

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

Département Irrigation et Drainage

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

OPTION : Irrigation et Drainage

THEME :

Impact du changement climatique sur la
fluctuation piézométrique de la nappe de la
Mitidja

Présenté par :

M^r : ALIOUCHE Yaaqoub

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M ^r AZIB Makhoulf	M.C.A	Président
M ^r BENKACI ALI Tarik	M.C.B	Examinateur
M ^{me} SAADOUNE Samra	M.C.B	Examinatrice
M ^{me} MAZOUZI Sabra	M.A.A	Examinatrice
M ^{me} AZIEZ Ouahiba	M.A.A	Promotrice

Juin 2016

Remerciement

*Tous d'abord et avant tout, Je remercie « Allah » de m'avoir donné la volonté
le courage et la santé pour réaliser ce travail de recherche.*

Au terme de cette étude qu'il me soit permis d'exprimer ma profonde gratitude

Envers tous ceux qui m'ont apporté leur aide

J'exprime ma reconnaissance à ma promotrice

Madame AZIEZ OUAHIBA

qui a proposé et accepté de diriger ce travail.

*Je la remercie très chaleureusement pour sa confiance, sa disponibilité,
ses connaissances scientifiques et la qualité de son encadrement.*

Je lui garde tout mon respect.

Mon respect s'adresse aux membres de jury qui me feront

l'honneur d'apprécier ce travail.

Je tiens à exprimer ici mes plus vifs remerciements aux personnels de la

bibliothèque, pour leurs aides et leurs disponibilités.

Je remercie très chaleureusement mes deux sources de lumière,

mon père et ma mère, qui continuent à m'éclairer mon chemin.

À mon père de m'avoir mis sur la voie du progrès,

de la connaissance et de la découverte.

À ma mère pour son extrême douceur.

Je tiens à les remercier profondément pour leur amour et leurs sacrifices.

Que le Tout Puissant me les garde autant que possible.

Merci

ALIUCHE YAAQOUB

Dédicace

Je dédie ce travail :

Avant tout à mes chers parents, pour leur soutien immense qu'ils n'ont cessé de m'apporter ainsi que les conseils qu'ils m'ont prodigué sans lesquels j'avoue je ne serai pas ce que je suis aujourd'hui.

À Ma promotrice Mme AZIEZ Ouahiba

À mes frères : HOUSSEM ET MONSEF, et MA SŒUR MERIEME.

À mes oncles et mes tantes.

À ma toute famille sans exception.

À toutes les meilleures personnes qui m'aiment et qui m'aident dans ma vie, sans oublier ses familles.

À tous mes amies et toute ma famille de l'E.N.S.H.

Et à toute la promotion 2015/2016 de l'hydraulique

À tous et à toutes, je dédie ce travail

ملخص :

خلال السنوات الماضية انخفض مستوى المياه الجوفية في سهل المتيجية وذلك بسبب تزايد عدد السكان السريع وزيادة احتياجاتهم للماء وتأثير ظاهرة التغير المناخي. هذه الحالة مثلت عائقا كبيرا لمخزون المياه الجوفية الحساسة للمنطقة.

تهدف هذه الدراسة الى تسليط الضوء على وجود تغير المناخ الذي يتجلى أساسا في تغير كمية الأمطار وعدم انتظامها في منطقة الدراسة.

لتحقيق هذا الهدف استعملنا العديد من المعطيات (كميات تساقط الامطار ومستوى المياه الجوفية) والوسائل (اختبارات احصائية لتحديد سنوات الانقطاع، مؤشر الأمطار الموحد...)

نتائج هذه الدراسة بينت وجود انقطاعات سنة 2001 تتجلى في تغير في تساقط الامطار وظهور فترات متناوبة للجفاف. كما بينت تأثير هذا التغير على مستوى المياه الجوفية الذي عرف انخفاضا كبيرا.

كلمات مفتاحية: المتيجية ، التغير المناخي ، الجفاف ، مستوى المياه الجوفية ، إنقطاع

Résumé :

La nappe de la Mitidja a connu un rabattement du niveau piézométrique à cause de l'accroissement rapide des populations et de leurs besoins en eau et aux effets des changements climatiques. L'objectif de cette étude vise à mettre en exergue l'existence du changement climatique, manifestée principalement par une variabilité dans la quantité des précipitations et leurs irrégularités au niveau de la plaine étudié et à mettre en évidence son impact sur l'alimentation des réserves d'eaux souterraines, à savoir la nappe phréatique superficielle. Pour atteindre cet objectif, diverses données (pluviométrie et piézométrie) et méthodes (l'indice de précipitation standardisé (SPI), test d'homogénéité et cumul pluviométriques, la statistique Buishand, test de Pettit, méthode bayésienne de Lee Heghnian et procédure de segmentation d'Hubert) ont été employées.

Les résultats de cette étude ont indiqué l'existence des ruptures en 2001 manifestées par des fluctuations des régimes pluviométriques. Ainsi que les symptômes de cette variabilité se répercutent sur les ressources en eau souterraines qui sont en perpétuelle diminution.

Mots clés : Mitidja, changement climatique, sécheresse, niveau piézométrique, rupture.

Abstract:

The aquifer of Mitidja has known a relative decrease in its piezometer level during the last decade because of the influences of the rapid increase in the population and their needs for water and the effect of climate change. This situation represents a strong constrains for the sensitive groundwater in the plain. The aim of this study is to highlight the existence of climate change, manifested primarily by variability in the amount of rainfall and irregularities in the plain studied, and highlight its impact on food of groundwater reserves, in the surface water table. To do this, we used various data (rainfall and piezometry) and methods (the Standardized Precipitation Index (SPI), homogeneity test and cumulative rainfall, Statics Buishand, test Pettit, Bayesian method Lee and Heghnian and procedure Hubert segmentation).The results indicate the existence of a break in 2001 manifested by change in rainfall patterns. The symptoms of this climate change effects groundwater resources.

Key words : Mitidja , climate change, piezometer level, break

Sommaire

Introduction générale :	1
-------------------------	---

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I.1. Introduction :	3
I.2. Définition des concepts :	3
I.2.1. Climat :	3
I.2.2. Système climatique :	3
I.2.3. Variabilité climatique :	4
I.2.4. Changement climatique :	4
I.3. Synthèse des travaux du GIEC et l'indicateur du changement climatique :	5
I.3.1. Présentation du GIEC :	5
I.3.2. Les indicateurs du changement climatique :	6
I.3.2.1. À l'échelle globale :	6
I.3.2.2. A l'échelle régionale (l'Algérie) :	7
I.4. Les causes du changement climatique global :	8
I.4.1. Les causes naturelles :	8
I.4.1.1. L'effet de serre :	8
I.4.1.2. L'activité solaire :	9
I.4.1.3. Les activités volcaniques :	9
I.4.2. Les causes anthropiques :	9
I.5. L'eau et le changement climatiques :	11
I.5.1. Impact du changement climatique sur le cycle hydrologique :	11
I.5.2. Impact du changement climatique sur les eaux de surface :	12
I.5.3. Impact du changement climatique sur les eaux souterraines :	12
I.6. La modélisation du climat :	13
I.6.1. Définition et historique :	13
I.6.2. Modélisation d'impact :	14
I.6.3. Les scénarios d'émission :	15
I.6.4. Notion d'incertitude :	17
I.7. Conclusion :	18

Chapitre II : Outils et méthodologie

II.1. Introduction :	20
II.2. Cadre physique du milieu :	20
II.2.1. Situation géographique :	20
II.2.2. Morphologie de la plaine de la Mitidja :	21
II.2.3. Contexte géologique et hydrogéologique :	21

II.3. Disponibilité et traitement des données :	23
II.3.1. Choix des stations représentatives :	23
II.3.2. Critique et traitement de donnée :	23
II.3.2.1. Comblement des lacunes :	24
II.3.2.2. Etude d'homogénéité des séries :	25
II.4. Méthodologie :	26
II.4.1. Détection de la rupture au sein de la série pluviométrique :	26
II.4.1.1. Teste de Pettit :	27
II.4.1.2. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian (1977):	28
II.4.1.3. Statique U de Buishand (1982 ; 1984):	28
II.4.1.4. Test de segmentation d'Hubert (1989):	29
II.4.2. Calcul et suivre de l'évolution des indices climatiques :	29
II.4.2.1. Domaine d'application :	30
II.4.2.2. Définition de la sécheresse :	30
II.4.2.3. Les indices climatiques :	30
II.4.3. Evolution temporelle de la piézométrie :	32
II.5. Conclusion :	33

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Introduction :	34
III.2. Critique visuelle des données :	34
III.3. Etude d'homogénéité :	34
III.4. Evolution pluviométrique :	36
III.4.1. À l'échelle mensuelle :	36
III.4.2. À l'échelle annuelle :	36
III.5. Détection de ruptures aux seins des séries de précipitations annuelles :	37
III.6. Evolution des indices climatique :	40
III.6.1. Méthode cumuls des écarts à la moyenne :	40
III.6.1.1. Station Chifa :	40
III.6.1.1. Station Larbaa :	40
III.6.1.2. Station Hamiz :	41
III.6.1.3. Station Reghaia :	42
III.6.2. Variation de l'indice de précipitations standardisé (SPI) :	42
III.7. Evolution du niveau de la nappe :	44
III.8. Conclusion :	48
Conclusion générale :	49
Référence bibliographie :	

Liste des figures

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Figure I. 1 les composantes du système climatique.....	4
Figure I. 2. Les indicateurs du changement climatique à l'échelle globale	6
Figure I. 3. Evolution des températures moyennes annuelles de l'Algérie	7
Figure I. 4. Evolution des totaux annuels de précipitations de l'Algérie.....	7
Figure I. 5. Processus de l'effet de serre	8
Figure I. 6. Le pourcentage des gaz à effet de serre de l'atmosphère	10
Figure I. 7. L'évolution de concentration des GES dans l'atmosphère	10
Figure I. 8. L'évolution de la concentration du CO2 en Algérie	11
Figure I. 9. La modélisation du climat	13
Figure I. 10. Les différentes étapes d'une modélisation d'impact du changement climatique.....	15
Figure I. 11. Comparaison entre les différents scénarios	16
Figure I. 12. La cascade des incertitudes caractéristique d'une étude des impacts du changement climatique. ...	18

Chapitre II : Outils et méthodologie

Figure II. 1 : Carte de situation géographique de la plaine de la Mitidja.....	21
Figure II. 2: Formation géologique de la plaine de la Mitidja	22

Chapitre III : Résultats et discussion

Figure III. 1 : courbe de la méthode de simple cumul de la station Larbaa	35
Figure III. 2 : courbe de la méthode de simple cumul de la station Hamiz	35
Figure III. 3 : courbe du simple cumul de la station Chifa	35
Figure III. 4 : courbe du simple cumul de la station Reghaia	35
Figure III. 5 : L'évolution de précipitation moyenne mensuelle des quatre stations retenues.....	36
Figure III. 6 : L'évolution de la précipitation moyenne annuelle des quatre stations retenues (1980-2011)	36
Figure III. 7 : ellipse de contrôle de Bois (Station Chifa)	38
Figure III. 8 : ellipse de contrôle de Bois (Station Hamiz)	38
Figure III. 9 : ellipse de contrôle de bois (station Larbaa)	38
Figure III. 10 : Ellipse de contrôle (Station Reghaia)	38

Figure III. 11 : Résultat du test de Pettitt pour la station Chifa	39
Figure III. 12 : Résultat du test de Pettitt pour la station Hamiz	39
Figure III. 13 : Résultat du test de Pettitt pour la station Larbaa	39
Figure III. 14 : Résultat du test de Pettitt pour la station Reghaia	39
Figure III. 15 : Cumuls écart à la moyenne de la sérié pluviométrique de la station Chifa.....	40
Figure III. 16 : Cumuls écart à la moyenne de la sérié pluviométrique de la station Larbaa.....	41
Figure III. 17 : Cumuls écart à la moyenne de la sérié pluviométrique de la station Hamiz	41
Figure III. 18 : Cumuls écart à la moyenne de la sérié pluviométrique de la station Reghaia.....	42
Figure III. 19 : Valeurs des SPI (station Chifa, Larbaa)	43
Figure III. 20 : Valeurs des SPI (Station Hamiz, Reghaia)	43
Figure III. 21 : Evolution du niveau statique, période des hautes eaux (A) et des basses eaux (B) (1991-2001) (Nazzal, 2013)	44
Figure III. 22 : Evolution du niveau piézométrique dans Pz1 et Pz2 Hamiz (1995-2011)	45
Figure III. 23 : La carte piézométrique de la Mitidja est (ANRH ,1981)	46
Figure III. 24 : La carte piézométrique de la Mitidja est (ANRH ,2005)	46
Figure III. 25 : La carte piézométrique de la Mitidja alluvial (ANRH,2004).....	47
Figure III. 26 : Carte piézométrique de la Mitidja est (ANRH, 2011)	47

Liste des tableaux

Chapitre II : Outils et méthodologie

Tableau II. 1 : les coordonnées et les caractéristiques des stations retenues dans l'étude :	23
Tableau II. 2 : Classement de la sévérité des sécheresses suivant l'Indice de précipitation Standardisé (Mackee et al 1993).....	32

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau III. 1: Résultats des tests de ruptures :	37
Tableau III. 2 : Répartition des valeurs du SPI pour les quatre stations :.....	42

Liste des abréviations et acronymes :

ANRH : Agence National des ressources en hydraulique.

CCNUCC : Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

I_{pm} : indice de l'écart proportionnel à la moyenne.

I_{pmc} : indice de l'écart proportionnel à la moyenne cumulé.

I_p : indice de pluviosité.

IRD : l'Institut de Recherche pour le Développement.

ITIA : National Technical University of Athnes.

GES : Gaz à effet de serre.

GIEC : le groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat.

PNUE : le programme des Nation unies pour l'enivrement.

Ppb : Partie par billion.

Ppm: parties par million.

VAG : ville atmosphérique globale.

MACG : modèle atmosphérique de circulation générale.

MCGOA : Modèle de Circulation Générale Océan Atmosphère.

OMM : L'Organisation météorologique mondiale.

ONM: l'Office Nationale de Météorologie.

ONU : L'organisation des nations unies.

PAC : Programme d'Aménagement Côtier.

RCP : Representative Concentration Pathway.

SRES : Special Report on Emissions Scenarios (Rapport Spécial sur les Scénarios d'Emission).

SPI : Standardized précipitation index (L'indice de précipitations standardisé).

Introduction Générale

Introduction générale :

Au début des années 1970, une série d'événements a fait passer les recherches sur le climat au premier plan de l'actualité, ainsi la communauté scientifique internationale a commencé à s'interroger sur les conséquences possibles de la modification de la composition chimique de l'atmosphère.

Ensuite, Les experts scientifiques ont déterminé un phénomène qui ne cesse de prendre de l'ampleur vu le risque qu'il présente pour l'humanité. Ce phénomène est celui du changement climatique.

Des vérifications et suivis de l'évolution de plusieurs paramètres climatiques relatifs à la température, humidité, vent et évaporation ont permis de valider l'hypothèse d'existence et de persistance de ce phénomène du changement climatique .

Pour aller plus loin des observations et des données ont été recueilli sur des phénomènes naturels qui commençaient à présenter des risques majeurs pour la société et l'humanité. Si on parle de sécheresse et des inondations, de la fonte accélérée des neige ceci permet de se mettre d'accord sur l'existence du changement climatique.

Plus personne n'ignore la problématique du changement climatique, Canicule en été, hiver sans neige, dérèglement du climat, des inondations et de terribles sécheresses, le changement climatique se manifeste sous des formes diverses.

Ces bouleversements climatiques perturbent la faune et la flore, dont la répartition géographique tend à se déplacer vers le nord. Ces changements impactent l'agriculture, la santé, l'économie, les ressources en eau superficielle et les ressources en eau souterrains

L'Algérie est l'une des régions les plus vulnérables face aux impacts et changement climatique au cours du 21^{ème} siècle. Le nord de l'Algérie a connu une variabilité à la baisse de la pluviométrie annuelle au cours du 20^{ème} siècle. Cette variabilité s'est accentuée à partir des années quatre-vingt et a eu des impacts importants sur la ressource en eau superficielle et souterraine.

Dans ce contexte, la gestion de l'eau est un enjeu de grande importance. Tous les moyens sont bons pour la mobilisation et l'exploitation de cette dernière.

Des nombreuses études ont été élaborées dans le but d'obtenir plus information sur le changement et la variabilité climatique en Algérie, ainsi de connaître l'influence et les impacts de ces changements sur les différents ressources en eau superficielle et souterraines.

Ce travail vise à déceler l'influence du changement climatique sur l'évolution du niveau piézométrique de la nappe de Mitidja. Cette dernière est constitué un grand réserve des eaux souterraine. Cette réserve est estimée selon l'ABH (l'agence des bassins hydrographique, 2000) de 328hm³.

La méthodologie employé, consiste principalement à détecter les dates de ruptures aux seins des séries de précipitations annuelle retenues pour l'étude, ensuite la mise en évidence du changement climatique et l'évolution du climat par le calcul et la suivre des différents indices climatiques. Enfin comparer les résultats obtenus avec l'évolution de la nappe.

Ce travail, composé de trois parties, sera particulièrement axé sur les approches suivantes :

- La première partie s'agit d'une synthèse bibliographique concernant les notions du climat, changement climatique et variabilité climatique. Ainsi les causes du l'évolution du climat, les impacts de ces changement sur les ressources en eau. Enfin, une introduction sur la modélisation du changement climatique et ces impact sur les ressources en eau.
- La deuxième partie consiste à définir les outils et la méthodologie utilisée dans la présente étude. Au premier lieu nous s'intéressons sur la présentation de la zone d'étude et la problématique liée à la disponibilité et la qualité des données. Ensuite, nous définissons les méthodes statiques utilisées pour la détection de rupture aux seins des séries pluviométrique. Enfin, nous allons définir les indices climatiques et son rôle pour suivre l'évolution du climat.
- La dernière partie consiste à faire une application de ces méthodes sur la zone d'étude et interpréter les résultats obtenus.

Chapitre I : Synthèse Bibliographique



I.1.Introduction :

Les changements climatiques ont depuis longtemps cessé d'être une curiosité scientifique. Ils constituent la question environnementale majeure qui domine notre vie. Du point de vu de l'abondante littérature en lien avec les changements climatique, nous avons jugé que c'est nécessaire de définir certain concept clé en relation avec le changement climatique.

I.2.Définition des concepts :

I.2.1.Climat :

Le mot climat apparait en français au XII^e siècle, dérivant du latin cliamtis .Pourtant son origine est grecque : le klimat est l'inclinaison d'un point de la Terre au Soleil. Cette notion ce « klimat » y est très éloignée du concept moderne de climat. [1]

En 1910, **Hann** a défini le climat comme étant « l'ensemble des éléments métrologique qui caractéristique l'état moyen de l'atmosphère au-dessus d'un lieu » [2]. Ainsi au cours du 1987 **Gibbs** a proposé une définition plus dynamique « la probabilité d'occurrence de divers états de l'atmosphère dans un lieu ou une région, au cours d'une certaine période donnée. »[3].

Autrement dit le climat correspond à la distribution statistique des conditions atmosphériques dans une région donnée pendant une période donnée. Il est effectué à l'aide de valeurs moyennes établies à partir de mesures statistiques, mensuelles et annuelles, ainsi que sur la base des données atmosphériques locales : température, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent.[4]

I.2.2.Système climatique :

Le système climatique de la Terre se compose d'éléments en interaction complexe. L'élément moteur est le Soleil, dont l'énergie se réchauffe la Terre. Cette énergie est à l'origine de la circulation atmosphérique et océanique ainsi que des processus d'évaporation et de précipitation qui font partie du cycle de l'eau. En plus de l'atmosphère et des océans, le système climatique englobe les eaux douces, les plantes, les animaux, les couvertures de glace et de neige, les masses terrestres et même la croûte terrestre. [5]

Donc en résumé, l'étude du changement climatique nécessite de définir le système climatique se compose de cinq élément :

- L'atmosphère ;
- Les surfaces continentales ;
- L'hydrosphère (océans, lacs, rivières, nappe d'eau souterraine...)

Chapitre I : Synthèse bibliographique

- La cryosphère (glace, terrestre ou marines, manteau neigeux)
- la biosphère (tous les organismes vivants dans l'air, sur et dans les océans).

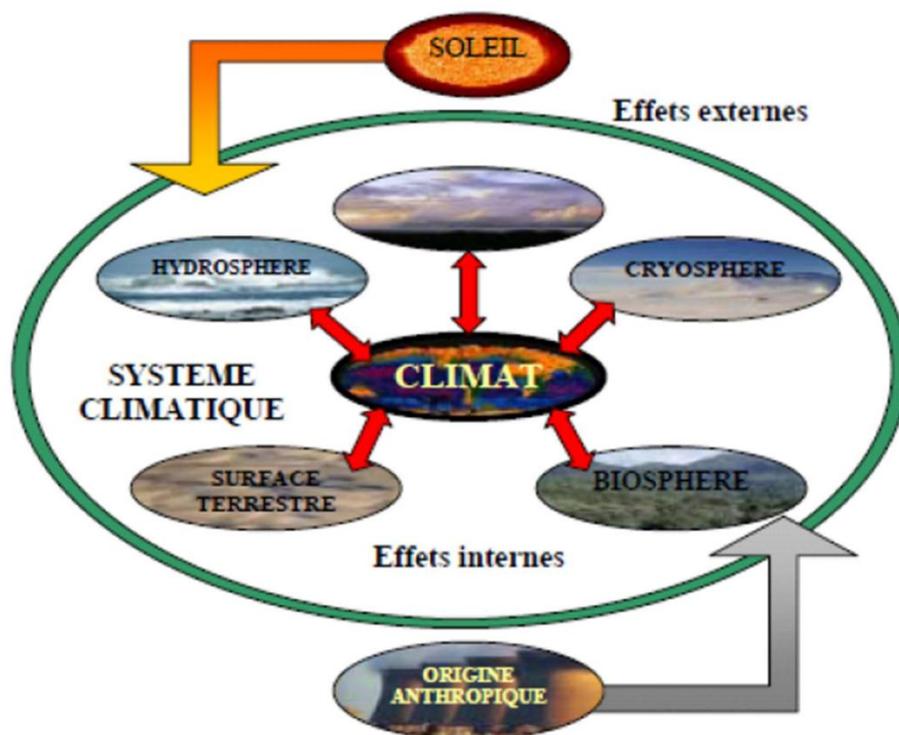


Figure I. 1 les composantes du système climatique

Le comportement de l'ensemble du système climatologique est influencé ou contraint par l'évolution de certains paramètres extérieurs que l'on appelle forçage extérieure. [6]

I.2.3. Variabilité climatique :

Elle est représentée par les déviations des valeurs des événements observés par rapport à leur valeur moyenne pour l'état climatique contemporain [5]. Autrement dit c'est l'évolution du climat par rapport à une tendance générale ou à une période de référence souvent trois décennies [6].

I.2.4. Changement climatique :

Selon le GIEC (le groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat) le changement climatique est défini comme étant « une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant pendant de longues périodes (généralement, pendant des décennies ou plus). Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, ou encore à des changements anthropiques persistants de la composition de l'atmosphère ou de l'affectation des terres. [7]

On notera que la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), dans son Article 1, définit les « changements climatiques » comme étant des « changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours des périodes comparables. ».[8]

La CCNUCC fait ainsi une distinction entre les « changements climatiques » qui peuvent être attribués aux activités humaines altérant la composition de l'atmosphère, et la « variabilité climatique » due à des causes naturelles. [8]

I.3.Synthèse des travaux du GIEC et l'indicateur du changement climatique :

I.3.1.Présentation du GIEC

La principale source d'information scientifique de la qualité sur le réchauffement climatique est le GIEC, le groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (Intergovernmental Panel On Climate change- IPCC). Compte tenu l'importance de cet organisme mérite d'être présenté.

