rez-de-chaussée et les routes :	944 Familles Sinistrées
14/12/2005	Quartiers Bas de la Commune de Annaba.	/	Des maisons touchées.

Source : Protection civile (Alger)

La région de Annaba a connu plusieurs situations météorologiques remarquables, consignées dans le tableau ci-dessus à l'origine d'une forte pluviosité causant les inondations les plus dramatiques .A titre d'exemple, les chutes de pluie exceptionnelles du **11/11/ 1972** (688mm pendant 4 jours) dans la wilaya d'Annaba ont provoqué des dégâts humains et matériels considérables : 26 morts , 9490 personnes sans abris soit 1436 familles et dégâts matériels importants : des dizaines de kilomètres de routes emportées.



Figure. VI.14: Inondation du 13 au 15/12/2005



Figure. VI.15: Inondation de la 24/09/2009

source : protection civile



Figure. VI.16: Zones touchées par les inondations du 24 au 26 Janvier 2019

A partir de la protection civile et des medias, nous avons été en mesure de mettre à jour les informations liées aux récentes inondations, celles du 24 et 25 janvier 2019 qui ont causé de nombreuses perturbations du réseau routier et même de pertes humaines. Quelques images présentées ci-dessous montrent l'ampleur des dégâts :



Figure. VI.17 : Vue globale d'El Bouni, à partir de l'imagerie satellitaire Aalst-2B (Fausses couleurs) 22 septembre 2017

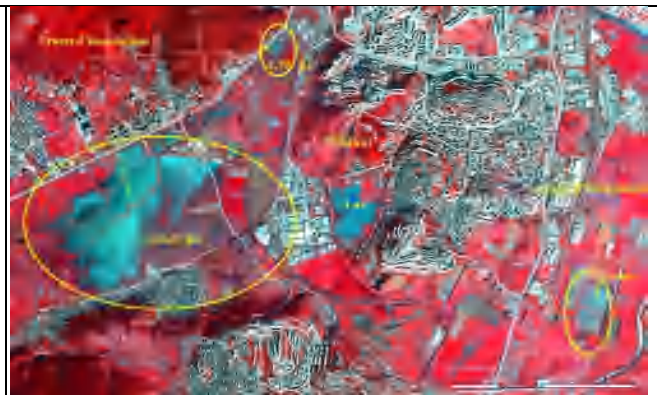


Figure. VI.18 : Vue globale d'El Bouni, à partir de l'imagerie satellitaire Aalst-2A (Fausses couleurs): 02 Février 20

Suite aux inondations survenues le 02 Février 2020 dans la wilaya de Annaba, causant la mort de trois personnes et la fermeture de la RN44 reliant les communes de la ville Annaba et Berrahal, car fortement inondée, ainsi que la RN16, à la sortie est de la wilaya de Annaba et l'arrêt total du complexe sidérurgique d'El Hadjar qui a reçu une grande part des eaux pluviales avec une forte intensité. Les images satellitaires montrent des traces d'inondations au niveau des terres agricoles dans les communes d'El Bouni, El Hadjar et à proximité de l'aéroport Rabah Bitat.

- **Biskra**

Pour l'oued Biskra, la crue dont le débit maximum a été estimé à 1000 m³/s environ, a une période de retour de 1000 ans. Ces estimations sont cohérentes avec celles du Rapport final d'étude de la stratégie nationale des inondations, protection civile Biskra2016). Elle a coulé

pendant trois jours sans interruption, et inondé tous les quartiers de la ville situés sur les rives de l'oued.

Tableau. VI.5: Inondations enregistrées dans la ville de Biskra.

Dates des inondations	Quartiers, zones touchés	Dégâts			caractéristiques
		morts et blessés	Sinistrés	Matériels	
Fevrier 1980	Ancienne ville, Sidi Zarzour	4 morts ,32 blessés	200familles		Q=283 m ³ /s
juin-81	Ancienne Ville, oued Biskra		10 familles	02 bâtiments effondrés et 17 bâtiments endommagés à risque d'effondrement	Q=178,2 m ³ /s
oct-82	Centre Ville.	03 blessés 02portés disparus	138 familles	Réseau routier détérioré,236 maisons endommagées ou détruites	48mm,24 h,Q=246,6 m ³ /s
août-84	Centre ville, Sidi Barket, Bab El Darb et Majeniche.	16 blesses	40 familles	435 maisons,10 km de Câble téléphonique.21 Habitations ,5km Câble électrique	Q= 127,6 m ³ /s 03 h19
août-89	El Alia, Sidi Ghozal, Zhun Est, centre Ville, Star Melok	03 morts,09 blessés	126 familles,59 maisons	10sociétés,119 constructions,543 habitations,1,5Km de câbles électriques, 3Km de route	70,7mm, mois d'avril, 34 mn Q=152,4 m ³ /s
Decembre 1990	Centre ville et les quartiers sur les berges de Sidi Zarzour)	07blessés	58 familles	Effondrement de 40 habitations et21 bâtiments endommagés, a risque d'effonrement	1h de pluie Q=91,45 m ³ /s
janv-03	Quartiers longeant oued Biskra et oued Zarzour	11 morts		543 habitations, 2,5 Km de routes.	Q=142 m ³ /s 49 mn
mai-04	Biskra _Elhadjeb	01 mort		8 habitations détruites suite au débordement d'oued Biskra	Q=64,3 m ³ /s, 48 heures
avr-05	La vielle ville et quartiers Ouest, Alhadjeb sidi Zarzour; Z'mor, Oued El Hai)	3 morts, 7 blessés		Effondrement de 543 habitations	Q=150 m ³ /s 24/25 Avril
janv-11	Oued Biskra	01 mort, 02 blessés		Dégâts matériels importants	Q=281 m ³ /s ; 23 h
26-mars-15	Oued Z'mor	05Morts 3 blessés	3familles	Degâts materiels,réseau routier endommagé.	Q=83,31 m ³ /s ; 5h

Source : Protection Civile

2.3. Evolution des débits de crue

Les débits de crues sont très irréguliers. Les débits extrêmes interviennent directement dans la genèse des inondations. L'étude des caractéristiques climatiques, notamment celles des extrêmes pluviométriques, est fondamentale pour l'appréhension des phénomènes de crues. Ces extrêmes interviennent directement dans les mécanismes d'inondation et renforcent, par conséquent, l'effet de la torrencialité des eaux dans les lits des oueds.

2.3.1. Calcul du débit de pointe

Les cours d'eau qui drainent les deux villes Annaba et Biskra ne sont pas équipés de moyens de mesure des écoulements de surface. De ce fait, le recours aux méthodes empiriques pour l'analyse du ruissellement s'impose. Dans cette étude, on a utilisé la méthode de l'ANRH pour estimer la crue. Cette méthode est brièvement expliquée dans ce qui suit :

$$Q_j(10)(m^3/s) = 0,0017018 * S^{0,9041} * p^{0,5751} * P_j(10)^{1,6899}$$

Tableau.VI.6: Modèles de prédétermination des débits de crue (débits instantanés et journaliers maximums) pour les différents temps de retour

Temps de retour	Modèle de prédétermination du débit journalier maximum (m³/s)
T=2 ans	$Q_j(2) = 2,96.10^{-7} S^{1,09} . p^{0,30} P_j(10)^{3,01}$
T=5 ans	$Q_j(5) = 1,75.10^{-5} S^{1,02} . p^{0,33} . P_j(10)^{2,35}$
T=10 ans	$Q_j(10) = 0,000215 S^{0,829} P^{0,272} P_j(10)^{2,03}$
T=20 ans	$Q_j(20) = 1,03.10^{-4} . S^{0,97} . p^{0,26} . P_j(10)^{2,10}$
T=50 ans	$Q_j(50) = 2,34.10^{-4} . S^{0,95} . p^{0,24} . P_j(10)^{1,97}$

Source : ANRH

$Q_i(10)$ Est exprimé en m³/s, Surf en km², Pentesans unité et $P_j(10)$ en mm

D 'après les résultats obtenues nous avons conclu que la méthode du Gradex est la plus optimal e pour la détermination des débits maximums pour les sous bassin de Boudjemaa, Sidi Harb, Forcha, et Kouba

Tableau.VI.7: Les valeurs des débits de crue (débits instantanés et journaliers maximums) pour les différents temps de retour (Annaba)

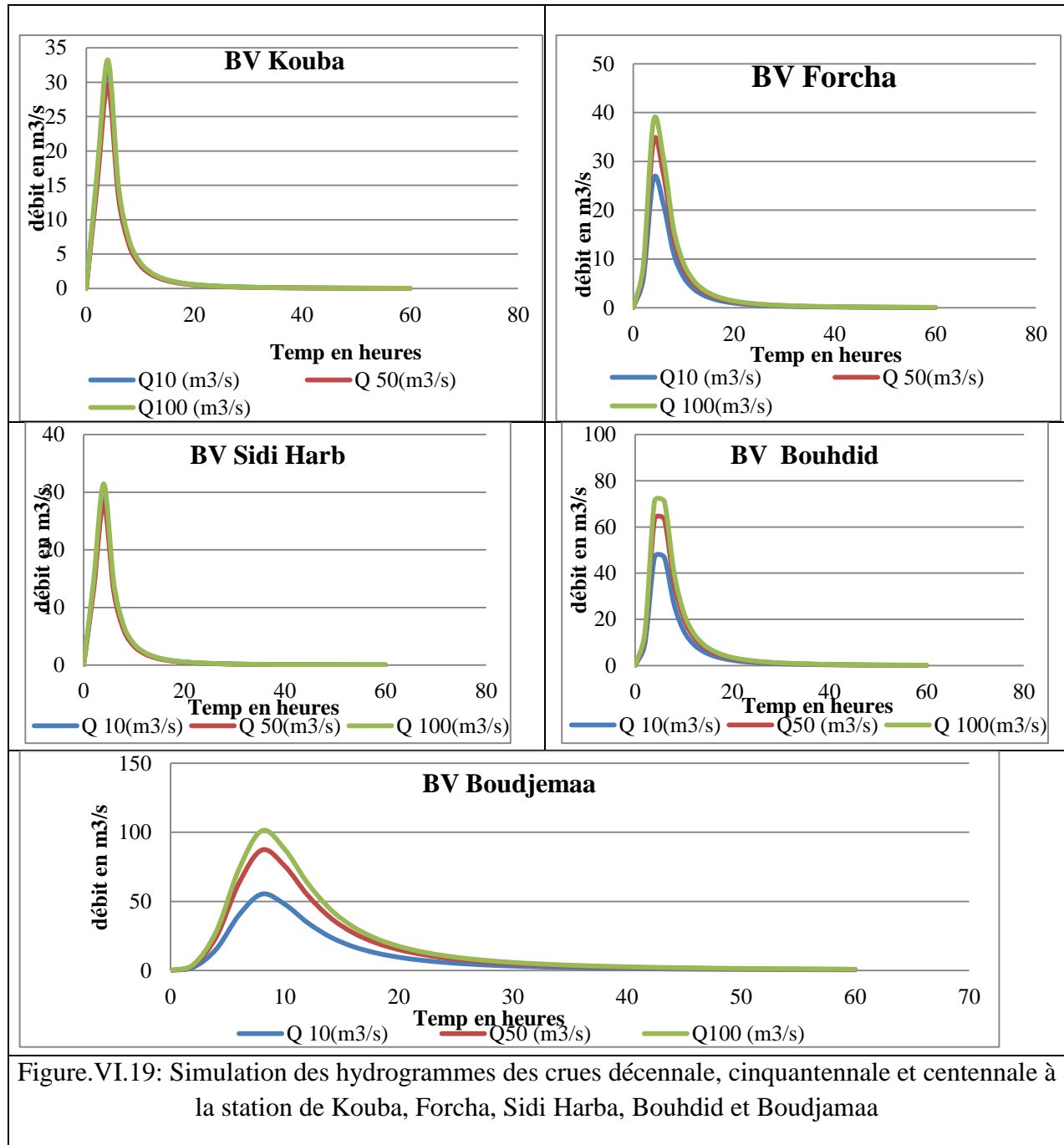
Paramètre	Boudjema	Bouhdid	Sidi Harb	Forcha	Kouba
Superficie : A (km ²)	50,00	19,23	5,88	8,81	6,25
Pente du cours principal: Itp (m/m)	0,01	0,08	0,14	0,06	0,16
Pj (10)	94,29	94,29	94,29	94,29	94,29
Qj(m ³ /s)(2)	7,95	9,51	4,46	4,05	5,10
Qj(m ³ /s)(5)	9,46	11,66	5,64	5,06	6,44
Qj(m ³ /s)(10)	10,07	12,24	5,91	5,33	6,75
Qj(m ³ /s)(20)	10,67	12,61	6,03	5,51	6,87
Qj(m ³ /s)(50)	11,43	12,77	5,86	5,57	6,64
Qj(m ³ /s)(100)	11,85	13,01	6,14	5,71	6,98

Tableau.VI.8: Les valeurs des débits de crue (débits instantanés et journaliers maximums) pour les différents temps de retour (Biskra)

Paramètre	El Hai	Djemoura
Surface (Km ²)	1173	594
pt	0,016	0,013
Pj(10)	51	54
Qj(m ³ /s)(2)	58,41	30,43
Qj(m ³ /s)(5)	65,36	34,54
Qj(m ³ /s)(10)	72,22	38,15
Qj(m ³ /s)(20)	79,57	42,02
Qj(m ³ /s)(50)	89,16	47,04

2.3.2. L'hydrogramme de crue

Annaba



Les crues dans la ville de Annaba et sa périphérie sont principalement liées aux débordements d'oueds, aux ruissellements urbains dans le bassin de l'oued Boudjamaa, Kouba, Forcha, Sidi harba et Bouhdid). Ces inondations sont souvent provoquées par la concomitance

des ondes de crue des différents affluents du versant Sud de l'Edough dues à des épisodes pluvieux abondants, généralisés et étalés dans le temps en amont des bassins (durée des averses largement supérieures au temps de concentration des eaux). Selon les résultats de l'hydrogramme des Crues de 5 bassins, le volume écoulé en 24h est de l'ordre de 81mm répartis sur les oueds et le tissu urbain pour une fréquence centennale et $\lambda=2,73$.

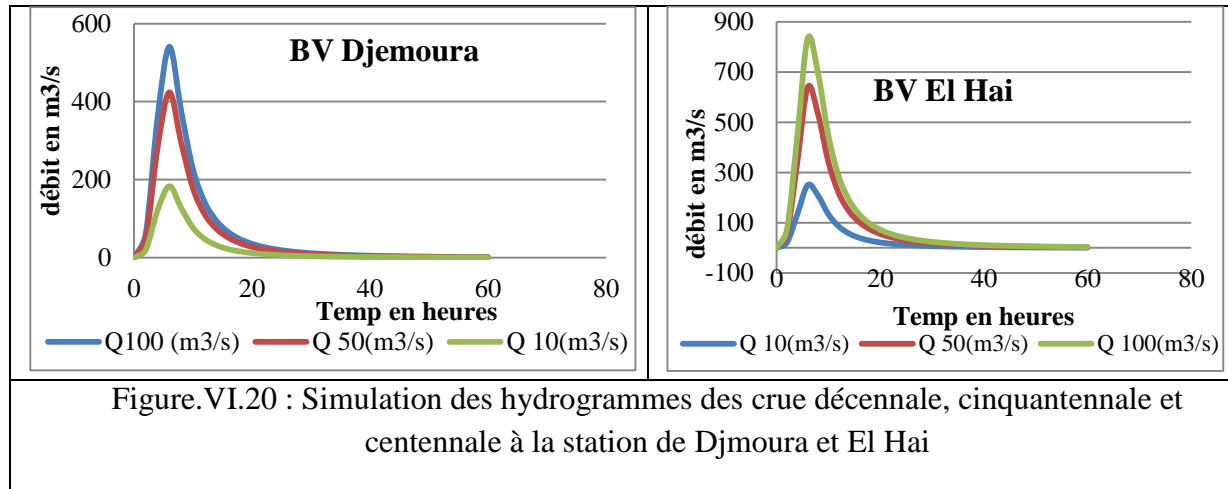


Figure.VI.20 : Simulation des hydrogrammes des crue décennale, cinquantiennale et centennale à la station de Djemoura et El Hai

Pour le bassin du Biskra les crues rapides et dévastatrices, sont fréquentes. Leurs conséquences peuvent être dramatiques (mise en danger des vies humaines et des infrastructures). Les eaux des oueds El Hai et oued Djoumera, très chargées en matières en suspensions, peuvent monter et déborder en quelques heures, sous l'effet de précipitations torrentielles dépassant parfois plusieurs dizaines de mm en 24 h. (fig VI.20)

Les hydrogrammes de crues décennale, cinquantiennale et centennale du bassin Djemoura et El Hai sont représentées par la figure 29. Les résultats des bassins sont récapitulés dans le tableau.VI.09.

Tableau.VI.09 : Caractéristiques potentielles de la crue de projet

Paramètre	Boudjema	Bouhdid	Sidi Harb	Forcha	Kouba	El Hai	Djemoura
Surface (km ²)	50	19,23	5,88	8,81	6,25	1173	594
Pente (sans unité)	0,022	0,08	0,14	0,06	0,16	0,017	0,021
Pj(10) (mm)	94	94,29	94,29	94,29	94,29	51	54
g (mm)	17	17	17	17	17	12	12
T(en année)	100	10	100	100	100	100	100
rQj=rQi (sans unité)	1	1	1	1	1	1	1
λ	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73
Débit de pointe (m3/s)	101,32	54,32	34,13	40,32	36,92	842,78	545,20
Débit sur 24h (m3/s)	41,79	14,39	6,51	9,94	6,92	280,01	165,98
Volume total (m3)	4091095	1 313 160	580143	901283	614703	26297807	15403481
Tm (heures)	8,17	5	3,44	4,52	3	6	5,72
D (heures)	8,14	5	3,45	4,53	3	6	5,73

3. Evolution de l'étalement du tissu urbain

L'augmentation de la population accompagnée par une extension de la ville et la multitude de projets d'aménagement ont permis de noter l'importante corrélation qui existe entre la localisation de certains projets techniques et celle des zones à risque d'inondation.

3.1. Evolution de la Population :

La population de Annaba est passée en l'espace de 60ans de 52519 hab à 314890 hab soit une augmentation de 5,9 % avec un taux d'accroissement irrégulier dans le temps.

Tableau. VI.10: Evolution de la population de la ville de Biskra

Année	1966	1977	1987	1998	2008	2017
Population (10 ³ hab)	52.519	96,988	128,281	177,088	271.303	314.860
Taux d'accroissement (%)	2,5	3,89	5,23	2,94	2,62	1,5

Source : HPE Constantine, 2021

Tableau. VI.11: Evolution de la population de la ville de Annaba

Année	1966	1977	1987	1998	2008	2017
Population (10 ³ hab)	168,8	213,2	222,6	222,5	247,7	257,35
Taux d'accroissement (%)	2,48	3,96	4,45	3,98	2,95	1,38

Source : HPE Constantine, 2021

Les statistiques de Annaba montrent un croit important de 3,4 % par an de 1969 à 1971, pour atteindre le rythme moyen annuel de 5,2 % pendant la période 1972-1974 .S'en suit un accroissement anarchique de l'urbanisation qui n'épargne aucun espace même les espaces classés à haut risque par le PDAU (2010). L'urbanisation des zones inondables s'est accélérée, elle s'est faite en grande partie dans des secteurs attractifs et vulnérables déjà surpeuplés, ce qui a augmenté le risque.

3.2. Evolution de l'étalement du bâti de la ville : étude diachronique

• Biskra L'époque turque

Le premier noyau urbain s'est formé à proximité des palmeraies (1541/1680). Biskra est la première ville de l'intérieur, où les Turcs ont choisi de s'installer dans le point le plus élevé par rapport aux oasis, et ce par souci de protection.

En 1800, ce premier noyau a été détruit après avoir été exposé à la peste et un tremblement de terre. Toutefois, il a guidé l'implantation de la nouvelle cité qui était plus à la quête des moyens de survie qu'à celle défensive. Le tissu de Biskra a suivi les cours d'eau. 7 noyaux ont vu le jour (Ras al-Gueryah. Bab al-Darb. Majenych kadashin. al-Mased, Bab al-Fath, Sayyid Barakat). le long des Oued : Oued Z'emour (Sud- Ouest) , Oued Sidi Zarzor (Nord -

Sud) ; Oued Fayd (Sud-Est) . A cette époque, la palmeraie représentait environ 80% par rapport à l'espace bâti, à ce stade, les inondations sont rares et à degré très faible.

- **Période coloniale :**

Durant la Période coloniale : L'expansion de la ville européenne s'est faite le long de la voie ferrée, la croissance était linéaire, et a vu l'émergence des bidonvilles, comme celui de Sidi Ghazul, de la zone industrielle Est et de la zone Ouest, El Alia, Dernouni.

Deux obstacles ont constitué une limite pour le développement de la ville l'un naturel en l'occurrence l'oued et l'autre artificiel, à savoir la ligne de chemin de fer contraignant la ville à se développer uniquement selon l'axe nord-sud

- **postcoloniale**

Cette période se distingue par la promotion de Biskra au rang de chef lieu de Wilaya cela à partir de l'année 1974. Dès 1976, les services de l'urbanisme définissent deux plans d'aménagement pour la ville :

- Le premier plan (ECOTEC 76) :
Prévoyait l'expansion de la ville vers l'est, avec un intérêt particulier pour les espaces verts et le réseau routier.

- Le deuxième plan (PUD 1977)
Prévoyait l'extension de la ville sur 3 axes : sur la rive Est de la vallée, région ouest de la ville et vers le nord-ouest. Ces outils ont permis une croissance de la ville selon une approche quantitative, sans tenir compte des mutations urbaines et sociales ou contextuelles, ce qui a conduit au remplacement des P.U.D par le PDAU et le POS

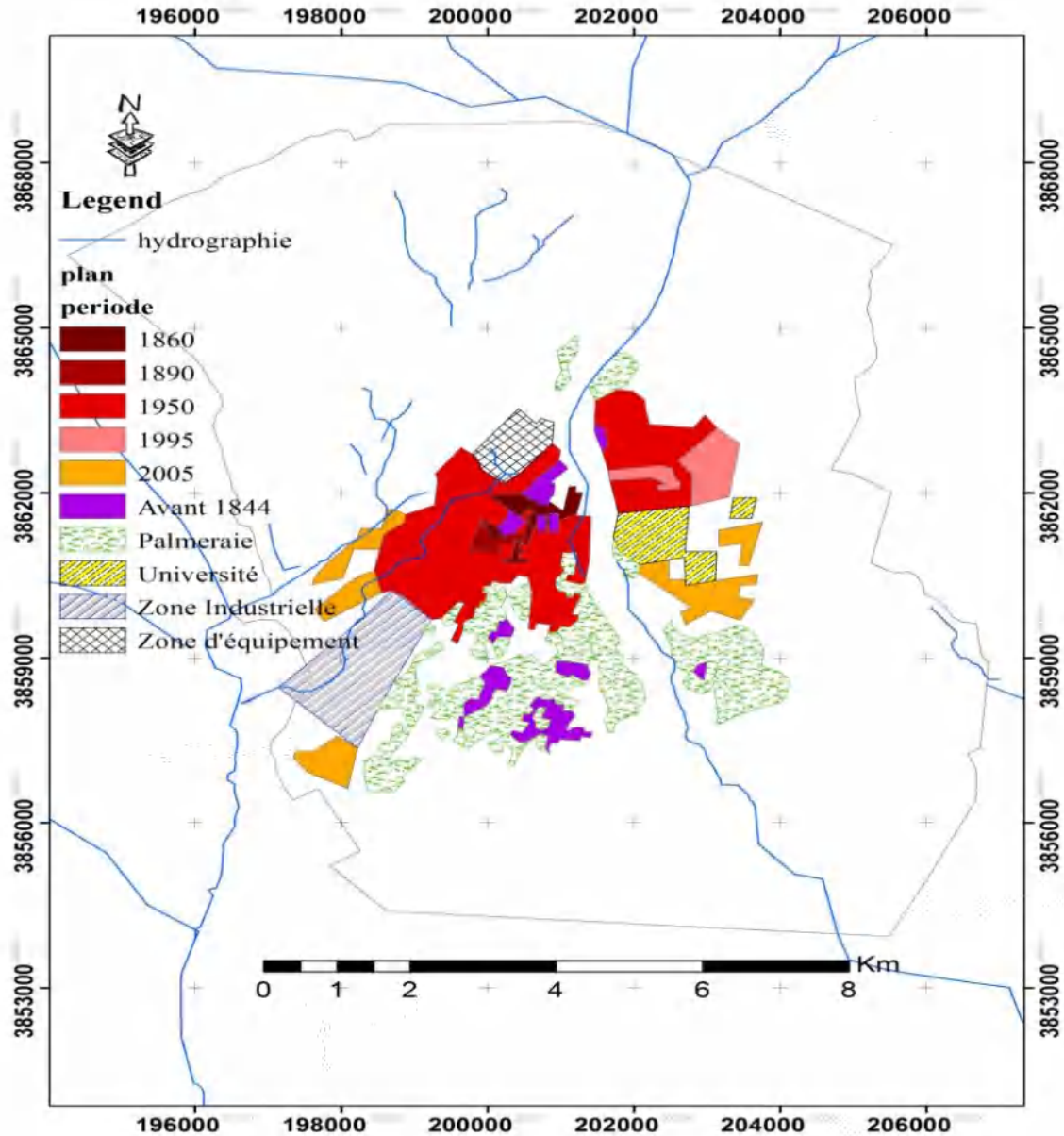


Figure. VI.21: L'extension urbaine de la ville actuellement de Biskra

Mais la rapidité et la précipitation dans lesquelles a été réalisé ce plan a abouti à une urbanisation anarchique, qui a atténué quelque peu la vocation première de la ville (ville agricole et touristique à ville industrielle et de services)

Cette urbanisation a donné l'image actuelle de la ville où de grandes mutations de l'espace se sont opérées : disparition de l'écosystème oasien, implantation de quartiers résidentiels inadéquats, implantation d'un réseau d'assainissement inadapté. (Fig.VI.21) synthétise les différentes étapes de l'évolution de l'urbanisation de la ville de Biskra.