Le GIEC, fondé en 1986 par l'organisation météorologique mondiale (NMW) et par le programme des Nation unies pour l'environnement (PNUE), n'est pas un organisme de recherche. Il s'est donné pour rôle d'expertiser l'information technique et socio-économique qui concerne le risque de changement climatique provoqué par l'homme. Cela consiste à fournir à intervalle régulière (tous les cinq à six ans), des rapports qui résument l'état des connaissances scientifique sur le climat à un instant donné. [6]

Le GIEC compte aujourd'hui 195 pays Membres. Il se réunit au moins une fois par an dans le cadre d'assemblées plénières où les représentants des gouvernements prennent les grandes décisions relatives au programme de travail du Groupe d'experts et élisent les membres et le président du Bureau. [9]

Le GIEC se compose actuellement de trois groupes de travail et d'une équipe spéciale secondés par des unités d'appui technique :

- **Le groupe I** : travail sur les bases scientifiques du changement climatiques
- **Le groupe II** : se penche sur les conséquences de ce changement sur notre société. Il évalue aussi la vulnérabilité de ces dernières et les adaptations possibles.
- **Le groupe III** : étudie les solutions pour atténuer les différents effets du changement climatiques.
- **l'équipe spéciale** : s'occupe des inventaires nationaux des gaz à effet de serre.

Ainsi, chaque rapport comporte trois volets correspondant à chaque groupe de travail, suivi d'un volet final de synthèse. [6]

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Le GIEC a présenté 5 rapports entre 1990 et 2013. Depuis le premier rapport d'évaluation, les prévisions des scientifiques se sont affinées et prédisent désormais avec certitude le réchauffement climatique d'ici la fin du 21^{ème} siècle. [10]

I.3.2. Les indicateurs du changement climatique

I.3.2.1. À l'échelle globale :

Selon le 4^{ème} rapport du GIEC publié en 2007, les changements climatiques observés à l'échelle globale peuvent être résumé en :

- L'augmentation de la température moyenne à la surface de la terre. Selon le même rapport la nouvelle valeur de la vitesse moyenne du réchauffement au cours des cents dernières années (1906-2005) de 0,74 (0,56 à 0,92) °C est donc plus grande que n'était la valeur analogue calculée au moment du troisième Rapport de 0,6 (0,4 à 0,8) °C pour la période 1901-2000.
- L'augmentation du niveau de la mer d'environ 17cm au cours du dernier siècle.
- Une diminution dans la masse des calottes de glace du Groenland et de l'Antarctique.
- Modification de la fréquence des évènements extrêmes.

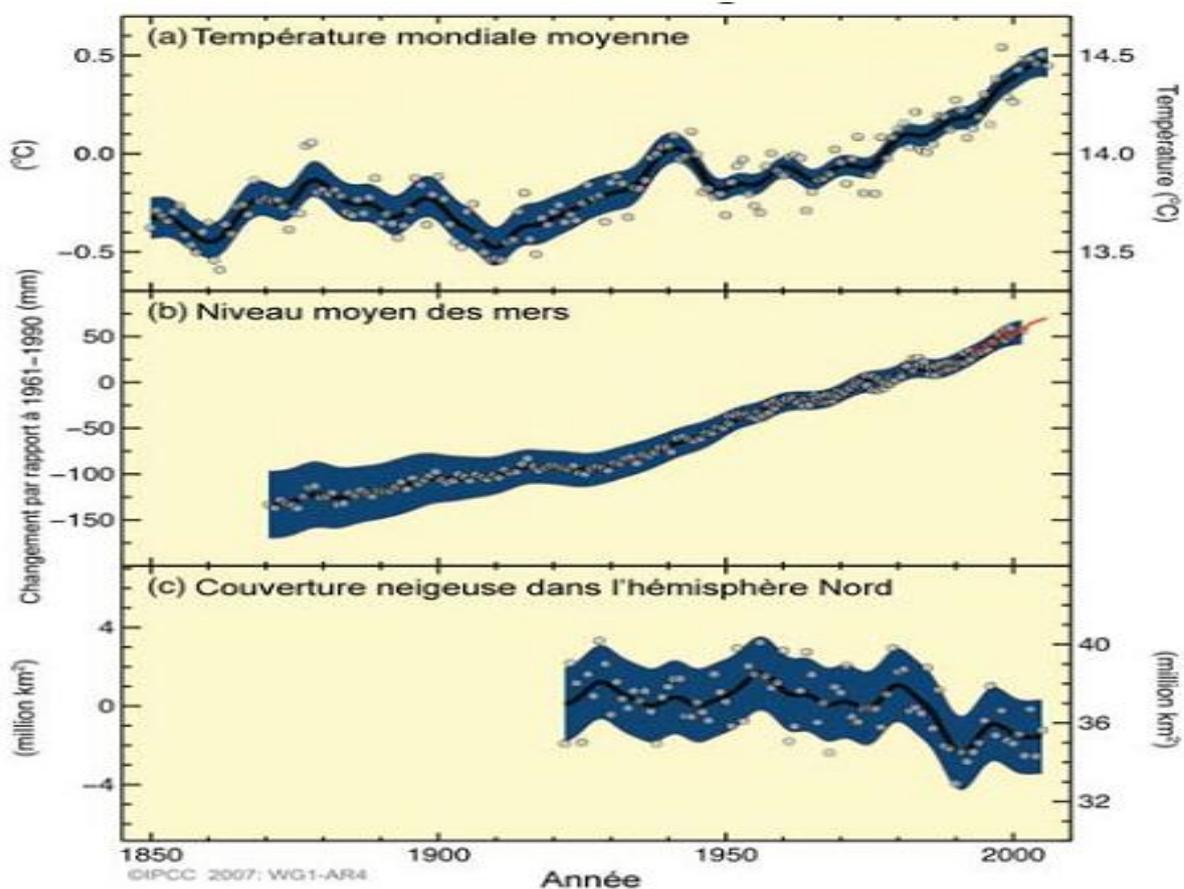


Figure I. 2. Les indicateurs du changement climatique à l'échelle globale

source : GIEC

I.3.2.2.A l'échelle régionale (l'Algérie) :

En Algérie, l'évolution récente du climat montre que le réchauffement est plus important que la moyenne et qu'il se manifeste sous forme d'une sécheresse. En effet sur les 40 dernières années les températures moyennes annuelles ont subi une augmentation de 0.5°C (**figure I.3**). Ainsi les sécheresses de la même période sont encore plus remarquables compte tenu du déficit pluviométrique enregistré un peu partout sur le territoire, particulièrement à l'Ouest du pays. La baisse de la pluviométrie dans cette période est estimée à environ 10% de la moyenne. Donc le changement climatique en Algérie se présente sous forme d'une sécheresse. [11]

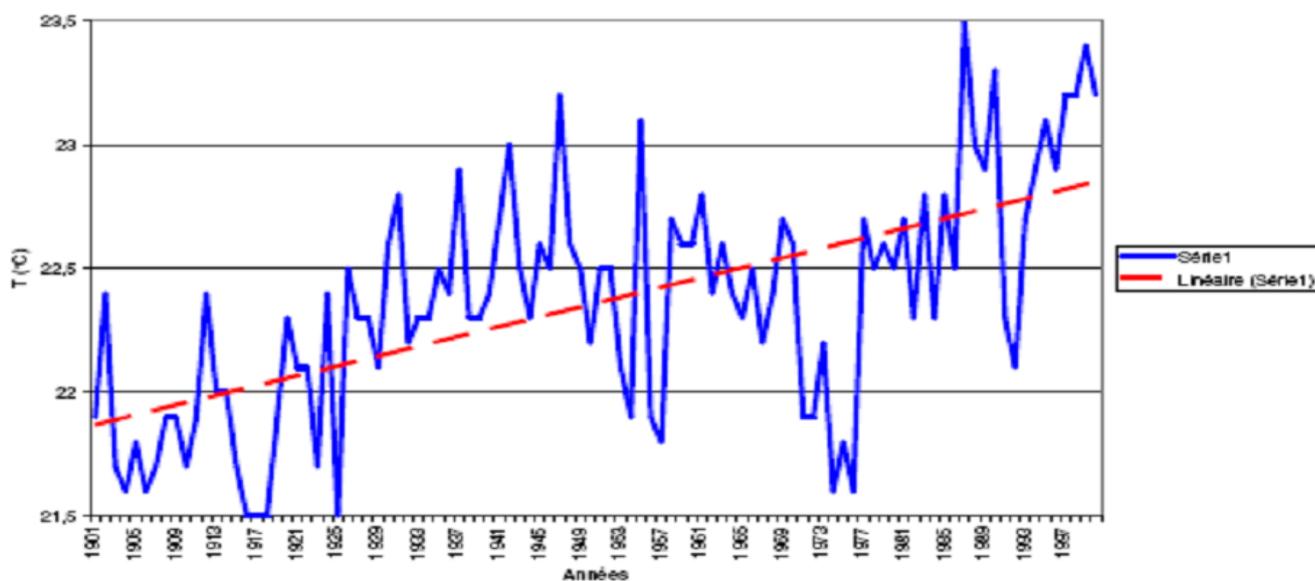


Figure I. 3. Evolution des températures moyennes annuelles de l'Algérie (1901-2000)(Djellouli, 2008).

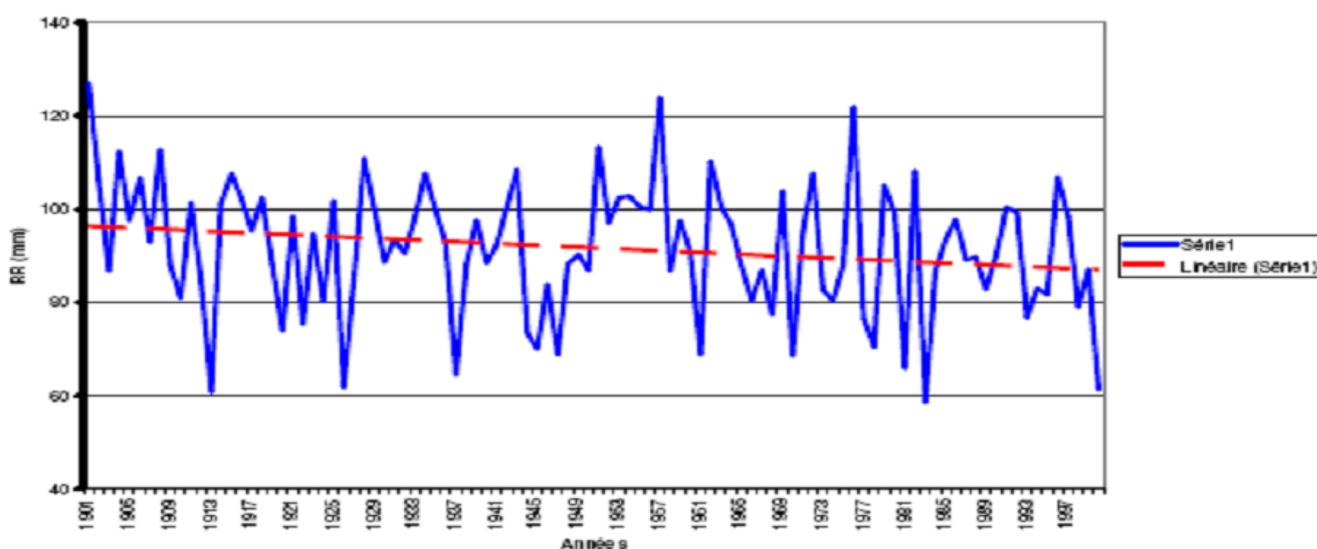


Figure I. 4. Evolution des totaux annuels de précipitations de l'Algérie (1901-2000) (Djellouli, 2008).

I.4. Les causes du changement climatique global :

Les causes du changement climatique sont multiples. Certaines sont naturelles comme le phénomène d'effet de serre, la variation des paramètres astronomique et l'activité volcanique. D'autres sont liés à l'activité humaine qui se traduit par le rejet des gaz à effet de serre (GES).[12]

I.4.1. Les causes naturelles :

I.4.1.1. L'effet de serre :

C'est un phénomène naturel résultant de la réémission, sous forme d'un rayonnement thermique infrarouge, d'une partie du rayonnement solaire incident, par la surface terrestre. L'autre partie est absorbée par l'atmosphère ou par la surface de la Terre et donc transformés en chaleur.[10]

Les gaz à effet de serre, que sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde nitrique, piègent ce rayonnement thermique dans l'atmosphère terrestre et augmentent ainsi la température au sol.[10]

Si l'un des éléments régissant le système climatique subit des modifications considérables, l'équilibre peut être rompu, ce qui entraînerait un changement climatique planétaire qu'il soit temporaire ou permanent.[10]

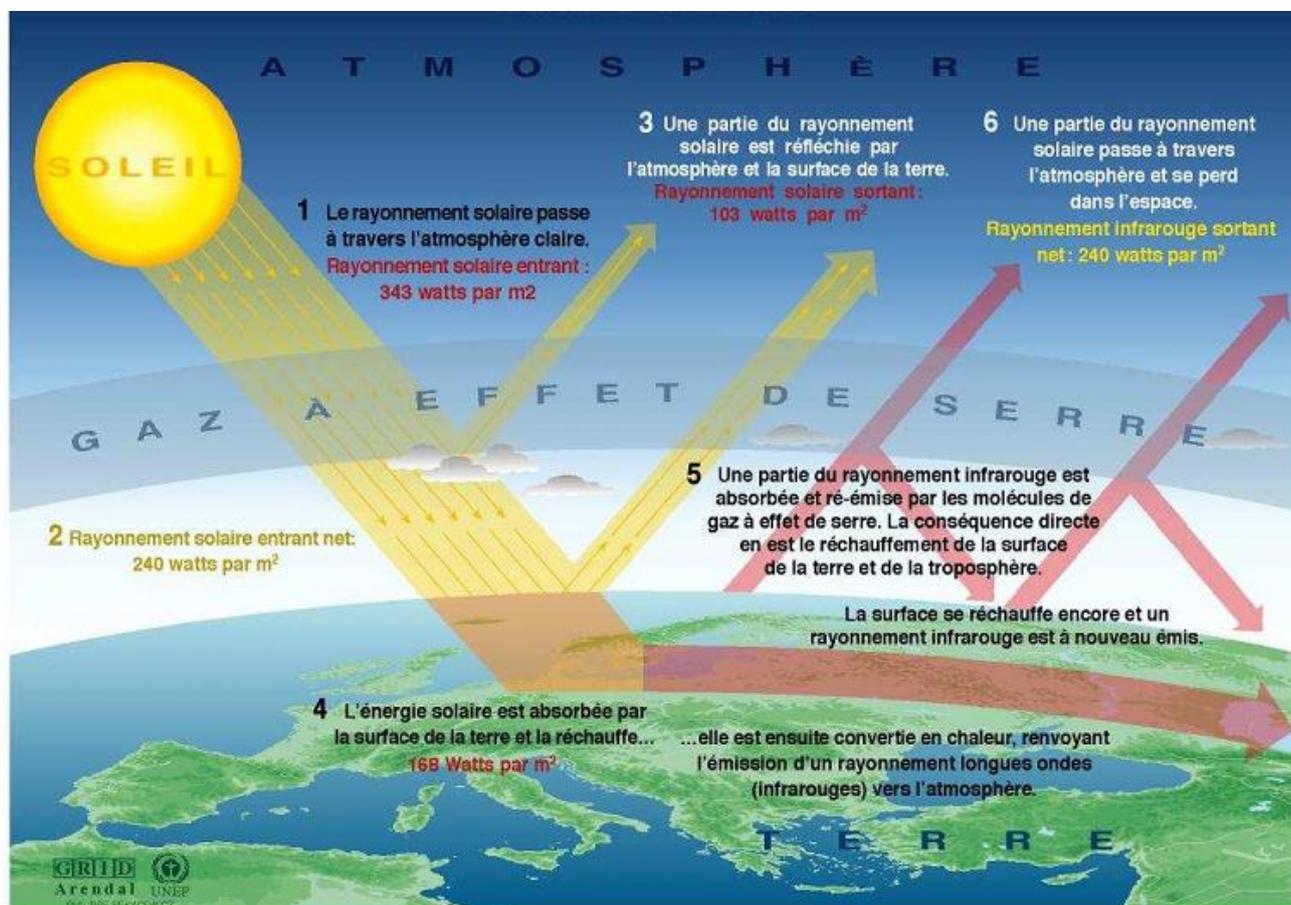


Figure I. 5. Processus de l'effet de serre

I.4.1.2.L'activité solaire :

Le soleil traverse des périodes de grande activité, qui se traduisent par une augmentation du nombre de taches solaires, ainsi que par un accroissement du rayonnement, de l'activité magnétique et des flux de particules de haute énergie. Ces fluctuations de l'activité solaire s'effectuent à des échelles de temps qui peuvent varier de plusieurs millions d'années à quelques minutes. [13]

Lorsque le nombre de taches solaires est important, le soleil émet plus d'énergie (la terre en reçoit plus), par conséquent un changement de température et du climat à lieu (Lean,1995 ;Hyot,1998 ; Fröhlich ;2000)

I.4.1.3.Les activités volcaniques :

plusieurs études ont montré que l'activité volcanique est un autre moteur de la variabilité climatique (Budyko, 1984 ; Touchard ,2022 ;Baroni,2006). Les grandes quantités de particules et de gaz émis dans l'atmosphère suite aux éruptions empêchent le rayonnement solaire de passer. Toute fluctuation de ce rayonnement a une incidence sur le climat, en particulier sur la température.[14]

Le volcanisme implique une chute des températures à court terme, mais s'avère être un puissant facteur de réchauffement sur le long terme. Les éruptions volcaniques sont parfois si violentes que de grandes quantités de poussière et de gaz sont projetées à haute altitude dans l'atmosphère. Les particules qui atteignent la stratosphère peuvent persister plusieurs années. Elles provoquent une baisse des températures en réfléchissant le rayonnement solaire.[12]

I.4.2.Les causes anthropiques :

Le changement climatique d'origine anthropique est principalement dû à la production et au rejet de gaz à effet de serre dans l'atmosphère du fait de l'activité humaine. Cette augmentation des gaz à effet de serre (GES) est directement liée à la croissance industrielle et aux modes de production et de consommation qui y sont associés. [14]

En effet, depuis le début de l'ère industrielle, les émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols perturbent significativement le bilan radiatif de l'atmosphère. On observe un accroissement sensible des concentrations atmosphériques en gaz carbonique, en méthane et en oxyde nitreux ; le taux de CO₂ est passé de 280 ppm à près de 400 ppm en 2013. Ces variations dépassent largement celles observées au cours des 400000 dernières années, lorsque les cycles biogéochimiques ne subissaient que des variations naturelles. [12]

Selon le dernier rapport du GIEC « Les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone, de méthane et de protoxyde d'azote ont augmenté pour atteindre des niveaux sans précédent

Chapitre I : Synthèse bibliographique

depuis au moins 800 000 ans. La concentration du dioxyde de carbone a augmenté de 40 % depuis l'époque préindustrielle. Cette augmentation s'explique en premier lieu par l'utilisation de combustibles fossiles et en second lieu par le bilan des émissions dues aux changements d'utilisation des sols. L'océan à absorbé 30% des émissions anthropiques de dioxyde de carbone, ce qui a entraîné une acidification de ses eaux »[14]

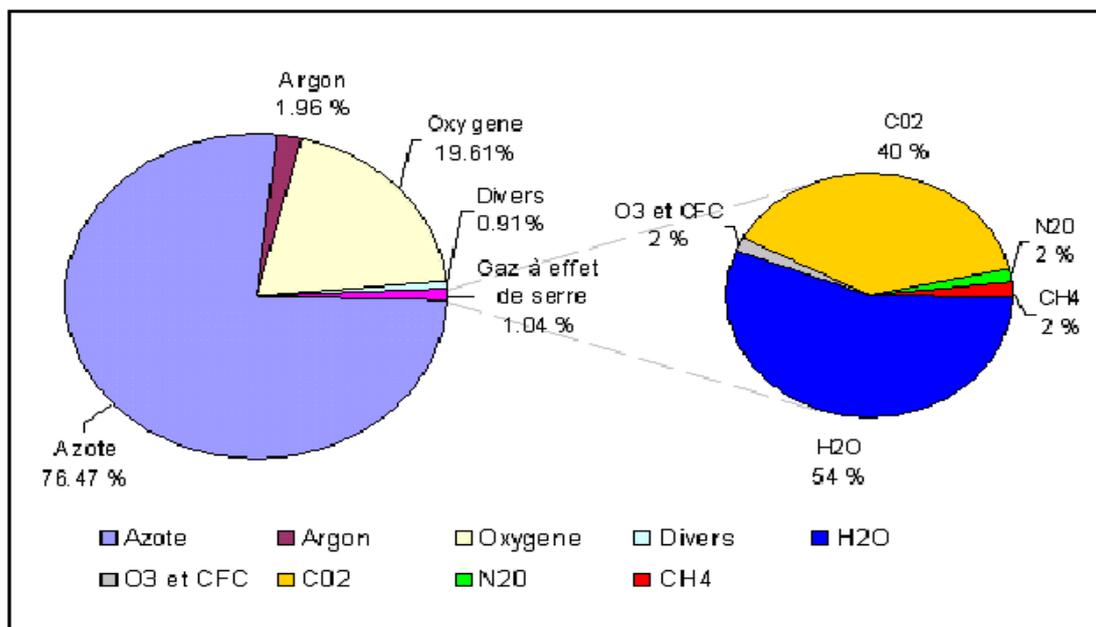


Figure I. 6. Le pourcentage des gaz à effet de serre de l'atmosphère (TABET, 2008)

(A gauche la composition de l'atmosphère en pourcentage. Les gaz à effet de serre ne représentent que 1,04 % sur la totalité des gaz atmosphériques. A droite, la répartition des contributions à l'effet de serre des différents gaz présents dans l'atmosphère)

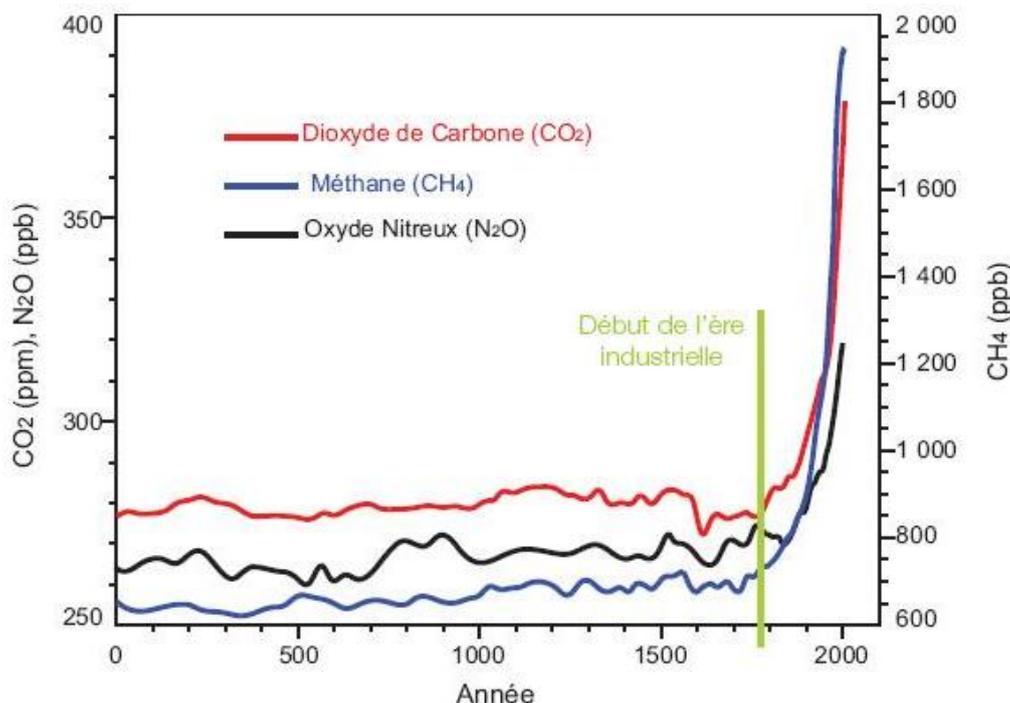


Figure I. 7. L'évolution de concentration des GES dans l'atmosphère source : GIEC

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Les mesures des concentrations des Gaz à effet de serre en Algérie se font à la station VAG (ville atmosphérique globale) de Tamanrasset ; loin de toute source de pollution anthropique et à une altitude importante 2710 m. En 1996 : on a enregistré les concentrations suivantes ; CO₂ = 362ppm, CH₄ = 1756 ppb, CO = 106 ppb. Une croissance significative du CO₂ de 2 ppm/an entre 1995 et 2006 . Bien qu'elle soit éloignée de toute émission industrielle, les concentrations du CO₂ enregistrées à la station VAG (Tamanrasset) sont presque égales à la moyenne mondiale, on devra enregistrer des concentrations élevées dans les grandes villes industrielles. [13]

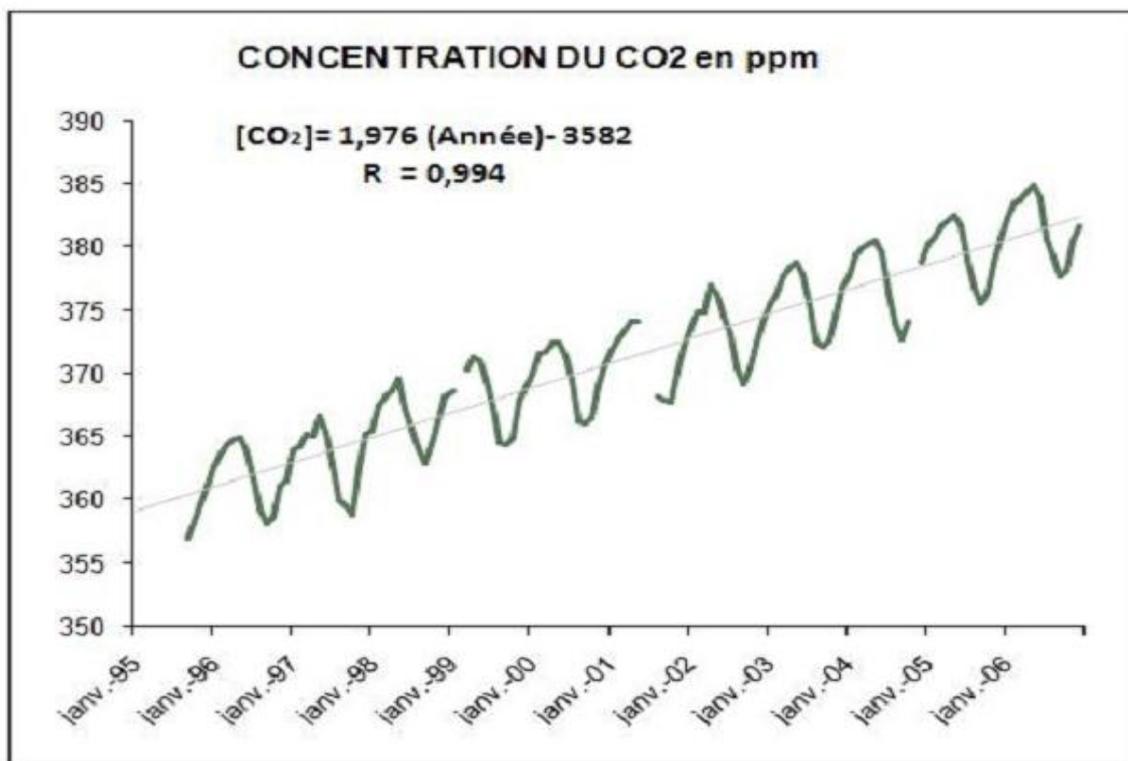


Figure I. 8. L'évolution de la concentration du CO₂ en Algérie (Tabet, 2008)

I.5.L'eau et le changement climatiques :

Le constat dressé par la division Eau de l'ONU (UN-Water 2010) est clair : « L'eau est le premier intermédiaire par lequel le changement climatique impacte les écosystèmes terrestres, ainsi que le mode de vie et le bien-être de nos sociétés ». Ces impacts peuvent jouer à la fois sur le cycle annuel de l'eau et sur les extrêmes comme les risques d'inondation et de sécheresse, et ainsi affecter durablement l'hydro-système.[15]

I.5.1.Impact du changement climatique sur le cycle hydrologique :

Selon les travaux des GIEC et des autres études (Houghton et al., 2001) , la température de l'air et des océans est le premier paramètre qui, soumis à l'impact du changement climatique, va influencer sur le cycle de l'eau en modifiant les conditions d'alimentation du réservoir atmosphérique

(taux d'évaporation, degré d'humidité de l'air). Ces modifications vont, dans un second temps, impacter la pluviométrie, avec, pour conséquence, des modifications spatiales et temporelles des régimes de précipitations qui caractérisent aujourd'hui notre territoire. Une fois précipitée au sol, l'eau est soumise au phénomène d'évapo-transpiration, qui, lui-aussi, sera impacté par les modifications climatiques prévisibles (notamment la température de l'air). Cela va engendrer une modification sur la pluie efficace, la quantité de ruissèlement et la quantité d'eau infiltré. [16]

I.5.2. Impact du changement climatique sur les eaux de surface :

Plusieurs études indiquent que l'écoulement de surface a augmenté à l'échelle globale au cours du 20ème siècle (Labat et al. 2004 ; Milly et al, 2005). Cette évolution masque toutefois des tendances régionales opposées: les débits des fleuves ont augmenté de manière importante en Europe du Nord et au nord-ouest de l'Amérique du Nord tandis qu'ils ont eu tendance à diminuer en Europe du Sud et en Afrique sub-saharienne. [17]

La sécheresse intense et persistante, observée en Algérie durant les 30 dernières années et caractérisée par un déficit pluviométrique évalué à 30% (50% durant l'année 2001- 2002), a eu un impact négatif sur les régimes d'écoulement des cours d'eau. Par conséquence La contribution du ruissèlement aux eaux de surface a systématiquement diminué. Les flux trop faibles ne permettent pas de remplir suffisamment les barrages existants, (Kadi ; 1997). [18]

I.5.3. Impact du changement climatique sur les eaux souterraines :

Le rapport du GIEC (2008) sur le changement climatique et l'eau aborde sommairement le cas des eaux souterraines. Il constate ainsi que le niveau de nombreux aquifères dans le monde tend à diminuer ces dernières années mais que cela est souvent lié à leur surexploitation ainsi qu'aux prélèvements dans les cours d'eau qui leur sont associés. Le rapport GIEC mentionne également que, du fait du manque de données et de la forte inertie des aquifères, aucune modification sensible de la recharge des nappes liée au climat n'a encore été observée. Cependant, le GIEC insiste sur le fait que très peu de recherches ont été menées sur l'incidence du changement climatique sur les eaux souterraines. [19]

En Algérie , la diminution des pluies due aux sécheresses qui sévissent depuis le début des années 70 a entraîné une baisse constante des réserves d'eau souterraine des principales nappes aquifères du nord du pays. Dans beaucoup de plaines du pays, le niveau des nappes phréatiques a déjà chuté dans des proportions alarmantes (> 20 m.) [20]

L'aggravation des sécheresses conjuguée à la surexploitation des nappes phréatiques a entraîné la minéralisation des zones non saturées des nappes aquifères profondes, dans les régions

semi-arides comme le plateau d'Oran et les hautes plaines occidentales. Le taux moyen d'utilisation des nappes phréatiques est de 79% dans la région Nord, il peut parfois atteindre et dépasser les 90% dans certaines zones. [19]

Dans les régions côtières, la baisse des niveaux de pression hydrostatique a d'ores et déjà entraîné la pénétration d'eau de mer dans les réserves d'eau douce des nappes aquifères côtières des régions de la Mitidja, d'Oran, de Terga et d'Annaba. [20]

I.6. La modélisation du climat :

I.6.1. Définition et historique :

Un modèle c'est effectivement une maquette, un objet qui reproduit sous une forme simplifiée les propriétés d'un objet complexe. Un modèle climatique est une représentation numérique du système climatique essentiellement basée sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composants ainsi que sur leurs processus d'interaction, et représentant la totalité ou une partie de ses propriétés connues. [21,7]

Les modèles climatiques sont des outils de prédilection utilisés par les chercheurs pour comprendre, attribuer les variations climatiques du passé et faire des projections sur l'avenir. Ces modèles présentent de nombreuses similitudes avec les modèles de prévision météorologique. Ils reposent sur des formulations et des méthodes de calcul proches, et partagent un certain nombre d'outils logiciels. [22]

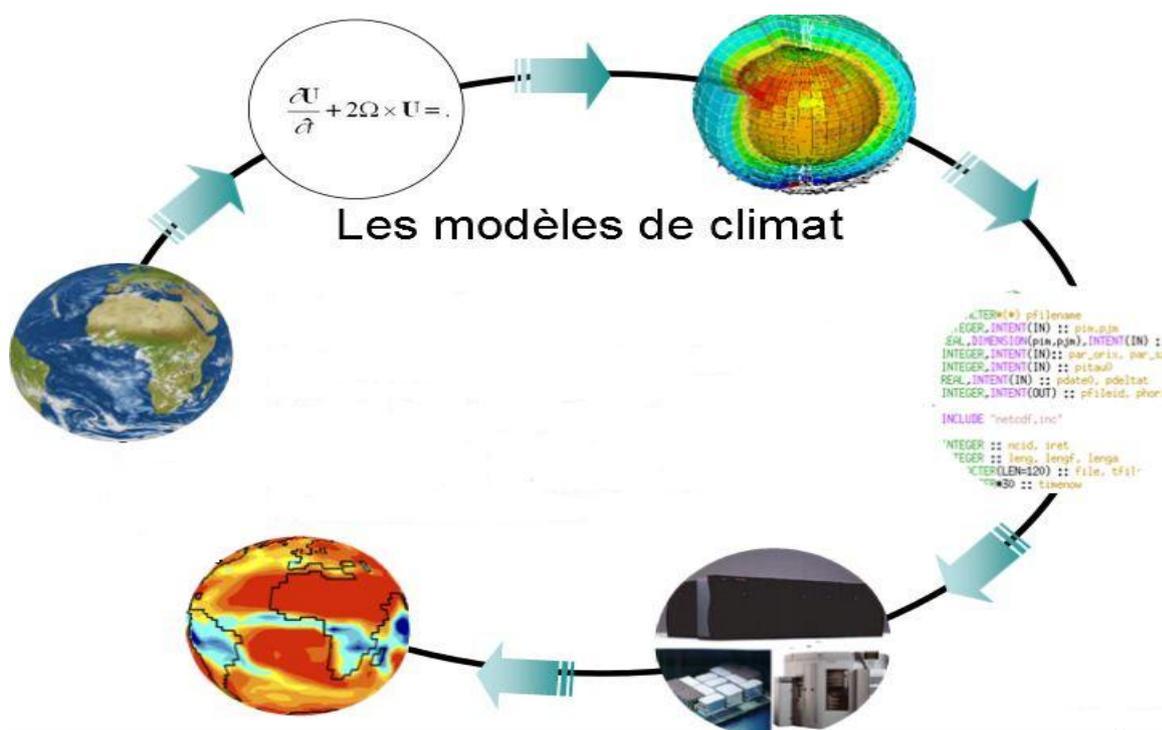


Figure I. 9. La modélisation du climat

En effet, le premier modèle de prévision météorologique été conçu en 1950 par le mathématicien John Von Neumann. En 1956, Norman Philips et son équipe ont développé le premier modèle que l'on peut qualifier comme un modèle climatique, car il permet la simulation de la variabilité de l'hémisphère nord sur une période de 31 jours. Ce type de modèle est dite modèle atmosphérique de circulation générale (MACG). Plus tard, vers la fin des années 1960, sont apparus les premiers modèles couplant l'évolution de l'atmosphère et celle de l'océan, ce type de modèle est dit Modèle de Circulation Générale Océan Atmosphère (MCGOA). Dans les années 1980, les échanges avec le sol ont intégrés. Au début des années 1990, les modèles incluaient à la fois l'atmosphère, le sol et les océans et les glaces. Aujourd'hui, ils sont en train d'intégrer la chimie de l'atmosphère et la dynamique de végétation ce qui permettra de prendre en compte la façon dont celle-ci réagit lors d'un changement climatique et d'intégrer ces changements dans la prévision de l'évolution du climat. [21]

Selon la résolution du modèle, les modèles climatiques peuvent être classés en trois catégories :

- Les modèles globaux : dont la taille de ces maillages est très large.
- Des modèles à résolution variable : qui sont des modèles globaux ou la grille peut être basculé et étirée pour renforcer la résolution spatiale dans la zone que l'on veut étudier.
- Des modèles régionaux : ces modèles couvrent seulement une partie du globe dont leur maille est plus petite.

I.6.2. Modélisation d'impact :

Les modèles hydrométéorologiques sont construits afin d'étudier les paramètres hydrologiques de surface (bilan d'eau, bilan d'énergie, flux). Ils peuvent être appelés modèle d'impact car ils sont utilisés pour étudier l'impact du changement climatique sur les ressources en eau. [6]

Afin d'anticiper les impacts possibles d'évolutions climatiques sur un territoire, une démarche descendante, dite « top-down », est généralement menée, basée sur une série de modélisations. Il faut se projeter dans un futur incertain, sur la base de scénarios décrivant l'évolution de certains éléments clés. Ensuite, les variables climatiques issues des simulations par les modèles sont utilisées en données d'entrée de modèles qui schématisent le cycle hydrologique et établissent notamment un bilan intégrant les eaux de surface et/ou les eaux souterraines. [23]

À l'addition des données climatiques il est nécessaire d'avoir d'autres paramètres comme des données d'entrées pour les modèles d'impact. Par exemple pour étudier l'impact du changement climatique sur l'évolution du niveau de la nappe, il est nécessaire de connaître l'occupation de sol, débit d'infiltration....

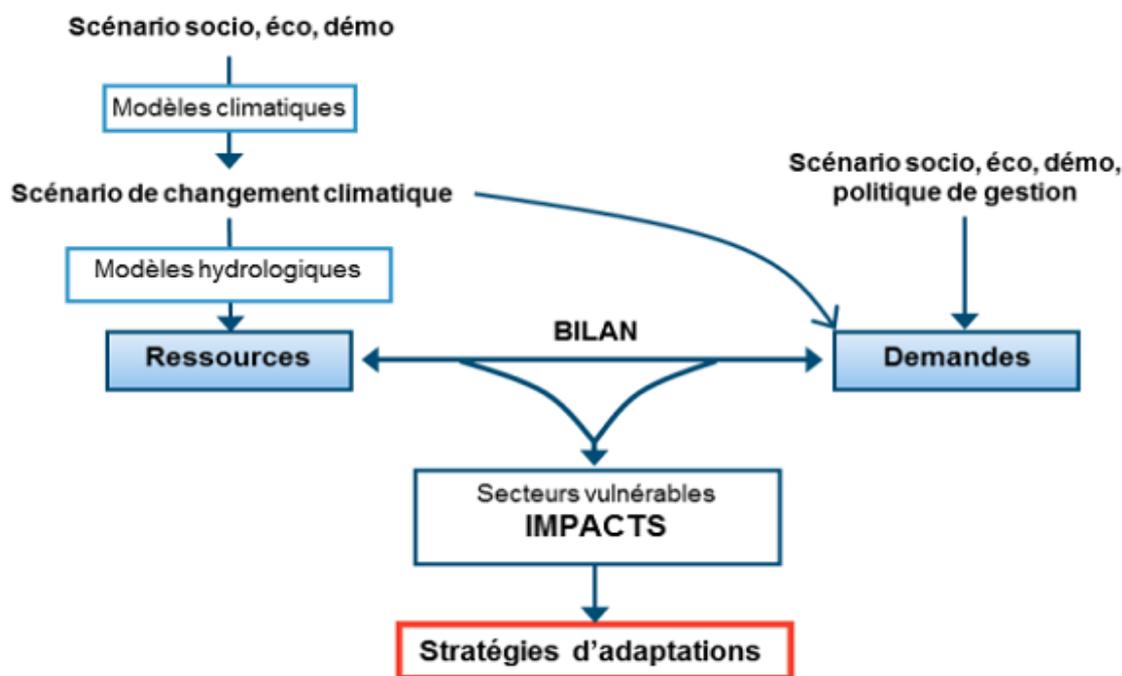


Figure I. 10. Les différentes étapes d'une modélisation d'impact du changement climatique

(Adapté de Fabre, 2010.)

I.6.3. Les scénarios d'émission :

Un scénario est une description vraisemblable, cohérente et homogène d'un état futur du globe (GIEC, 2001). Il permet de déterminer la sensibilité des systèmes, leur vulnérabilité et leur capacité d'adaptation. Il y a le scénario climatique, qui décrit le facteur de forçage, et le scénario non climatique, qui définit le contexte socioéconomique et environnemental dans lequel ce forçage survient. La plupart des évaluations des incidences des changements climatiques se base sur les résultats de modèles d'impact, qui reçoivent en entrée les données de scénarios climatiques et non climatiques. Ces modèles ont été proposés en fonction de scénarios variés des rejets des gaz à effet de serres. Ils proposent, tous, à des degrés divers, un réchauffement de la planète pour le 21^{em} siècle. [10]

Dans les deux premiers rapports d'évaluation du GIEC, les scénarios d'émission utilisés étaient les scénarios IS92, et le plus souvent IS92a (qui prévoyait une augmentation de 1 % par an des émissions de CO₂ à partir de 1990). Avant la production du troisième rapport d'évaluation, le GIEC a produit le Rapport Spécial sur les Scénarios d'Emission (Nakicenovic et Swart, 2000). Ce travail a permis de mettre à jour les scénarios d'émissions en intégrant de nouveaux éléments tels que :

- les différences entre pays en développement et pays développés ;
- l'intensité carbone des énergies (progrès technologiques) ;

Chapitre I : Synthèse bibliographique

- les changements politiques majeurs (comme la chute de l'Union Soviétique, qui a entraîné une forte baisse des émissions) ;
- la mise en cohérence des différentes forces motrices.

Les scénarios du Rapport Spécial (généralement appelés scénarios SRES) sont au nombre de 40, sont groupés en 4 familles (A1, A2, B1 et B2) et correspondent à des évolutions contrastées des forces motrices qui influencent les émissions de GES : la démographie, l'économie, les dimensions sociales et politiques, et les progrès technologiques. [23]

Pour des raisons d'évolution des déterminants socio-économiques et la connaissance du système climatique, des nouveaux scénarios ont été établis qui répondent à ces nouveaux critères. Les scientifiques ont donc établi des « profils représentatifs d'évolution de concentration des GES, d'ozone et de précurseurs des aérosols, représentative d'un accroissement du bilan énergétique » (Representative Concentration Pathway ou RCP). Ces nouvelles représentations climatiques de référence sont au nombre de 4. Les RCP couvrent cependant une période plus longue : jusqu'à 2300 (2100 pour les anciens scénarios).[14]

Nous notons que les scénarios d'émission testés sur l'Algérie pour étudier l'évolution et l'impact du climat et l'impact du changement climatique sont A2 et B2. [22]

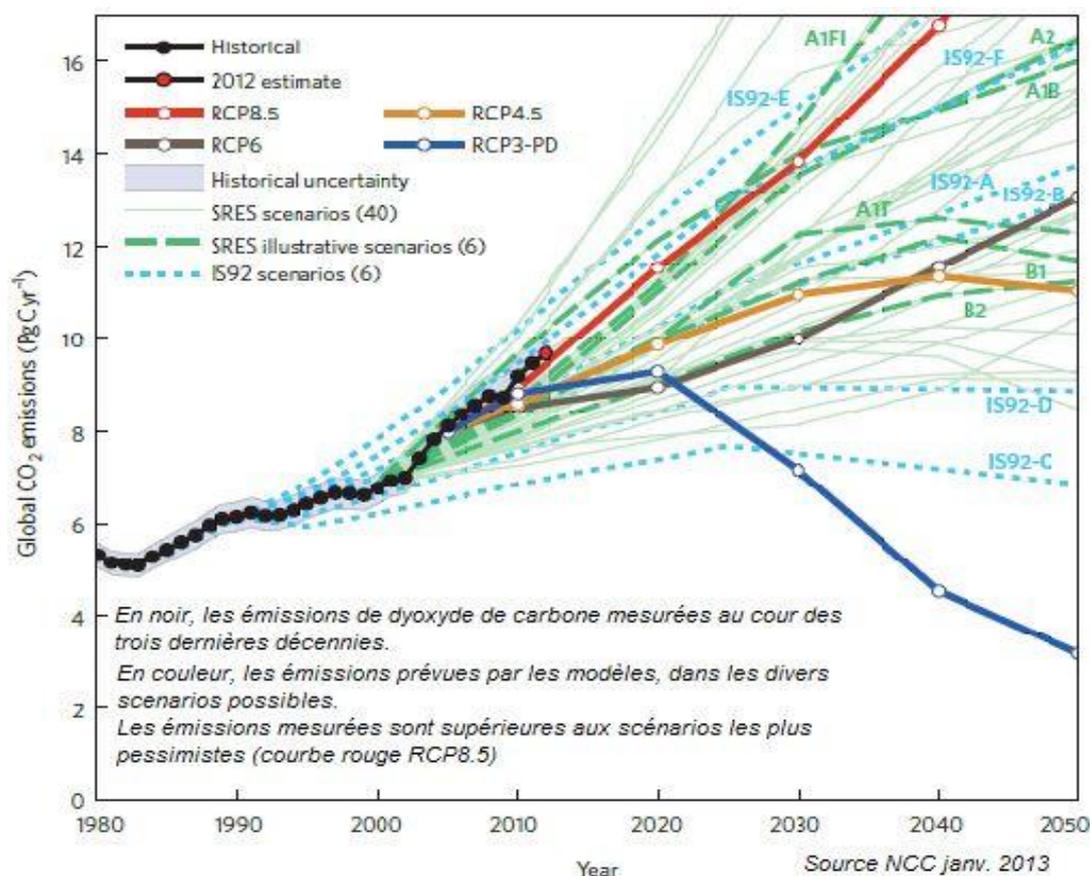


Figure I. 11. Comparaison entre les différents scénarios

I.6.4. Notion d'incertitude :

Les scientifiques n'ont pas une approche unique du changement climatique. Ils utilisent plusieurs modèles de simulation du climat, envisagent différents scénarios socio-économiques d'évolution de notre planète, et tiennent aussi compte de la variabilité propre du climat qui ne peut être précisément anticipée. Les scénarios socio-économiques, les modèles et le climat lui-même sont les trois causes d'incertitudes de la simulation climatique. [24]

La première cause d'incertitude provient des hypothèses de scénarios socio-économiques à l'échelle mondiale qu'il faudrait réajuster. Ces hypothèses reflètent des évolutions de développement économique impossibles à vérifier puisqu'elles traitent du futur. C'est pourquoi, un certain nombre de scénarios ont été développés afin de tenir compte de cette grande source d'incertitude. [24]

Suite à ces hypothèses sont calculées des émissions de GES et leur concentration dans l'atmosphère. Les modèles effectuant ces calculs comportent également des incertitudes liées à leur conception même (équations utilisées, traitement de ces équations, absence de représentation de certains processus ; Jouzel, 2011). Ces modèles projettent pour 2100 une concentration en CO₂ atmosphérique comprise entre 540 et 970 ppm selon les scénarios utilisés, la fourchette d'incertitude inhérente étant importante et comprise entre 490 et 1260 ppm (GIEC, 2001).