Ces dernières années, le bidonville s'est propagé dans le quartier Sidi Ghazal, ainsi que dans la zone industrielle côté ouest et la zone côté est.

- **Annaba**
L'époque turque

Annaba a toujours fonctionné comme port depuis le XIIIe siècle, la ville était adossée aux derniers contreforts du massif de l'Edough, à l'abri des inondations de l'oued Seybouse.

L'époque coloniale

A partir de 1870, l'extension de la ville se fait en extramuros par juxtaposition de nouveaux quartiers à la Médina (Prochaska, 1990). La construction de la ville, selon un système planifié sur un plan ordonné et rayonnant, s'affirme surtout au début du XXe siècle (Travers, 1958). La ville européenne nouvelle est séparée de la Médina par une servitude non aedificandi aménagée en esplanade de 60 mètres de large tout le long de la partie Sud-Ouest et nord-ouest de cette dernière.

Du fait de son relief assez abrupt au nord et de la présence de la mer au sud-est, la Médina s'est de ce fait recroquevillée sur elle-même (Prochaska, 1990). (Laouar)

Limitée dans son extension par la montagne au nord et la mer à l'est, l'urbanisation récente n'a pas eu d'autres possibilités que de gagner vers le sud, sur la plaine :

Soit dans la dépression de l'oued Boudjemaa, soit sur les terres de la Seybouse. Mais l'urbanisation anarchique sur ces terrains marécageux ne va pas sans difficultés (engorgements lors de chaque forte pluie, inondations graves de 1982).

Le creusement d'un canal de ceinture, et plus récemment une vaste opération de débidonvillisation (Bou Hamara), ont tenté d'y mettre un peu d'ordre.

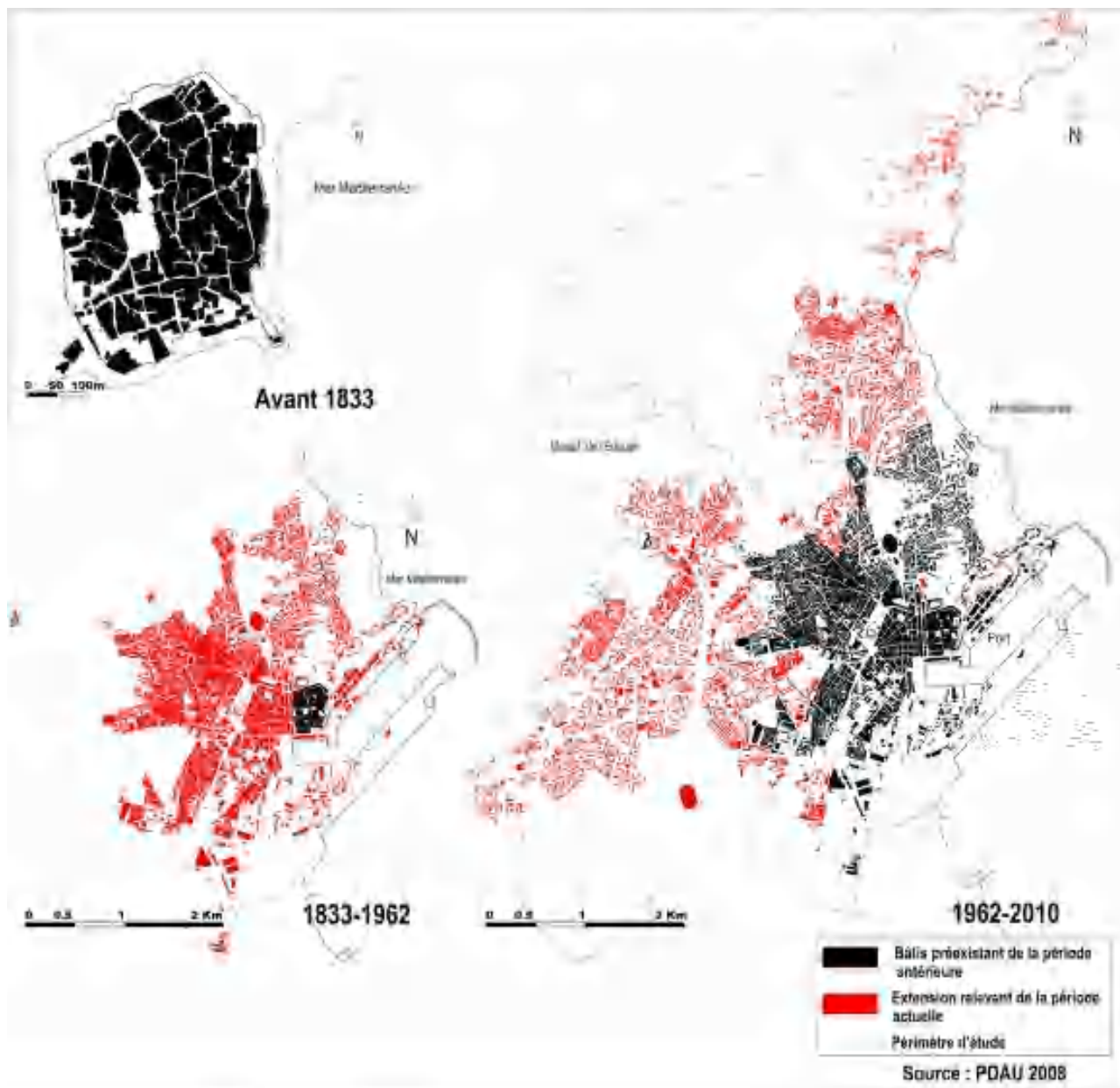


Figure. VI.22: L'évolution urbaine de la ville de Annaba.

L'étalement souvent peu rationnel de ces deux sites urbains : Biskra, et Annaba. Expliquent en grande partie leur exposition au risque d'inondation (PDAU, 2008) (fig. VI.22).

La ville, constituée d'un centre et sa périphérie, présente aujourd'hui une hétérogénéité typo-morphologique très forte, héritée du temps de la colonisation et qui s'est accentuée aux époques ultérieures de son développement. Ces discontinuités spatiales sont liées à son évolution et aux disparités en matière de programmes de logement et de niveau d'équipements et de services. Les différents fragments se caractérisent par des disparités socio-spatiales importantes, liées notamment à la précarité des logements et à l'appropriation négative de certains espaces extérieurs.

Tableau. VI.12: Les projets futurs d'Annaba

Intitulé du projet	Objectif	Localisation
Pôle urbain Draa Rich	Report de croissance d'Annaba.:	O. Aneb
Nouvelle aérogare	Augmenter les capacités de transport	A proximité de l'aéroport actuel
AEP	Renforcement de l'AEP de Annaba	Annaba-El-Bouni

Source : monographie d'Annaba, wilaya d'Annaba, 2010

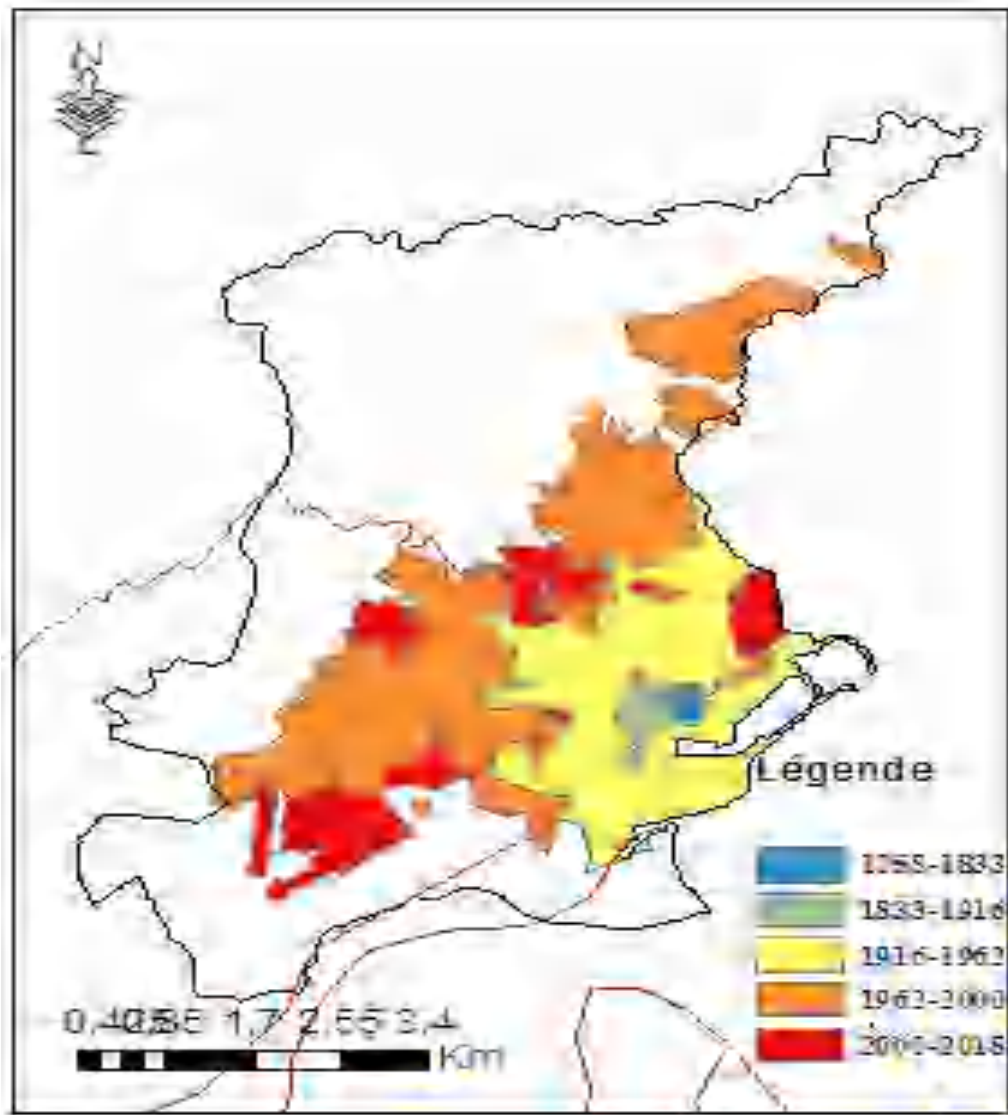


Figure. VI.23: Evolution de l'étalement du bâti de la ville de Annaba: étude diachronique

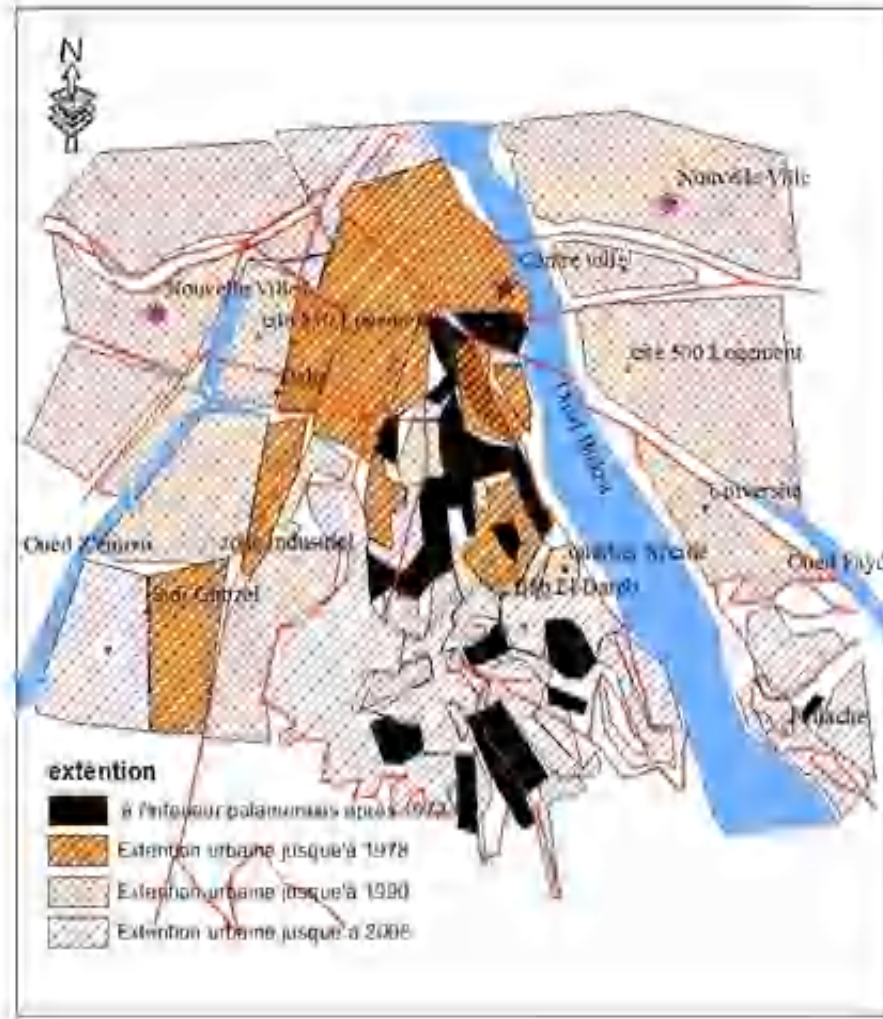


Figure. VI.24: Evolution de l'étalement du bâti de la ville de Biskra: étude diachronique

L'intérêt a été porté sur l'étude des inondations des deux sites urbains retenus : Biskra, et Annaba.

La ville de Biskra a connu plusieurs inondations, d'importance très variable. Parmi les plus forts écoulements, nous avons signalé celui du 31 octobre 1982 suite à des pluies orageuses de courte durée (1heure) .Il a enregistré un débit de 314,8 m³/s et un débit de pointe de crue dépassant 100m³/s et a causé de sérieux dégâts aux habitants de la rive droite de l'oued.

L'étude des crues sur les affluents du bassin versant de l'oued Biskra, a permis de confirmer le caractère variable et immodéré déduit précédemment de l'analyse du régime. La variabilité des débits est liée aux caractéristiques physico-géographiques de la région. Ces crues inondantes participent activement à la dynamique fluviale de l'oued Biskra. Leur impact en particulier, dans le lit majeur est important notamment, en allant vers l'embouchure, en aval de la ville de Biskra.

Les inondations dans la ville Annaba, de plus en plus fréquentes ces dernières années, ainsi esquissées, font ressortir que la région de Annaba, constituée par un versant alluvionnaire, souffre du phénomène hydroclimatologique (inondation), pendant la saison humide et impactent sérieusement le tissu urbain , zone favorable à la stagnation des eaux en période des crues.

C'est l'un des problèmes les plus épineux en matière de gestion urbaine. Les inondations constituent un risque qui menace l'ensemble des composantes spatiales, la population, les infrastructures, le patrimoine. Il remet en question la sécurité durable des agglomérations concernées

Une simple comparaison entre les deux villes, montre que les inondations n'interviennent pas au même moment du fait de leur situation géographique : Annaba, ville littorale subit surtout des inondations pluviales d'hiver et de printemps, en liaison avec le régime pluviométrique de la région ; par contre la ville de Biskra située au piémont Sud des Aurès, connaît des crues d'Automne .Elles ont lieu généralement aux mois de Septembre et Octobre « crues de la saison chaude », souvent en relation avec des averses orageuses , brèves et localisées .

4. Cartographie du risque inondation

4.1. L'évaluation de la vulnérabilité

L'analyse de la vulnérabilité a permis de mettre en exergue un couplage, de phénomènes climatique et anthropique. Cette méthode donne l'avantage de comprendre, les spécificités des zones qui sont exposées à ce risque, exacerbé par le réchauffement global et l'urbanisme anarchique.L'identification de la vulnérabilité permet d'en saisir les contours et trouver les moyens adéquats pour la réduire. L'objectif principal de l'évaluation de la vulnérabilité est d'informer les décideurs ou les parties prenantes spécifiques sur les options d'adaptation à l'impact des risques d'inondation (Douben. B, 2006). L'analyse de vulnérabilité, nous donne un aperçu sur les concepts, de la vulnérabilité naturelle, la vulnérabilité sociale et la vulnérabilité économique. L'indice de la vulnérabilité totale (FVI) du système (ville) est la somme des sous-indices de la vulnérabilité FVI_s, FVI_{ec}, FVI_{en} et FVI_{ph}. Il est exprimé par l'équation suivante :

$$FVI = \frac{\text{Exposition} * \text{Susceptibilite}}{\text{Résilence}}$$

$$\text{Composante sociale : FVI}_s = \frac{Pd * Pfa * Ch * Pg * \%Disable * HDI * Cm * Pe}{(A / P) * Cpr * S * Ws * Er * Esa}$$

$$\text{Composante économique: FVI}_{ec} = \frac{Ind * Cr * Um * Ineq * Ug * HDI * Rd}{Fi * AmInv * DSc * D * Rt}$$

$$\text{Composante environnementale : FVI}_{en} = \frac{IUg * Rainfall}{(Ev * Lu)}$$

$$\text{Composante physique: FVI}_{ph} = \frac{T * Cr}{(Ev / Rainfall) * (sc / Vyear) * D_L}$$

Tableau VI.13 : Les données pour l'établissement de l'indice de vulnérabilité aux inondations

Indicateurs	Acronyme	Unité	Données d'entrée pour le calcul de FVI Annaba2008	Données d'entrée pour le calcul de FVI Annaba2018	Données d'entrée pour le calcul de FVI Biskra 2008	Données d'entrée pour le calcul de FVI Biskra 2018
Densité de population	Pd	Personne/km ²	431	531,6	33,3	36
Population habitant dans les zones inondables	Pfa	Personne	609,5	712,2	721	843,142
Héritage culturel	Ch	-	1	1	1	1
Croissance démographique	Pg	%	3,3	4	3,6	2,58
Personne vivant avec handicap	%diable	%	2,85	1	1,7	1
Sensibilisation et préparation	A/P	-	1	1	1	1
Taux de pénétration de la communication	Cpr	%	59	80,2	60	50
Abris et centres de santé	S	#/km ²	4	4,73	2	3,24
Système d'alerte précoce	Ws	-	1	1	1	1
Service d'urgence	Es	Personne	680	772	100	250
Contact de la ville avec le cours d'eau	Cr	Km	25	25	11	11
Assurance contre inondation	Fi		1	1	1	1
Pluviométrie	Rainfall	Mm/an	671	671	195	195
Espace vert	Lu	%	20	20	10	10
Croissance urbaine	Ug	%	2,94	1,5	3,89	1,3
Evaporation	Ev	M/an	0,2	0,25	1,5	1,5
Topographie	T	%	20	20	2	2
Evaporation/précipitation		Ev/Rainfall	5	3,7	5	3,7
Capacité de stockage des eaux	D_Sc	M3	10	13	8	10
Débit moyen du cours d'eau	Avrd	M3/s	1,32	1,86	1,75	2,06
Rapport du volume stocké sur le volume d'eau annuel ruisselé	Sc/Vyear		1	1	1	1

Selon ces composantes, les 2 villes se distinguent par une forte aptitude aux inondations.

- La ville de Annaba se caractérise par une aptitude aux inondations de par :
 - Les facteurs physiques : l'extension urbanistique de la ville qui se développe près et au flanc des montagnes : l'urbanisation s'est développée vers l'ouest et le sud de la ville, dans une plaine de faible altitude, soumise aux effets nuisibles des cours d'eaux dévalant le massif de l'Edough (Oued Bouhdid –Forcha – Zaàfrania et canal de ceinture) aggravant sa vulnérabilité, conjuguée à la disparition graduelle du couvert végétal.
 - Les facteurs socio économiques .Ils agissent, soit pour aggraver les effets d'une crue, soit pour créer eux-mêmes des phénomènes hydrauliques destructeurs, sur les surfaces de l'eau, par la présence des détritits et des troncs d'arbres et les déchets urbains, réduisant ainsi la capacité du lit de l'oued
- La ville de Biskra se caractérise par des causes spécifiques liées notamment à la localisation géographique et à l'intervention humaine

La multiplication des inondations dans la ville de Biskra, au cours des dernières années, due à la croissance de l'urbanisation et de l'imperméabilisation des sols, a montré les limites de performance du réseau d'assainissement, qui ne peut recueillir l'ensemble du volume d'eau de pluies orageuses.

4.1.1. Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité à l'aléa inondation

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour cerner et déterminer spatialement les zones d'inondation des espaces urbains en question, tout en valorisant les travaux préparatoires déjà réalisés (levés topographiques des lits mineur et majeur de cours d'eau, inventaire des zones inondées lors de crues antérieures,...).

Basée sur des paramètres statistiques et géographiques (cartographiques) , cette approche par sélection statistique des indicateurs de vulnérabilité a pour intérêt d'offrir une grande flexibilité en ce qui concerne le choix des variables utilisées en entrée et le nombre de ces variables, et permet ainsi d'évaluer la vulnérabilité à l'aide d'un ensemble théoriquement plus robuste et plus cohérent de variables (Cutter et al., 2003, Rygel et al., 2006).

Cette étude intègre un processus de vérification des tendances spatiales, à l'aide d'un second jeu de données issu d'enquêtes réalisées auprès de foyers affectés par des inondations.

Ce second jeu de données physiques, est représenté par les données ci-dessous :

- Les données climatologiques (ONM et ANRH)
- Les données des événements d'inondations historiques recueillies auprès de la protection civile et complétées par celles de la presse. .
- Les images Google Earth des années 1966, 2008et 2018 qui ont servi à faire une analyse de l'évolution de la dynamique de l'étalement de l'habitat.
- les données des tendances spatiales, à l'aide d'enquêtes de protection civile réalisées auprès de foyers affectés par des inondations. Il a servi à l'analyse des

causes d'inondations ainsi qu'a l'établissement de l'indice de vulnérabilité aux inondations.

Tableau. VI.14: Les résultats de l'analyse de l'indice de vulnérabilité aux inondations

	Données d'entrée pour le calcul de FVI Annaba 2008	Données d'entrée pour le calcul de FVI Annaba2018	Données d'entrée pour le calcul de FVI Biskrra 2008	Données d'entrée pour le calcul de FVI Biskra 2018
FVIs	15,39	5,17	12,25	1,93
FVIec	3,3	3,57	2,40	2,26
FVIen	3,67	1,11	1,29	0,32
FVIph	10	10,39	0,55	0,59

Selon ces indices, Annaba est la ville la plus sujette aux inondations par rapport à Biskra au niveau de l'indice de vulnérabilité sociale et de l'indice de vulnérabilité physique. Cela exige des plans pour réduire ces deux composantes .Il serait éventuellement possible de réduire le FVI total en intervenant sur ces deux variables. Il est a remarqué que l'indice de vulnérabilité diminue après le plan de 2010 PDAU.