Il existe ensuite des incertitudes liées aux modèles climatiques. Bien que des progrès aient été réalisés, avec des modèles de plus en plus complexes, les paramètres d'entrée des modèles ainsi que la conception de ces modèles ajoutent une certaine incertitude à la lecture des résultats qui divergent. C'est pourquoi le GIEC a utilisé 23 modèles différents dans son dernier rapport afin de les croiser pour une meilleure analyse de sensibilité (GIEC, 2007 ; Jouzel, 2011).[25]

Aux horizons proches (2030, 2050), la variabilité naturelle du climat (El Niño-Southern Oscillation, Oscillation Nord-Atlantique, etc.) est difficilement captée, se traduisant par le fait qu'un même modèle partant de deux états climatiques très proches, peut calculer deux évolutions climatiques différentes (Braconnot et al., 2007 ; Jouzel, 2011). De plus, les paramètres d'entrée ne sont pas tous bien calculés par les modèles, ce qui entraîne un biais de plus. Les extrêmes climatiques ainsi que l'évolution des précipitations, de par leur forte variabilité, sont difficiles à prévoir et à quantifier (Jouzel, 2011).[25]

Enfin, les modèles d'impacts présentent des biais par exemple au niveau des effets de seuils (thermiques, hydriques) selon les espèces, au niveau des interactions avec les changements atmosphériques et océaniques et des interactions selon les pratiques de gestion. [24]

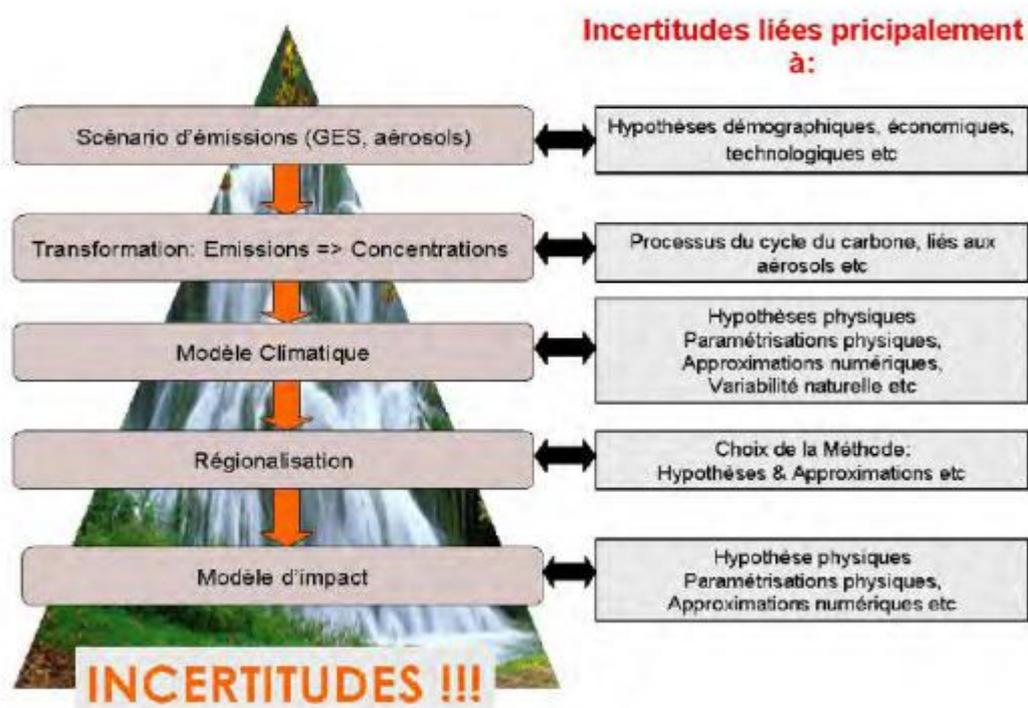


Figure I. 12. La cascade des incertitudes caractéristique d'une étude des impacts du changement climatique (Boé, 2007).

I.7.Conclusion :

Selon le GIEC le changement climatique est défini comme étant une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant pendant de longue période (généralement pendant des décennies ou plus). Ces changements peuvent être dus à processus interne naturels ou des forçages externes, ou encore à des causes anthropiques.

Par contre La CCNUCC, définit les changements climatiques comme étant des changements de climat qui sont attribué directement ou indirectement à une activité humaine.

Selon le GIEC qui est la principale source d'information scientifique de la qualité sur le réchauffement climatique, il existe plusieurs indicateurs du changement climatique à l'échelle globale, nous citons à titre d'exemple : l'augmentation de la température moyenne à la surface de la terre, l'augmentation du niveau de la mer à environ 17cm au cours du dernier siècle, une diminution dans la masse des calottes de glace et modification de fréquence des événements extrêmes.

Les indicateurs du changement climatique en Algérie peuvent être résumés en l'augmentation de la température moyenne de 0.5°C pendant les 40 dernières années et un déficit dans la même période estimé de 10% de la moyenne. Donc nous pouvons dire que les changements climatiques en Algérie se présentent sous forme d'une sécheresse.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Les causes du changement climatiques à l'échelle globale sont multiples, Certain sont naturelle comme le phénomène d'effet de serre. D'autres sont lié à l'activité humaine qui se traduit par le rejet des GES.

Selon la division Eau de l'ONU : « L'eau est le premier intermédiaire par lequel le changement climatique impact les écosystèmes ». Ces impacts peuvent jouer à la fois sur le cycle annuel de l'eau et sur les extrêmes comme les risque d'inondation et de sécheresse. Parmi ces impacts nous citons la diminution du niveau de nombreux aquifères dans le monde, l'augmentation du débit des fleuves dans en Europe du Nord et au nord-ouest et une diminution du débit des fleuves en Afrique et l'Europe de sud.

Les modèles climatiques sont des outils de prédilection utilisés par les chercheurs pour comprendre, attribuer les variations climatiques du passé et faire des projections sur l'avenir. Afin d'anticiper les impacts possibles d'évolutions climatiques sur un territoire, une démarche descendante, dite « top-down », est généralement menée, basée sur une série de modélisations. Il faut se projeter dans un futur incertain, sur la base de scénarios décrivant l'évolution de certains éléments clés. Ensuite, les variables climatiques issues des simulations par les modèles sont utilisées en données d'entrée de modèles qui schématisent le cycle hydrologique et établissent notamment un bilan intégrant les eaux de surface et/ou les eaux souterraines.

Nous notons que la modélisation du climat présent une certaine incertitude dus aux l'incertitude des scénarios socio-économiques, les modèles, le climat lui-même et l'incertitude dus aux modèles d'impacts.

Le but de le chapitre suivant est de définir les méthodes ainsi les outils nécessaire pour mettre en exergue l'existence du changement climatique dans la zone d'étude, et la mise en évidence ces impacts sur la fluctuation piézométrique de la nappe.

Chapitre II : Outils et Méthodologie



II.1.Introduction :

Dans le but de montrer l'existence du changement climatique au niveau de la région de Mitidja et de déterminer ces impacts sur l'évolution du niveau de la nappe phréatique, ce chapitre a pour objectif de définir les méthodes et les outils qui vont être utilisés pour atteindre notre objectif.

Au premier lieu nous nous intéressons sur la présentation de la zone d'étude et la problématique liée à la disponibilité et la qualité des données nécessaires dans notre étude. Ensuite nous définissons les méthodes statistiques utilisées pour la détection de la rupture aux seins des séries pluviométriques. Enfin, nous allons définir le rôle des indices climatiques pour suivre l'évolution du climat.

II.2.Cadre physique du milieu :

Avant de commencer de définir les méthodes et les outils qui vont être utilisés pour atteindre l'objectif de cette étude, il est nécessaire de connaître le milieu d'étude. Dans cette partie nous allons définir la situation géographique, la morphologie et le contexte géologique et hydrogéologique de la plaine de Mitidja.

II.2.1.Situation géographique :

La plaine de Mitidja fait partie de la zone PAC (Programme d'Aménagement Côtier) partie intégrante de la bande Nord du Pays, une région qui concentre une grande partie de la population et l'essentiel de son potentiel naturel (eau, sol, forêt...). Outre son potentiel naturel et son poids démographique, la zone du PAC revêt un caractère de localisation de la capitale dont les différents attributs lui confèrent une dimension nationale et internationale. (PAC, 2004) [26]

La plaine de Mitidja se situe au Sud d'Alger d'environ 100Km de longueur et de 2 à 15km de largeur (située entre les longitudes 2°32'00E et 3°19'00E et les latitudes 36°25'17N et 36°47'40N.) Orientée parallèlement au relief côtier, est-nord-est ouest-sud-ouest, elle est limitée à l'est par l'oued de Boudouaou, à l'ouest par l'oued Nador, et bordée par deux reliefs élevés. Au nord, les collines du sahel algérois et sud l'Atlas tellien (djebel Bouzagza et monts de Blida). Elle est largement ouverte sur la mer à son extrême Est. [27]

La Mitidja est une vaste plaine de 1450km², s'étend depuis la région de Hadjout à l'Ouest jusqu'à la région de Reghaia à l'Est. D'ouest vers l'est, le plain traverse la wilaya de Tipaza, la wilaya de Blida, la wilaya d'Alger et la wilaya de Boumerdes. [27]

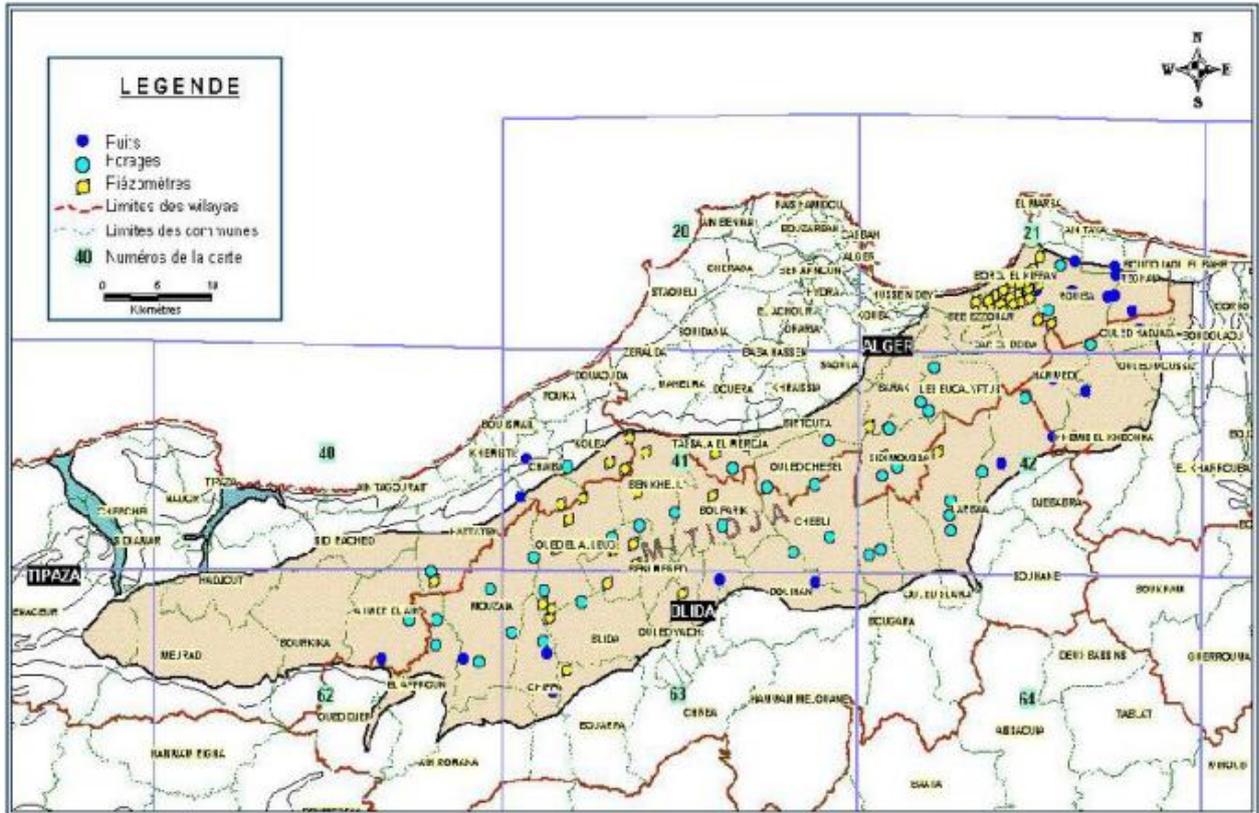


Figure II. 1 : Carte de situation géographique de la plaine de la Mitidja (ANRH, 2008)

II.2.2. Morphologie de la plaine de la Mitidja :

La plaine de la Mitidja est d'une altitude moyenne de 50m qui s'étend sur une superficie de 1450km². Elle se situe entre l'Atlas Tellien et le Sahel. Hydro-graphiquement, elle se situe sur le bassin versant Côtier Algérois Ouest, qui est un bassin versant de forme allongé. Elle englobe quatre sous bassins versants pour une superficie totale évaluée à 4086km² : Hamiz, Harach, MAzafran et Nador. [26]

La Mitidja jouit d'un climat maritime, caractérisant l'ensemble des plaines côtières, avec des hivers humides et pluvieux et des étés relativement chauds et secs, elle présente des divers reliefs et végétation. [26]

II.2.3. Contexte géologique et hydrogéologique :

La structure de la plaine de la Mitidja est celle d'un synclinal remblayé par des alluvions. Les dépôts du Miocène, du Pliocène et du Quaternaire ont réagi comme une couverture flexible durant l'affaissement du bassin entre les unités ascendantes de l'Atlas et du Sahel. [26]

Le bassin de la Mitidja s'est défini en tant qu'unité structurale à la fin du Miocène après que ce soient produits les principaux mouvements de la période de l'orogénèse alpine. Les phénomènes d'affaissement et de sédimentation se poursuivent pendant le Pléistocène en modifiant la forme et la distribution des dépôts. [28]

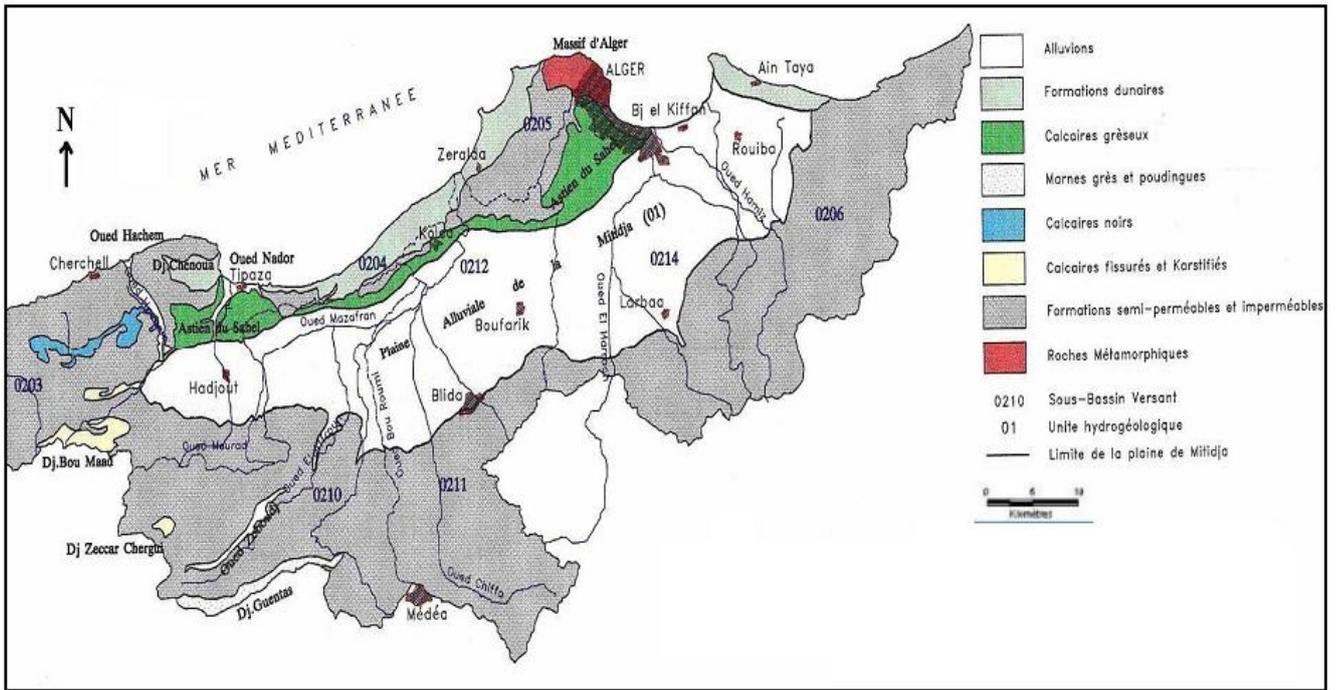


Figure II. 2: Carte géologique de la plaine de la Mitidja (Bennie & Partners, 1983)

Deux petites unités géologiques ont été regroupées avec la formation de la Mitidja. Il s'agit des sables dunaires qui longent la baie d'Alger et des alluvions récentes des lits d'oueds. Ces deux unités sont composées de matériaux ayant en apparence une continuité avec la formation de la Mitidja. [28]

La nappe de Mitidja est très hétérogène, elle composée de graviers et de galets alternant avec des limons et argiles, occupe toute l'étendue la plaine. L'épaisseur moyenne de ces alluvions est de l'ordre de 100 à 200 m mais qui va diminuer vers le Sud pour atteindre l'Atlas. Sa limite inférieure est constituée par les marnes de la formation d'El-Harrach et sa limite supérieure est libre sauf dans la zone du Mazafran où la nappe est captive. [28]

Ces caractéristiques hydrodynamiques sont représentées par une transmissivité qui varie de 0,8 à $2,1 \cdot 10^{-2}$ m²/s et un coefficient d'emmagasinement de 15%. L'alimentation de cet aquifère se fait principalement à partir des précipitations, mais aussi par les infiltrations venant des lits et berges des oueds El Harrach, Hamiz et Réghaïa, de l'écoulement vertical en provenance de l'aquifère grésien de l'Astien, de l'écoulement souterrain de l'Atlas et de la ré-infiltration partielle de l'excédent des eaux d'irrigation. Les exutoires et les pertes de cette nappe sont représentés par les prélèvements dans les puits et forages réalisés dans la plaine pour satisfaire les différents besoins (AEP, industrie et agriculture), les écoulements vers les oueds en aval et vers la mer et les fuites souterraines par drainance vers l'aquifère astien. [29]

Chapitre II : Outils et méthodologie

Selon L'ABH (l'agence des bassins hydrographiques, 2000) de l'Algérois, les ressources en eau souterraine de la Mitidja est estimé de 328Hm³, ses principalement champs captant sont Mazfran I et II, Chekbi, Haouch Felit et Hamiz). [27]

II.3.Disponibilité et traitement des données :

La présente étude nécessite des données pluviométriques de la région et des niveaux piézométriques de la nappe. Ce qui concerne les données pluviométriques, elles proviennent des deux établissements responsables du réseau pluviométrique en Algérie, à savoir l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et l'Office Nationale de Météorologie (ONM). Ce qui concerne les niveaux piézométriques, ils sont obtenus de l'agence nationale des ressources en hydraulique.

II.3.1.Choix des stations représentatives :

Dans ces séries pluviométriques, il été tenté d'identifier le maximum de postes de mesures répondant aux conditions suivantes : la repartions, la densité et la durée. Autrement dit :

- La taille de l'échantillon (information couvrant les quatre dernières décennies) ;
- La position géographique (spécialement homogène pour ne pas favorise une région en particulier) ;
- La qualité des données (pas de lacunes de plus de cinq années consécutives).

Parmi les stations situées dans la zone d'étude, quatre stations dont les longueurs pluviométriques des enregistrements varient entre 31et 39ans ont été retenus. Les cordonnées et les caractéristiques de ces stations sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau II. 1 : les coordonnées et les caractéristiques des stations retenues dans l'étude :

Station	Code	Cordonnées			Durée des observations
		X (km)	Y (km)	Z (m)	
Hamzi	020602	558.55	367.4	130	1980-2011
Reghaia	020632	557.8	382.25	20	1980-2011
Chifa	021105	502.1	357.6	58	1972-2011
Larbaa	021403	541.15	362.95	100	1972-2011

II.3.2.Critique et traitement de donnée :

Les données pluviométrique collectées ne sont pas toujours organisée de la façon désirable, ni continue continues dans le temps pour rapprocher réellement du climat vécu. Donc avant d'utilisé ces données pluviométrique il faut d'abord critiquer leurs qualité, comblé les lacunes et tester leur homogénéité.

II.3.2.1. Comblement des lacunes :

L'analyse de la série d'observations pluviométriques révèle que les stations disponibles présente des lacunes à l'échelle mensuelle (de un à plusieurs mois) et donc annuelle, ces lacunes sont dues soit à l'absence de l'observation soit à une défaillance du pluviomètre. [30]

Nous estimons les données manquantes d'une station à partir des valeurs provenant des stations voisines soumises aux mêmes conditions climatiques et situées dans la même zone géographique. Deux méthodes ont été utilisées :

A. Remplacer la valeur manquante par la moyenne des stations voisines :

Cette méthode est utilisé lorsque les précipitations moyennes annuelles de la station à compléter ne diffèrent pas de plus de 10% des précipitations moyennes aux stations de référence. Autrement dit :

$$\text{Si } \Delta P < 10\% \text{ alors } P = \frac{\sum P_i}{n}$$

B. Remplacer la valeur manquante par la méthode de régression :

Pour que cette méthode soit efficace, il faut que la régression soit linéaire et que le coefficient de corrélation soit élevé. En ce qui concerne la linéarité, elle peut être vérifiée dès le début à l'aide d'un graphique en portant sur les coordonnées les deux stations à comparer.

Soit X et Y, les deux stations comparées, x(i) et y(i) leurs observations, et convenons d'appeler X la station de longue durée, dont l'abondante information (de taille n), devra venir compléter celle plus courte sur Y.

Donc nous calculons le coefficient de corrélation linéaire simple par la méthode suivante :

$$R_{kxy} = \frac{\sum [(x(i) - m_{ky})(y(i) - m_{ky})]}{(k - 1) \cdot (\delta_{kx} \cdot \delta_{ky})}$$

Avec :

- k : Nombre de valeur (couples) de l'échantillon, concomitant des X et Y.
- m_{kx} : Moyenne de $x = \frac{\sum x(i)}{k}$
- m_{ky} : Moyenne de $y = \frac{\sum y(i)}{k}$

- δ_{kx} : Ecart type de $\mathbf{x} = \sqrt{\frac{\sum(x(i)-m_{kx})^2}{(k-1)}}$
- δ_{ky} : Ecart type de $\mathbf{y} = \sqrt{\frac{\sum(y(i)-m_{ky})^2}{(k-1)}}$

Nous pouvons écrire l'équation de la droite de régression : $y(x) = a_1x + a_0$

$$\text{Avec : } a_1 = R_{kxy} \frac{\delta_{ky}}{\delta_{kx}} \text{ et } a_0 = m_{ky} - m_{kx} \frac{\delta_{ky}}{\delta_{kx}}$$

Cette méthode qui néglige la réalité géographique et les nuances pluviométriques locales, peut provoquer des erreurs de jugements, car on risque d'établir des régressions entre des stations dont le coefficient de corrélation apparaît élevé alors qu'elles n'ont en réalité aucun lien climatique.[31]

Le comblement des données par cette méthode a été fait par logiciel d'analyse des données et des processus hydrologiques « **Hydrognomon** », ce dernier était développé par l'équipe de «**ITIA**» (**Research Team. National Technical University of Athens**).

II.3.2.2. Etude d'homogénéité des séries :

La question de l'homogénéité ou le non homogénéité des observations est un problème important, compte tenu des conséquences que peut entraîner l'utilisation de séries non homogènes, considérées en fait comme homogènes. Une série est dite homogène si les observations qui la composent ont été observées de la même façon et sont issues de la même population. Pour les statisticiens, la série de données est dite homogène si les propriétés statistiques de l'erreur de mesure affectant ces données sont restées invariables au cours de la période d'observation.[5]

D'une façon générale les éléments climatiques dans le temps ne se produisent pas de la même façon et la série correspondante n'est pas purement stationnaire. Les causes perturbatrices les plus courantes de l'homogénéité des observations sont :

- Le mauvais état ou la défectuosité d'appareils de mesures.
- Un changement d'observateur.
- Le déplacement de la station (différences topographiques).
- Le changement de type d'appareils, de leurs conditions d'installations (hauteur au-dessus du sol).

Il existe plusieurs méthodes pour tester l'homogénéité des séries pluviométriques. Dans notre étude, nous avons opté pour la méthode de simple cumul pour étudier l'homogénéité des séries pluviométriques.

Le principe consiste à cumuler les valeurs annuelles observées de chaque paramètre à traiter ; une fois que les valeurs sont cumulées, il faut les mettre en ordonnées et le temps en abscisse. A partir

de cumuls en fonction du temps on dispose d'un nuage de points, ces derniers fluctuent autour d'une droite. Si on constate une cassure de la droite on conclut que la série correspondante présente une tendance, des observations erronées ou des valeurs exceptionnelles. Lorsque la cassure est nette on peut par simple lecture sur le graphique déterminer l'époque où s'est manifestée la tendance et contrôler dans les documents les causes de cette tendance.[5]

La méthode du simple cumul ne permet pas de différencier dans le cas où l'on observerait une tendance, celle qui est propre à la station (hétérogénéité) d'une tendance climatique.

II.4.Méthodologie :

L'approche adoptée pour atteindre à nos objectifs comporte les opérations suivantes :

1. La détection de rupture au sein des séries pluviométrique annuelles.
2. Mise en évidence du changement climatique par les calculs des certains indices.
3. comparer les résultats obtenus avec l'évolution d'l'état de la nappe de la plaine par l'observation de sa fluctuation d'un nombre piézomètres.

II.4.1.Détection de la rupture au sein de la série pluviométrique :

Selon **lubès et al.** (1994), une rupture peut être définie de façon générale comme étant un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un moment donné le plus souvent inconnu. Une telle rupture marque une modification du régime pluviométrique ou hydrologique.[32]

L'acceptation générale, mais surtout celle des hydrologues, en ce qui concerne les totaux annuels des précipitations, est que, du point de vue stochastique, ceux-ci peuvent être considérés comme un processus stationnaire.[33]

La stationnarité ou non stationnarité des séries pluviométriques intéresse beaucoup les utilisateurs de ces dernières dans les différentes applications (hydrologie, agronomie, gestion des ressources hydriques, etc.). La détection d'une ou plusieurs ruptures renseigne sur l'évolution pluviométrique dans la région donnée. [5]

La caractéristique d'indépendance suppose que le cumul de précipitations d'une année n'est pas dépendant du total de précipitations enregistrées de l'année précédente. La stationnarité suppose que les propriétés de base du processus (par exemple, son niveau moyen) ne changent pas avec le temps. Cependant, plusieurs travaux récents signalent une situation inverse. Il est supposé que dans le contexte du réchauffement global actuel, aussi bien l'espérance mathématique que la variance de ce processus stochastique à l'échelle interannuelle ne seraient plus indépendantes du temps au temps.[33]

En Algérie, les changements climatiques de ces dernières décennies ont eu une influence négative sur la ressource hydraulique (recharge des nappes et remplissage des barrages réservoirs) et sur le rendement agricole. Ces changements poussent actuellement les décideurs à revoir les types de cultures qui peuvent s'adapter à la nouvelle donne climatologique de certaines régions du pays. [5]

Dans cette partie, on s'intéresse mettre en évidence cette évolution par la détermination de l'année ou des années de rupture des séries pluviométriques et de voir l'influence de cette évolution sur le renouvellement des ressources hydriques (l'évolution de la nappe).

Le choix des méthodes retenues repose sur la robustesse de leur fondement et sur les conclusions d'une étude de simulation de séries aléatoires artificiellement perturbées [34]. Les méthodes pour mettre en évidence ces ruptures sont : La statistique U de Buishand (1984), le test de Pettitt (1979), la méthode bayésienne de Lee et Heghinian (1977) et la procédure de segmentation de Hubert (1997) dont la puissance et la robustesse ont fait l'objet d'une revue par Lubés-Niel et al (1998) et dont la dernière a fait l'objet d'une évaluation spécifique avec un recul de 10 ans (Hubert et al, 1998) et une application en Algérie (Meddi et Hubert P., (2003).

Les analyses statistiques ont été menées avec le logiciel **Khronostat** élaboré par l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et l'université de Montpellier (Boyer et al., 1998).

II.4.1.1. Teste de Pettit :

Le test de Pettit est un test non paramétrique. Il dérive du test de Man-Wihtney, il a été décrit par plusieurs auteurs (Pettit, 1979; Lubes et al., 1994; Lubes-Niels et al., 1998). Il permet de vérifier la stationnarité de la série pluviométrique. Il se propose de tester l'hypothèse H_0 « Absence de rupture dans la série (Xi) de taille N » face à l'hypothèse alternative H_a « Présence d'une rupture dans la séquence ».[34]

Le série étudiée est divisée en 2 échantillons respectivement de taille m et n. Les valeurs des 2 échantillons sont regroupées et classées par ordre croissant. On calcule alors la somme des rangs des éléments de chaque sous échantillon dans l'échantillon total. Une étude statistique est définie à partir des deux sommes ainsi déterminées, et testée sous l'hypothèse nulle d'appartenance des deux sous échantillons à la même population. L'absence de rupture dans la série (Xi) de taille N constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N, les séries chronologiques (Xi) avec i variant de 1 à t et t + 1 à N appartiennent à la même population. Ce test repose sur le calcul de la variable $U_{t,N}$ définie par :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

$$\text{Ou } D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j), \text{ avec } \begin{cases} \text{sgn}(X) = 1 \text{ si } X > 0 \\ \text{sgn}(X) = 0 \text{ si } X = 0 \\ \text{sgn}(X) = -1 \text{ si } X < 0 \end{cases}$$

Soit K_N le variable définie par le maximum en valeur absolue de $U_{t,N}$ pour t variant de 1 à N . Au cas où l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant t définissant le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t,N}$. [36]

II.4.1.2. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian (1977):

La méthode bayésienne de Lee et Heghinian (1977), non s'exprime pas comme un test classique. Mais il s'agit d'une approche paramétrique qui demande une distribution normale des variables étudiées. L'interprétation de cette méthode vise confirmer ou infirmer l'hypothèse d'un changement de moyenne dans la série chronologique. Le modèle de base de la procédure est le suivant :

$$X_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i = 1 \text{ à } \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & i = \tau + 1 \text{ à } N \end{cases}$$

Où les ε_i sont indépendant et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance σ^2 .

Les variables τ, μ, δ et σ sont des paramètres inconnus. τ et δ Représentent respectivement la position dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de moyenne. Le changement éventuel (la position et l'amplitude) correspond au mode de distributions à posteriori de τ et δ . Le mode de la distribution à posteriori de τ sert à estimer la date de la rupture, dans un moment τ dans la dans une série où on suppose priori qu'il y a effectivement un changement à moment indéterminé. [36]

II.4.1.3. Statique U de Buishand (1982 ; 1984):

Le test ici est de nature Bayésienne. Il fait référence au même modèle et aux mêmes hypothèses que l'approche de Lee et Heghinian. Autrement dit En supposant une distribution à priori uniforme pour la position du point de rupture t , la statique de U Buishand est définie par :

$$U = \frac{\sum_{k=1}^{N-1} (S_k^* / D_x)^2}{N(N+1)}$$

D'où : $S_k = \sum_{i=1}^{N-k} (x_i - \bar{x})$ pour k variant de 1 à N , et D_x désigné l'écart type de la série. [36]

En cas de rejet de l'hypothèse nulle, aucune estimation de la date de rupture n'est proposée par ce test. Outre cette procédure, la construction d'une ellipse de contrôle permet d'analyser l'homogénéité de la série (X_i). La variable S_k , définie ci-dessus, suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance $[k(N-k)\sigma^2]/N$, k variant de 0 à N sous l'hypothèse nulle

d'homogénéité de la série X_i . Il est donc possible de définir une région de confiance dite ellipse de contrôle associée à un seuil de confiance contenant la série des S_k . [36]

II.4.1.4. Test de segmentation d'Hubert (1989)

La procédure de segmentation de séries chronologiques a été présentée par Hubert et Carbonnel (1987) et ensuite complétée par Hubert et al. (1989) in Kingumbi (2006).

La méthode de Pierre Hubert est basée sur une procédure originale de segmentation des séries hydrométéorologiques qui représentent le plus souvent la température, les précipitations, et le débit des grands lacs. Cette méthode permet de mettre en évidence le problème de la stationnarité et de la modélisation des séries hydrométéorologiques. Pierre Hubert a testé sa méthode de segmentation en modélisant de courtes séries empiriques. [36]

Il a utilisé une procédure de segmentation lui permettant de partitionner une série hydrométéorologique donnée en m segments de façon à ce que la moyenne de chaque segment soit nettement différente de celle du segment adjacent. Une telle méthode est appropriée à la recherche de multiples changements de moyennes dans une série chronologique. La segmentation est définie de la façon suivante :

Soit X_i une série chronologique avec i variant de 1 à N . Un segment donnée extrait de la série initiale X_i est désigné par $X_{i_1; i_2}$ avec $1 \leq i_1 < i_2 \leq N$. La partition de la série initiale en m segments représente une segmentation d'ordre m .

D'après les auteurs (Hubert et al. 1989), cette procédure de segmentation peut être regardée comme un test de stationnarité. Autrement dit l'hypothèse nulle H_0 est «la série étudiée est stationnaire». Si la procédure ne produit pas de segmentation d'ordre supérieur ou égal à 2, l'hypothèse nulle n'est pas acceptée. [36]

II.4.2. Calcul et suivre de l'évolution des indices climatiques

Afin de suivre l'évolution de précipitations annuelles et expliquer au mieux ces changements et ces impacts sur l'évolution du niveau de la nappe phréatique de la plaine de Mitidja, nous proposons de suivre l'évolution de quelques indices climatiques.

À l'origine, un indice climatique est une combinaison d'au moins deux variables décrivant l'état de l'atmosphère pour caractériser le climat d'un lieu (Beltrando, 1995). Les variables les plus utilisées sont les précipitations, la température, la pression atmosphérique et l'évapotranspiration. Progressivement, les indices ont incorporé des informations de plus en plus nombreuses et complexes,

résultant de traitements antérieurs et provenant même parfois de disciplines connexes. Aujourd'hui, les indices climatiques sont utilisés dans de multiples domaines différents.[37]

II.4.2.1. Domaine d'application :

On peut distinguer trois types d'indices principaux : (a) les indices d'aridité qui sont les plus anciens et dont la finalité est de classer les différents climats du monde selon des classes d'aridité, (b) les indices agro-climatiques qui mesurent le potentiel climatique d'un lieu donné afin de maximiser les rendements agricoles, et (c) tous les autres indices que l'on pourrait qualifier de thématiques. Cette troisième catégorie englobe les indices les plus récents, notamment les indices de changements climatiques, de sécheresse et autres événements extrêmes, et enfin les indices mesurant les impacts du climat sur l'homme.[37]

II.4.2.2. Définition de la sécheresse :

La sécheresse n'est pas qu'un phénomène physique ou climatique objectif. C'est aussi une notion relative qui reflète l'écart entre la disponibilité et la demande en eau pour l'homme, son agriculture, son bétail et certains usages de luxe (piscine, arrosage des gazons, lavage de voiture, etc.). Ceci rend toute définition de la sécheresse relative au contexte d'utilisation.[28]

Dans le glossaire météorologique (1959) on trouve la définition suivante de la sécheresse météorologique : « une sécheresse est une période prolongée de temps anormalement sec, à cause d'un manque d'eau et qui cause un déséquilibre hydrologique suffisamment sérieux dans la région affectée ».[28]

Mokssit (1996) a définie la sécheresse hydrologique par un affaiblissement prolongé des apports pluviométriques au niveau des bassins versants. Un déficit d'écoulement en résulte systématiquement au niveau des cours d'eau. La recharge des nappes souterraines est réduite et les opérations d'irrigation sont compromises. [28]

II.4.2.3. Les indices climatiques :

Vu à la complexité du climat, il est difficile de faire une analyse des tous ces composantes. Certains auteurs se sont penchés sur la possibilité de mettre en évidence l'évolution et les fluctuations temporelles des précipitations, on peut citer entre autres :

A. L'indice de pluviosité (Ip) et la méthode du cumul de l'écart proportionnel à la moyenne :

C'est le rapport de la hauteur de précipitation annuelle à la hauteur moyenne annuelle de précipitation.

$$I_p = P_i / P_m$$

D'où : $\begin{cases} P_i : \text{la pluie annuelle de l'année } i \\ P_m : \text{la pluie moyenne annuelle} \end{cases}$

L'intérêt de cette méthode est d'identifier les séquences sèches et leurs caractérisations. Une année est qualifiée d'humide si ce rapport est supérieur à 1 et de sèche s'il est inférieur à 1. Pour situer une pluviométrie dans une longue série de relevés pluviométriques, on utilise l'écart proportionnel à la moyenne (I_{pm}) qui diffère de l'indice de pluviosité en soustrayant 1 de cet indice.

$$I_{pm} = I_p - 1$$

Le cumul des indices d'années successives permet de dégager les grandes tendances en faisant abstraction des faibles fluctuations d'une année à l'autre. Quand la somme des indices croît, il s'agit d'une tendance humide. La tendance est de type « sèche », dans le cas contraire. Lorsque la hauteur moyenne annuelle présentée est calculée sur une période assez longue, et que la distribution n'est très loin de la loi normale on peut utiliser le rapport à la normale au lieu de la moyenne.[5]

B. L'indice de précipitations standardisé (SPI) :

L'indice de précipitations standardisé (SPI, Standardized precipitation index), quant à lui, est un indice statistique de type probabiliste. Il a été mis au point par l'université du Colorado au début des années 90 (McKee, 1993). Il était développé dans le but d'identifier et gérer les sécheresses locales. Il permet aussi de vérifier bien les périodes/cycles humides que les périodes/cycles secs.[37]

Le SPI est un indice simple et robuste à la fois basé sur les données pluviométriques. Hayes et ses collaborateurs (1999) ont répertorié un certain nombre d'avantages en faveur de l'utilisation SPI, qui sont :

- ✓ Sa grande simplicité. En effet, il n'est basé que sur les précipitations, les calculs sont rapides et intuitifs
- ✓ Le SPI est versatile : on peut aisément adapter l'échelle temporelle en fonction du type d'évaluation ;
- ✓ Les résultats sont cohérents dans l'espace en raison des caractéristiques de la loi normale sur laquelle il est basé.
- ✓ Ainsi, une sécheresse extrême à la même probabilité d'occurrence sous nos latitudes que dans les régions arides ou semi-arides ;
- ✓ Il est efficace tant l'hiver que l'été, et n'est pas affecté par l'effet de la topographie puisqu'il ne prend pas en compte l'eau dans le sol.

Chapitre II : Outils et méthodologie

L'Organisation météorologique mondiale (OMM) a adopté le SPI en 2009 comme instrument mondial pour mesurer les sécheresses météorologiques, aux termes de la « Déclaration de Lincoln sur les indices de sécheresse ».

Pour calculer le SPI, il faut au moins des relevés pluviométriques mensuels étalés sur 20 à 30 ans (de préférence, sur 50 à 60ans) (Guttman, 199). Très souvent, la standardisation consiste à soustraire la moyenne aux données et à diviser le résultat par l'écart-type de la série. Donc le SPI est calculé en prenant la différence entre la précipitation et la moyenne des précipitations pour une période de temps particulière qu'on divise par l'écart type de ces valeurs. Il est exprimé de l'expression mathématique suivante :

$$SPI = \frac{(P_i - P_m)}{\sigma}$$

D'où : $\begin{cases} P_i : \text{Précipitation de l'année } i \\ P_m : \text{Précipitation moyenne} \\ \sigma : \text{l'ecart type} \end{cases}$

En plus d'être un indice de sécheresse, ce dernier peut également nous renseigner sur la sévérité de celle-ci. Une échelle de sévérité a été donnée par Mackee et Al (1993). Elle est représenté par le tableau suivant :

Tableau II. 2 : Classement de la sévérité des sécheresses suivant l'Indice de précipitation Standardisé (Mackee et al 1993)

Valeurs du SPI	Classes
Plus de 2.0	extrêmement humide
1.5 à 1.99	sévèrement humide
1.0 à 1.49	modérément humide
-0.99 à 0.99	proche de la normale
-1.0 à -1.49	modérément sèche
-1.5 à -1.99	sévèrement sèche
Moins de -2.0	extrêmement sèche

II.4.3. Evolution temporelle de la piézométrie :

La détermination de l'évolution des fluctuations de la surface piézométrique de la nappe phréatique de la Mitidja est basée, d'une part sur les mesures de piézomètres relevés par les services de l'ANRH, et d'une autres part sur les données et les résultats des études menés par d'autres chercheurs.

II.5. Conclusion :

Le but de ce chapitre est de définir les méthodes et outils utilisés à fin de montrer l'existence du changement climatique au niveau de la plaine de la Mitidja, et déterminer ces impacts sur l'évolution de la nappe phréatique de la plaine.

Ce qui concerne les données pluviométriques nécessaires pour cette étude, elles sont obtenues à partir des stations gérées par les services de l'ANRH et qui répondent aux critères suivants : la répartition, la densité et la durée. quatre stations sont retenues : Hamiz , Reghaia , Chifa et Larbaa.

Pour combler les lacunes d'observations présentes dans les séries, nous avons opté pour deux méthodes. La première consiste à remplacer les valeurs manquées par la moyenne des stations voisines, si les précipitations moyennes annuelles de la station à compléter ne diffèrent pas de plus de 10% des précipitations moyennes aux stations de référence. La deuxième méthode utilisée pour le comblement des lacunes est la méthode de régression linéaire simple. Après avoir comblé les lacunes d'observation, il est nécessaire de tester l'homogénéité de ces séries. Pour cela, nous avons opté pour la méthode de double cumul.

Une rupture se définit comme étant un changement de la loi de probabilité. Pour détecter les ruptures au sein des séries pluviométriques annuelles des stations retenues dans l'étude nous avons opté à l'utilisation des tests statistiques : la statistique U de Buishand (1984), le test de Pettitt (1979), la méthode bayésienne de Lee et Heghinian (1977) et la procédure de segmentation de Hubert (1997). Les analyses statistiques ont été menées avec le logiciel **Khronostat** élaboré par l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et l'université de Montpellier.

Afin de mettre en évidence l'évolution et les fluctuations temporelles des précipitations, nous avons opté pour calculer et suivre l'évolution des indices climatiques. Ces derniers sont une combinaison d'au moins deux variables décrivant l'état de l'atmosphère pour caractériser le climat d'un lieu. Parmi ces indices, nous avons choisis l'indice de pluviosité (I_p). Ce dernier a pour but d'identifier les séquences sèches ; la méthode du cumul de l'écart proportionnel à la moyenne et l'indice de précipitations standardisé (SPI). Ce dernier a pour but de déterminer l'ampleur de la sécheresse en termes de sévérité.

Enfin, les impacts de l'évolution du climat sur l'évolution de l'état de la nappe phréatique de la Mitidja, sont identifiés à l'aide des observations de sa fluctuation d'un nombre de piézomètre et des données relevées dans d'autres études.

Le but du chapitre suivant est d'appliquer ces méthodes dans notre région d'études et discuter les résultats obtenus.

Chapitre III : Résultats et Discussion



III.1.Introduction :

Dans le chapitre précédent, nous avons défini les méthodes et les outils employés pour atteindre à l'objectif de l'existence du changement climatique dans la plaine de la Mitidja et définir ces impacts sur l'évolution du niveau de la nappe. Dans ce chapitre, nous allons montrer les résultats obtenus en utilisant ces méthodes et outils et interpréter ces résultats.

III.2.Critique visuelle des données :

Tout d'abord et avant de commencer la procédure, il faut critiquer les données :

- **Station Chifa** : Elle possède des données de 40ans, allant de 1972 jusqu'à 2011, avec neuf lacunes d'observations sur l'échelle mensuelle.
- **Station Larbaa** : Cette station aussi possède des données de 40ans, allant de 1972 jusqu'à 2011, mais elle est moins lacunaire que la station précédente. En effet, elle possède juste deux lacunes d'observations sur l'échelle mensuelle.
- **Station Hamiz** : Cette station possède des données de courte durée par rapport aux deux autres stations (32 ans, allant de 1980 jusqu'à 2011). Mais, elle est moins lacunaire, en effet elle possède qu'une seule lacune d'observation sur l'échelle mensuelle.
- **Station Rghaia** : les caractéristiques de cette station est similaire à la station précédente, elle possède des données de 32ans, avec une seule valeur manquante.

III.3.Etude d'homogénéité :

Après avoir comblé les données manquantes, nous avons procédé à un test d'homogénéité par la méthode de simple cumul. La méthode de simple cumul a donné les résultats suivants :

- L'examen des graphiques de simple cumul des stations Hamiz et Rghaia (**Figures III.2 et III.4**) a montré l'absence des cassures qui signifie que les données de ces dernières sont fiables.
- Par contre les graphiques de simple cumul des stations Chifa et Larbaa (**Figure III.3 et III.1**) ont montré la présence des cassures, respectivement en 1987 et 2002, ce qui signifie l'hétérogénéité de ces séries.
- De ce fait, nous avons corrigé les valeurs aberrantes mises en évidence par ce test pour homogénéiser les séries.