4.2. Identification des zones inondables

Sur la base de l'analyse des différents paramètres physiques et anthropiques qui caractérisent la région d'Annaba et Biskra, et, après l'analyse des dynamiques spatiales en cours dans les deux villes, une certaine classification des espaces, fondée sur les critères de leur vulnérabilité au risque d'inondation (tableau15 et 16) en ressort :

Tableau. VI.15 : Identification des zones inondables dans le périmètre de la ville Annaba

Commune	
Lieu	Lieu
Cité Seybouse	Vieille ville (El Fida)
Rond Point cité Elysa	Trémie Seddik Ben Yahia
Proximité CEM Bouzered Hocine	Cité Oued Edheb I et II
Boutiah Salah	Cité Ennasr
Rue d'Afrique	Cité Ozas
Route Joinola jusqu'à Téléphérique	Cité uzine à Gaz
Tunnel cour de la révolution	Cité la colone
Lycée technique jusqu'au croissant rouge Algérien	Orangerie proximité CEM Chikh Tahar
Sidi Brahim	Cité 687 Logts.
Cité 120 Logts. Belaid Belkacem	Cité 500 Logts. EBAN
Route Principale, vers H.Dorbon	Cité 500 Logts. EPTBTP

Source : SDAT Annaba(2017)



Figure. VI.25: Carte de la vulnérabilité la ville de Annaba (PNUD)

Tableau. VI.16 : Identification des zones inondables dans le périmètre de la ville Biskra

Les Zones inondables	Les oueds menaçants ou autres causes
Quartier Sidi Ghozal	Oued Z'mor
Vieux Biskra	Eaux pluviales
Route de Tougourt	Eaux pluviales
Clinique Razi	Eaux pluviales
Haret El Oued	Débordement de l'oued Z'mor + eaux pluviales
Quartier 726	Eaux pluviales
Villas de cadres	Oued Z'mor
Quartier Feliach	Oued Biskra
Bab Dareb	Oued Biskra

Source : Protection civil 2016

Cette classification se rapproche des schémas récemment établis dans le cadre des efforts de l'Etat pour gérer le risque d'inondation dans la ville. La carte des zones inondables a été établie, elle fait apparaître les zones susceptibles d'être envahies par les eaux. Des solutions ont été préconisées pour mettre fin à ce phénomène, mais le plus souvent, les solutions sont ponctuelles et d'ordre technique, isolées du cadre régional.

4.3. Délimitation des zones à risque

La méthode dite « Multi paramètres » qui permet la délimitation des zones à risque liées aux secteurs inondables, ainsi qu'à la structure des enjeux dans le lit majeur, est utilisée. Selon la base de documents constituée, comprenant des données biophysiques (données climatologique, géologique, morphologique, hydrométéorologique, hydraulique, etc), des données historiques (manifestation physiques des phénomènes, conséquences en termes de dommages et de victimes), et des données sociales (conditions d'occupation humaine, population, biens, activités), des îlots de crues se distinguent.

4.3.1. La réalisation des cartes de risque

La carte informative de risque d'inondation basée sur les informations recensées, analysées et validées seront systématiquement transcrites sur un fond de plan topographique à échelle du 1/25 000. Ils sont constitués de :

- Une carte informative des phénomènes historiques : La carte montre les zones où des inondations sont susceptibles de se produire, à un degré plus ou moins élevé et plus fréquemment. Il repose sur une combinaison de deux concepts :
 - la récurrence et l'intensité.
 - Une carte de la vulnérabilité.
- Une carte de Risque = Probabilité x Impacts x Vulnérabilité.

Cette carte est une description générale des indices de risque d'inondation dans les deux villes. Elle est conçue uniquement pour illustrer le risque général de grandes zones et afficher ce risque en tant que faible, moyen ou fort.

La figure ci-dessus représente la matrice résultant du croisement entre les données de hauteurs d'eau maximale enregistrées durant la crue la plus importante depuis 30 ans et les résultats de l'indice de vulnérabilité de celles-ci dans différents zones.

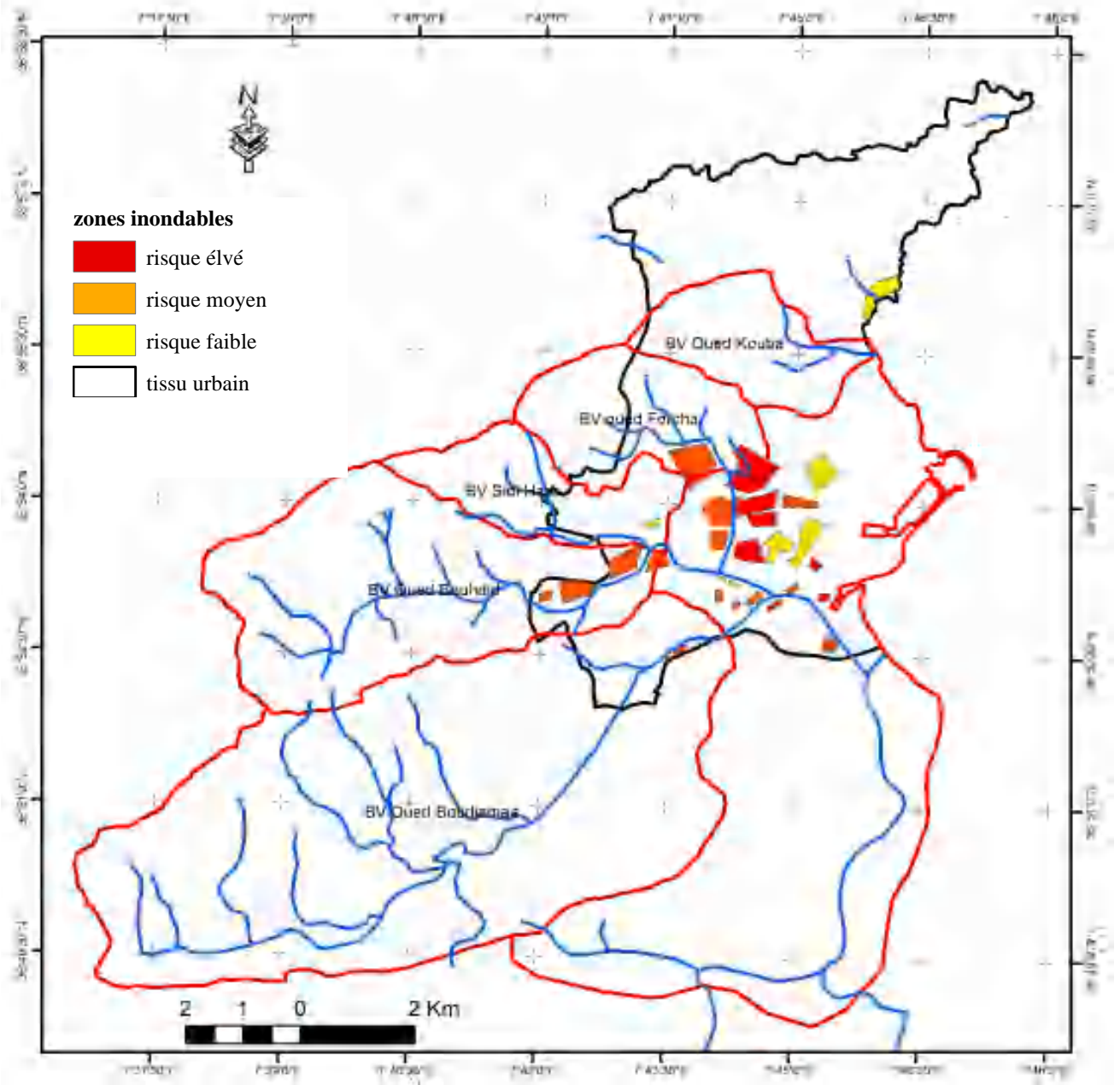


Figure. VI.26 : La carte des zones à risque d'inondation « Annaba »

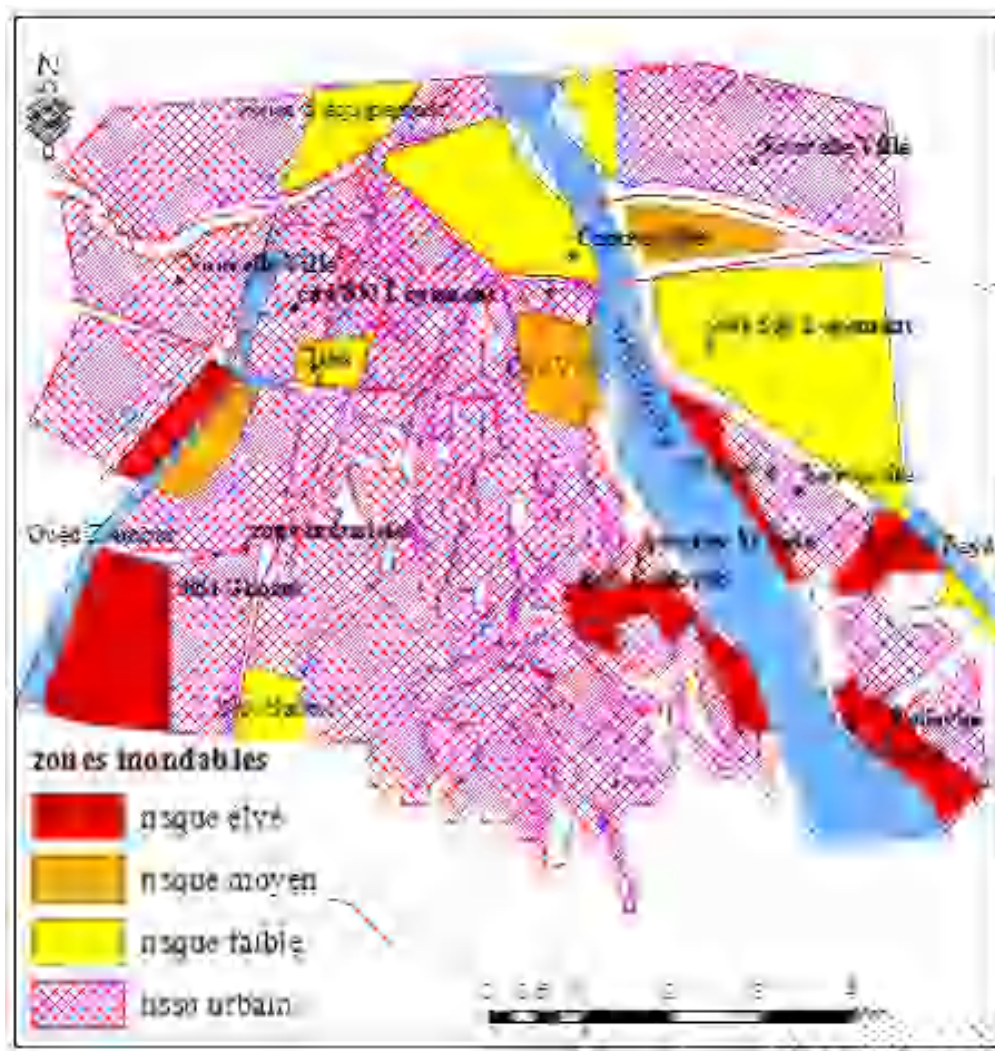


Figure. VI.27 : La carte des zones à risque d'inondation « Biskra »

Sur la base de l'analyse des différents paramètres physiques et humains qui caractérisent les deux régions et après l'analyse des dynamiques spatiales en cours dans les 2 villes, une certaine classification des espaces, fondée sur les critères de vulnérabilité au risque d'inondation peut être proposée. (Les Fig. VI.26/27) : classification des zones inondables.

5. Gestion globale des risques

La gestion rationnelle du risque inondation doit se baser sur la connaissance du phénomène en lui-même ; L'aléa et les enjeux doivent être appréciés à leur juste valeur. Pour cela, une démarche scientifique doit être adoptée afin de prévenir et de limiter les éventuels dégâts. L'application des trois P (Prévention, Prévision, Protection), les principaux termes liés à la notion de risque doit être opérationnelle.

En un mot il faut : « ralentir les écoulements pour éviter des inondations trop importantes ».

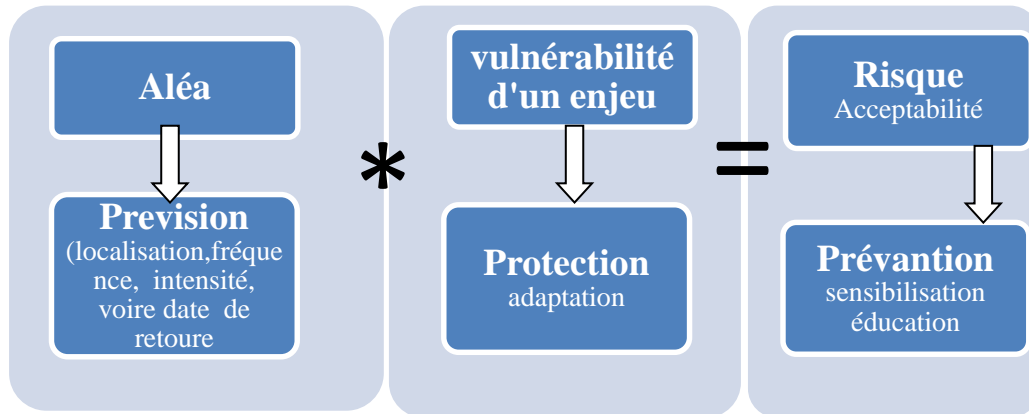


Figure. VI.28: Schéma des principaux termes liés à la notion de risque

5.1. Prévision

La prévision est l'étude de l'aléa naturel de tous côtés (localisation, fréquence, intensité, voire date des événements majeurs, et détermination de la période de retour) permettant un calcul plus précis du risque, afin de diminuer le risque global.

Pour une prévention efficace il faut tenir compte de l'ensemble des mesures visant à anticiper les aléas et impacts par divers moyens. Dans un premier temps, il est indispensable de faire une analyse des phénomènes hydroclimatiques et une étude physique de la zone exposée au risque. Dans un deuxième temps, une sensibilisation des citoyens concernés par ce phénomène est nécessaire, (l'apprentissage de gestes, consignes à suivre en cas de problème, mise en place et respect des règles ou protocoles d'action...) afin de diminuer le risque global.

5.1.1. Prévision hydroclimatique

La prévision climatique est élaborée en trois phases fondamentales : l'observation, la simulation de l'évolution spatiotemporelle à l'aide de modèles numériques et l'analyse des résultats par les experts prévisionnistes sous forme de scénarios.



Figure. VI.29 : Les phases fondamentales de la prévision

La prévention passe tout d'abord par la collecte, les analyses, et la simulation des données climatiques qui restent le moteur du phénomène hydraulique. Et tout cela nécessite une base de données fine et instantanée.

Mais avec les stations météorologiques traditionnelles dans lesquelles les prélèvements pluviométriques s'effectuent toutes les 12h, une telle donnée n'a guère d'importance dans le cas des risques pour des raisons suivantes :

-Les événements pluviométriques qui frappent la zone d'étude sont caractérisés par une activité orageuse spatialement localisée de courte durée et une intensité très forte.

- Ce qui fait que les cumuls prélevés toutes les 12h ne permettent pas d'identifier et de localiser temporellement le phénomène. Le manque de station, reste un frein pour toute analyse de compréhension et de reproduction du scénario de la catastrophe.

Ainsi, pour décrire l'intensité et la concentration des précipitations, ou encore pour réaliser des analyses et des simulations hydrologiques, il faut utiliser des stations de mesure sophistiquées qui puissent fournir des données instantanées et adaptées à la nature météorologique, la seule solution pour prévenir une probable catastrophe

5.1.2. Prévision juridique et réglementaire de la prévention

L'information concernant les lois et réglementations ainsi que les mesures organisationnelles et institutionnelles a été puisée dans la législation en vigueur en Algérie.

Dans un contexte de la relation entre les politiques de développement durable et la prévention des risques des inondations, Loi n° 04-20 correspondant au 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable,

Les textes de lois ainsi que les réglementations les plus importants sont les suivants (par ordre chronologique décroissant):

- **Lois :**

- La loi N° 12-05 du 12 janvier 2012, relative à l'information ;
- La loi N° 05-12 du 4 août 2005, relative à l'eau, modifiée et complétée par la loi N° 08-03 du 23 janvier 2008, qui a pour objet la fixation des principes et des règles applicables à la gestion et au développement durable des ressources en eau et à la gestion de l'eau comme ressource d'inondations ;
- La loi N° 04-20 du 25 décembre 2004, relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable ;
- La loi N° 03-10 du 19 juillet 2003, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;
- La loi N° 01-20 du 12 décembre 2001, relative à l'aménagement du territoire et au développement durable ;

- La loi N° 01-19 du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets;
- La loi N° 90-29 du 1er décembre 1990, modifiée et complétée par la
- La loi N° 04-05 du 14 août 2004, relative à l'aménagement et l'urbanisme.

- **Décrets :**

- Le décret N° 85-232 du 25 août 1985, relatif à la prévention des risques de catastrophes (plus en vigueur);
- Le décret N° 85-231 du 25 août 1985, relatif à l'organisation des interventions de secours en cas de catastrophe (plus en vigueur);
- Le décret N° 70-167 du 10 novembre 1970, portant classification et fixant l'encadrement et l'équipement des unités de protection civile.

- **Décrets exécutifs :**

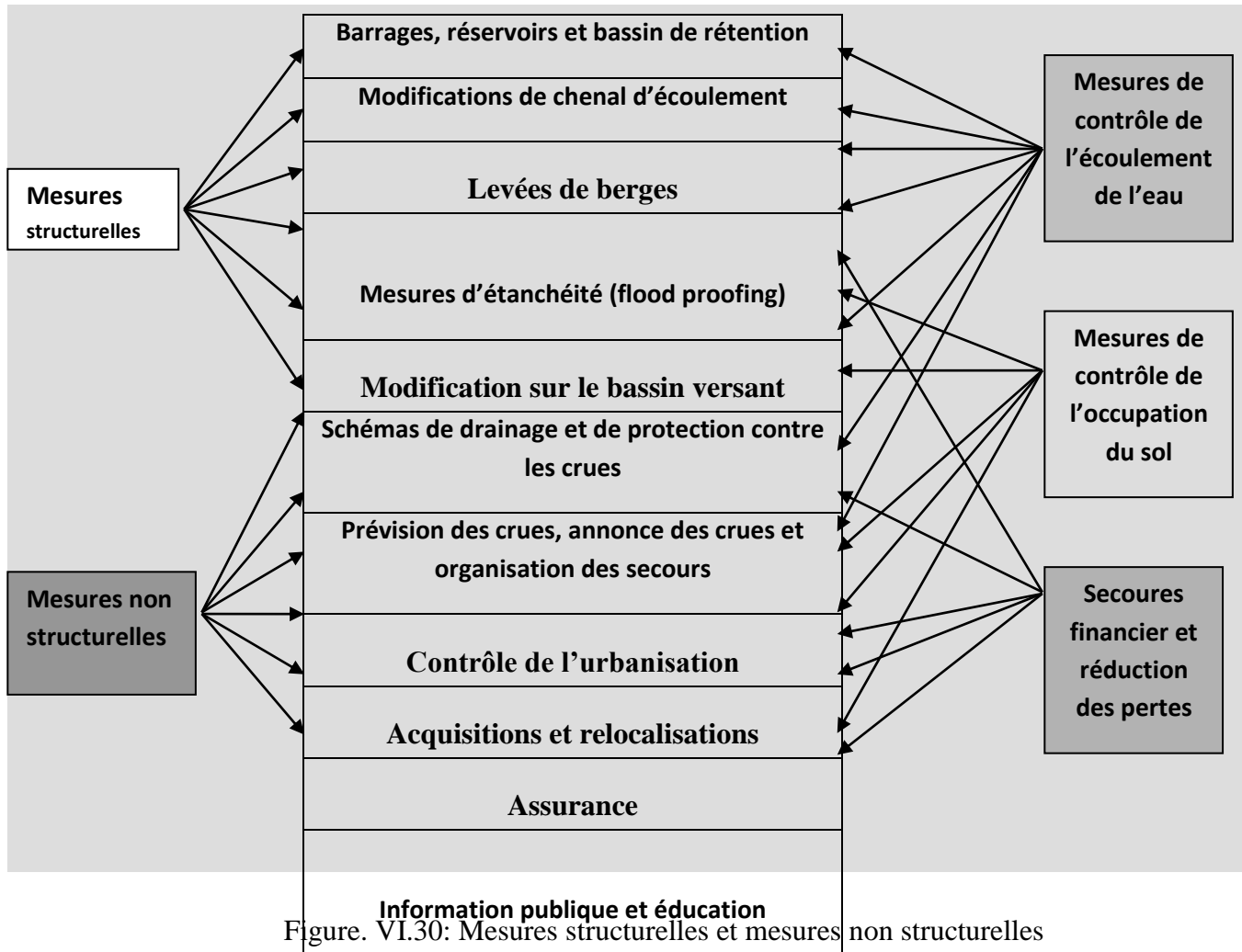
- Le décret exécutif N° 11-194 du 22 mai 2011, portant missions, organisations, et fonctionnement de la Délégation Nationale aux Risques Majeurs ;
- Le décret exécutif N° 09-399 du 29 novembre 2009, définissant les instruments de prévision des crues ;
- Le décret exécutif N° 07-145 du 19 mai 2007, déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement;
- Le décret exécutif N° 06-198 du 31 mai 2006, définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement ;
- Le décret exécutif N°04-268 du 29 août 2004, portant identification des événements naturels couverts par l'obligation d'assurance des effets des catastrophes naturelles ;
- L'ordonnance N° 03-12 du 26 août 2003, relative à l'obligation d'assurance des catastrophes naturelles et l'indemnisation des victimes.

Malgré toutes ces lois et décrets, l'environnement urbain est en dégradation permanente et l'aménagement de nos villes se fait à l'encontre de la planification et de l'urbanisme ainsi que des outils de gestion et de contrôle.

Cela a engendré un écart entre la réglementation et la pratique du à l'indifférence de l'utilisateur et de l'administration vis-à-vis des règles d'urbanisme.

5.1.3. La sensibilisation des populations

Pour sensibiliser la population les mesures sont généralement données par la collectivité locale dont les services sont supposés être en contact permanent avec les services de protection. Dans toutes les villes algériennes, la mosquée et l'école, restent les deux moyens efficaces et totalement gratuits pour la sensibilisation car présentes partout et en grand nombre. L'alerte doit être également donnée via les médias audio et audiovisuels par téléphone et/ou par sms.



5.1.3.1. Des plans des surfaces submersibles

Les PSS, qui constituent des servitudes d'utilité publique, doivent être annexés aux Plans d'Occupation des Sols (POS), lesquels doivent déterminer les conditions permettant de prévenir le risque d'inondation prévisible.

5.1.3.2. Des atlas des zones inondables des outils de connaissance

Ces documents portent à la connaissance des collectivités locales et du public, les informations disponibles sur les risques d'inondation, sous forme de texte et de cartes. Leur publication intervient dans le cadre de la politique générale de prévention des risques par la loi 04-20 du 25 décembre 2004 dans l'article 24.

Les atlas comportent, en plus des PSS, une carte générale de repérage (1/200.000), une série de cartes thématiques (1/25.000e) sur lesquelles sont reportées les surfaces recouvertes par les eaux d'origines et d'effets différents :

- Grands cours d'eau (crue de plaine)
- Principaux oueds côtiers (crues torrentielles)
- Cours d'eau secondaires (ruissellement périurbain)
- Canaux de drainage rural.

Une carte des aléas (très forts, forts, moyens, faibles) déterminés en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses de courant pour une crue correspondant à un "scénario catastrophe" ayant les mêmes effets que les plus fortes crues connues.

Le résultat est donc une série de trois cartes. La première rend compte de la vulnérabilité : quel est le risque maximal acceptable pour chaque parcelle prise en compte? La seconde décrit l'aléa : quelle est l'étendue spatiale des différentes inondations ? La dernière, produit des deux précédentes, montre le risque d'inondation :

Si la vulnérabilité est plus faible que l'aléa, nous considérons la parcelle comme ne présentant pas de risque. Elle est correctement protégée, voire surprotégée. Dans le cas contraire, nous aurons une parcelle à risque et qu'il faudra protéger ou évacuer. Le fait de présenter des résultats clairement lisibles sous forme cartographique permet d'élaborer les plans généraux de prévention des risques d'inondation (PGPR), de diffuser l'information auprès des populations concernées, d'expliquer les décisions prises et d'aider à une meilleure culture du risque d'inondation

5.1.3.3. Les PGPR sont réalisés par bassin de risque

À partir d'une approche globale et qualitative des phénomènes, qui correspondent le plus souvent à une échelle pluri communales et sur la base des atlas des zones inondables :

Ils couvrent les domaines de l'utilisation du sol, de la construction, de l'exploitation des sols et de la sécurité publique ; Ils proposent des mesures appropriées à l'importance des risques et proportionnées à l'objectif de prévention recherché ; Ils doivent être conduits avec une grande transparence, en recherchant la concertation la plus large possible avec l'ensemble des acteurs locaux de la prévention des risques, en particulier les élus communaux.

Ces règles seront qualifiées de Projet d'intérêt Général (PIG), elles pourront ainsi s'imposer aux documents d'urbanisme (plans directeurs d'aménagement urbain PDAU et plans d'occupation des sols POS).

Le maire en tant que garant sur le territoire de sa commune de la sécurité publique, peut faire usage du Code de l'Urbanisme qui permet de refuser le permis de construire ou de l'accorder sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales, si les constructions par leur situation ou leurs dimensions sont de nature à porter atteinte à la sécurité publique.

5.2. Prévention

Afin d'atténuer la vulnérabilité à l'aléa inondation et prévenir les effets induits par la survenance de cette aléa le législateur Algérien a institué dans la loi 04-20 du 25 décembre 2004 article 17 et 73 (voire la réglementation en annexe) relative au système nationale de veille et d'alerte.