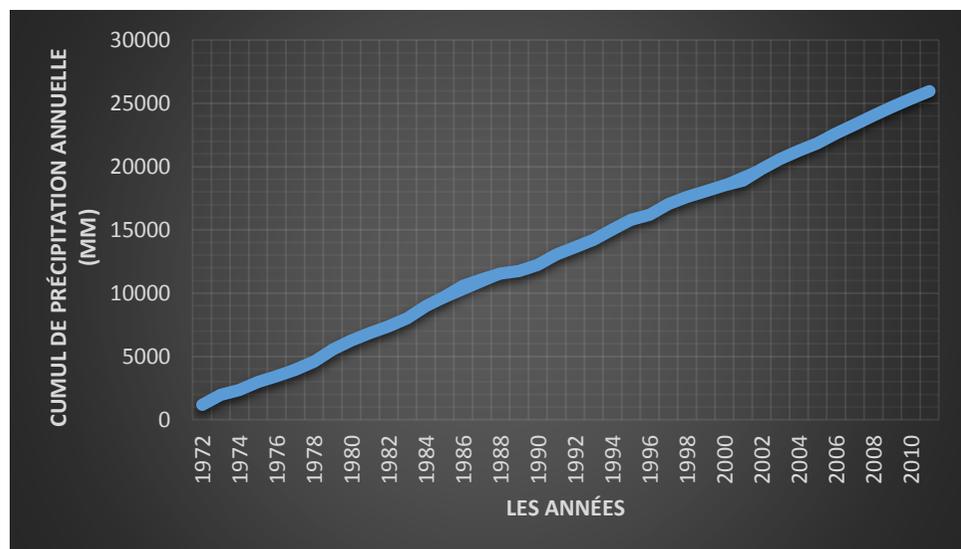


Figure III. 1 : courbe de la méthode de simple cumul de la station Larbaa



Figure III. 2 : courbe de la méthode de simple cumul de la station Hamiz

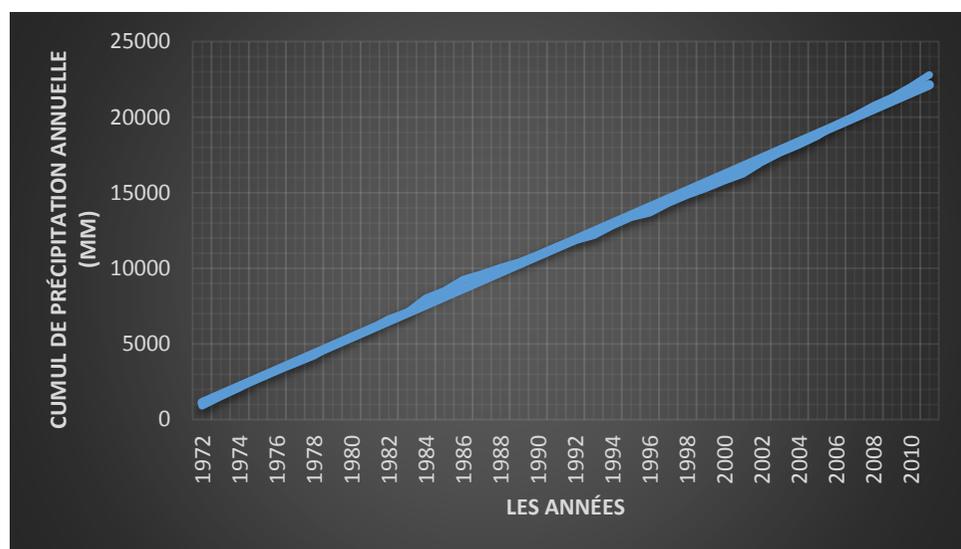


Figure III. 3 : courbe du simple cumul de la station Chifa



Figure III. 4 : courbe du simple cumul de la station Reghaia

III.4. Evolution pluviométrique :

III.4.1. À l'échelle mensuelle :

L'analyse des précipitations moyennes mensuelles pour la période d'étude, montre que dans toutes les stations pluviométriques existe une saison pluvieuse qui se situe entre Octobre et Avril avec un maximum en Décembre, où les précipitations atteignent 120 mm, et des faibles précipitations au mois de juillet et Août.

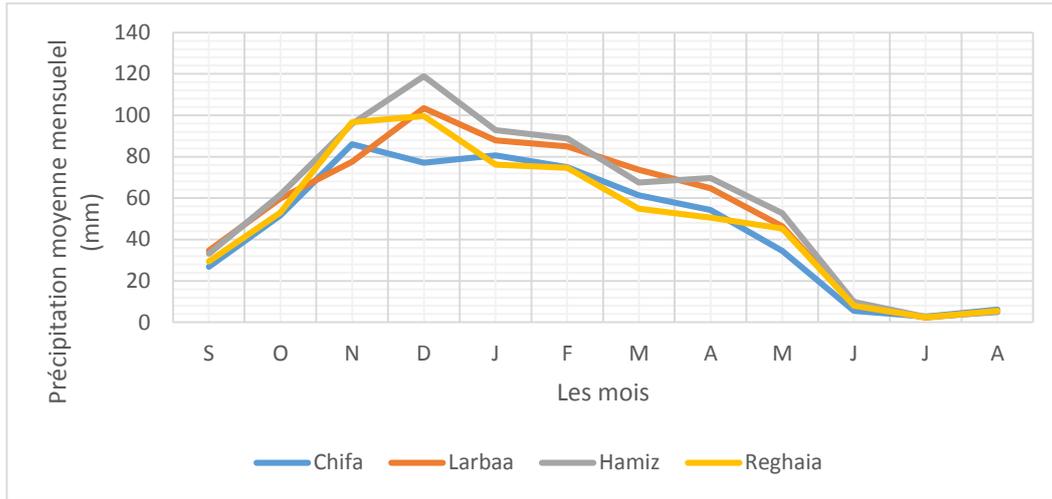


Figure III. 5 : L'évolution de précipitation moyenne mensuelle des quatre stations retenues (1980-2011)

III.4.2. À l'échelle annuelle :

L'analyse pluviométrique annuelle des stations pluviométrique a montré que la pluviométrie annuelle dans la plaine de la Mitidja est caractérisée par une irrégularité dans le temps et dans l'espace. La moyenne annuelle pour les quatre stations est de 629mm, avec une valeur maximal de 1058mm enregistré dans la station d'El-Hamiz en 2002. Ce qui concerne la variabilité spatiale, nous remarquons que la partie est de la région est plus pluvieuse que la région ouest.

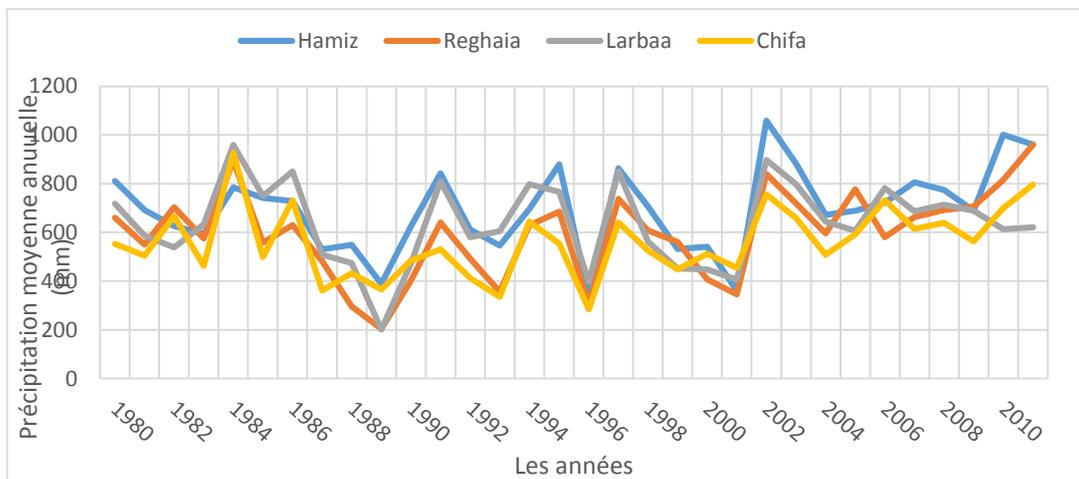


Figure III. 6 : L'évolution de la précipitation moyenne annuelle des quatre stations retenues (1980-2011)

III.5.Détection de ruptures aux seins des séries de précipitations annuelles :

L'utilisation des tests statiques proposé à l'aide de logiciel **Khronostat**, a permet de situer les années de ruptures au sein des séries pluviométriques dans la plaine de la Mitidja.

Les résultats obtenus sont représentées dans le suivant :

Tableau III. 1: Résultats des tests de ruptures :

Station	Test U Buishand	Test de Pettit	Variation après la rupture %	Test de Lee Heghinian	Var après la rupture %	Segmentation d'Hubert	Var après la rupture %
Hamiz	Oui	2001	24	2001	24	2001	24
Reghaia	Oui	2001	27	2001	27	2001	27
Larbaa	Non	2001	11	2001	11	2001	11
Chifa	Non	2000	17	2001	17	2001	17

Les résultats obtenus ont confirmé la présence de rupture aux seins des séries pluviométriques des stations concernant par l'étude. L'année de la rupture détectée par les différents méthodes pour tous les stations, a l'exception du test de Buishand qui n'a pas détecté des ruptures pour la station Larbaa et la station du Chifa.

Ce qui concerne la variation de la moyenne, nous notons qu'il s'agit d'une variation positive, autrement-dit une augmentation pluviométrique a été enregistrée après la rupture :

- ❖ **Station Hamiz** : une augmentation de 24% été enregistré par la rupture en 2001.
- ❖ **Station Reghaia** : une augmentation de 27% été enregistré par la rupture en 2001.
- ❖ **Station Larbaa** : une augmentation de 24% été enregistré par la rupture en 2001.
- ❖ **Sation Chifa** : une augmentation de 17% été enregistré par la rupture en 2000.

Cependant, plusieurs études (Khaouldia et al., 2014, Achit et al.,2014, Nezzal et al.,2013, Sogreah,2009...) ont détecté des ruptures dans les séries pluviométrique en différent régions de l'Algérie (Est , ouest et centre), avec des variation négative du moyenne pendant la périodes de 1970 à 1980.Nous notons qu'à cause de manque des données concernant la période avant 1972, ces méthodes n'ont pas pouvait détecter les ruptures pendant la période des 70.

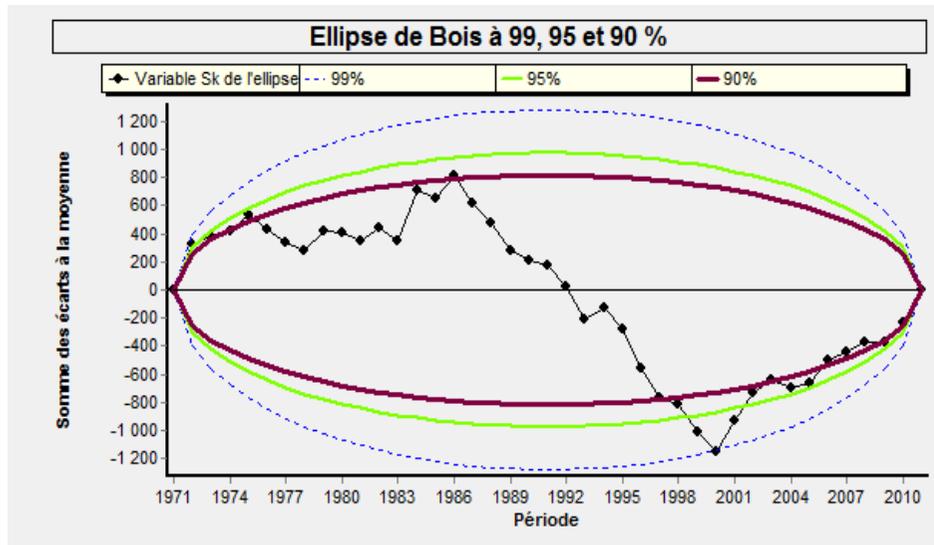


Figure III. 7 : ellipse de contrôle de Bois (Station Chifa)

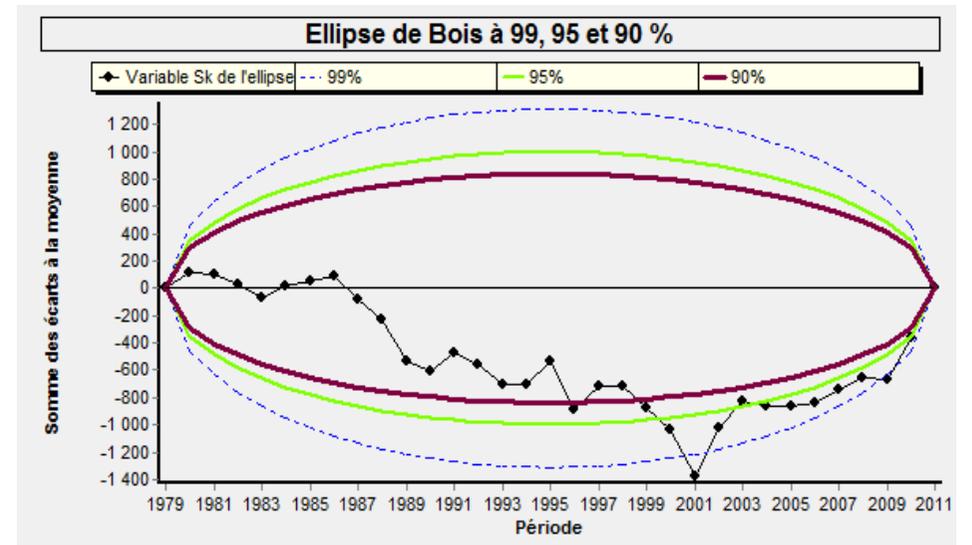


Figure III. 8 : ellipse de contrôle de Bois (Station Hamiz)

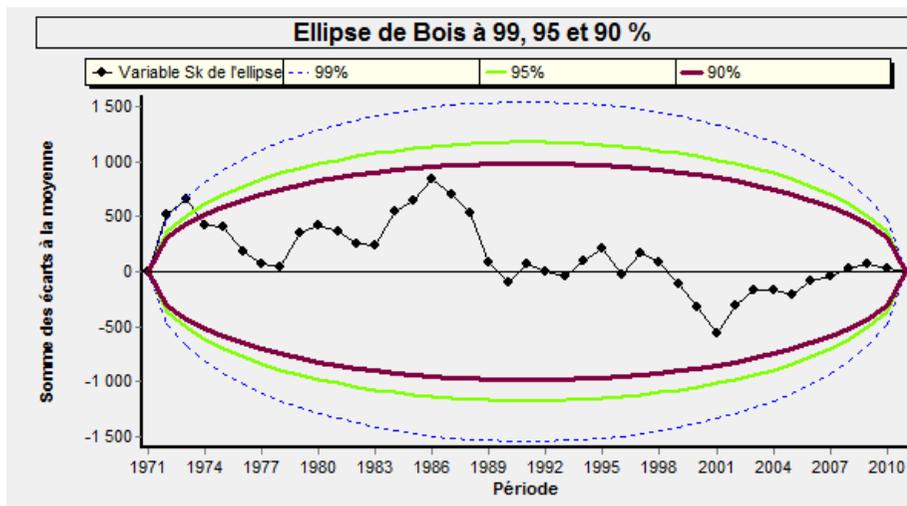


Figure III. 9 : ellipse de contrôle de bois (station Larbaa)

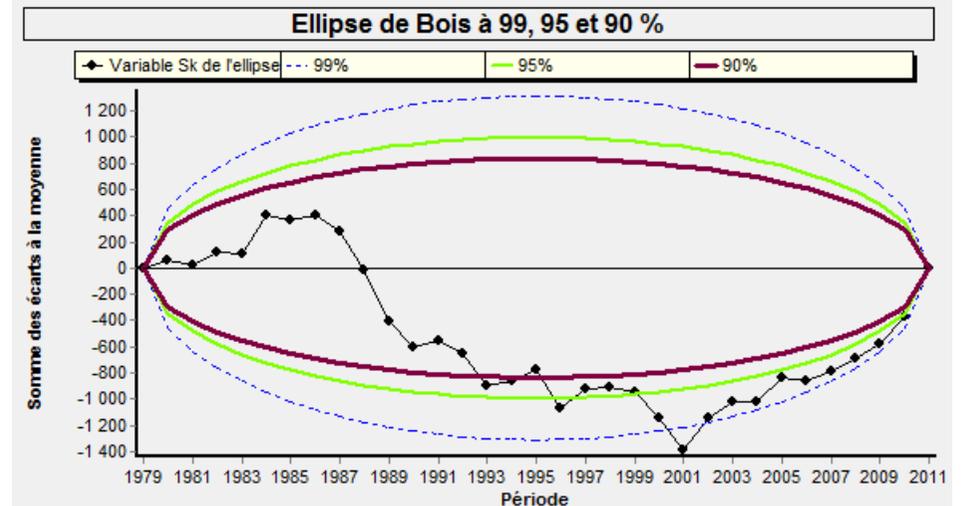


Figure III. 10 : Ellipse de contrôle (Station Reghaia)

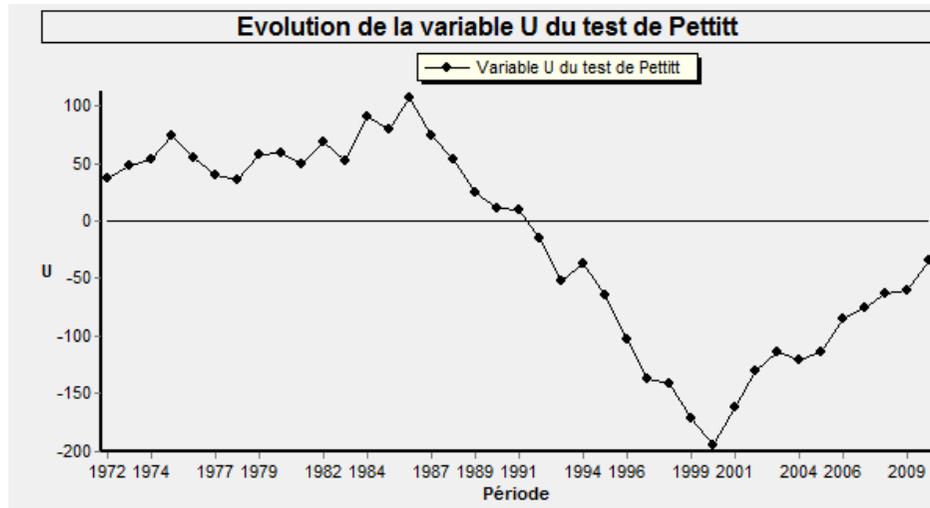


Figure III. 11 : Résultat du test de Pettitt pour la station Chifa

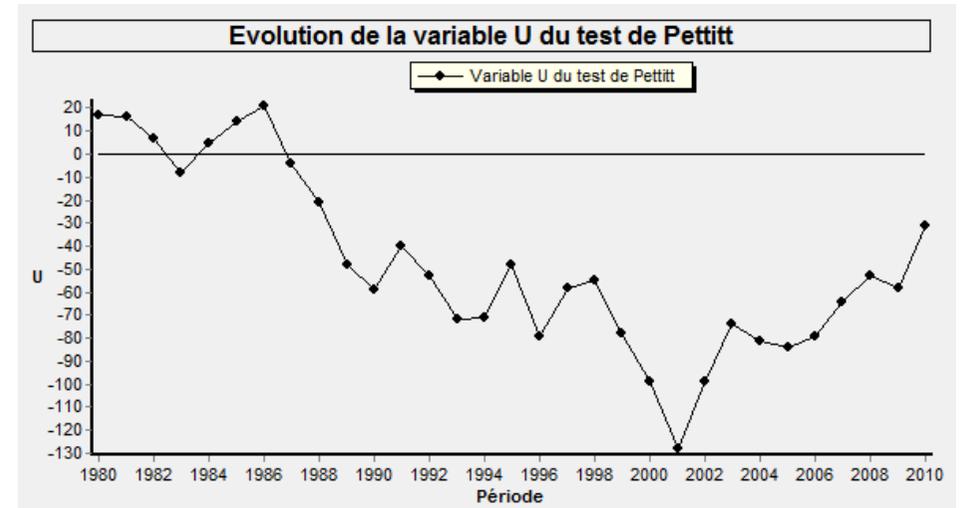


Figure III. 12 : Résultat du test de Pettitt pour la station Hamiz

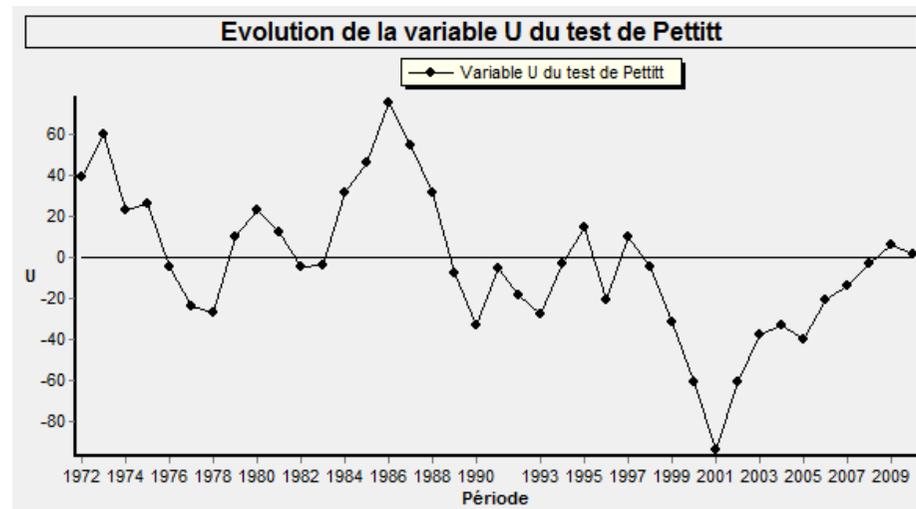


Figure III. 13 : Résultat du test de Pettitt pour la station Larbaa

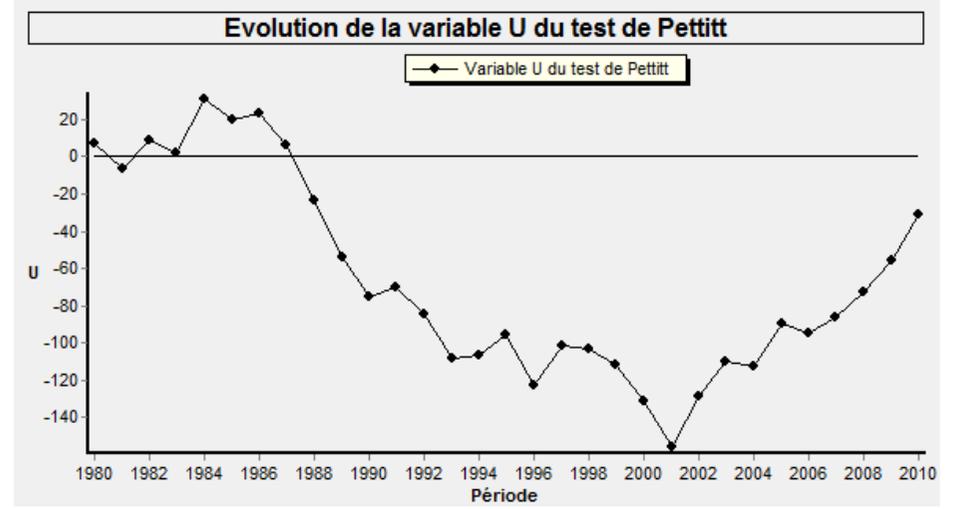


Figure III. 14: Résultat du test de Pettitt pour la station Reghaia

III.6. Evolution des indices climatique :

L'étude de l'évolution des indices climatique nous a aidés à déterminer les périodes (phases) sèches et humides ainsi la variabilité spatiale des précipitations au niveau de la plaine.

III.6.1. Méthode cumuls des écarts à la moyenne

L'analyse des courbes des cumuls des écarts proportionnels à la moyenne des précipitations (Ipmc) pour les différentes stations retenues dans l'étude ont mise l'évidence de l'existence d'une variabilité climatique caractérisée par une alternance des phases sèches et humides de durées différentes.