Le système national d'alerte permettant l'information des populations quant à la probabilité et/ou l'imminence de la survenance de l'aléa ou du risque majeur concerné. Ce système national d'alerte est structuré selon la nature de l'aléa et/ou du risque majeur.

5.2.1. Augmentation des capacités d'évacuation

Lors de l'approche d'une perturbation météorologique présentant un caractère de risque menaçant l'agglomération, l'ONM (Office Nationale de Météorologie), transmet un bulletin météorologique spéciale (BMS) , lequel indique la menace et les zones concernées à tous les

différents correspondants nationaux , et notamment ceux avec lesquels il est mis en place une liaison dans le cadre du système de veille et d’alerte nationale pour le risque inondation (représentés dans le schémas qui suit).

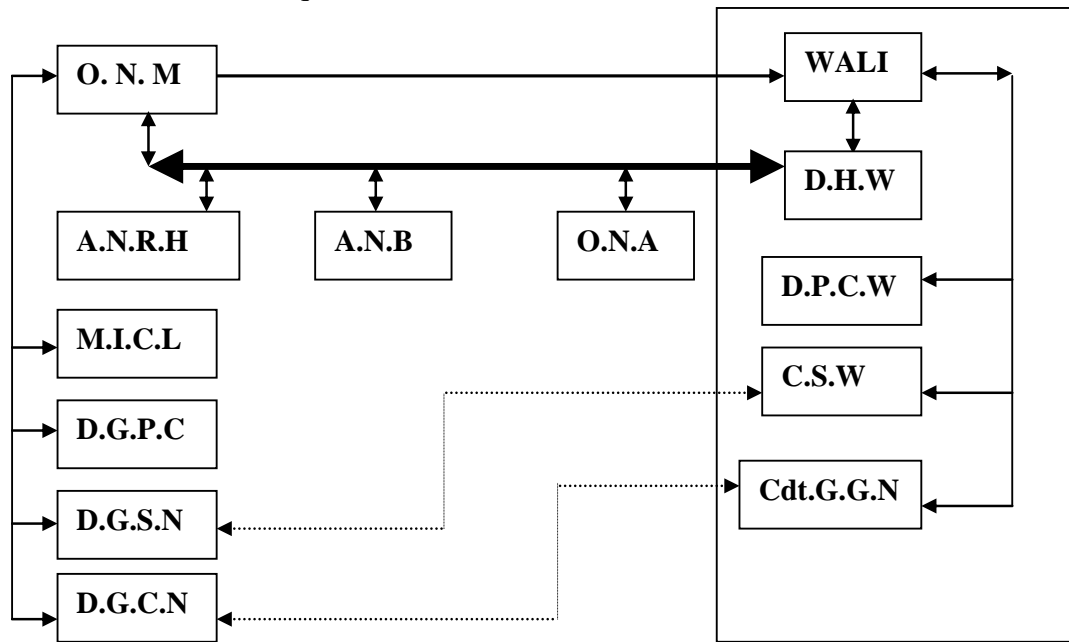


Figure. VI.31: Schéma de circulation de l’information pour la Mise En Etat de vigilance

5.2.2. La mise en état d’alerte

L’état d’alerte est atteint lorsque les éléments suivants sont simultanément réunis après échange d’informations entre les différents intervenants, à savoir :

- La confirmation par les services hydrauliques de l’A.N.R.H du début de la montée des eaux et de l’approche d’une phase dangereuse annonciatrice du phénomène de crue, compte tenue des seuils, fixés par la carte de vulnérabilité de chaque wilaya.

Une première étude faite dans ce sens par un organisme anglais de prévision et intitulé projet RVZU, ne concerne encore qu’Alger (les bassins versants de El Harrach, Kniss, Korich et Bni Messous),mais sera généralisée sur l’ensemble du territoire. Cette étude repose sur la modélisation des 4 bassins versants pour estimer :

- La durée de l’événement critique.
- La quantité des pluies nécessaire pour causer une crue de période de retour de 2 ans et 20 ans.

➤ Pourquoi 2 ans et 20 ans ?

- 2 ans – Problème d’inondation, circulation etc...
- 20 ans – Le potentiel pour les dégâts sérieux.

Tableau. VI.17: Les seuils sélectionnés

Les Seuils D'alerte	Les Problèmes Engendrer	Quantité De Pluies Critiques	Durée Critique Des Pluies	Les Bassins Versants
Seuil I	-Problèmes d'inondation - // de circulation sont possibles	.30 mm . 20mm	En 12heures En 3 heures	-Bassin El Harrach -Oueds Kniss, Korich et la zone urbaine d'Alger
Seuil II	-Risque d'inondations sérieuses -Danger de pertes de vies	.75 mm . 60 mm	En 12 heures En 3 heures	Bassin El Harrach Zone urbaine d'Alger

Source : Protection civile

5.3. Protection

L'action devrait se tourner prioritairement vers l'aménagement du bassin versant (Yahiaoui, 2012). Elle doit viser à situer les ouvrages et travaux susceptibles de modifier le fonctionnement hydro Morphologique de base (freinage ou d'accélération de l'écoulement des eaux, amplification des crues etc...). L'adaptation des équipements de la constriction aux inondations permet non seulement de sécuriser la vie des personnes mais aussi de réaliser des économies. La priorité est accordée à l'assurance de la sécurité des personnes et pour cela, il faudrait commencer par le choix de techniques d'aménagement adaptées au bassin versant.

5.3.1. Les types d'aménagement du bassin versant contre les inondations

- **Le reboisement apparaît :**

Comme la première solution envisageable pour la protection des versants, car la forêt intercepte la pluie (réduction ou anéantissement de l'effet "Splash"), et retarde la fonte des neiges sous son couvert, accroît l'évapotranspiration (en particulier en été ou la transpiration des arbres contribue à l'assèchement des sols et l'abaissement du niveau des nappes phréatiques, au bénéfice de la rétention).

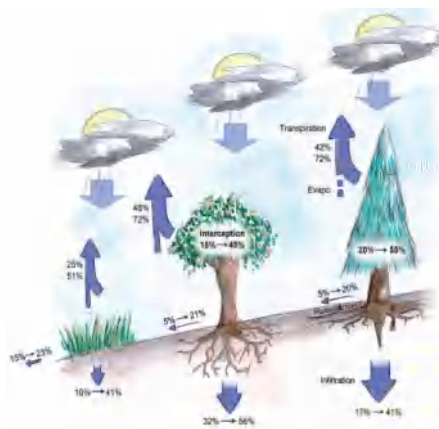


Figure. VI.32: Le reboisement des berges pour limiter les inondations

- **L'entretien des cours d'eau :**

L'entretien d'un cours d'eau consiste dans le maintien ou la restauration de la libre circulation des eaux mais également de tout l'écosystème qu'il représente, à savoir le lit et les berges y compris la ripisylve (végétation des berges). Pour diminuer cette vitesse on utilise les travaux de correction torrentielle qui consistent à implanter des digues le long du cours d'eau.

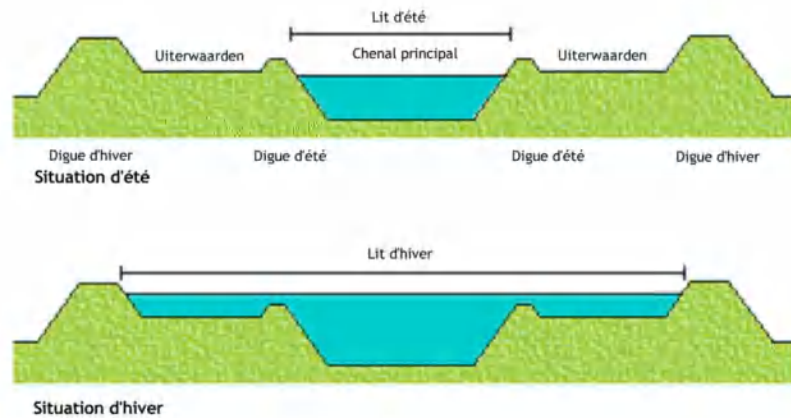


Figure. VI.33 : L'entretien des cours d'eau

- **Les épis**

Un épi en rivière est ouvrage transversalement au courant, enraciné dans la berge, ne barrant qu'une partie du lit et au moins partiellement submersible. Les épis sont utilisés pour protéger les berges ou pour faciliter la navigation. Dans le domaine maritime, des épis peuvent être utilisés pour protéger des plages. L'espacement entre les épis dépend de la largeur de la rivière, de leur longueur et de leur nature. Théoriquement, pour qu'un système d'épis soit efficace, il faut que l'écart entre deux épis successifs soit de l'ordre d'une fois et demie (1,5) leur longueur moyenne.

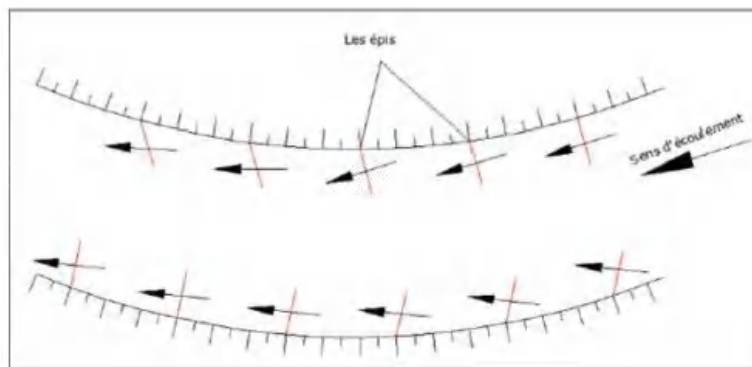


Figure VI.34 : Vue générale sur la berge restaurée

- **Les barrages excréteurs de crues**

Ils sont souvent l'un des éléments d'une stratégie de ralentissement dynamique des crues à l'échelle d'un bassin versant.

Les barrages excréteurs de crues sont implantés en travers du thalweg et ont pour objet de stocker, temporairement un certain volume dans le lit du cours d'eau, de façon à diminuer le débit de pointe de la crue aval. On en distingue 2 types : les barrages à pertuis ouvert et les barrages à pertuis vanné.

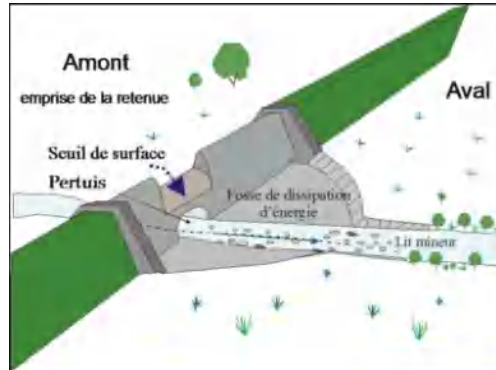


Figure VI.35: Principe du barrage à pertuis ouvert (avec déversoir de crue central) EAT-2009

6. Aménagements proposés

Dans les deux villes, Annaba et Biskra elles ont été témoins de plusieurs inondations, d'importance très variable. Cela nécessite une étude minutieuse. Avant de mener les travaux de protection de l'oued, il est indispensable d'avoir la connaissance des caractéristiques morphométriques, géologiques, hydro-climatiques et hydrogéologiques de la région. Parmi les types de la protection qui a été menée sur le terrain nous mentionnons ce qui suit ;

6.1. Aménagements proposés pour la protection de la ville de Annaba

6.1.1. Actions à court terme dans la ville d'Annaba

6.1.1.1. Curage permanent de la ceinture hydrographique

Dans les conditions actuelles, les interventions à courte échéance consistent en la programmation d'opérations classiques, mais permanentes, d'entretien des réseaux d'assainissement et de drainage (ceinture hydrographique) de façon à les maintenir en bon état de fonctionnement. Il s'agit en effet de procéder, à la fin de la période pluvieuse, au curage, désherbage et, par endroit, déboisement des lits des oueds et chaabets de façon à réduire la résistance des chenaux à l'écoulement (augmenter le coefficient de Strickler) et faciliter, par conséquent, l'évacuation rapide des eaux pluviales. Pour ce faire, il faudrait tout d'abord doter l'Office National de l'Assainissement (ONA) de moyens matériels adéquats notamment, les hydro-cureuses haute pression, les draglines, les pelles à chenilles grande flèche et des camions de transport de la boue.

Il faut souligner que la direction de l'hydraulique de la wilaya de Annaba (DHW) a pris en charge, dans le cadre d'un programme d'urgence, l'exécution des travaux de curage du réseau hydrographique. Les photos 45 à 51 montrent l'état du réseau après curage. Toutefois, il est regrettable que le programme établi par les services de la DHW n'ait pas prévu le curage, indispensable, au niveau de l'Oued Kouba à la confluence avec Chaabet Sidi Moussa (Cité Val-Mascort à l'amont du CEM Babou et au niveau du Canal de ceinture au Sud Ouest de l'acité du 5 Juillet.

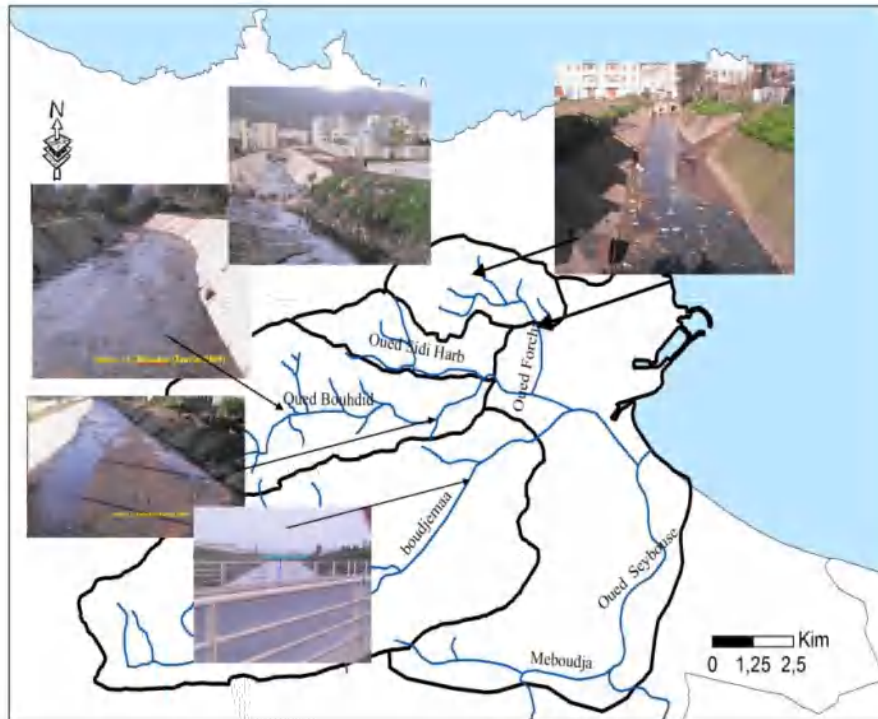


Figure. VI.36: Images du curage permanent de la ceinture hydrographique

6.1.2. Actions à moyen terme dans la ville de Annaba :

Reprofilage et bétonnage, réhabilitation des bassins de rétention et des entonnements existants. De nombreux travaux et mesures à moyen terme, de protection contre les inondations sont en communs à tous : la ceinture hydrographique (bétonnage et profilage des cours d'eau, réhabilitation des bassins de rétention et des entonnements existants, réalisation de nouveaux bassins et seuils). Les corrections opérées au niveau du réseau hydrographique (sections inondables) sont résumées ci-dessous. (L. Beloulou 2008).

- **Oued Kouba**

Pour modérer les écoulements de oued Kouba, des aménagements ont touché le Nord de la Pénétrante Ouest (Fig.VI.37), qualifiée de point noir pour son incapacité à 'évacuer sans débordement les eaux de la crue centennale et exceptionnelle, les aménagements proposés sont :

- La réalisation d'une galerie, mise en place d'un collecteur f1500mm, (L. Beloulou 2008)
- construction d'un canal en béton de forme trapézoïdale,

- démolition du pont actuel et réalisation d'un pont cadre,
- Remplacement de l'ouvrage actuel de réception et du collecteur f1200mm par le prolongement de l'aval vers l'amont de la galerie actuelle.

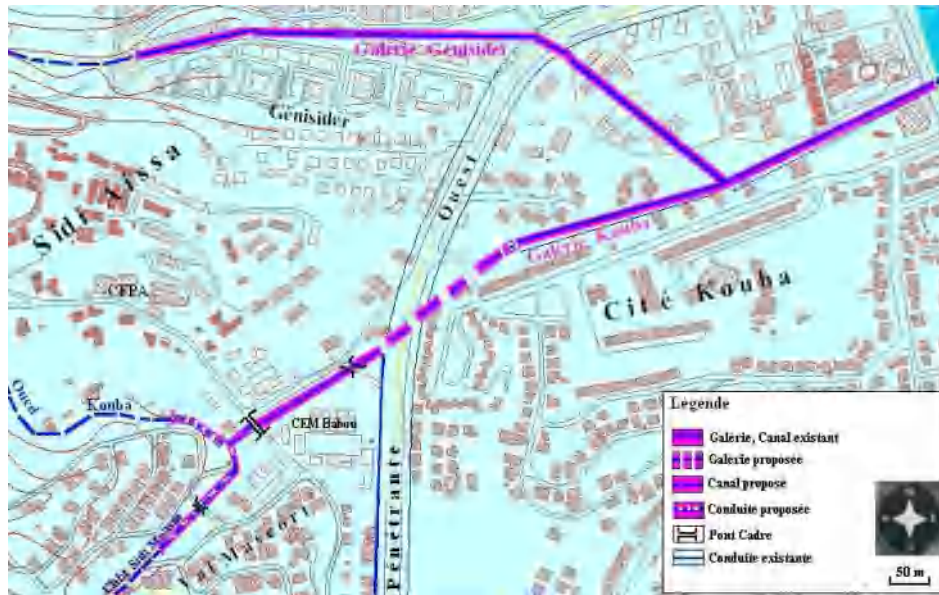


Figure VI.37: Oued Kouba - Carte de localisation des aménagements proposés (Beloulou 2008)

6.1.3. Actions à long terme dan la ville de Annaba :

Il ne fait pas de doute que les actions à long terme telles que les barrages, la correction torrentielle sont plus coûteuses mais relativement plus efficaces.

6.1.3.1.Le projet du Barrage sur l'oued Bouhdid

Pour collecter les eaux pluviales et la maîtrise des débits vers l'oued, dans la région de Bouhdid (Annaba), afin de protéger la région Ouest de la ville des inondations, il sera très efficace. Ce futur ouvrage constituera une « solution définitive » au problème des inondations causées par l'Oued Bouhdid dans la plaine Ouest de la ville d'Annaba.

6.1.3.2.La correction torrentielle

Il s'agit d'une mesure active : elle comprend l'ensemble des dispositions visant à réduire le transport solide en agissant sur les foyers d'érosion. Elle s'applique dans le bassin de réception et dans le chenal d'écoulement. Elle est souvent accompagnée par la restauration de la végétation telle que la revégétalisation sur banquettes dont le principe est de construire, en courbe de niveau, des banquettes de terre grillagées, plantées d'espèces herbacées ou arbustives.

Cette méthode pratiquée par les forestiers dans le cadre de la restauration des terrains en montagne, met à profit la correction active des hauts bassins par la lutte contre l'érosion à la source et accompagne le développement de la protection passive des enjeux par le piégeage et la canalisation des écoulements dans les zones aval.

6.1.3.3. Les ouvrages de correction de ravines

Les ouvrages proprement dits sont mis en place pour réduire les ravinements et les arrachements hors des lits torrentiels. Ce sont des seuils, pouvant être végétalisés par des espèces résistantes au ravinement, faisant obstacle à tous les matériaux transportés par les filets d'eau.

6.2. Aménagements proposés pour la protection de la ville de Biskra

Cinq zones inondables ont été relevées dans la région, à savoir : Poste SONELGAZ Palmeraie, sortie de la ville au niveau du périmètre agricole de Mesdour, sortie de la ville au niveau du quartier Feliach. Les travaux sont proposés par rapport à leurs impacts, par ordre de dégâts. Ainsi le rééquilibrage du lit de l'oued s'avère être indispensable pour la maîtrise des inondations :. Vue l'état actuel du lit de l'oued plein de dépôts de terre qui gênent l'écoulement de la crue centennale et qui par conséquent, font augmenter le niveau d'eau, le rééquilibrage et le nettoyage du fond de l'oued avec l'aménagement d'une cunette au milieu pour les petits débits est plus que nécessaire pour assurer un bon écoulement.

De même qu'il faudrait agrandir la section de passage d'eau au niveau du premier pont busé. Ce dernier limite le débit à 2100 m³/s, sachant que sur sa rive droite une digue est implantée pour protéger la ville. Donc c'est toute cette partie de la ville qui est sous risque d'inondation. La solution est donc d'agrandir la section de passage d'eau au niveau de ce pont en créant une ouverture sur la rive gauche.

Aussi pour assurer que les eaux ne pénètrent pas vers le centre-ville, un mur sera implanté sur la digue de protection de cette dernière ; ce mur sera une garantie en plus pour s'assurer que la partie du centre-ville qui est la plus exposée au risque d'inondation sera la dernière à être inondée en cas de crue exceptionnelle, selon les travaux de. (Ben Lamri, 2020)

6.2.1. Actions à court terme dans la ville

6.2.1.1. L'élargissement de la section de l'oued avant le premier pont sur pieu

Afin d'éviter les inondations en ce point, la solution est d'élargir la section de passage d'eau avant le premier pont sur pieu (en cours de construction), en intégrant la zone du stade dans l'oued. (Boumessenagh2018).

Après rééquilibrage de l'oued avec une pente uniforme, le problème de la rive gauche du pont busé N°01 ne sera posé plus.

- **Poste SONELGAZ:**

Le poste thermoélectrique de SONELGAZ situé à 2.0 km en amont du premier pont sur pieu, la hauteur d'eau en ce point est de 02m. Sachant qu'un mur en gabion est déjà implanté la solution est d'augmenter la pente en ce lieu. (Ben Lamri O, 2020)

- **Palmeraie à 1.0 km en amont du premier pont sur pieux :**

Au niveau de la palmeraie à 1.0 km en amont du premier pont sur pieux en construction actuellement, la hauteur d'eau selon les résultats de calculs, est de 02 m soit à la cote de 126 m NGA, Sachant que la palmeraie qui si situe sur la rive gauche est à la cote de 125.5 cette dernière sera inondée. Un mur en gabion d'une hauteur de 1.5 m sera projeté. Ce mur sera plus haut si le rééquilibrage en aval de cette zone n'aura pas eu lieu. (Boumessenegh, 2018).

- **Sortie de la ville au niveau du périmètre agricole de Mesdour :**

L'oued en cette zone à 4.8 km en aval du deuxième pont busé est rétréci par l'existence des zones agricoles à l'intérieur de ce dernier. Ce rétrécissement provoque une remontée considérable qui gêne l'écoulement et qui inonde les zones agricoles. De préférence il faut écarter ces zones agricoles de l'oued afin de permettre un écoulement simple et rapide des eaux en cette partie de l'oued. (Ben Lamri, 2020)

- **Sortie de la ville au niveau du quartier Feliach:**

Au niveau de ce quartier à 2.0 km en aval du deuxième pont busé, l'oued se rétrécit à une largeur de 265 m ce qui provoque une augmentation de la vitesse des eaux, qui érode les talus. La solution pour cette zone vue qu'elle est limitée dans sa rive gauche par des habitations et sur sa rive droite par la route nationale, est la bonne protection des berges de la route par des gabions ou des murs de soutènement pour éviter l'érosion du sol, en plus du rééquilibrage du fond de l'oued.

6.2.2. Actions à long terme dans la ville de Biskra

6.2.2.1.Solution pour la crue millénaire (période de retour1/1000)

Pour la crue de période de retour 1/1000 (crue millénaire de 4159 m³/s) la solution idéale se trouve à 4 km avant la ville au point d'intersection entre les trois bassins versant. La solution est de projeter 03 digues sur les 03 axes des oueds qui alimentent oued Zerzour.

Les digues seront dimensionnées de manière à limiter le débit d'Oued Zerzour à la crue centennale soit 2500 m³/s. Le reste du débit qui arrive aux digues sera stocké en amont de ces derniers. (Boumessenegh2018).

De préférence ces digues seront réalisées en terre avec un noyau étanche, vue la disponibilité des matériaux de remblaiement sur le site des barrages.

Conclusion :

Dans ce chapitre, l'intérêt a été porté sur l'étude des inondations des deux sites urbains retenus : Biskra, et Annaba.

La ville de Biskra a connu plusieurs inondations, d'importance très variable. Parmi les plus forts écoulements, nous avons signalé celui du 31 octobre 1982 suite à des pluies orageuses de courte durée (1heure). Il a enregistré un débit de 314,8 m³/s et un débit de pointe de crue dépassant 100m³/s et a causé de sérieux dégâts aux habitants de la rive droite de l'oued.

L'étude de crue sur les affluents du bassin versant de l'oued Biskra, a permis de confirmer le caractère variable et immodéré déduit précédemment de l'analyse du régime. La variabilité des débits est liée aux caractéristiques physico-géographiques de la région. Ces crues inondantes participent activement à la dynamique fluviale de l'oued Biskra.

Leur impact en particulier, dans le lit majeur est important notamment, en allant vers l'embouchure, en aval de la ville de Biskra.

Les inondations dans la ville de Annaba, à causes anthropiques sont de plus en plus fréquentes ces dernières années. Elles font ressortir le caractère inondable de la région, constituée par un versant d'alluvions à faible capacité d'infiltration au niveau des plaines d'accumulation. De ce fait, elle souffre des phénomènes hydroclimatologiques, notamment en saison humide, où le tissu urbain subit la stagnation des eaux.

Une simple comparaison entre les deux villes, montre que les inondations n'interviennent pas au même moment du fait de leur situation géographique : Annaba, ville littorale subit surtout des inondations pluviales d'hiver et de printemps, en liaison avec le régime pluviométrique de la région ; par contre la ville de Biskra située au piémont Sud des Aurès, connaît des crues d'Automne. Elles ont lieu généralement aux mois de Septembre et Octobre « crues de la saison chaude », souvent en relation avec des averses orageuses, brèves et localisées.

A partir des données spatiales, visualisant les carences en matière d'aménagement et cernant les aléas naturels, une spatialisation des zones vulnérables au phénomène d'inondation, a été possible. Ainsi plusieurs facteurs interfèrent pour former ces inondations : l'intensité et la répartition des pluies, la pente du bassin, sa géologie, sa lithologie ses conditions climatiques et sa couverture végétale qui accélèrent les écoulements.

Un autre facteur et pas des moindres, lié aux activités humaines :(le déboisement, l'imperméabilisation due au développement de la ville et l'évolution de sa population) interfère de façon pesante, particulièrement en milieu urbain où l'eau ne s'infiltré plus et surcharge les systèmes d'évacuation.

L'utilisation du recensement national a été l'occasion de s'intéresser aux impacts des inondations sur la concentration de la population, voire l'utilisation du sol, susceptible d'apporter une information pertinente à l'étude de l'impact des inondations sur les deux villes.

C'est l'un des problèmes les plus épineux en matière de gestion urbaine. Problème exacerbé par les conséquences du changement climatique qui voient ce phénomène se multiplier. Les inondations constituent un risque qui menace l'ensemble des composantes spatiales, la population, les infrastructures, le patrimoine. Il remet en question la sécurité durable des agglomérations concernées.

Conclusion générale

Conclusion générale

Un changement climatique, ou dérèglement climatique, correspond à une modification durable (de la décennie au million d'années) des paramètres statistiques (paramètres moyens, variabilité) du climat global de la Terre ou de ses divers climats régionaux.

Selon la communauté internationale du climat la région méditerranéenne est un hot pot. Elle indique un réchauffement estimé à plus de 1°C durant ce siècle, (1.5 au niveau mondial) avec une tendance accentuée pour les 30 dernières années, parallèlement à une baisse pluviométrique estimée en moyenne à 30%.

Selon le Plan national sur le changement climatique, l'Algérie connaît de fréquentes sécheresses et inondations, les besoins en eau doublant sous la pression de la croissance démographique et de l'urbanisation continue. Les risques liés à l'eau vont alors augmenter en termes de disponibilité, d'hygiène et d'assainissement, et enfin de sécurité des personnes et des biens face aux événements eau-climat extrêmes. Dans les villes de l'Est de l'Algérie, exposées en grande partie aux inondations, ce phénomène risque de s'intensifier. Notre objectif est de contribuer à son évaluation en identifiant certaines normes urbaines pertinentes pour l'exposition aux risques.

Le réchauffement du climat va augmenter le nombre et la violence des épisodes climatiques extrêmes et accentuer l'alternance de périodes de fortes sécheresses et de précipitations intenses.

Ce travail de thèse portant sur le changement climatique et ses impacts en particulier ses impacts hydrologiques, parmi les quels les inondations dans le Nord Est Algérien, a permis de cerner avec objectivité les nouvelles tendances climatiques affectant cette partie de l'Algérie.,et particulièrement leur conséquences sur les écoulements. Différentes approches (statistique, graphique, spectrale,) ont permis d'atteindre les objectifs escomptés, à savoir la mise en évidence des modifications des principaux paramètres climatiques (températures et précipitations et la relation entre leur variabilité et celle de l'hydrologie à l'échelle régionale avec une projection sur les petits bassins versants.

- Dans un premier temps, l'intérêt a été porté sur l'analyse des précipitations et des températures à partir des données de l'ANRH et de l'ONM. Ces données portent sur une période d'observation de 44 ans (1969/2013) pour les précipitations et concernent 55 stations. Pour les températures. 12 stations ont été utilisées, sur une période 38 ans (1980/2018), de même que la de série seltzer (1913/1938) à titre comparatif

Conclusion générale

Une approche statistique va permettre l'analyse et la caractérisation des principaux paramètres climatiques (Pluie et Température). L'analyse des précipitations par le coefficient de variation permet de saisir sa forte variabilité dans l'espace, liée aux grands ensembles géographiques du pays. Les principaux changements extrêmes qui ont affecté le régime des pluies ont été saisis grâce à différents indices climatiques. L'analyse montre que notre région d'étude est soumise à un régime méditerranéen, très marqué.

Pour connaître les intensités de concentration des précipitations spatiotemporelles (indispensables dans la genèse des inondations) et déterminer les années extrêmes sèches et humides, les indices de Martin vide, CI qui indique la concentration journalière de précipitations et l'indice PCI qui indique les concentrations annuelles, ont été utilisés.

L'indice CI est une variable climatique d'un grand intérêt, car elle exprime l'irrégularité des valeurs des précipitations journalières et surtout celles de la concentration ou de l'accumulation de précipitations durant 24 heures. Elle permet de quantifier et de spatialiser les concentrations les plus fortes. Dans le cas de Biskra Annaba et Jijel, elle atteint les valeurs maximums de la région. En outre, ces indices de concentration sont des indicateurs utiles de la capacité érosive des précipitations, du risque d'inondation et de sa torrencialité.

L'indice PCI qui caractérise les fluctuations annuelles des concentrations pluviométriques, est faible à modérée.

Pour les moyennes des températures annuelles, le réchauffement est perceptible, il imprègne toute la région. Des écarts conséquents sont observables au niveau de l'ensemble des stations avec un maximum enregistré au niveau de la station de Guelma (2,05). L'écart le plus faible est relevé dans les stations de Annaba et de Bejaia. Les années 1969 et 2003 apparaissent comme hyper humides, alors que les années 1997 et 2010 les plus chaudes du Nord Est de l'Algérie.

En final, une synthèse climatique a partir du coefficient pluviothermique d'Emberger a été réalisée afin de saisir les modifications climatiques intervenues. Un glissement de la totalité des stations est observé sur le climagramme soit latéralement, soit horizontalement indiquant ainsi réchauffement, refroidissement,...

- Puis dans un deuxième temps, l'étude hydrologique détaillée a été abordée à partir de séries de données provenant de l'ANRH. Des analyses statistiques fréquentielles concernant quelques débits moyens annuels, des débits journaliers maximaux et des débits de pointe adimensionnés par rapport à la moyenne ont permis d'en dégager les caractères. L'étude quantitative révèle que le volume d'eau écoulé annuellement a fortement baissé

Conclusion générale

depuis le début des années 1980. Les ressources en eau superficielles dans le Nord Est Algérien sont soumises à une oscillation annuelle et saisonnière, et par conséquent à une fluctuation de l'écoulement. Cette fluctuation résulte du type de la pluviosité, de la réponse de la caractéristique physique des bassins versant, et du degré des activités anthropiques.

Les apports ont été étudiés à l'échelle des bassins jaugés du Nord Est algérien, en mettant l'accent sur la relation débits fréquentiels/pluie / surface des bassins. L'étude a concerné l'oued : *Kebir Est, Guebli, Ressoul, Kebir Hammam, Seybouse Maritime Bouhamdane, Cherf Aval, Melah, Soubella, El Hai, Djammrah, Mellegue Amont et aval, Sidi Embarek, Dehamcha-Kebir, Oued Rhumel-Segen et Smendou*. Leur analyse a permis de faire ressortir suivant un axe Nord-Sud, la large gamme des débits annuels moyens (0.23 m³/s à 26.7m³/s), en relation avec les lames d'eau précipitées (150mm à 1200mm).

Pour les prévisions de la période de retour la voie de recherche adoptée a été de considérer les débits maximum, débits moyens et journaliers afin d'estimer avec objectivité les débits réels des crues. Egalement, la prise en compte de la soudaineté de la crue a aidé à cerner le caractère exceptionnel de l'événement. Cette prédétermination et l'estimation du débit des crues, a permis de matérialiser la notion risque d'inondation, pour différentes périodes de retour. Grace aux informations sur les débits de base et les précipitations journalières qui ont participé à l'apparition des crues survenues dans le Nord Est Algérien durant ces dernières années, il a été possible de différencier les inondations causées par des pluies exceptionnelles généralisées, affectant plusieurs wilayas à l'exemple des inondations catastrophiques de mars 1973 et décembre 1984, et les inondations générées par les orages locaux et exacerbées par les facteurs anthropiques, inondations affectant notamment les périmètres urbains telles que celles de Biskra 1999,

- Dans un troisième temps, une étude de cas sur les inondations a été entreprise, le cas des deux villes souvent affectées par les inondations, Biskra, et Annaba, situées dans 2 milieux différents, l'une sur le littoral et l'autre en bordure saharienne la ville de Biskra a connu plusieurs inondations, d'importance très variable. Parmi les plus forts écoulements, celui du 31 octobre 1982 qui causa des dégâts sérieux aux habitants de la rive droite de l'oued, avec un débit de 314,8 m³/s et des débits de pointe de crues dépassant 100m³/s.

L'étude du crue sur les affluents du bassin versant de l'oued Biskra, a permis de confirmer le caractère variable et immodéré déduit précédemment de l'analyse du régime. La variabilité des débits est liée aux caractéristiques physico-géographiques de la région. Ces crues inondantes participent activement à la dynamique fluviale de l'oued Biskra. Leur impact

Conclusion générale

en particulier, dans le lit majeur est important notamment, en allant vers l'embouchure, en aval de la ville de Biskra.

Pour la ville de Annaba les caractéristiques géographiques et anthropiques, ainsi esquissées (versants alluvionnaires relativement imperméables, faible capacité d'infiltration au niveau des plaines d'accumulation, tissu urbain anarchique) souffre de plus en plus, ces dernières années des phénomènes hydroclimatologiques, pendant la saison humide.

C'est l'un des problèmes les plus épineux en matière de gestion urbaine. Les inondations constituent un risque qui menace l'ensemble des composantes spatiales, la population, les infrastructures, le patrimoine. Il remet en question la sécurité durable des agglomérations concernées. Une simple comparaison entre les deux villes, montre que les inondations n'interviennent pas au même moment du fait de leur situation géographique : Annaba, ville littorale subit surtout des inondations pluviales d'hiver et de printemps, en liaison avec le régime pluviométrique de la région ; par contre la ville de Biskra située au piémont Sud des Aurès, connaît des crues d'Automne qui ont lieu aux mois de septembre et octobre généralement « crues de la saison chaude », en relation avec les averses orageuses de la saison, brèves et localisées se caractérisant par une durée et une extension spatiale plus faibles.

- À la fin l'intérêt de cette thèse est de proposer une méthode de caractérisation et d'évaluation en temps quasi-réel du risque d'inondation en milieu urbain. Afin de répondre à cet objectif, les deux composantes du risque, à savoir l'aléa et la vulnérabilité, sont intégrées à l'étude, et sont traitées de manière approfondie. Dans un premier temps, une méthodologie de caractérisation de l'aléa inondation a permis d'en dresser une carte. L'objectif de cette méthode est de permettre la délimitation des zones inondées puis l'extraction des hauteurs d'eau en tout point de ces zones. Une attention particulière est portée à l'automatisation de la Méthodologie et au temps de traitement, afin d'intégrer cette méthodologie à un outil opérationnel en phase de gestion de crise.

Parallèlement, une méthodologie de caractérisation et d'évaluation des résultats de l'indice de la vulnérabilité face aux inondations a permis d'intégrer les différentes dimensions (Composante sociale /Composante économique /Composante environnementale/ Composante physique) afin de délimiter les zones urbaines vulnérables. Des données de très haute résolution temporelle et spatiale constitueront un support opérationnel solide pour la prise de décision lors de la phase de gestion de crise.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdellaoui B, Merzouk A, Aberkan M et Albergel J (2002) Bilan hydrologique et envasement du barrage Saboun (Maroc). *Rev. Sci. Eau* 15 (4): 737-748
- A.B.H (de 1999 à 2004) Les Cahiers de l'Agence, Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue, Constantine.
- Achir M (2016). Etude de l'impact des changements climatiques sur la dynamique de l'alfa (*stipa tenacissima* L.) Dans la région steppique de tiaret (algérie occidentale). These doctorat Université djillaliliabes de sidi bel abbes, 504.
- Achite M, Meddi M (2004) Estimation du transport solide dans le bassin-versant de l'Oued Haddad (Nord-Ouest algérien). *Sécheresse*, 15 (4), 367–373. http://www.jle.com/fr/revues/agro_biotech/sec/e-docs/00/04/0A/10/article.md?type=text.html [Accédé le 21 mars 2013]
- Achite M, Meddi, M (2005) Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi-aride. Cas du bassin versant de l'Oued Mina (Nord-Ouest algérien) *Revue des Sciences de l'Eau*, 18 (spécial), 37–58. http://www.rse.inrs.ca/art/volume18/v18nS_37.pdf [Accédé le 21 mars 2013]
- Achite M., Ouillon S (2007) Suspended sediment transport in a semiarid watershed, WadiAbd, Algeria (1973–1995). *Journal of Hydrology*, 343, 187–202.
- Achite M., Ouillon S (2016) Recent changes in climate, hydrology and sédiment load in the WadiAbd, Algeria (1970-2010), *Hydrol, Earth Syst. Sci.*, 20, 1355-1372. <https://doi.org/10.5194/hess-20-1355-2016>
- Achour S (2001) Incidence des procédés de chloration, de floculation et d'adsorption sur l'évolution de composés organiques et minéraux des eaux naturelles. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Hydrauliques. Université de Tizi-Ouzou, Algérie. 231 p.
- Achour S, Chabbi F (2017) Etude Des Etapes D'oxydation/Désinfection de la station de traitement des eaux D'ainTinn (Mila, Est Algerien). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, 31 : 233-247
- Afri F-Z (1998) Contribution à l'étude physico-chimique et biologique de l'Oued Kébir-Rhumel et de ses principaux affluents. Mémoire de magistère en Ecologie. Université Mentouri, Constantine. 238 p.
- Afri F-Z, Sahli L, Mehennaoui S (2004) Assesment of sediment trace metallevel and biologicalquality of Rhumel river by usingmultivariateanalysis, *Environmetrics*, 15 :435-446.
- Akli S. 2015. Economie des ressources en eau en Algérie : quelle place pour la gestion de la demande et quel impact sur l'économie de l'eau Application au bassin Côtier Algérois 02 A. Thèse de doctorat. Ecole Nationale supérieure d'agronomie . Alger . 200 p.
- Albergel J, Pipin Y (2003) Erosion et transport solide dans des petits bassins versants méditerranéens, *Hydrology of the mediterranean and semi aridregions*, no 278 : 373-379.
- Amoussou E (2010) Variabilité pluviométrique et dynamique hydrosédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono- Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, Centre de Recherche de Climatologie, 310p.

A.N.B.T (2014) Agence Nationale des barrages et transferts, service d'exploitation du barrage de Beni Haroun (B.B.H) ; levés bathymétriques de onze barrages en exploitation, campagne de mesures Beni Haroun.

ANBT (2014) Agence Nationale des Barrages et Transferts Fiche technique des barrages. Agence National des barrages et de transfert – Alger.

ANRH (1993) Carte pluviométrique de l'Algérie à l'échelle du 1/500.00 + notice explicative, Alger.

ANRH(2002) Carte des évapotranspirations potentielles du Nord de l'Algérie au 1/500 000 (2 feuilles, notice de 42 p.), Ministère des Ressources en Eau, Alger, Ed. I.N.C.T.

ANRH (2003) Etude de synthèse sur les ressources en eaux de surface de l'Algérie du Nord, Alger, A.N.R.H., Rapport technique, 36 p.

ANRH (2008) Etude générale des crues du Nord de l'Algérie Etude, Modélisation des débits de crues.

Assaba M (2004) La connaissance des pluies mensuelles au service de la modélisation hydrologique des apports mensuels en eau de surface : application à l'Algérie du Nord, au Sud de la France et à la Corse, Thèse doctorat, Université de Nice - Sophia Antipolis, 399 p.

Baxter R M et Glaude P (1980) Les effets des barrages et des retenues d'eau sur l'environnement au Canada: expérience et perspectives d'avenir, Bulletins canadiens des sciences halieutiques et aquatiques, 205 F : 44p.

Peter A, Roxana B, David E, David P, (2007) Observations: Surface and Atmospheric Climate Change : revue The Physical Science Basis.

Beloulou L (2008). Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain. Cas de la ville de Annaba (nord-est algérien). Soutenue. Université Badji Mokhtar-Annaba, 300p.

Ben Lamri O, (2020). Étude de protection de la ville Biskra contre les crues. Mémoire de Master. Université Mohamed Khider – Biskra, 120p.

Benayache N (2014) Évaluation du niveau de la pollution organique des eaux des barrages Hammam Grouz et Béni Haroun. Mémoire de Master 2 en Écologie et Écotoxicologie. Université de Constantine 143 p.

Benfetta H, Ouadja A, Achour B, Remini B (2016) Perte de capacité dans les barrages situés dans les zones arides et semi arides. Cas des barrages de Gargar, Bouhanifia, Ouizert et Fom El Gherza. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°25, Mars 2016 : 183-201

Ben Mammou A, Louati M-H (2007) Évolution temporelle de l'envasement des retenues de barrages de Tunisie, Rev. Sci. Eau 20 (2): 201-210

Benabadji N, Bouazza M (2000). Quelques modifications climatiques intervenues dans le Sud-ouest de l'Oranie (Algérie occidentale). Rev.energ.ren, 3 :117–125.

Benguesmia D (2018). Evaluation de la sécheresse et essai de régionalisation des paramètres climatiques dans la région des hauts plateaux algériens pr. Université ziane achour – djelfa.

Benhamrouche A, Martain-vidé J (2012). Distribución espacial de la concentración diaria de la precipitación en la provincia de Alicante. *Revue de géographie*, 56 : 113-129

Bernier J (1959) Comparaison des lois de Gumbel et de Fréchet sur l'estimation des débits maxima de crue. Réunion partielle de la Société Hydrotechnique de France (Section Hydrotechnique de France Commission pour l'étude des débits de crue, Paris le 12 septembre 1957. *La Houille Blanche*, 1:47-56.

Berolo W, Laborde J-P(2003) Les précipitations journalières extrêmes sur les Alpes-Maritimes : analyse statistique et cartographie automatique des paramètres. Mémoire de Maîtrise de Géographie Physique, Université de Nice-Sophia Antipolis, 156 p.

Bouanani A (2004) Hydrologie, Transport Solide et Modélisation : Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie). Thèse de doctorat en géologie appliquée : Option hydrogéologie, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 250 p.

Bouanani A, Baba Hamed K, Mania J, Bensalah M (2005) Le comportement d'un système hydrologique en climat méditerranéen par l'analyse corrélatoire et spectrale des débits et des pluies. Cas de trois sous bassins sud-méditerranéens:(oued Sebdou, Moulah et Isser-Tafna-NW Algérie). *Rev. Sci. Eau Journal Water Sci.* 18 : 215–224.

Bouanani A (2005) Hydrologie, transport solide et modélisation, étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW Algérie). Thèse de Doctorat, Université Tlemcen, Algérie, 220p.

Bouchaou L, Mangin A, Chauve P (2002) Turbidity mechanism of water from a Karstic spring: example of the Ain Asserdoune spring (Beni Mellal Atlas, Morocco). *Journal of Hydrology*, 265(1-4): 34-42.

Boudjadja A, Messahel M, Pauc H (2003) Ressources hydriques en Algérie du Nord, *Revue Science de l'Eau*, 16 : 285-304

Bouguerra S (2016) Quantification et modélisation du transport solide dans un cours d'eau de l'Algérie Septentrionale : cas du bassin versant de l'oued Boumessaoud (Tlemcen). Mémoire de Magister, Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen Algérie. 141p.

Bouhaddioui C, Roy R (2006) On the distribution of the residual cross-correlations of Infinite order vector autoregressive series and applications. *Stat. Probab. Lett.* 76, 58–68.

Boulahbel S, Mebarki A (2013) Fonctionnement hydrologique du Barrage de Béni Haroun (oued Kébir-Rhumel, Algérie Orientale, *Prosiding CIREDD Alger* : 749-754

Boumesseneh, A. (2007). Magister : Les inondations dans la ville de Biskra causes et impacts. Université El Hadj Lakhdar -Batna-, 200p.

Bourouba, M. (1987). Relations avec les précipitations et les débits des oueds semi-arides de l'Algérie orientale.

Bourouba M (1996) L'érosion actuelle dans l'Algérie septentrionale: Bilan d'érosion comparatif de deux affluents du Cheliff : l'Oued Ebda et l'Oued Deurdeur. *Travaux de l'Institut de Géographie de Reims*. 113-127 p.

- Bourouba M (1997) Les variations de la turbidité et leurs relations avec le débit et les précipitations dans les bassins-versants des Oueds Reboa et Boudouaou (Algérie orientale), revue *MEDIT*, Bologne (Italie) 7: 52- 58.
- Bourouba M (1998) Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides de l'Oued Medjerda supérieur, (Algérie orientale). *Bulletin de l'ORSTOM*, 18: 76-97.
- Boutoutaou D&zeggane H. (2014). Méthode de calcul des crues des Oueds de l'Algérie. *Revue Scientifique et Technique Ijee*, 24&25 : 62–75.
- Bravard J.-P, Petit F (2000) Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial, Paris, A. Colin, Collection U. Géographie, 222 p.
- Bremond R, Vuichard R (1973) Paramètres de la qualité des eaux, OSPEPE, Paris. Livre, 178p.
- Bricquet J-P (1990) Régime et bilan hydrologique de l'Afrique Centrale. In: *Paysages quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique* (éd. par R. Lanfranchi & D. Schwartz), Publ. ORSTOM - Collection Didactiques, Paris. 10: 42-51
- Brutsaert W (1982) *Evaporation into the atmosphere: Theory, history, and applications*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 299 p
- Capurro A, Maltaa C, Diambra I, Contreras P (2005) Cross correlation of heartbeat and respiration rhythms, *physica*, 6:37–42.
- Carrega P (1988) L'évapotranspiration potentielle et réelle dans le Midi méditerranéen. Son originalité par rapport au reste de la France, *Méditerranée* 4 : 3-8.
- CEMAGREF (1989) *Hydrologie appliquée aux petits bassins*, Antony, Division Hydrologie, Hydraulique fluviale et souterraine, 528 p.
- Chadid O (2003) *Analyse des séries hydrométéorologiques par la transformée en ondelettes* (PhdThesis). École de technologie supérieure, 253p.
- Chaumont M et Paquin C (1971) Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, échelle 1/500.000 (4 feuilles et notice), Société de l'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, Alger.
- Chibbani R, Djilli K, Roose E (1999) Étude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser. *Bull. ORSTOM, Rés. Eros.*, 19, 85-95.
- Corbonnois J, François D, Arts I, Sary M, Gille E, Gamez P, Devos A, Decloux J-P (1999) Répartition des écoulements en basses eaux. Aspects méthodologiques, XXIIe Assemblée Générale de L'UGGI, CNFGG, Birmingham, 18-30 juillet 1999, Rapport quadriennal 1995-1998 : 253-260.
- Cosandey Cl, Robinson M (2000). *Hydrologie continentale*. Paris, Armand Colin, Collection U. Géographie, 360 p.
- Djellouli Y., Saci A., (2003). Catastrophe « Naturelle » : Les inondations dévastatrices du 9 et 10 novembre 2001 à Beb El Oued (Alger, Algérie). Publications de l'Association Internationale de Climatologie. 23 : 236- 242.