III.6.1.1. Station Chifa :

La courbe Ipmc de la station Chifa (**figure III.15**) montre l'apparence de trois périodes différentes. La première s'étend de 1972-1978, la deuxième qui est la plus longue de 1978 à 2001 et la troisième commence de 2001 jusqu'à présent.

On distingue deux périodes de sécheresse, 1975 à 1978 et 1987 à 2001, correspondant aux courbes décroissantes. On observe après cette période de sécheresse l'apparence d'une période humide de 2001 jusqu'à présent correspond à la croissance du courbe.

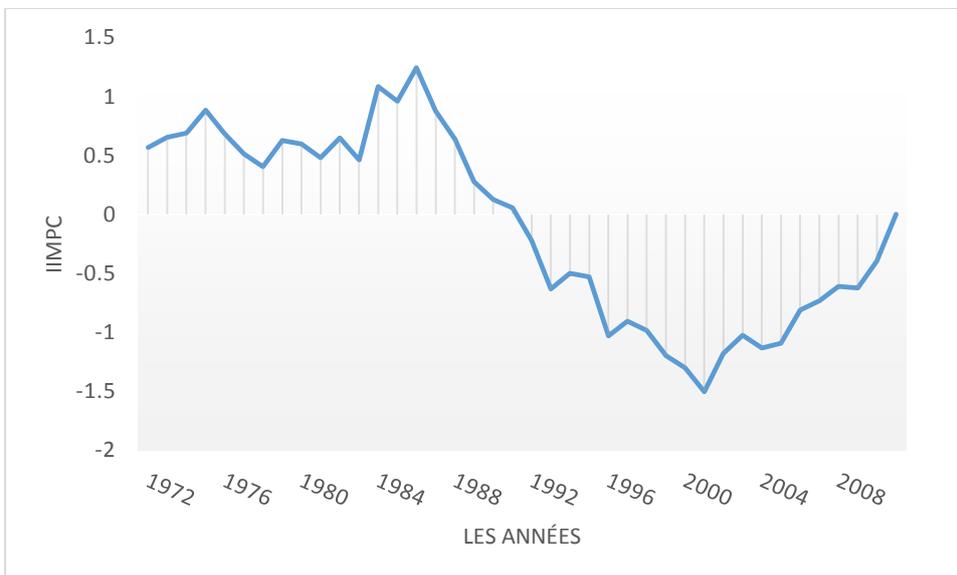


Figure III. 15 : Cumuls écart à la moyenne de la série pluviométrique de la station Chifa

III.6.1.1. Station Larbaa :

L'analyse de la courbe Ipmc de cette station a montré aussi qu'il existe trois périodes. La première s'étend de 1972-1978, la deuxième qui est la plus longue de 1978 à 2001 et la troisième commence de 2001 jusqu'à présent.

Comme la station précédente, nous distinguons deux périodes de sécheresses correspondant aux courbes décroissantes, 1973 à 1978 et 1986 à 2001. On observe une croissance à partir de 2001 qui signifié l'apparence d'une période humide.

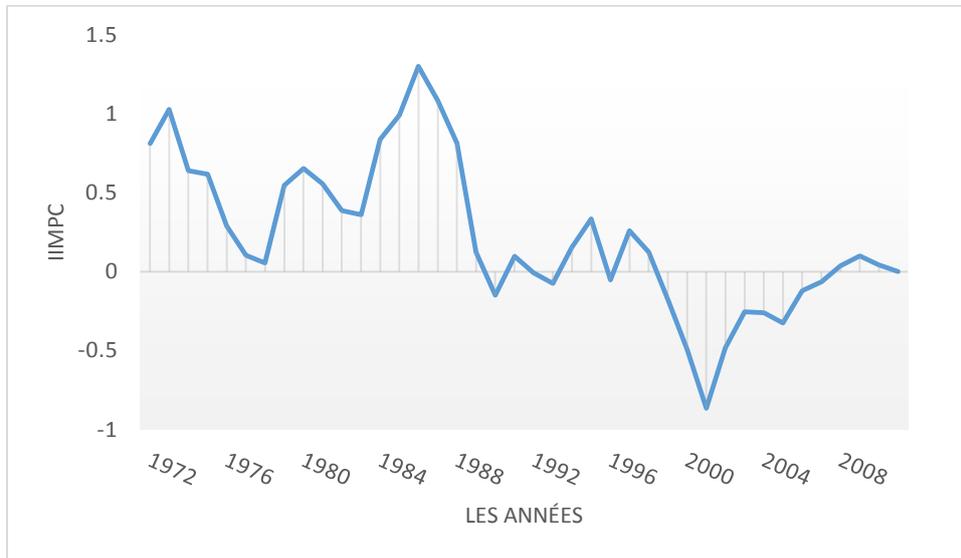


Figure III. 16 : Cumuls écart à la moyenne de la série pluviométrique de la station Larbaa

III.6.1.2. Station Hamiz :

Cette station possède des données pluviométriques de courte durée par rapport aux les deux stations précédentes. Pour cette raison nous ne distinguons que deux périodes. La première s'étend de 1980 à 1986 et la deuxième de 1986 à 2011.

L'analyse de la croissance et décroissance du courbe Ipmc indique l'existence d'une seule période de sécheresse prolongé entre 1986 à 2001. Après cette période, on observe une croissance dans la courbe qui signifié une période humide s'étend de 2001 jusqu'à la fin de la série.

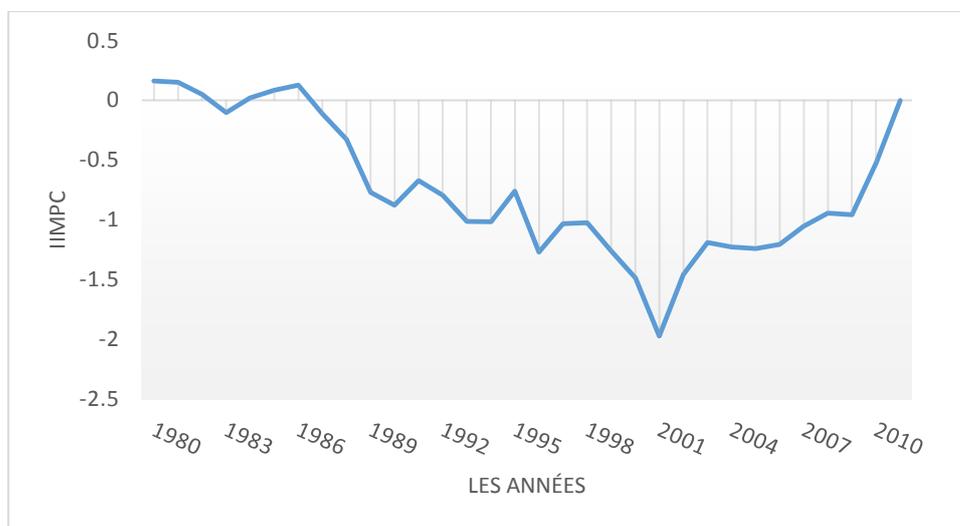


Figure III. 17 : Cumuls écart à la moyenne de la série pluviométrique de la station Hamiz

III.6.1.3.Station Reghaia :

La station de Reghaia est similaire à la station de Hamiz, à cause de la courte durée d’observation. Pour cette raison, on observe deux périodes, la première de 1980 à 2001 et la deuxième de 2001 jusqu’à la présence.

L’analyse de la croissance et la décroissance du courbe nous indique l’existence d’un seul période de sécheresse prolongé, elle s’étend de 1986 jusqu’à 2001. Ensuite la croissance du courbe Impc à partir de l’année 2001 signifié l’apparence d’un période humide dans la région.

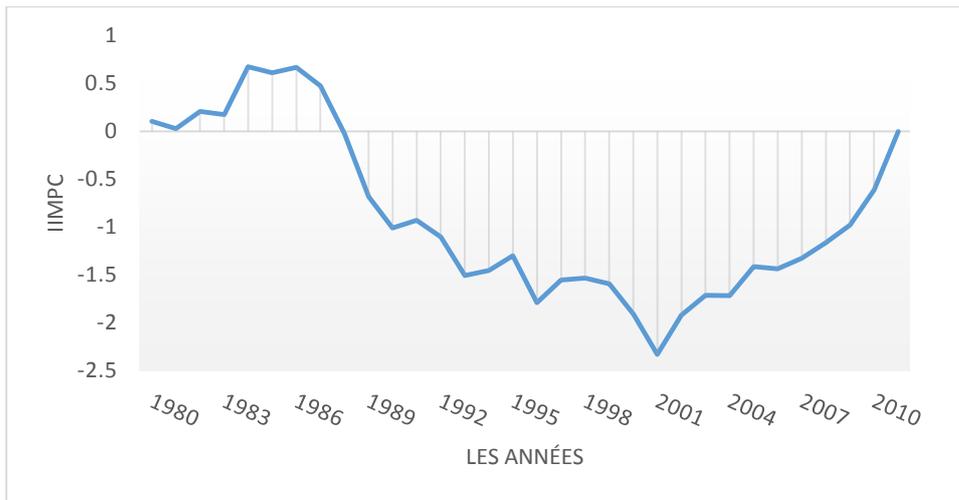


Figure III. 18: Cumuls écart à la moyenne de la série pluviométrique de la station Reghaia

III.6.2.Variation de l’indice de précipitations standardisé (SPI) :

L’évolution de l’indice de précipitation standardisé (SPI), indique une variabilité temporelle de précipitation. Cette variabilité caractérisée par une alternance des phases humides, proche de normal et sèches pour les différentes stations. Selon les valeurs du SPI, la classification de la sévérité des sécheresses est donnée par le tableau suivant :

Tableau III. 2 : Répartition des valeurs du SPI pour les quatre stations :

Station	Intensité de sécheresse						
	Extrêmes humide	Très humide	Modérément humide	Proche de normal	Modérément sec	Très sec	Excrément sec
Hamiz	3		2	22	2	3	1
Reghaia	1	2	2	21			1
Chifa	2		4	29	3	2	
Hamiz	2		3	27	6	1	

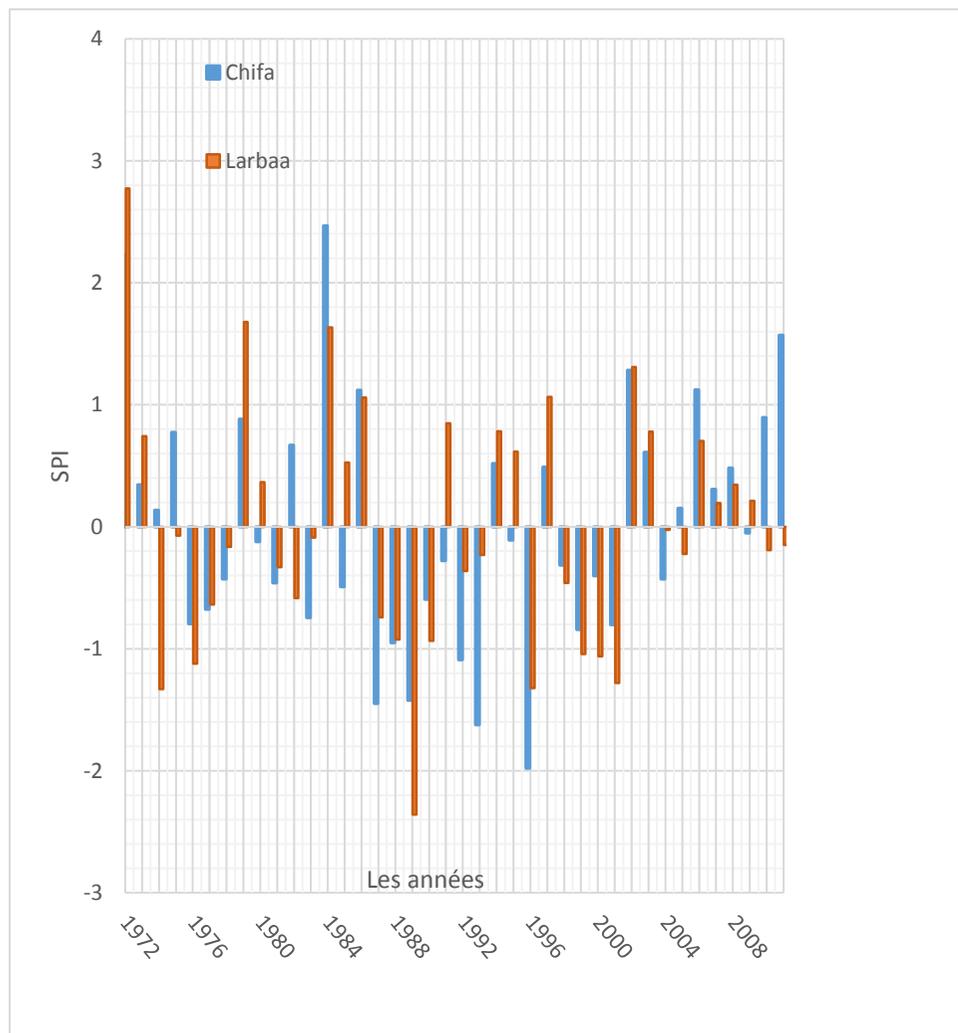


Figure III. 19 : Valeurs des SPI (station Chifa, Larbaa)

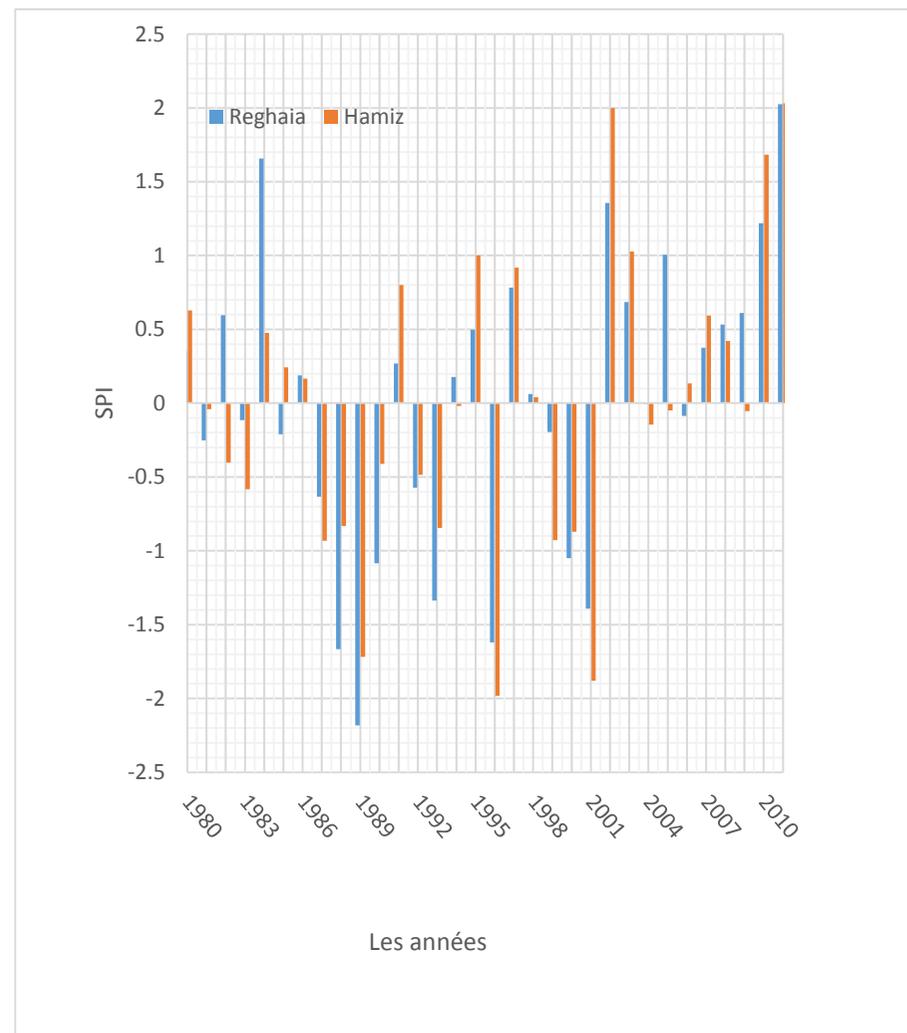


Figure III. 20 : Valeurs des SPI (Station Hamiz, Reghaia)

III.7. Evolution du niveau de la nappe :

La détermination de l'évolution des fluctuations de la surface piézométrique de la nappe phréatique de la Mitidja est basée, d'une part sur les mesures de piézomètres relevés par les services de l'ANRH, et d'une autre part sur les données et les résultats des études menées par d'autres études.

De nombreuses campagnes piézométriques ont été effectuées dans la Mitidja Est depuis un demi-siècle, notamment par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) qui réalise deux campagnes au minimum chaque année (une en basses eaux et une autre en hautes eaux).

Selon une étude établie par Nezzal en 2013 sur la fluctuation piézométrique de la nappe de Mitidja, l'analyse de l'évolution du niveau statique dans les quatre forages d'eau (Figure III.21), montre une baisse importante. Cette baisse commence à partir de la période de hautes eaux en 1991 jusqu'à Février 2002 (période des basses eaux en 2002). Cette baisse est due à l'apparition d'une période de sécheresse prolongée, la diminution des précipitations pendant cette période et la surexploitation de la nappe. Ce qui confirme que le déficit pluviométrique influence sur la recharge de la nappe.

À partir de 2002, on remarque une remontée du niveau. Cette remontée est due principalement à la recharge artificielle et la recharge liée aux précipitations. Cette dernière est confirmée par les indices climatiques et la rupture au sein des séries pluviométriques

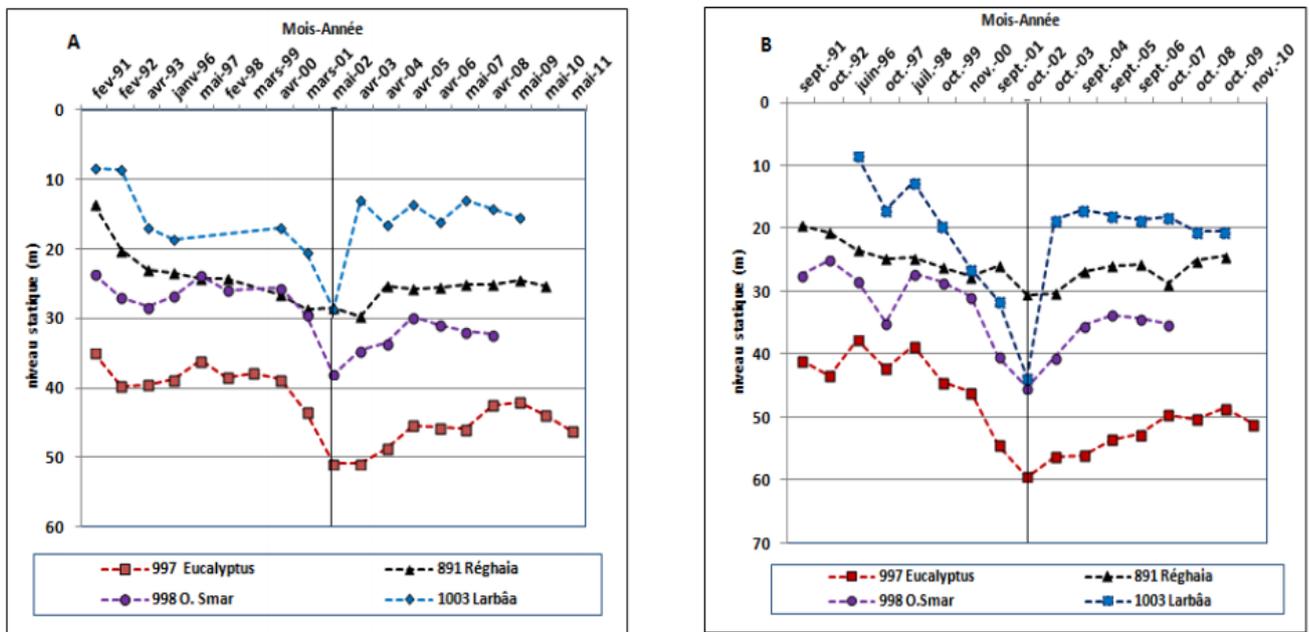


Figure III. 21 : Evolution du niveau statique, période des hautes eaux (A) et des basses eaux (B) (1991-2001) (Nazzal, 2013)

Au niveau des piézomètres Pz1 et Pz2, situés à proximité du champ de captage Hamiz, on observe une tendance importante à la baisse du niveau piézométrique jusqu'en 2009 (Figure III.22). Le niveau est au-dessous du niveau de la mer, il diminue de 12 m en 7 ans (entre 1995 et 2002) et il atteint -15 m

en 2008, en période de basses eaux. Ces rabattements sont fortement influencés par les déficits pluviométriques répétés depuis 1973 jusqu'à 2002

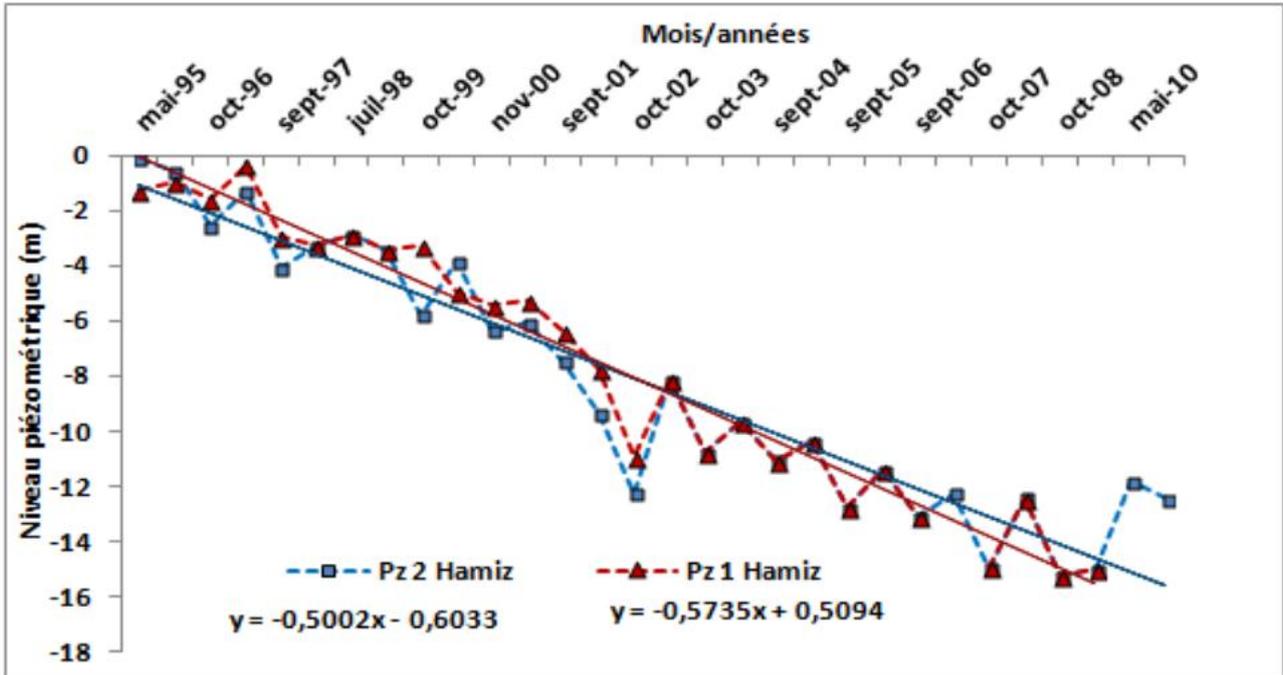


Figure III. 22 : Evolution du niveau piézométrique dans Pz1 et Pz2 Hamiz (1995-2011)

(Nazzel ,2013)

➤ **Comparaison à l'aide des cartes piézométrique des différents horizons :**

Pour illustrer l'évolution dans l'espace et dans le temps du niveau piézométrique au cours de ces dernières années nous utilisons des cartes piézométriques qui ont été réalisé pendant différents horizons. L'analyse piézométrique de la nappe à partir de ces carte nous a montré que :

- Le sens d'écoulement qui se fait de sud de l'Atlas vers le nord.
- Les gradients hydrauliques de la nappe sont généralement d'orientation Sud-nord. Ils sont plus élevés dans la partie Sud (zone d'alimentation). L'influence de la précipitation sur le niveau de la nappe est importante.
- Une baisse de la surface piézométrique est matérialisée par un cône de dépressions qui se manifeste au niveau des principaux champs de captages, la conséquence de plusieurs facteurs à savoir :
 - ✓ Longue période de sécheresse (deux dernières décennies)
 - ✓ Importante prolifération des ouvrages : Le nombre de forages inventoriés a pratiquement triplé dans un intervalle de 37 ans .Il est passé de 1492 en 1970 pour atteindre 4193 en 1997 selon les chiffres de l'ANRH.