- El Mahi A, Meddi M, Matari A, Ketrouci K (2004) Etat de la pluviométrie en période de sécheresse en Algérie du nord et sa relation avec le phénomène ENSO. Actes du colloque Terre et Eau Annaba 4 : 420-423.
- El-Mahi A, Meddi M, Bravard J P (2012) Analyse du transport solide en suspension dans le bassin versant de l'oued El Hammam (Algérie du Nord). Hydrological Sciences journal, 21 :1642-1661.
- ElOuafi M (1993) Tarissement et vidange des réservoirs de la Liane (Nord de la France). Hydrologie Continentale, 2 : 103-112.
- Emberger L (1942) Un projet de classification des climats du point de vue phyto-géographique. Bull. Sci. Hist. Nat. Toulouse, 77: 97-124.
- Gaagai A (2009) Étude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de Babar sur Oued El Arab région est de l'Algérie, mémoire de magistère. Université de Batna 117p.
- Galéa G, Mercier G, Adler M J (1999) Modèle débit-durée-fréquence d'étiage, concept et usage pour une approche régionale des régimes des basses eaux des bassins hydrographiques de la Loire (France) et du Crisu-Alb (Roumanie). Revue des Sciences de l'Eau, 12 : 93-122.
- Garcia F (2016) Amélioration d'une modélisation hydrologique régionalisée pour estimer les statistiques d'étiage. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 222 p.
- Gaula B-T, Savane I, Konan B, Fadika V, Kouadio G-B (2006) Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide), Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 7 Numéro 1
- Gausse H (1948) Carte des précipitations de l'Algérie (moyenne 1913-47), échelle 1/500. 000. I.G.N., Paris.
- Gausse H, Bagnouls F (1952) L'Indice xéothermique. B. de l'Association des Géographes français, 223p.
- Gazzalo T, Bassi G (1969) Contribution à l'étude du degré d'érosion des sols constituant les bassins versants des cours d'eau italiens. Ex/raits de publications de l'Agence I/Olienne d'Hydraulique, 53p.
- Ghachi A (1986) Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie. Thèse. Doctorat, OPU. 508 p.
- Ghenim A, Terfous A, Seddini A (2007) Etude du transport solide en suspension dans les régions semi-arides méditerranéennes: cas du bassin-versant de l'Oued Sebdu (NordOuest algérien). Sécheresse, 18 (1), 39-44
- Ghennai N (2014). Etude des rapports et des corrélations entre le régime bioclimatique et les incendies de forêts (cas de l'Est-Algérien). Thèse. Magister, Université Constatantine 1.
- GIEC (2007) : Bilan 2007 des changements climatiques : rapport de synthèse. www.ipcc.ch
- Gouaidia L (2008) Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi arde, cas de la nappe de Meskiana, nord est algérien, thèse de doctorat d'état, univ. D'Annaba, 199 p.

- Gharzouli R, 1989. Contribution à l'étude de la végétation de la chaîne des Babor. Analyse phytosociologique des djebels Babor et Tababart. Thèse de Magister, Institut des sciences naturelles de l'enseignement supérieur, Sétif, Algérie, 235 p.
- Grossmann A, Morlet J (1984) Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelet of constant shape. SIAM, J. Math. Anal., 15: 723-736.
- Guidoum A (2004) Etude hydrologique du bassin versant de l'Oued Chemorah à la station de Chemorah (W. de Batna, Est Algerien). Mémoire de Magister en Hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, 259 p.
- Guehiliznaoual. (2016). Contribution à l'étude des plantes spontanées dans l'oued de Biskra. 123 memoir master, Université Badji Mokhtar-Annaba.
- GuellouhsamiN(2017). L'impact du recouvrement des oueds de batna sur la dynamique des écoulements et les risques associés Thèse Doctorat Université de Batna, 2137p.
- Guidoum A (2017) Caractérisation hydrologique et analyse du transport solide en suspension dans trois ensembles hydrographiques du nord-est algérien. Etude de cas dans la Seybouse, les hautes plaines constantinoises et Chott Melghir (Coupe Nord-sud) (PhDThesis). Université Mohamed Khider-Biskra 368p.
- Gumbel E J (1958) Statistics of Extremes, Columbia Press, New York, 375 p
- Halimi S (2008) Ressources et essai de gestion intégrée des eaux du bassin versant d'oued Cherf/Sedrata (Nord – Est Algérien). Thèse de Magister, Université Badji Mokhtar Annaba, Faculté des sciences de la Terre Département de Géologie, Option : Hydrogéologie. 126p.
- Hamlat A.2014.Contribution à la gestion des ressources en eau des bassins versants de l'Ouest Algérien à l'aide d'un système informatisé. Thèse de doctorat .Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. 243p.
- Hangnon H (2015). Précipitations extrêmes et inondations à Ouagadougou : quand le développement urbain est mal maîtrisé. Xxviii colloque de l'association internationale de climatologie, 1 :497–502.
- Harrat N, Achour S (2010) Pollution physico-chimique des eaux de Barrage de la région d'El Tarf. Impact sur la chloration, Larhyss Journal, 8 :47-54.
- Harrat, N, Achour S (2011) Qualité et réactivité des eaux de barrage de Zit El Amba alimentant la station de traitement d'Azzaba, Courrier du Savoir Scientifique et Technique, 11 : 113-117.
- Hayane S M (1983) Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Sikkak (région de Tlemcen). Thèse Doctorat 3e cycle, Université Oran. 236 p, 91 figures.
- Heusch B, Milles-Lacroix A (1971) Une méthode pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin du Maghreb, Mines et Géologie, 33 :21-39.
- Hirche A, Boughani A, SalamaniM(2007) Évolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides algériennes. Sécheresse 1 : 314–320.

IISD (2003) L'Institut international du développement durable 2003 : Vulnérabilité des pays du Maghreb face aux changements climatiques Besoin réel et urgent d'une stratégie d'adaptation et de moyens pour sa mise en œuvre International Institute for Sustainable Development.

Jelassi M A (2014) Caractérisation de la variabilité hydrologique de la Medjerda dans le cadre de la future mission spatiale SWOT, Mémoire de master, Université Rouen (France) and Reports on Engineering Practice 70, ASCE, Am. Soc. Civil Engrs., New York, NY, 360 p.

Jensen M E, Burman, R D, Allen R G (1990) Evapotranspiration and irrigation requirements. ASCE Manuals, 16: 311-327.

Jowett J-R (1980) Clean lakes program guidance manual. United States Environmental Protection Agency. Washigton D.C. 20460. EPA 5 :81-103.

Kadik B, 1982. Le Barrage vert : caractéristiques : écologiques. Bull. tech For INRF. 6 : 9-14

Kerdoud S (2006) Le bassin versant de Béni Haroun : Eau et pollution, Mémoire de magister, Faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire ,192p.

Khanchoul K (2006) Quantification de l'érosion et des transports solides dans certains bassins versants du Nord-Est algérien. Thèse de Doctorat, Université Annaba, Algérie, 278p.

Khalifa D (2015). Ontribution à l'étude de l'aléa " inondations": genèse et prédiction cas de la vallée d'el-abadia (w.ain defla). Ecole nationale supérieure d'hydraulique –arbaouiabdellah, 112p

Khoualdia W, Djebbar Y (2014). Caractérisation de la variabilité climatique : cas du bassin versant de la medjerda(nord-est algérien) characterization of climate variability : case of watershed medjerda (northeast of algeria). Rev. Sci. Technol., Synthèse 29: 6-23.

Kingumbi A, Bergaoui Z, Bourges J, Hubert P, Kallel R (2000) Etude de l'évolution des séries pluviométriques de la Tunisie Centrale. <File:///C:/Apacheroot/htdocs/medweb/WEB-documents/kingumbi.htm>, 11:41:13.

Kingumbi A (2006) Modélisation hydrologique d'un bassin affecté par des changements d'occupation. Cas du Merguellil en Tunisie Centrale. Thèse de Doctorat, Université de Tunis El Manar, 300 p.

Kouassi A-M, Nassa R-A-K, N'guessan B-T-M, Kouame K-F, Biemi J (2018) Caractérisation des débits d'étiage dans un contexte de changements climatiques : cas du bassin versant du N'zi (Côte d'Ivoire). Agronomie Africaine, 3 :215-223.

Laala A (2017). Cartographie de la variabilité thermique des écosystèmes forestiers de l' est algérien. Thèse de doctorat .Université des Frères Mentouri Constantine 237p

Laala, A., & Djamel A. (2016). Variabilité temporelle des températures annuelles et saisonnières dans l'est algérien. European scientific journal, esj, 12(14), 45. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n14p45>

Labat D. (2006). Oscillations in land surface hydrological cycle. Earth and planetary science letters, 242(1–2): 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.11.057>

- Labat D., Ababou, R., & Mangin, A. (2000). Rainfall-runoff relations for karstic springs. Part i: convolution and spectral analyses. *Journal of hydrology*, 238(3–4): 123–148. [https://doi.org/10.1016/s0022-1694\(00\)00321-8](https://doi.org/10.1016/s0022-1694(00)00321-8)
- Labat, D, Ababou, R.(1999). Analyse en ondelettes en hydrologie karstique. 2e partie: analyse en ondelettes croisee pluie-debit. *Comptes rendus de l'académie de sciences - serieiia: sciences de la terre et des planetes*, 329(12) : 881–887. [https://doi.org/10.1016/s1251-8050\(00\)8850](https://doi.org/10.1016/s1251-8050(00)8850).
- Labat, D., Ababou, R., & Mangin, A. (2002). Analyse multirésolution croisée de pluies et débits de sources karstiques. *Comptesrendus - Geoscience*, 334(8): 551–556. [https://doi.org/10.1016/s1631-0713\(02\)01795-9](https://doi.org/10.1016/s1631-0713(02)01795-9)
- Labat D (2005) Recent advances in wavelet analyses: Part 1. A review of concepts. *Journal of Hydrology*, 314(1-4): 275-288.
- Labat D (2008) Wavelet analysis of the annual discharge records of the world's largest rivers, *Advances in Water Resources*, 18: 109-117.
- Labat D (2010) Cross wavelet analyses of annual continental freshwater discharge and selected climate indices, *Journal of Hydrology*, 1-4: 269-278.
- Labbaoui, c. R. (2016). Etude de protection contre les inondations de la ville d'el bayadh (oued deffa). Université Abderrahmane Mira de Bejaia.
- Laborde J P, Mouhous M (1998) Logiciel Hydrolab, version 98.2, équipe Gestion et valorisation de l'environnement de l'UMR 5651 « Espace » du CNRS, 43 p.
- Laborde J P (2000) Hydrologie de surface, Cours Université de Nice-Sophia Antipolis, 191 p.
- Laftouhi N, Persoons E (2007) Influence des Variations Climatiques Sur Le Régime Hydrologique du Bassin Versant Du Ksob (Essaouira Maroc). Technical Document In *Hydrology*, Vol. 80, Édit. Unesco Et Hydrosociences-Montpellier, 85-98.
- Lahache R G, Pillet G (2008) Projection des ressources en eau de la Tunisie sous les effets des changements climatiques globaux. XIIIth World Water Congress (Montpellier. 2008), 12 p.
- Laignel B, Nouaceur Z, Jemai H, Abida H, Ellouze M, Turki (2014) Vers un retour des pluies dans le nord-est tunisien?, in: *Proceedings of the Actes Du XXVIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie-2* : 727–732.
- Lang C et Gille E (2006) Une méthode d'analyse du tarissement des cours d'eau pour la prévision des débits d'étiage. *Norois*, numéro 201 (2006/4).
- Lang C (2007) Etiages et tarissements : vers quelles modélisations ? L'approche conceptuelle et l'analyse statistique en réponse à la diversité spatiale des écoulements en étiage des cours d'eau de l'Est français. Thesis (PhD). CEGUM, Université Paul Verlaine (Metz).
- Larocque M, Mangin A, Razack M, Banton O (1998) Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France). *Journal of Hydrology* 205:217-231.

- LetreuchBelarouci, N. 1991. Les reboisements en Algérie et leur perspective d'avenir. Volume .I.OPU. Alger .294p
- Louamri A (2010) Contribution à l'évaluation des Transports Solides de L'Oued Bouhamdane à la Station de Medjez Ammar II et a Barrage de Hammam Debag. International Network Environnemental Management Conflicts, Santa Catarina- Brasil, 1/1 : 23-29.
- Louamri A (2013) Le bassin versant de la Seybouse (Algérie orientale) Hydrologie et aménagement des eaux Thèse de doctorat d'Etat, Université Mentouri de Constantine, Faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire, 315p.
- LouamriA, Mebarki A, Laignel B (2013) Variabilité interannuelle et intra-annuelle des transports solides de l'Oued Bouhamdane, à l'amont du barrage Hammam Debagh (Algérie orientale). Hydrological Sciences Journal, 58 : 1559–1572.
- Maire R. (1926). - Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie. 1 vol, Baconnier, Alger.78 p
- Margot B(2014). Future summer mega-heatwave and record-breaking temperatures in a warmer France climate. Environmental Research Letters, 12: 074025
- Makhlouf Z, Michel C (1994) A Two-Parameter Monthly Water Balance Model For French Watersheds, Journal Of Hydrology, 162: 299-318.
- Makhoukh M, Sbaa M, Berrahou A, Clooster M (2011) Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc Oriental). Larhyss Journal, 09: 149-169
- Marouf N, Rémini B (2011) Temporel Variability in Sediment Concentration and Hysteresis in the Wadi Kébir Rhumel Basin of Algeria. The hongkong institution on engineers Transactions, No 1, p13-21
- Marouf N (2012) Etude de la qualité des eaux et de transport solide dans le barrage de Béni Haroun (Mila), son impact sur l'environnement de la région. Thèse de doctorat à l'université de Biskra. 242 p.
- Massei N, Dupont J P, Mahler B J, Laignel B, Fournier M, Valdes D, Ogier S (2006) Investigating transport properties and turbidity dynamics of a karst aquifer using correlation, spectral, and wavelet analyses. J Hydrologie. 329, 244–257.
- Mebarki A (1982) le bassin du Kébir Rhumel, Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau, Thèse doctorat 3^{ème} cycle, Université de Nancy II,
- Mebarki A (2000) Etiages, rejets et protection des ressources en eau des bassins méditerranéens de l'Algérie orientale. Géocarre four, l'interface nature-sociétés dans les hydrosystèmes fluviaux .75/4 :399-416
- Mebarki A (2003a) Cartographie automatique des précipitations: application à l'Est algérien. Revue des Sciences et Technologie, série B, 20 :100-107.
- Mebarki A (2003b) Cartographie automatique du contexte hydro climatique algérien (Algérie orientale et bassin du Kébir-Rhumel), Revue du Laboratoire d'Aménagement du Territoire, 1 : 72-89.
- Mebarki A (2003c) Analyse et cartographie automatique des éléments du bilan hydrologique en vue de l'aménagement : cas de l'Est algérien et de ses bassins semi-arides et arides, Colloque international : Oasis, eau et population, Université de Biskra, 22-24.

- Mebarki A (2007) Une nouvelle cartographie du déficit hydrique : application l'Est algérien (et Algérie du nord), *Bulletin des sciences Géographiques* 20 :39-45
- Mebarki A, Benabbas C et Grecu F (2008) Le système « Béni Haroun » (Oued Kébir –Rhumel, Algérie) : aménagement hydrauliques et contraintes morpho-géologiques *AnaleleUniveritiBecuresti, Geografie, LVII*, 37-51.
- Mebarki A (2009) Ressources en eau et aménagement en Algérie. Les bassins hydrographiques de l'Est. Office des Publications Universitaires, Alger, 389 p.
- Mebarki A (2010) Hydrologie, barrages et transferts d'eau en Algérie orientale. *Bulletin des sciences géographiques* 25 : 33-41.
- Meddi M (1999) Étude du transport solide dans le bassin versant de l'oued Ebda (Algérie). *Zeitschrift fur Géomorphologie*, 43 :167-183
- Meddi M et Hubert P(2003) Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. In : *Hydrology of the Mediterranean and semiarid regions*, IAHS publication, 278: 229-235.
- Meddi H et Meddi M (2007) Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du Nord-Ouest de l'Algérie. *GeographiaTechnica*, 2 : 49-55.
- Medjereb A (2005) Etude pluviométrique de l'Algérie Nord-Occidentale. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et Aménagement du Territoire, USTHB, Alger, 569p.
- Medejerab A, Henia L (2011) Variations Spatio-Temporelles De La Sècheresse Climatique En Algérie Nord-Occidentale. *Courrier Du Savoir – N°11, Mars 2011, Pp.71-79*
- Mekaoussi N (2013) Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface de Hammam Debagh (Est algérien), mémoire de magister, Univ. Batna, 110 p.
- Mekhloufi N (2014) Prédétermination et Prévision des étiages des Oueds de l'Algérie Septentrionale. Mémoire de Magistère de l'Université de Kasdi Merbah Ouargla, faculté des sciences pratique département d'Hydraulique et Génie Civil, 120p.
- Meddour, R., Sahar, O., & Vela, E. (2019). Les territoires phytogéographiques de l' Algérie du nord : essai de synthèse et révision partielle. Colloque international « la cartographie de la flore, un outil au service des politiques publiques de la biodiversité », 7–8.
- Menad, W. (2012). Risques de crue et de ruissellement superficiel en métropole méditerranéenne : cas de la partie Ouest du grand Alger. <https://tel.archives-ouvertes.fr/>.
- Menad, W. (2012). Risques de crue et de ruissellement superficiel en métropole méditerranéenne : cas de la partie ouest du grand Alger. Doctorat : Géographie Université Paris-Diderot, 300 P.
- Mesquita j (2009) Facteurs de contrôle climatique et géomorphologique de la variabilité hydrologique de bassins versants en substrat carbonate Comparaison Haute Normandie (FR) et Région d'Austin, Texas (USA), Docteur en Hydrogéologie l'Université de Caen (France),239P.

Mihoubi N, Mebarki A (2017) Bassin du Haut-Rhumel : contexte hydrogéologique et fuites d'eau du barrage de Hammam Grouz. *Revue des Sciences & Technologie D – N°45, Constantine* .131-140 p.

Missoumi A, Mederbal K, Abedelli K, (2002). Apport des SIG dans la prévention et la lutte contre les incendies de forêt, *Stratégie de prévention des incendies dans les forêts d'Europe du Sud, Collection Actes, Editions P, 368*

Mkhandi S H, Kachroo R K, Gunasekara T A G (2000) Flood frequency analysis of southern Africa: II. Identification of regional distributions. *Hydrol, Sci, J, 45/3: 449–464*.

Moreau F (1995) Méthodes de traitement de données géophysiques par transformée en ondelettes. Université Rennes 1.

Musset R (1935) Les calculs relatifs au régime pluviométrique : fraction pluviométrique, écart pluviométrique relatif, coefficient pluviométrique relatif. *Etudes Rhodaniennes, 11 : 75-85*.

Mutua, F.M., (1994). The use of the Akaike Information Criterion in the identification of an optimum flood frequency model. *Hydrology. Science. J. 39/3 :235–244*.

MRE- Ministère des Ressources en Eau (2010) Réalisation de l'étude d'actualisation du plan national de l'eau en Algérie. Mission 2 : Ressources et demandes ; Tome 3 : Envasement des barrages. Programme MEDA de l'Union Européenne, Ministère des Ressources en eau de la République Algérienne Démocratique et Populaire, Direction des études et des aménagements hydrauliques, 65 p.

Nandalal K. D. W, Bogardi Janos J (2007) *Dynamic Programming Based Operation of Reservoirs: Applicability and Limits Cambridge University Press, 144p*.

Nazoumou Y (2002) Impact des barrages sur la recharge des nappes en zone aride : Etude par modélisation numérique sur le cas de Kairouan (Tunisie centrale).Thesis (PhD). ENIT, Tunisie, 264p.

Nouaceur Z, Laignel B (2016) Caractérisation des événements pluviométriques extrêmes Sur la rive sud du bassin méditerranéen : Études du cas du « quart Nord-Est » Algérien, colloque de l'Association Internationale de Climatologie 15p

Nouar T, Toumi A, Messaadi (2005) Etude de la pollution des eaux superficielles du bassin de Guelma. *Le Journal de l'Eau et de l'Environnement 06 :32-40*

Ogouwale, R., Gomez C., Vissin, E.(2015). Changements climatiques et modélisation hydroclimatique dans le bassin versant de l'Okpara(Afrique de l'Ouest). XXV^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 579–584.

Ogouwalé, R., Gomez C., &Vissin, E. (2012). Impact de la dynamique des états de surface sur les écoulements dans le bassin Béninois de l'Okpara. *Revue de géographie du Bénin. Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 12, 76–89*.

OMM (2006) Suivi de la sécheresse et alerte précoce: principes, progrès et enjeux futurs OMM Organisation Météorologique Mondiale 63 :92.

OMM (2013) *Le Climat Dans Le Monde 2001 – 2010 Une décennie d'extrêmes climatiques rapport de synthèse OMM- 1119 Organisation Météorologique Mondiale*

OMS (2011) L'organisation mondiale de la santé dans sa Version World Health Organization (WHO), 2011. Guidelines for drinking-water quality. 4th ed. Geneva. 564 p.

Ouahchia C, Hamaidi-Chergui F, Hamaidi M-S, Saidi F (2015) Qualité bactériologique de l'eau potable des différents réservoirs et chez les consommateurs de la commune de Tipaza alimentés par la station de Sidi Amar à partir de l'eau de surface du lac barrage de Boukourdane. Larhyss Journal, 23:139-154.

Probst JL, Amiottesuchet P (1992) Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa). Hydrol.Sci.J.37: 621-637.

QUEZEL P. (1957). - Le peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord. Le Chevalier, Paris, 463 p.

Remini B (2000) L'envasement des barrages : quelques exemples algériens. Bulletin du réseau Erosion (France), 20/2 :165- 171.

Remini B (2008) La surélévation des barrages: une technique de lutte contre l'envasement - exemples Algériens. Revue de la Houille Blanche, 5 :103-108 .

Remini B, Hallouche W et Achour B (2009) Chapitre 08 L'Algérie : plus d'un siècle d'envasement des barrages. Ouvrage intitulé : Etat des ressources en eau au Maghreb en 2009, édité par UNESCO Office, Rabat.19 : 123-142.

Remini (2011) Une nouvelle approche de lutte contre des barrages : la technique des obstacles émergents. Larhyss Journal, 09 :43-53.

Rossi A (2010) Analyse spatio-temporelle de la variabilité hydrologique du bassin versant du Mississippi : rôles des fluctuations climatiques et déduction de l'impact des modifications du milieu physique, thèse de doctorat, Université de Rouen), 335p.

Savane I, Coulibaly K-M, Gioan P (2001) Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man. Sécheresse, 4: 231-237.

Savane I, Coulibaly K-M, Gion P (2003) Etude comparative de trois méthodes de calcul du coefficient de tarissement des cours d'eau. Sécheresse, 14:37-42.

Seltzer P (1946) Le climat de l'Algérie, Alger, Institut de Météorologie et de Physique du Globe, Carbonnel, 219 p, 2 cartes hors-texte.

Slimani S (2009) Les fonctionnements hydrologiques de l'aquifère karstifié de la Craie de Haute-Normandie: conséquences des contextes morphologiques et structuraux, thèse de Doctorat, Université de Rouen (France) 286p.

Sambou S (1996). Indices de coordination et relation pluie-débit : application au haut-bassin du fleuve Sénégal. 238, 381-393.

Saouli A., Benhassine, n. (2021). Modeling the urban sprawl effect on vegetation-cover in Annaba. Journal of fundamental and applied sciences. <https://www.researchgate.net/publication/346965913>, 1112-9867.

Sogreah (1983). Erosion et transport solide au Maghreb. Analyse bibliographique, PNUD Projet RAB/80/011, 1982, 45 p.

Tabet, S. (2008). Le changement climatique en Algérie Orientale et ses conséquences sur la végétation forestière. Mémoire Magistère en écosystèmes forestiers. Constantine1, 132p.

Taibi S, Meddi M, Souag D, Mahe G (2013) Évolution et régionalisation des précipitations au Nord de l'Algérie (1936–2009). *Clim. Land Surf. Chang. Hydrol. IAHS Publ* 359:191–197.

Terfous A, Meghounif A, et Bouanani A(2001) Etude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord-Ouest algérien). *Revue des Sciences de l'Eau*, 14 (2), 175–185. http://www.rse.inrs.ca/art/volume14/v14n2_173.

Tir K, (2009) : Climagramme d'Emberger. Analyse et correction dans quelques stations météorologiques de l'Est algérien. Thèse de Magistère en Ecologie et Environnement. Université Mentouri de Constantine, 99 p.

Taylor P., Bakreti A (2016). Analyse conjointe des régimes pluviométriques et hydrologiques dans le bassin de la Tafna(Algérie Occidentale) analyse conjointe des régimes pluviométriques et hydrologiques dans le bassin de la Tafna (Algérie Occidentale). *Hydrological sciences journal*, 6667(0262–6667), 37–41.

Telaidjia D (2016). Gouvernance des territoires et développement local. Cas de la wilaya d ' Annaba (extrême nord-est Algérien). Magister. Université Badjimokhtar-Annaba.

Thoma B. Mckee N (2012). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Journal of surgical oncology*, 105(8), 818–824. <https://doi.org/10.1002/jso.23002>.

Tomety, y. D. (2017). Exposition et vulnérabilité face aux risques d inondation au burkinafaso : cas de la ville de dori . Master, Département des sciences et gestion de l'environnement burkinafaso.

Torrence C., & Webster P. (1999). Interdecadal changes in the enso – monsoon system. *Journal of climate*, 12(8), 2679–2690. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<2679:icitem>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2679:icitem>2.0.co;2)

Touati B (2010) Les barrages et la politique hydraulique en Algérie : état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable. Thèse de Doctorat. Université Mentouri Constantine. 288p.

Touaibia B (2010) Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale. *Sécheresse*, 21 : 1–6.

Vissin W-E (2007) Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. These de Doctorat, Université de Bourgogne, France, 286p.

Vogel R-M, Kroll C-N (1991) the Value of Streamflow Record Augmentation Procedures in Low-Flow and Flood-Flow Frequency-Analysis. *Journal of Hydrology*, 125: 259-276.

Wildi W. (1983), la chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène, *Revue de géologie dynamique et de géographie physique*, Paris, Masson, vol. 24 : 201-297.

Yahiaoui A (2012). Inondations torrentielles cartographie des zones vulnérables en Algérie du Nord (cas de l'oued Mekerra, wilaya de Sidi Bel Abbès), Thèse présentée Doctorat, Ecole nationale polytechnique, 185p.

Zamrane Z(2016). Recherche d'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 (PhdThesis). Université Montpellier, 197.

Zebiri A,(1994). Evaluation du risque d'inondation à Constantine : méthodologie d'approche, Méditerranée, Aix Marseille, 3 : 23-30.

Zeraïa L. 1982 : Le chêne-liège, phytosociologie, édaphologie, régénération et productivité. I.N.R.F., Alger. 134 p.

LISTE DES FIGURES

Figure. I.1 : Les éléments qui composent le globe terrestre	6
Figure. I.2 : composantes du système climatique processus et interactions	7
Figure. I.3 : L'évolution de la température moyenne annuelle mondiale de 1850 à 2020	8
Figure. I.4 : Les principaux gaz à effet de serre qui existent naturellement dans l'atmosphère	9
Figure. I.5 : Émissions de GES et croissance de température à l'échelle mondiale en fonction des différents	13
Figure. I.6 : Distribution de la différence en moyenne annuelle température en Algérie °C au-dessus de la moyenne 1901-2000	16
Figure. I.7: Evolution des totaux annuels de précipitations de l'Algérie (1901-2000)	16
Figure. I.8 : Évolution de la Tm sur le Nord de l'Algérie 2006/2100	17
Figure. I.9 : La prévision de la température saisonnière mois de Février 2014 a l'aide du modèle Dynamique CSA/NCEP/NOAA Résolution pour la 1 ^{er} , 2 ^{eme} et 3 ^{eme} Downscaling en Algérie	18
Figure. I.10 : Température moyenne annuelle sur le Nord de l'Algérie : période 1950-05	19
Figure I.11 : Précipitations moyennes annuelles du Nord au Sud Algérien (1969/2013)	20
Figure. I. 12 : Carte de pluies moyennes annuelles du Nord de l'Algérie	21
Figure. I.13 : Précipitations moyennes annuelles du Nord au Sud Algérien (1969/2013)	22
Figure. I.14 : Les grandes régions climatiques de l'Algérie du Nord	23
Figure. II. 1 : Position des 55 stations pluviométriques couvrant la zone d'étude	28
Figure. II.2 : Position des 22 stations pluviométriques journalier	29
Figure. II.3 : Carte stations de mesures des températures	29
Figure. II.4: Position des stations hydrologiques	30
Figure. II.5 : Schéma de détermination de l'aléa inondation	33
Figure. II.6: Présentation de relief en 3D dans le Nord Est	34
Figure. II.7 : La situation géographique	35
Figure. II.8 : Carte topographique de la région d'étude	36
Figure. II.9 : Profil Nord-Sud de Nord Est algérien	38
Figure. II.10 : Principales essences forestières en Algérie orientale d'après la carte internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis-Sfax et Alger.	39
Figure II.11: Les unités géologiques de l'Est algérien (d'après Wildi W., 1983 et carte géologique de l'Algérie au 1/500 000)	41
Figure. II.12: Les précipitations annuelles moyennes de l'Est Algérien	42
Figure. II.13: Températures moyennes annuelles interpolées par la méthode (Régression+Krigage)	43
Figure. II.14: Diagrammes Ombrothermiques de la région Nord Est Algérienne	44
Figure. II.15 : Classification selon l'ordre des cours d'eau	45
Figure. II.16: Classification selon la longueur du cours d'eau	46
Figure. II.17: Bassin-versant de la Côtiers constantinois	47
Figure. II.18 : Bassin-versant de la Seybouse	48
Figure. II.19 : Bassin-versant de L'oued Mellegue	48
Figure. II.20 : Bassin-versant de la Soummam	49
Figure. II.21: Bassin-versant de KebirRhumel	49
Figure. II.22: Bassin-versant des Hauts-Plateaux Constantinois	50
Figure. II.23: Bassin-versant de Chemora	50
Figure. II.24: Bassin-versant de Chott El Hodna.	51
Figure. II.25 : Taux de croissance urbaine et les recensements de population	53
Figur. III.1 : Évolution des températures annuelles dans les stations représentatives	57

Figure. III.2: Anomalie des températures au cours de la période 1980-2018	59
Figure III.3 : Matrice (MGCTI) appliquée aux moyennes annuelles des températures sur la période 1980-2018	61
Figure. III.4: Diagramme du pourcentage de l'anomalie des températures	62
Figure. III.5 : Evolution des températures (1913-1938) et (1980-2018).	64
Figure. III.6 : La variation mensuelle des températures moyennes. Les deux Périodes (1913 - 1938)/(1980 - 2018)	65
Figure. III.7 : La variation mensuelle des températures minimales absolues. Les deux Périodes (1913 - 1938)/(1980 - 2018)	66
Figure. III.8 : Variation mensuelle des températures moyennes maximales. . (1913 - 1938)/(1980 - 2018)	67
Figur. III.9 : Comparaison entre deux séries d'observation	68
Figure. III.10: Températures saisonnières : hivernale, printanière, estivale et automnale	69
Figure. III.11: Comparaison du Q2 entre deux période ; (1913-1938) et (1990-2011)	72
Figure .IV.1 : Évolution des précipitations annuelles dans, stations du N-E algérien (1969/1970-2012/2013)	77
Figure .IV.2 : Ajustement à la loi Racine-normale des précipitations annuelles, stations du N-E algérien	79
Figure. .IV.3 : Ajustement des PJ max à une loi de probabilité de Galton N-E (1969/2012)	82
Figure .IV.4 : Esquisse des Isolignes du coefficient de variation de pluie N-E algérien (1969/70-2012/13)	84
Figure .IV.5 : Isolignes de l'écart-type des précipitations annuelles N-E Algérien (1969/70-2012/13)	85
Figure. .IV.6 : Évolution des précipitations mensuelles, stations du N-E Algérien (1969/70-2012/13)	86
Figure. IV.7: Évolution des précipitations saisonnières N-E Algérien (1969/70_2012/13)	88
Figure. IV.8 : Courbe de concentration ou de Lorenz de la station météorologique d'Annaba (1980-2012).	92
Figure. IV .9: Isolignes des indices CII dans le Nord-est de l'Algérie, pour la période 1980-2012	93
Figure. IV.10 : Corrélation entre l'indice de concentration CII et l'altitude des 22 stations du N-E Algerien.	95
Figure. IV.11: Corrélation entre l'indice de concentration CII et la distance à la mer (km)	95
Figure. IV.12: Corrélation entre l'indice de concentration CII et la latitude (N °) .	95
Figure. IV.13 : Corrélation entre l'indice de concentration CII et la longueur (E°) des 22 observatoires de toute la zone d'étude.	96
Figure. IV.14: Relation entre l'indice de concentration CII et les précipitations annuelles moyennes (mm) pour les 22 station.	97
Figure. IV.15 : Relation entre l'indice de concentration CII et le coefficient de variation des précipitations (CV %) pour les 22 stations étudiées.	97
Figure. IV.16 : Relation entre l'indice de concentration CII et le nombre de jours pluvieux pour les 22 stations étudiées.	97
Figure. IV.17: Diagramme de PCI dans le Nord-est Algérien. (1970/69-2012/13)	99
Figure. IV.18 : Indice de concentration des précipitations annuelles du N-E algérien (1969/70_2012/13)	100
Figure. IV.19 : Tendances des débits annuels dans la région de N-E algérien (1969/70-2012/13)	102
Figure. IV.20: Ajustement des débits moyens annuels à une loi de probabilité	103
Figure. IV.21: Hydraulicité des cours d'eaux Part des années excédentaires et déficitaires (1973-74/2004-5)	106
Figure. IV.22 : Variations mensuelles des débits moyens (1973/74-2004/2005)	108
Figure. IV 23: Répartition par ordre croissant des lames précipitées annuelles moyennes Observées aux bassins	110
Figure. IV.24 : Répartition par ordre croissant des lames écoulées annuelles moyennes observées aux bassins	111
Figure. IV.25: Répartition par ordre croissant des déficits d'écoulement annuels moyens observés aux bassins	112
Figure. IV.26: Rangement par ordre croissant du coefficient d'écoulement annuel moyen des Stations hydrologiques de l'Est algérien	113

Figure. IV.27: Courbes de variation spatiale des lames d'écoulement et de précipitations annuelles moyennes observées aux bassins	113
Figure. IV.28: Bilans d'écoulement annuels moyens du Nord Est algérien	114
Figure. IV.29 : Relation entre la pluie moyenne des bassins (mm) et les lames écoulées	114
Figur. IV.30 : Évolution inter annuelle de la pluviométrie et des débits au niveau du Nord-Est algérien	116
Figure. IV. 31: Spectres locaux de l'analyse en ondelettes continues des précipitations	118
Figure. IV. 32: Spectres locaux de l'analyse en ondelettes continues des apports hydrologiques	119
Figure. IV. 33: Spectres locaux de l'analyse de la cohérence par ondelettes continues des apports/ précipitations	121
Figure .V.1 : Evolution décennale des décès liés aux inondations (1800_2018)	126
Figure V.2: Population exposée à un risque d'inondation (en %)	127
Figure. V.3 : Localisation des inondations en Algérie	131
Figure. V.4 : La mémoire des crues en Algérie	134
Figure. V.5 : Carte interactive historique de localisation des Inondations	135
Figure. V.6 : Ajustement à la loi log-normale des débits maximaux annuels, station de Foum El Gues	136
Figure. V.7: Ajustement à la loi log-normale des débits instantanés annuels, station de Foum El Gues	136
Figure. V.8: Hyétogramme et hydrogramme journalier du 23Mars 1973 MIREBECK	140
Figure. V.9: Évolution horaire de la crue du 23Mars 1973 MIREBECK	140
Figure. V.10 : Hyétogramme et hydrogramme , crue 30 december1984 6 Janvier1985. Station El Khnag+ Grarem	141
Figure. V.11: Évolution horaire de la crue du 28Décember / 6 Janvier1985. Station El Khnag+ Grarem	141
Figure. V.12 : Hyétogramme et hydrogramme journalier du 4au7 avril 2003 Medjez Amar II	142
Figure. V.13: Évolution horaire de la crue du 4au7 avril 2003 Medjez Amar II	142
Figure. V.14: Hyétogramme et hydrogramme journalier du13September 1983 Fesdis Oued El Madler	143
Figure. V.15: Évolution horaire de la crue du 13September 1983Fesdis Oued El Madler	143
Figure. V.16: Hyétogramme et hydrogramme journalier du12 Septembre 2004 station Timgad Oued Chemora	143
Figure. V.17: Évolution horaire de la crue du 12September 2004 station Timgad Oued Chemora	144
Figure. V.18: Hyétogramme et hydrogramme journalier du8 october1999 Sidi Ouadah	144
Figure. V.19: Évolution horaire de la crue du 8 october1999 Sidi Ouadah	144
Figure. V.20: Les débits maximaux journaliers de la période 76/89 Annaba	145
Figure. V.21: Crue du 29décembre 1984 au 3 janvier 1985.	145
Figure. V.22: Hydrogramme de la Crue du 13 au 15 janvier1984.	146
Figure. V.23: Hydrogramme de la Crue du 5au 6 février 1984.	146
Figure. V.24: Les débits maximaux journaliers de la période 74/89 Biskra	147
Figure. V.:25: Hydrogramme de la Crue du 22 décembre 1981.	147
Figure. V.26: Hydrogramme de la Crue du 31 Octobre 1982.	148
Figure. V.27: Hydrogramme de la Crue du29 août 1984	148
Figure. V.28: Hydrogramme de la Crue du30septembre 1986 et 1 septembre 1989.	148
Figure. VI.1: Ville de Annaba et Biskra	152
Figure. VI.2: Le sous Bassin versant de Annaba	153
Figure. VI.3 : Carte des altitudes du bassin versant de Annaba	155
Figure. VI.4 : Carte des pentes du bassin versant de Annaba	156
Figure. VI.5: Courbe topographique du bassin versant de la ville de Annaba	156
Figure. VI.6 : Carte des pentes du bassin versant de Biskra	157

Figure. VI.7 : Carte des altitudes du bassin versant de Biskra	158
Figure. VI.8 : La carte de lithologie du bassin versant de Annaba	159
Figure. VI.9 : Carte lithologique du bassin versant de Biskra	160
Figure. VI.10 : Carte du couvert végétal de la ville de Annaba	161
Figure. VI.11 : Carte de couverture végétale Biskra	162
Figure. VI.12 : Ajustement des PJmax à une loi de probabilité de Galton(Annaba)	164
Figure. VI.13 : Ajustement des PJ max à une loi de probabilité de Galton (Medina El anser)	164
Figure. VI.14: Inondation du 13 au 15/12/2005	167
Figure. VI.15: Inondation de la 24/09/2009	167
Figure. VI.16: Annaba : Zones touchées par les inondations du 24 au 26 Janvier 2019	168
Figure. VI.17 : Vue globale d'El Bouni, à partir de l'imagerie satellitaire Aalst-2B (Fausses couleurs) 22 septembre 2017	168
Figure. VI.18 : Vue globale d'El Bouni, à partir de l'imagerie satellitaire Aalst-2A (Fausses couleurs): 02 Février 20	168
Figure. VI.19: Simulation des hydrogrammes des crues décennale, cinquantennale et centennale à la station de Kouba, Forcha, Sidi Harba, Bouhdid et Boudjamaa	172
Figure. VI.20 : Simulation des hydrogrammes des crue décennale, cinquantennale et centennale à la station de Djmoura et El Hai	173
Figure. VI.21: L'extension urbaine de la ville actuellement	176
Figure. VI.22: L'évolution urbaine de la ville d'Annaba.	178
Figure. VI.23: Evolution de l'étalement du bâti de la ville de Annaba: étude diachronique	179
Figure. VI.24: Evolution de l'étalement du bâti de la ville de Biskra: étude diachronique	180
Figure. VI.25: Carte de la vulnérabilité la ville de Annaba	185
Figure. VI.26 : La carte des zones à risque d'inondation « Annaba »	187
Figure. VI.27 : La carte des zones à risque d'inondation « Biskra »	188
Figure. VI.28 : Schéma des principaux termes liés à la notion de risque	189
Figure. VI.29 : Les phases fondamentales de la prévision	189
Figure. VI.30: Mesures structurelles et mesures non structurelles	192
Figure. VI.31: Schéma de circulation de l'information pour la Mise En Etat de vigilance	194
Figure. VI.32 : Le reboisement des berges pour limiter les inondations	195
Figure. VI.33 : L'entretien des cours d'eau	196
Figure VI34 : Vue générale sur la berge restaurée	196
Figure VI.35: Principe du barrage à pertuis ouvert (avec déversoir de crue central)	197
Figure. VI.36 : Images du curage permanent de la ceinture hydrographique	198
Figure VI.37: Oued Kouba - Carte de localisation des aménagements proposés	199

LISTE DES TABLEAUX

Tableau. I.1: Evolution des différents gaz à effet de serre	10
Tableau. I. 2 : Les six scénarios d'émissions SRES	13
Tableau. I.3 : Les étages bioclimatiques en Algérie	23
Tableau. II.1 : Les stations pluviométriques retenues	27
Tableau .III.1 : Amplitude des températures annuelles (1980-2018).	63
Tableau. III.2: Comparaison températures des deux périodes	63
Tableau. III.3 : Ecartdes températures moyennes saisonnières (°C) entre les deux périodes 1913-1938 et	70

1980-2018.	
Tableau. III.4: Les valeurs du quotient d'Emberger	71
Tableau. III.5 : Comparaison du Q2 entre deux période ; (1913-1938) et (1990-2011)	72
Tableau. IV.1 : Précipitations annuelles fréquentielles, stations du N-E algérien (1969/1970-2012/2013)	80
Tableau. IV.2 : Pluies journalières maximales fréquentielles N-E (1969/2012)	83
Tableau. .IV.3 : Régime pluviométrique saisonnier N-E Algérien (1969/70_2012/13)	87
Tableau.IV.4 : Distribution de fréquence de classe de 1 mm du nombre de jours pluvieux Annaba	91
Tableau. IV.5 : Valeurs des indices CII des 22 stations sur la période N-E Algérie 1980-2012.	93
Tableau. IV.6 : Analyse des corrélations avec les valeurs de r de Pearson et p-valeur entre l'indice de concentration de précipitation (CII) et les facteurs géographiques	94
Tableau. IV.7 : Les résultats des corrélations avec les valeurs r de Pearson et p-valeur	96
Tableau. IV.8: Débits moyens annuels (m ³ /s) et durée de récurrence (années) loi de Galton, N-E algérien	104
Tableau. IV.9: Hydraulicité des cours d'eau observés sur 14 stations(1973-74 à 1993-94)	105
Tableau. IV.10: Bilans hydrologiques annuels moyens (période moyenne :1973-74 / 2004/05)	109
Tableau .V.1 : Typologie génétique des inondations dans le monde	125
Tableau. V.2 : Les inondations les plus coûteuses entre 1980 et 2008	127
Tableau.V.3 : L'historique des inondations et leurs dégâts	130
Tableau. V.4 : Crues maximums probables dans le Nord-est	138
Tableau. V.5: Valeurs de Q maximaux moyens journaliers et instantanés	139
Tableau. VI.1 : Variabilité des pluies annuelles	163
Tableau. VI.2 : Précipitations annuelles fréquentielles (mm)	164
Tableau. VI.3: Fréquence de retour des pluies en lien avec les inondations a Annaba	165
Tableau. VI.4: Inondations enregistrées et les PJ MAX calculées a Annaba.	166
Tableau. VI.5: Inondations enregistrées et les PJ MAX calculées a Biskra.	169
Tableau. VI.6 : Modèles de prédétermination des débits de crue (débits instantanés et journaliers maximums) pour les différents temps de retour	170
Tableau.VI.7 : Les valeurs des débits de crue (débits instantanés et journaliers maximums) pour les différents temps de retour (Annaba)	171
Tableau. VI.8 : Les valeurs des débits de crue (débits instantanés et journaliers maximums) pour les différents temps de retour (Biskra)	171
Tableau. VI.9: Caractéristiques potentielles de la crue de projet	173
Tableau. VI.10: Evolution de la population de la ville de Biskra	174
Tableau. VI.11: Evolution de la population de la ville de Annaba	174
Tableau. VI.12: Les projets futurs d'Annaba	179
Tableau. VI.13: Les données pour l'établissement de l'indice de vulnérabilité aux inondations	182
Tableau. VI.14 : Les résultats de l'analyse de l'indice de vulnérabilité aux inondations	184
Tableau.VI.15 : Identification des zones inondables dans le périmètre de la ville Annaba	184
Tableau. VI.16 : Identification des zones inondables dans le périmètre de la ville Biskra	185
Tableau. VI.17: Les seuils sélectionnés	185

Annexes 1 : Moyenne, écart-type, et coefficient de variation des séries
Pluviométriques (1969/1970-2012/2013)

Station		Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
30205 Ain Roua	P	43,2	41,2	57,6	84,7	75,3	68,8	66,7	64,6	48,9	17,6	9,93	12,6	591
	Δ	29,3	28,1	35,2	53,9	50,6	42,2	42,1	36,7	32,8	18,2	13,2	9,55	124
	C.V	0,68	0,68	0,61	0,64	0,67	0,61	0,63	0,57	0,67	1,03	1,33	0,76	0,2
30204	P	36,7	40,4	59,6	96,5	83	81,6	67,4	61,2	43,5	15,3	5,38	12,3	603
	Δ	26,5	36,9	45,4	79,7	61,5	67,7	43,7	36,4	28,3	16,6	10,9	15,3	173
	C.V	0,72	0,91	0,76	0,83	0,74	0,83	0,65	0,59	0,65	1,08	2,03	1,25	0,3
03110 6 Azzaba (Pepénier)	P	27,7	54,8	81,6	103	98,2	92,7	67,1	51,4	26	7,17	1,21	3,59	615
	Δ	26,1	45,2	64	70,8	55,4	64,4	41,1	39,6	24,3	9,73	2,97	5,58	164
	C.V	0,94	0,82	0,78	0,69	0,56	0,69	0,61	0,77	0,93	1,36	2,44	1,55	0,3
031105 Bouati Mahmoud	P	40,2	58,7	75,4	98,4	98,1	87,3	80,5	60,9	48	15,7	4,36	10,1	678
	Δ	37,5	43,9	63,5	75	58,8	55,2	47,6	36,4	41,7	18,2	8,57	13,6	169
	C.V	0,93	0,75	0,84	0,76	0,6	0,63	0,59	0,6	0,87	1,16	1,97	1,34	0,3
030302 Texenna	P	61,1	102	155	193	145	132	135	110	60,7	21,2	9,65	11,1	1200
	Δ	54,2	64,8	89,1	124	95,6	83,4	94,7	64	47,8	27,2	22,3	23,9	276
	C.V	0,89	0,64	0,58	0,64	0,66	0,63	0,7	0,58	0,79	1,28	2,31	2,15	0,2
030104 Domaine Dehas	P	38,3	64,7	89,3	114	93,3	80,5	71,6	54,9	40,3	9,28	4,74	7,22	668
	Δ	41,5	51,2	58,5	88,4	64,4	54,7	47	30,9	37,9	11,9	10,2	10,4	159
	C.V	1,08	0,79	0,66	0,77	0,69	0,68	0,66	0,56	0,94	1,28	2,15	1,45	0,2
030301jijel Secteur	P	54,2	89	140	162	128	113	90,6	76,7	41,6	11	2,78	12,9	921
	Δ	45,3	62,9	86,6	97,2	76,5	88,7	56,7	46,1	37,7	13,7	4,86	28,1	213
	C.V	0,83	0,71	0,62	0,6	0,6	0,79	0,63	0,6	0,91	1,25	1,75	2,18	0,2
031601 Ain El Assel	P	48,6	89,2	124	124	115	97,9	80,9	75,7	38,2	14,2	3,02	8,24	819
	Δ	33,6	58,8	77,8	72,5	60,4	53,9	51,2	50,6	28,7	15,1	5,97	12,2	171
	C.V	0,69	0,66	0,63	0,58	0,52	0,55	0,63	0,67	0,75	1,06	1,98	1,48	0,2
31503bouhadjar (Bordj Djilet)	P	29,2	57,9	59,8	71,6	63,9	85,1	76,1	63,4	39,1	15,7	2,38	9,65	574
	Δ	32,4	37,7	184	179	172	61,7	54,5	43,4	37,4	22	6,38	16,3	200
	C.V	1,11	0,65	3,08	2,49	2,69	0,72	0,72	0,68	0,96	1,4	2,69	1,69	0,35
140109ain Babouche	P	32	13,9	27	33,4	26,4	25,8	26,3	27,8	26	8,04	1,58	8,65	257
	Δ	34,5	15	29,2	39,3	27	26,6	23,2	25,4	28,2	15,4	4,45	17,7	98
	C.V	1,08	1,09	1,08	1,18	1,02	1,03	0,88	0,91	1,08	1,92	2,81	2,05	0,4
140505 Bouchegouf	P	34,6	46,9	56,5	69,5	76,2	62,4	70,1	58,6	41,4	13,8	3,41	12,9	546
	Δ	30,5	38,2	44,2	45,3	47,7	43,5	44,9	36,5	38,7	17,2	6,18	16,5	146
	C.V	0,88	0,81	0,78	0,65	0,63	0,7	0,64	0,62	0,94	1,25	1,81	1,28	0,3
140503 Hammam Nbails	P	32,7	58,2	65,1	86,2	98,8	86,5	90,9	75,7	48,3	16,9	1,74	11,4	672
	Δ	28,2	52,6	47,2	75	65,2	64	55,7	50	53,5	22,8	3,67	16,1	209
	C.V	0,86	0,9	0,73	0,87	0,66	0,74	0,61	0,66	1,11	1,35	2,1	1,41	0,3
140412guelma	P	32	44,9	57,6	76,1	65	58,7	56,4	52,7	42,8	16,2	3,28	8,47	514
	Δ	30,5	31,9	47,5	52,2	41,4	46,9	35,8	35,3	32,7	17,8	6,27	12,1	148
	C.V	0,95	0,71	0,82	0,69	0,64	0,8	0,63	0,67	0,76	1,1	1,91	1,43	0,3
140609el Kerma	P	36,5	48,9	70	99	93,3	71,6	60,2	65,1	33,1	13,1	1,51	7,95	600
	Δ	41,5	38,3	52,7	56,9	58,8	53	48,8	47,5	24	16,5	2,82	11,2	187
	C.V	1,14	0,78	0,75	0,57	0,63	0,74	0,81	0,73	0,73	1,26	1,87	1,41	0,3
140606ain Berda	P	36,7	54,5	76,5	90,1	95,6	68,9	69,5	61,9	40,3	13,3	2,23	7,08	617
	Δ	29	40,3	56,1	54	47,6	37,5	44,9	38,8	32,5	14,9	4,76	9,25	128
	C.V	0,79	0,74	0,73	0,6	0,5	0,54	0,65	0,63	0,81	1,12	2,14	1,31	0,2
14 0605 Nechmeya	P	28,6	30	51,8	77,2	73,4	67,8	71,2	51,1	37,2	11,8	3,31	9,46	513
	Δ	20,7	21,5	43,8	60,3	54,3	50,3	50,6	41,7	44,4	18,3	6,53	11,3	178
	C.V	0,72	0,72	0,85	0,78	0,74	0,74	0,71	0,82	1,19	1,55	1,97	1,19	0,4
100401 Boumalek M.C.	P	36,2	39,4	53,4	76	77,8	62,9	61,3	56,6	43,1	15,7	6,58	14,1	543
	Δ	26,8	33,2	47,9	70,8	65,5	46,9	38	42,8	31,5	17,7	10,4	14	226
	C.V	0,74	0,84	0,9	0,93	0,84	0,75	0,62	0,76	0,73	1,13	1,59	0,99	0,4
100603 Hamma Bouziane	P	39,6	47,8	50,6	73,9	72,6	60,7	61,1	54	43,6	16	4,49	9,52	534
	Δ	31,3	39	40,8	56,9	50,6	44,6	35,8	33,8	30	14,6	7,48	9,01	117
	C.V	0,79	0,82	0,81	0,77	0,7	0,73	0,59	0,63	0,69	0,92	1,66	0,95	0,2
100711 Settara	P	46,4	82,7	122	153	130	120	105	84,7	47,4	14	2,89	6,29	916
	Δ	52,2	54,8	89,9	92,9	82,2	78	62	58,1	34,6	18,7	8,64	10,8	212
	C.V	1,13	0,66	0,74	0,61	0,63	0,65	0,59	0,69	0,73	1,33	2,99	1,72	0,2

100511 Fourchi	P	41,3	28,3	29,6	36,7	34,2	38,6	40,7	42,5	44,1	18,1	8,37	19,9	382
	Δ	43	19,7	29,2	32,8	31,5	34,1	22	31,1	28,8	19,5	11	25,9	128
	C.V	1,04	0,7	0,99	0,89	0,92	0,88	0,54	0,73	0,65	1,08	1,31	1,3	0,3
100208 Koudiat Tendart	P	39,1	35,9	43,8	61,1	57,9	46,8	52,4	48	42,9	17,7	7,43	13,7	472
	Δ	30,5	29,5	36,5	42	40,4	31,3	31,4	31,2	28,8	18,2	11,1	10,8	111
	C.V	0,78	0,82	0,83	0,69	0,7	0,67	0,6	0,65	0,67	1,03	1,49	0,79	0,2
150801	P	29,5	24,4	31	35,4	33	28,4	33,7	39,7	34,9	16,2	3,17	8,81	318
	Δ	27,4	22	23,8	27,3	32,5	22,5	27,2	25,3	33,9	12,9	9,49	13,7	89
	C.V	0,93	0,9	0,77	0,77	0,99	0,79	0,81	0,64	0,97	0,8	2,99	1,56	0,3
150707	P	25,3	30,4	37	45,9	45,6	33,4	33	36,2	28,9	8,36	4,5	5,06	333
	Δ	21,9	25,2	24,3	39,3	39,6	24,3	24,1	28,4	28,4	8,93	9,14	9,72	109
	C.V	0,87	0,83	0,66	0,86	0,87	0,73	0,73	0,79	0,98	1,07	2,03	1,92	0,3
150204	P	23,6	28,6	35,4	42,4	46,3	35,1	10,9	35,9	28,9	8,61	4,29	5,24	305
	Δ	20,4	21,5	22,6	35,4	40,5	27,1	158	28,3	28,4	9,05	9,13	9,65	187
	C.V	0,86	0,75	0,64	0,84	0,87	0,77	14,4	0,79	0,98	1,05	2,13	1,84	0,6
150208 Bouira	P	32,1	32,4	47,2	65,3	62,5	49,1	48,2	46,2	35,7	12,4	6,89	10,1	448
	Δ	25,1	23,1	29,9	47,1	50,9	35,5	46,7	31,2	31,8	12,5	14,4	10,1	130
	C.V	0,78	0,71	0,63	0,72	0,81	0,72	0,97	0,67	0,89	1,01	2,09	1	0,3
120301	P	40,8	33,6	29,4	26,5	30,8	26,8	40,2	35,4	36,8	27,5	14,1	23,2	365
	Δ	34	28,4	28,3	27,5	28,4	24,9	34	30,5	22,5	25,3	17,1	23,1	120
	C.V	0,83	0,84	0,96	1,04	0,92	0,93	0,85	0,86	0,61	0,92	1,21	0,99	0,3
120101souk Ahras Subd.	P	32,3	40,5	51,9	73	78	66,2	69,4	58,9	44,1	15,8	7,13	15,3	553
	Δ	28,1	31,6	48,7	64,3	65,3	67,4	47,5	47,8	38	20,1	12,8	22,8	185
	C.V	0,87	0,78	0,94	0,88	0,84	1,02	0,68	0,81	0,86	1,28	1,79	1,49	0,3
120403mdaourouch	P	28,8	26,2	31,9	38,1	38,7	37,8	38,8	41,9	35,3	16,6	7,32	15,2	356
	Δ	25,9	20,5	34,8	33,1	37,2	32	32,7	28,9	30,3	18,4	9,86	16,6	117
	C.V	0,9	0,78	1,09	0,87	0,96	0,84	0,84	0,69	0,86	1,11	1,35	1,09	0,3
120202 Dhala	P	28,4	25,5	33,5	36,4	38,5	37,8	38,7	41,6	35,1	16,5	7,16	15,2	354
	Δ	25,9	20,1	36,5	31,7	37,3	32	32,7	28,8	30,2	18,2	9,92	16,6	120
	C.V	0,91	0,79	1,09	0,87	0,97	0,84	0,85	0,69	0,86	1,11	1,39	1,1	0,3
120201 Meskiana	P	27,8	22,9	19,8	22,1	25,1	20,3	29,9	28,1	35,5	20,8	4,95	14,1	271
	Δ	27,3	24,9	18	22,8	26,1	21,6	25,6	21,1	37,1	28,8	9,68	18,7	99
	C.V	0,98	1,09	0,91	1,03	1,04	1,06	0,86	0,75	1,05	1,38	1,95	1,33	0,4
051201 Merouana	P	31	32,2	30,7	41	33,6	31	44,4	41,5	45,1	18,5	4,46	9,54	363
	Δ	25,9	28,7	25,9	32,1	29,8	21,7	28,7	30,6	33,1	19	7,47	10,9	104
	C.V	0,84	0,89	0,84	0,78	0,89	0,7	0,65	0,74	0,73	1,03	1,68	1,14	0,3
051306ngaous	P	32,1	28,9	27,6	26,6	25,3	20	25,8	30	25	9,04	2,85	8,68	262
	Δ	30,2	32	30,8	26,9	24,9	17,6	22,4	29,5	31,2	13,3	8,96	13,7	134
	C.V	0,94	1,1	1,11	1,01	0,98	0,88	0,87	0,98	1,25	1,48	3,14	1,58	0,5
51203 Oued El Ma	P	30,3	27	23,8	22,4	21,5	18,1	26,3	27,9	24,2	10,3	2,91	7,22	242
	Δ	28,8	30,3	23,4	18,2	22,5	15,7	22,7	27,3	30,2	14,6	8,95	11	104
	C.V	0,95	1,12	0,98	0,81	1,05	0,87	0,86	0,98	1,25	1,41	3,08	1,52	0,4
05 1111sidi Ouadah	P	14,1	25,8	30,3	31,7	28,2	23,7	26,8	22,2	21,3	6,29	2,03	6,03	238
	Δ	11,3	17,5	22,8	13,7	14,9	11	26,7	13	25,1	8,3	4,03	7,41	43
	C.V	0,8	0,68	0,75	0,43	0,53	0,47	1	0,59	1,18	1,32	1,99	1,23	0,2
051206 Cherf El Ain	P	26,5	30,9	28,4	36,4	34	25,3	32	34,2	28	14,9	4,45	10	305
	Δ	23,2	33,3	25,9	32,4	27,3	18,9	22,2	29,9	25	13,7	6,64	12,4	108
	C.V	0,87	1,08	0,91	0,89	0,8	0,75	0,69	0,87	0,89	0,92	1,49	1,24	0,4
050101 Ain Nessissa	P	28,9	21,6	22,3	19,9	24,2	19	23,8	23,5	23,1	11,2	3,05	7,63	228
	Δ	30,7	19,5	17,3	21,9	25	16,7	21,9	17,8	21,2	13,2	6,39	12,4	83
	C.V	1,06	0,9	0,78	1,1	1,03	0,88	0,92	0,76	0,92	1,18	2,09	1,63	0,4
070604yabous	P	39,7	27,3	36,6	32,8	32,2	29,9	44,5	38	43,4	20,8	12,2	20,6	378
	Δ	30	26,2	38	33,6	32	27,7	32,1	32,4	37	20,4	18,4	25,7	128
	C.V	0,76	0,96	1,04	1,03	0,99	0,93	0,72	0,85	0,85	0,98	1,51	1,25	0,3
070502boulhilet	P	19,3	17	13,6	17,5	21,7	19,2	21,6	19,7	23,4	11,3	3,01	8,41	196
	Δ	19,1	24,6	15,1	19,7	26,1	24,6	20,5	17,3	24,6	14,9	6,18	13,3	97
	C.V	0,99	1,44	1,11	1,12	1,21	1,28	0,95	0,88	1,05	1,32	2,05	1,58	0,5
070201 Ain Djasser	P	30,6	23,6	22,2	27,9	26,1	22	27,5	34,6	33,4	13,7	5,22	10,8	278
	Δ	24,3	23,9	20,4	32,2	25,8	19,1	18,3	26,6	28,4	16,3	11,1	14,9	84
	C.V	0,79	1,01	0,92	1,16	0,99	0,87	0,66	0,77	0,85	1,19	2,12	1,38	0,3
70303 Tazoult	P	37,4	30,2	37	34,6	35,9	31,4	41	41,6	39,4	19,7	5,41	16,4	370

	Δ	37,6	26,9	32	26,4	30,1	23,1	27,9	31,4	32,8	15,8	7,33	22,6	108
	C.V	1,01	0,89	0,86	0,76	0,84	0,74	0,68	0,76	0,83	0,8	1,36	1,38	0,3
070304ali Ben Tenoun	P	36,7	26,4	27,3	39,8	31,6	25,2	36,6	34,3	33	18,9	6,68	14	330
	Δ	29,9	26,2	24,9	37,3	34,8	21,7	29,3	27,7	30	20,7	12,5	14,6	116
	C.V	0,81	0,99	0,91	0,94	1,1	0,86	0,8	0,81	0,91	1,09	1,87	1,04	0,4
70308hamla	P	31,1	26,1	36,3	34,3	38,3	31,6	32	41,7	31,3	14,6	3,37	6,63	327
	Δ	27,4	25,9	30,4	29	35	30,7	28,5	33	27,7	15	6,14	9,4	120
	C.V	0,88	0,99	0,84	0,85	0,91	0,97	0,89	0,79	0,89	1,03	1,82	1,42	0,4
70305segane	P	41,7	35,8	45,2	47,9	43,9	36,4	52,3	49,3	41,5	23	10,5	13,7	441
	Δ	28,4	31,8	45,6	39,6	35,1	27,9	41,8	34,7	37,4	25,9	15,8	17,1	144
	C.V	0,68	0,89	1,01	0,83	0,8	0,77	0,8	0,7	0,9	1,13	1,5	1,24	0,3
070306 Ain Yagout	P	34,6	26,3	26	31,2	29	27,7	35,7	35,9	40,3	19,2	5,63	15,6	327
	Δ	25,1	24,8	24,1	26,4	25	24,1	24,6	24,2	36,2	17	8,33	20,8	93
	C.V	0,73	0,94	0,93	0,84	0,86	0,87	0,69	0,67	0,9	0,88	1,48	1,34	0,3
70316batna	P	43,8	30	35,5	35,9	31,4	29,5	39,4	39,8	38,1	22	9,48	15,7	371
	Δ	30,8	25,8	29,1	27,5	27,1	21,6	25,5	29,2	30,3	20,2	13,1	13,6	106
	C.V	0,7	0,86	0,82	0,77	0,86	0,73	0,65	0,73	0,8	0,92	1,38	0,87	0,3
70322les Lacs	P	26,1	26	21,6	28,5	34,8	28,7	28	32,2	31,7	15,7	4,24	10	287
	Δ	23,9	32,5	17,6	24,6	31,2	24,8	22,6	25,9	26,8	17,5	7,11	12,7	141
	C.V	0,91	1,25	0,82	0,86	0,9	0,86	0,8	0,8	0,85	1,11	1,68	1,26	0,5
070410 Sidi Mancar	P	33,4	23,8	30,9	29,2	37,1	26,1	33,5	35,7	32,7	21,1	7,73	14,9	326
	Δ	29,3	22,6	26,7	24,6	37,9	19,8	23,2	25	30,2	24,9	9,24	18,6	105
	C.V	0,88	0,95	0,87	0,84	1,02	0,76	0,69	0,7	0,92	1,18	1,19	1,25	0,3
061211oued Chelih	P	35	26,9	32,8	35,3	29,4	28	33,3	33,5	28	12,5	5,57	12,5	313
	Δ	27,4	25,1	28,7	28,8	23,9	23,1	24,2	24,7	26,7	13,7	9,22	18,7	108
	C.V	0,78	0,93	0,88	0,82	0,81	0,82	0,73	0,74	0,96	1,09	1,65	1,5	0,4
061305 Djemorah	P	12,6	12,8	14,8	19,1	19,8	14,2	14,9	17,7	13,2	3,98	0,73	4,96	149
	Δ	17,6	18,1	15,8	32,4	37,5	13,5	17,8	24,1	20	7,48	2,65	8,91	76
	C.V	1,4	1,42	1,07	1,7	1,89	0,95	1,2	1,36	1,52	1,88	3,61	1,8	0,5
61416	P	12,8	11,4	16,3	8,94	17,3	9,84	18,1	15,5	11,8	4,81	0,69	2,36	130
	Δ	15,9	14,1	18,3	12	23,2	12,5	24,4	19,7	15,8	7,83	1,29	3,96	66
	C.V	1,24	1,24	1,12	1,34	1,34	1,27	1,35	1,27	1,34	1,63	1,87	1,68	0,5
61503medina Lan Asseur	P	46,8	38,4	41,8	41	37,5	33	46,7	41,4	46	26,5	13,6	30,7	443
	Δ	40,7	32,5	36,8	39,1	29,2	27	35,7	30,6	42,5	28	21,9	32,1	148
	C.V	0,87	0,85	0,88	0,96	0,78	0,82	0,77	0,74	0,92	1,05	1,6	1,04	0,3
061601foum El Gherza Bge	P	10,1	9,74	13,1	8,22	12,1	9,19	14,9	12,8	7,8	4,51	0,38	2,51	105
	Δ	12,3	12,9	15,1	10,3	20,3	11,1	18,7	17	11,3	8,26	1,48	5,55	46
	C.V	1,21	1,33	1,15	1,26	1,67	1,2	1,26	1,33	1,45	1,83	3,86	2,22	0,4
61804	P	39,5	37,2	27,7	22	21,2	25,8	37,6	30,6	33,9	21,7	13,9	23,7	335
	Δ	35,2	37,5	24,2	23,9	24	23,6	30,2	29,3	33,5	20,5	17,3	23,5	124
	C.V	0,89	1,01	0,87	1,08	1,13	0,92	0,8	0,96	0,99	0,95	1,24	0,99	0,61
62308	P	19,4	16,9	13,8	13,5	12,2	14,5	19,3	14,3	22	16,2	6,63	7,22	176
	Δ	17,6	12	15,3	13,2	13	18,6	22,3	13,9	22,5	21,1	12,6	10,6	78
	C.V	0,9	0,71	1,11	0,98	1,06	1,28	1,15	0,97	1,02	1,3	1,9	1,47	0,5
62702	P	12,9	25,8	30,2	31,8	29,5	24,9	26	22	19,9	5,94	2,02	5,62	236
	Δ	11,3	17,5	22,8	14	15,5	13,1	26,7	13,5	25,3	8,2	4,15	7,46	45
	C.V	0,87	0,68	0,76	0,44	0,52	0,53	1,03	0,62	1,27	1,38	2,06	1,33	0,2

Annex.2 : Les données mensuelles de la série de Seltzer

Max	Bedjaia	Jijil	Annaba	Constantine	Guelma	Souk_ahras	Bbarreridj	Batna	Milla	Tebessa	Biskra
Jan	15,7	14,9	14,6	11,3	14,3	10,2	10	9,5	9,9	10,3	16,1
Fév	17,1	15,9	15,6	13,3	15,5	12,3	12	11,5	10,3	12,3	18,3
Mar	19,1	17,8	17,7	15,8	18,5	15,1	14,9	14,3	14,8	16,1	21,7
Avr	21,1	19,9	19,7	18,9	21,4	20,1	19,8	18,9	19,4	20,8	26,1
Mai	21,6	22,6	22,7	23,1	25,4	23,8	24,7	23,6	22,1	25,2	30,8
Jui	29,4	26,3	26,2	28	30,3	28,7	30,8	28,9	29,2	31	36,2
Juil	29,9	29,3	30,3	32,8	34,9	33,4	35,6	33,2	33,2	34,8	40,1
Aout	30,2	30,2	29,3	32,8	35,4	33,4	34,4	32,3	32,8	34,1	39,1
Sept	29,9	28,4	27,6	29,2	31,9	29,3	29,9	27,7	27,9	29,2	34,6
Oct	25,5	24,3	24,1	22,7	26,7	23	22,8	21,2	21,2	21,8	27,7
Nov	20,2	19,7	20,2	17	19,8	17,1	14,9	15	14,8	10	21
Déc	15,8	16	16,5	12,1	15,8	12,3	10,7	10,7	10,6	11,5	16,7

Annex 3 : Distribution de fréquence de classe de 1 mm du nombre de jours pluvieux dans les station du Nord Est Algérien

COD	NOM	X	Y	Z	La distance de la mer	N jours	CI1=	A	B
20902	Yakourene	655200	382150	820	20,3	99	0,62	0,03	0,03
30705	Bou Halloufa	856350	382250	165	30,7	30	0,54	0,06	0,03
30908	Emdjez Chich	866600	386100	104	27,7	63	0,42	0,25	0,01
50701	Chellal	653150	248000	410	161,5	39	0,50	0,09	0,02
50905	Bb Arreridj	676400	310600	890	90,9	44	0,58	0,04	0,03
51203	Oued El Ma	798250	265750	1001	140,3	52	0,52	0,08	0,03
61211	Oued Chelih	799400	252600	1180	194,4	48	0,52	0,09	0,02
61416	Biskra Secteur	776100	178200	130	217,1	40	0,53	0,08	0,02
61503	Medina Lanasser	846800	231100	1451	183,1	60	0,43	0,01	0,22
70322	Les Lacs	843200	294100	790	133,2	47	0,56	0,05	0,03
70410	Sidi Mancar	833700	253250	1112	172,2	48	0,53	0,08	0,03
100620	El Kheneg	838500	357450	300	69,9	60	0,54	0,06	0,03
100711	Settara	825100	385900	280	35,2	74	0,52	0,07	0,03
120105	Taoura	980550	331550	850	115,5	52	0,54	0,07	0,03
120202	Dhalaa	940850	250400	980	168,9	47	0,53	0,08	0,02
140412	Guelma	937288	387737	260	30,8	55	0,56	0,05	0,03
140606	Ain Berda	937288	387737	114	65,0	66	0,57	0,05	0,03
150801	Sidi Embarek	699150	313800	1011	80,4	53	0,47	0,10	0,02
151111	Sidi Ouadah	721500	268750	720	108,1	43	0,53	0,08	0,02
ONM	Annaba	36° 50'	7° 48'	3	0,9	60	0,60	0,03	0,03
31106	Azzaba Pepiniere	7,1875	36,686901	205	20	60	0,62	0,02	0,04
30504	Taher	5,9375	36,686901	384	10	67	0,68	0,01	0,05

Annexe.4 : PCI dans le Nord-est Algérien

PCI	Yakourene	Bou Halloufa	Emdjez Chich	Chellal (Hodnet)	Bb Arreidj	Oued El Ma	Oued Chelih	Biskra Secteur	Medina Lanasser	Les Lacs	Sidi Mancar	El Kheneg	Settara	Taoura	Dhalaa	Guelma	Ain Berda	Sidi Embarek	Sidi Ouadah	Annaba Azzaba	Pepiniere
1980	18	14	17	13	12	21	18	21	16	21	19	14	16	12	16	16	13	16	12	15	13
1981	15	12	14	14	12	17	13	37	15	20	16	14	16	14	14	13	15	11	12	16	10
1982	16	18	15	18	17	14	21	27	25	26	16	13	20	17	19	19	15	12	16	20	12
1983	14	20	16	32	12	37	18	19	15	28	21	16	14	22	18	17	14	15	13	15	12
1984	15	25	12	14	13	13	15	21	16	21	17	18	23	11	12	18	16	14	12	15	15
1985	19	17	15	13	13	17	14	26	13	33	14	21	20	15	13	14	12	28	12	20	14
1986	28	14	14	15	14	18	11	13	12	15	13	13	14	14	15	12	16	13	12	14	12
1987	19	15	14	14	15	13	17	20	13	16	12	16	15	12	10	13	16	13	11	15	12
1988	15	18	19	19	16	17	17	17	15	16	19	16	17	12	20	12	16	15	17	13	11
1989	14	15	14	15	10	12	17	17	16	16	13	10	14	11	13	16	14	15	16	15	10
1990	21	18	16	18	12	16	17	24	15	13	15	19	19	11	12	14	19	13	12	15	11
1991	14	15	12	21	19	17	14	16	11	12	15	14	16	11	10	15	14	16	14	16	11
1992	15	14	15	20	14	15	14	31	12	12	14	17	19	12	13	18	13	11	16	12	12
1993	13	16	18	19	11	15	16	21	14	14	13	15	16	12	12	19	11	15	17	14	13
1994	19	19	20	26	16	15	26	26	13	14	14	16	17	13	12	19	16	25	15	14	18
1995	23	22	17	22	20	17	13	15	13	11	13	17	20	16	18	15	14	17	12	20	11
1996	16	21	16	10	12	11	23	48	15	12	11	17	13	13	14	12	13	13	14	16	11
1997	16	18	16	16	18	13	15	19	11	12	10	13	13	11	12	12	19	13	12	11	15
1998	16	13	17	15	16	14	18	56	13	17	19	11	16	14	17	14	20	19	11	14	13
1999	19	15	20	15	15	14	18	26	17	16	16	17	20	13	12	15	17	14	35	15	13
2000	16	15	17	19	19	34	18	52	16	18	14	14	27	13	13	14	13	22	15	15	13
2001	21	18	20	13	15	18	14	22	14	17	17	16	12	16	18	12	15	21	11	14	15
2002	19	18	14	14	13	20	12	43	14	16	12	16	19	19	21	15	13	25	21	14	16
2003	17	22	16	16	12	12	12	24	10	13	13	16	14	15	17	15	14	24	13	15	16
2004	15	18	16	19	12	13	19	29	19	20	17	12	15	18	14	15	17	30	12	18	12
2005	16	20	20	14	14	14	11	22	17	15	15	14	14	12	15	19	16	13	14	13	16
2006	17	17	16	14	16	19	14	21	14	23	11	18	19	16	11	20	13	28	14	17	15
2007	17	16	21	16	13	17	15	40	15	17	12	19	18	14	15	14	20	22	14	16	14
2008	16	14	16	16	13	27	12	16	12	14	12	13	14	14	23	13	13	15	13	18	11
2009	15	14	16	23	11	17	12	14	11	19	13	15	14	13	14	14	15	15	13	16	13
2010	12	14	15	13	12	39	12	14	14	17	13	10	13	13	17	14	16	12	13	12	13
2011	14	17	16	12	12	14	15	20	21	11	17	13	16	14	14	14	14	14	13	14	13
2012	16	17	16	29	12	18	11	15	12	15	14	13	15	14	17	13	15	15	9	15	13