Tous les droits réservés à la Bibliothèque ENSH

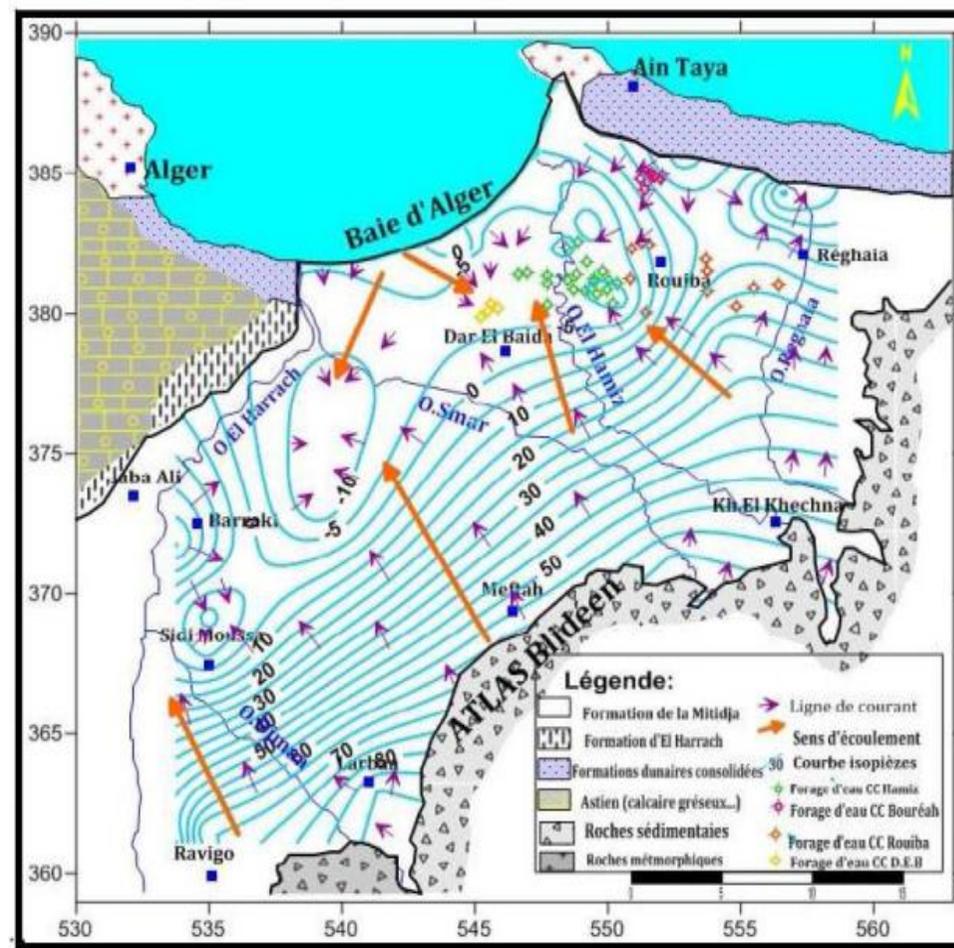
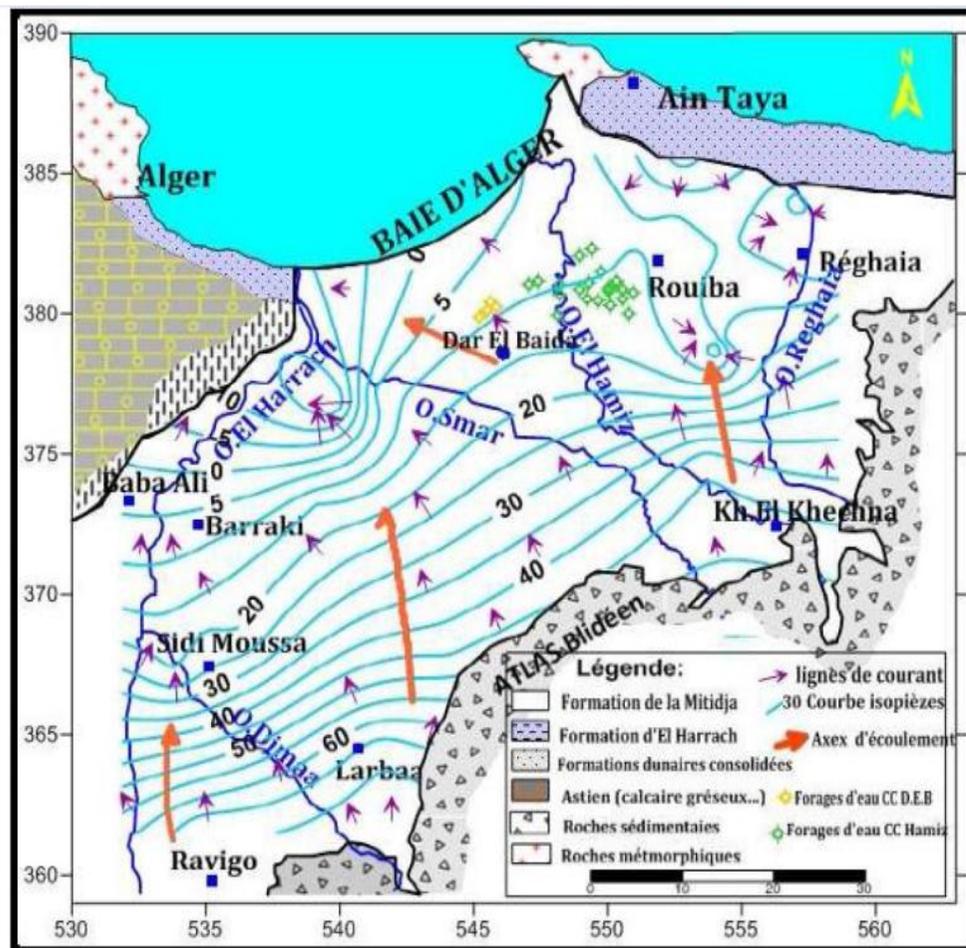


Figure III. 23 : La carte piézométrique de la Mitidja est (ANRH ,1981) Figure III. 24 : La carte piézométrique de la Mitidja est (ANRH ,2005)

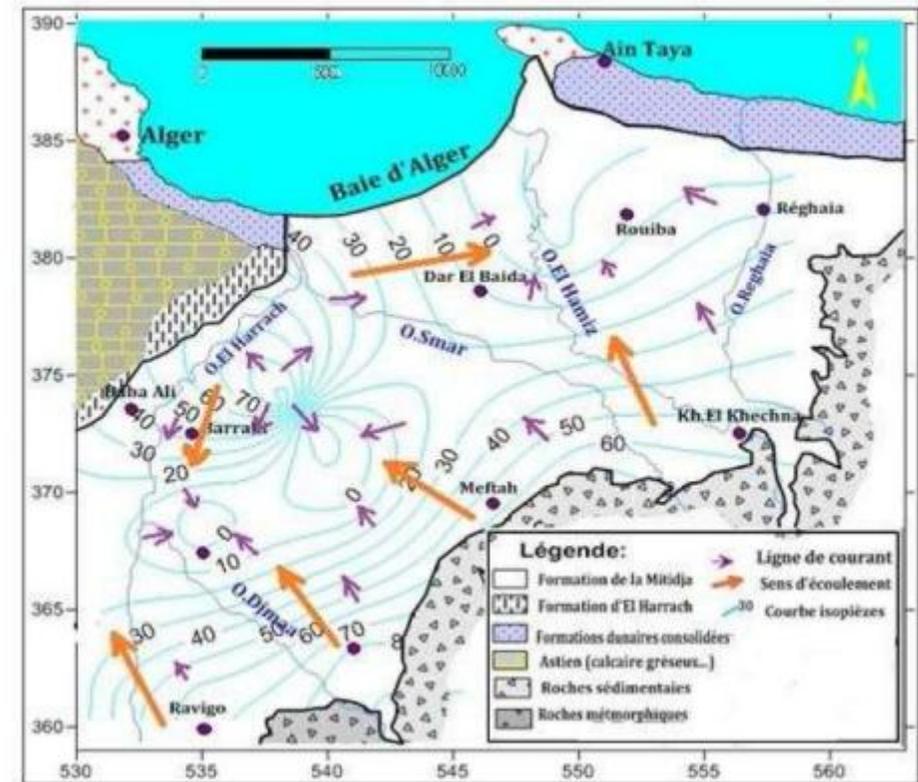
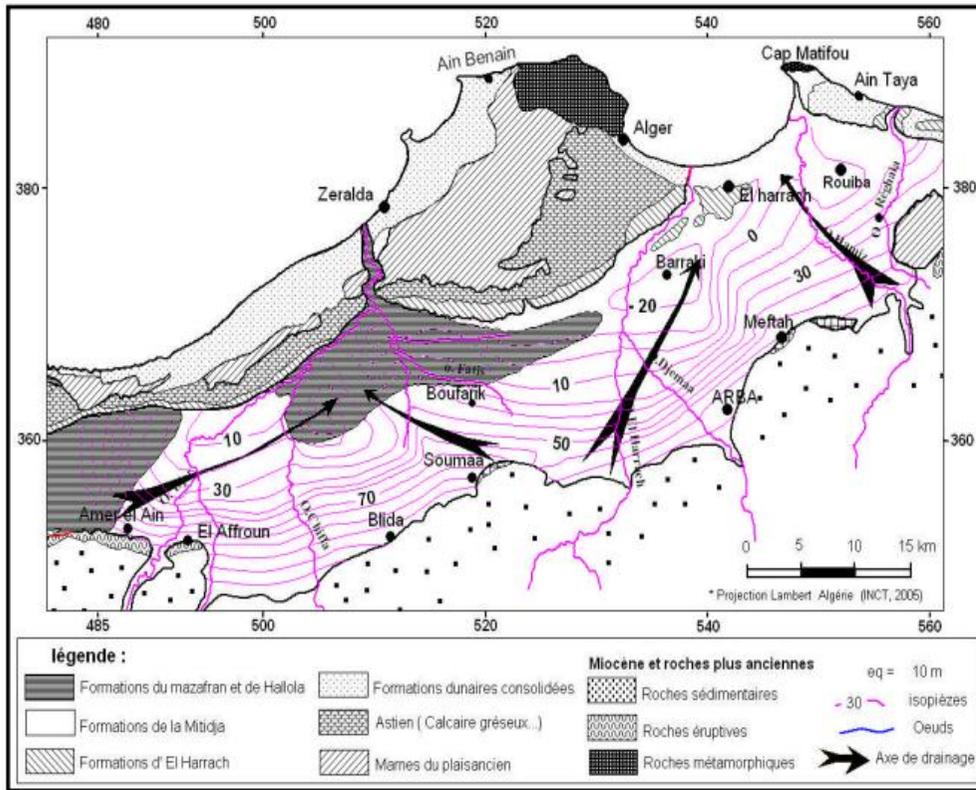


Figure III. 25 : La carte piézométrique de la Mitidja alluvial (ANRH,2004) Figure III. 26 : Carte piézométrique de la Mitidja est (ANRH, 2011)

III.8. Conclusion :

La détection de la rupture se fait par des tests statiques proposés par le logiciel **Khronostat** : la statistique U de Buishand (1984), le test de Pettitt (1979), la méthode bayésienne de Lee et Heghinian (1977) et la procédure de segmentation d'Hubert (1997). Les résultats obtenus ont confirmé la présence d'une rupture en 2001 avec une augmentation de la moyenne de précipitation pluviométrique annuelle (11% à 27%).

Cependant plusieurs études ont confirmé la présence de la rupture dans les années 70 en Algérie caractérisé par un déficit pluviométrique. Dans notre cas, le manque de données de cette période a empêché la détection de ces ruptures.

L'évolution des indices climatiques ont montré la présence d'une variabilité temporelle des précipitations avec l'existence des périodes des sécheresses surtout pendant la période de 1986 à 2001. À partir de 2001 (l'année de rupture) nous avons observé une l'apparence d'un période humide caractérisé par une augmentation de pluviométrique

L'analyse de la fluctuation du niveau de la nappe a montré que ce dernier a connu un rabattement très significatif pendant les années sèches. Ce rabattement est dû principalement aux déficits pluviométriques et la surexploitation de la nappe. Le niveau de cette dernière a reconnu une légère remonté qui est dû principalement à l'augmentation de la pluviométrie et la recharge artificielle.

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Dans ce mémoire, nous avons fait un appel aux méthodes statistiques pour mettre en évidence l'évolution du climat dans la plaine de la Mitidja. Avant de commencer l'étude nous avons jugé qu'il est nécessaire de définir certains concepts clés en relation avec le climat et le changement climatique. Selon le GIEC, qui est la principale source d'information de qualité sur l'évolution du climat, le changement climatique est défini comme étant une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat. Cette variation du climat peut être due à des processus internes naturels ou des forçages externes (effet de serre, la variation des paramètres astronomiques et l'activité volcanique) ou encore à des causes anthropiques liées à l'activité humaine qui se traduisent par le rejet des GES.

Les indicateurs de cette évolution du climat à l'échelle globale selon les observations peuvent se traduire par l'augmentation de la température moyenne de la terre, l'augmentation du niveau de la mer, une diminution dans la masse des calottes de glace et modification de la fréquence des événements extrêmes. À l'échelle régionale (Algérie), ces indicateurs peuvent résumer en : l'augmentation de la température moyenne de 0.5°C pendant les 40 dernières années et un déficit pluviométrique de 10% a été enregistré pendant la même période.

D'après la division de l'eau de l'ONU « L'eau est le premier intermédiaire par lequel le changement climatique impacte les écosystèmes ». Ces impacts jouent sur le cycle annuel de l'eau (déficit pluviométrique, diminution des débits des fleuves) et sur les extrêmes (les inondations et la sécheresse).

Pour suivre l'évolution du climat, les scientifiques utilisent des modèles dits des modèles climatiques. Ces modèles peuvent déterminer l'évolution du climat à l'aide des scénarios qui décrivent l'évolution de certains éléments clés. Ensuite pour déterminer les impacts de ce changement, ils utilisent des modèles d'impacts qui utilisent comme donnée d'entrée les variables climatiques issues des simulations par les modèles climatiques. Jusqu'à présent, la modélisation du changement climatique et ces impacts contiennent une certaine incertitude liée à plusieurs facteurs (incertitude des scénarios, incertitude des modèles et l'incertitude des modèles d'impacts).

Pour atteindre à l'objectif de notre étude, nous avons retenues quatre stations pluviométriques (Hamiz, Reghaia, Larbaa et Chifa) dont leurs périodes d'observations varient entre 31 à 39 ans. Avant de commencer l'étude statistique, nous avons comblé les lacunes d'observation par la méthode de régression linéaire et testé leur homogénéité par la méthode de simple cumul. Les résultats de ce test ont

indiqué que les stations de Chifa et Larbaa présentent une hétérogénéité des données, à l'aide de la pente du graphe nous avons corrigé ces données.

L'approche méthodologique adoptée pour atteindre à l'objectif de la présente étude, comporte les opérations suivantes :

- ✓ La détection de la rupture aux seins des séries pluviométriques annuelle par tests statistiques. Cette rupture se traduit par un changement de loi de probabilité.
- ✓ La mettre en évidence de l'évolution du climat à l'aide des indices climatiques (indice de précipitation standardisé SPI et la méthode du cumul de l'écart proportionnel à la moyenne Impc)
- ✓ La comparaison des résultats obtenus avec l'évolution du niveau piézométrique de la nappe phréatiques.

La détection de la rupture se fait par des tests statistiques proposés par le logiciel **Khronostat** : la statistique U de Buishand (1984), le test de Pettitt (1979), la méthode bayésienne de Lee et Heghinian (1977) et la procédure de segmentation d'Hubert (1997). Les résultats obtenus ont confirmé la présence d'une rupture en 2001 avec une augmentation de la moyenne de précipitation pluviométrique annuelle (11 % à 27%).

Cependant plusieurs études ont confirmé la présence de la rupture dans les années 70 en Algérie caractérisé par un déficit pluviométrique. Dans notre cas, le manque de données de cette période a empêché la détection de ces ruptures.

L'évolution des indices climatiques ont montré la présence d'une variabilité spatio-temporelle des précipitations avec l'existence des périodes des sécheresses surtout pendant la période de 1986 à 2001. À partir de 2001 (l'année de rupture) nous avons observé une l'apparence d'un période humide caractérisé par une augmentation de pluviométrique

L'analyse de la fluctuation du niveau de la nappe a montré que ce dernier a connu un rabattement très significatif pendant les années sèches. Ce rabattement est dû principalement aux déficits pluviométriques et la surexploitation de la nappe. D'une autre part, à partir des années 2000 nous remarquons un léger remonté du niveau piézométrique. Cette dernière est dû à l'augmentation pluviométrique, et donc la recharge liée à la précipitation et aussi à la recharge artificielle.

Référence Bibliographie

Référence Bibliographique :

- [1] : **Tabeaud, Martine**. La climatologie générale. 3^{ème} édition. Paris : Armand Colin, 2008. 126p.
- [2] : **Helga-Jane Scarwell, Isabelle Roussel**. Le Changement climatique : Quand le climat nous pousse à changer d'ère. Presses Univ. Septentrion, France. 2010 - 358 pages. Disponible sur : < books.google.fr >. Consulter le 06/12/2015.
- [3] : **Christian ,Godin**. La totalité, Volume 5. Editions Champ Vallon, 2002 - 954 pages. Disponible sur : < books.google.fr >. Consulter le 06/12/2015.
- [4] : **BAGHDADLI, Ilyas**. L'influence du changement climatique sur les ressources en eaux du Meffrouch. 74pages. Mémoire master. UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEM. FACULTE DE TECHNOLOGIE. DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE. Année de soutenance 2014. Disponible sur : < dspace.univ-tlemcen.dz >. Consulter le 06/12/2015.
- [5] : **KHALDI, Abdelkader**. Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida". 230 pages. UNIVERSITE D'ORAN. Faculté des sciences de la terre, de Géographie et l'aménagement du territoire. Mémoire de doctorat. Année de soutenance 2005. Disponible sur < hydrologie.org >. Consulté le 15/12/2015
- [6] : **Mazar, Amar**. Impact des changements climatiques sur les ressources en eau superficielles. 60 pages. ENSH Blida. Mémoire Master. Année de soutenance 2014.
- [7] : **FARAH, ABDELHAFID KARIM**. Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien. Mémoire magister. UNIVERSITE CONSTANTINE 1, FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE, DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET ECOLOGIE. Année de soutenance 2014. Disponible sur < bu.umc.edu.dz >. Consulté le 15/12/2015
- [8] : **Yidourega, Dieudonné BATIONON**. Changements climatiques et cultures maraichères. Mémoire Master. Université d'Ouagadougou. Année de soutenance 2009. Disponible sur < memoireonline.com >. Consulté le 18/12/2015
- [9] : **Anonyme**, Changements climatiques Comprendre et réagir. Réseau Action Climat-France. Disponible sur < rac-f.org >. Consulté le 18/12/2015
- [10] : **SAIDA ,NIAZI**. Evaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Tétouan (Méditerranée occidentale du Maroc) : Vulnérabilité et Adaptation. Thèse doctorat. UNIVERSITÉ MOHAMMED V – AGDAL . FACULTÉ DES SCIENCES. Année de soutenance 2007. Disponible sur < toubkal.imist.m >. Consulté le :05/01/2016

[11] **ABDERRAHMANI, BELAI.** LES RISQUES CLIMATIQUES ET LEURS IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT. Thèse doctorat. UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE d'ORAN Mohamed Boudiaf. Faculté de Chimie .Département de Chimie Organique Industrielle. Année de soutenance 2015. Disponible sur < dspace.univ-usto.dz>. Consulté le :05/01/2016

[12] : **Jacques, Dermagne et al.** Partager la connaissance et ouvrir le dialogue : le changement climatique. 2006. Groupe de réflexion Académies et Conseil économique et social.

[13] : **TABET, Slimane.** LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN ALGERIE ORIENTALE ET SES CONSEQUENCES SUR LA VEGETATION FORESTIERE. Mémoire magistère. UNIVERSITÉ MENTOURI CONSTANT I N E. FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET D'ÉCOLOGIE. Année de soutenance 2008. Disponible sur < bu.umc.edu.dz>. Consulté le :05/01/2016

[14] : **Anonyme,** Le mouvement des ONG françaises engagées pour l'accès à l'eau et à l'assainissement pour tous. Eau et changement climatique : note de recherche. 2014. Disponible sur < www.coalition-eau.org> .Consulté le 05/01/2016

[15] : **Florence, HABETS et al.** Impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin versant de la Seine. Eau Seine Normandie. Décembre 2011. Disponible sur < sisyphe.upmc.fr>. Consulté le :14/01/2016

[16] : **Jean-Marc, WATELET.** IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA STABILITE DES CAVITES SOUTERRAINES. RAPPORT D'ÉTUDE. L'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques. 2010. Disponible sur < ineris.fr>. Consulté le : 14/01/2016

[17] : **Franck, Lespinas.** Impacts du changement climatique sur l'hydrologie des fleuves côtiers en région Languedoc-Roussillon. Thèse de doctorat. UNIVERSITE DE PERPIGNAN. Année de soutenance 2008. Disponible sur < cpdp.debatpublic.f>. Consulté le : 14/01/2016

[18] :**KADI A. (1997).** La gestion de l'eau en Algérie, Hydrological Sciences (Journal des Sciences Hydrologiques),Vol.42, N°2, 191-197.

[19] : **Bates,B.et al ,2008:**Le changement climatique et l'eau , document technique publié par le GIEC, Genève,236p.

[20] : **ANONYME (2009).** Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie. PNUD. Algérie, 19 p.

[21] : **Jouzel,J ; Debroise, A.** Le Climat : jeu dangereux : dernières nouvelles de la planète. Paris : Dunod,2007.

[22] : **Y. ELMEDDAHI et al.** Changement climatique : Cas du bassin du moyen Cheliff occidental.

[23] : **Julie, Fabre et al.** Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse : Bilan des connaissances. L'agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse. 2012

[24] : **Gaëlle ,ROUSSEL et al .** Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales? . Conseil Scientifique de l'Environnement de Bretagne.2012. Disponible sur <>. Consulté le 29/01/2016

[25] : **Jouzel, 2011.** Scénarios climatiques : indices sur la France métropolitaine pour les modèles français ARPEGE-Climat et LMDz et quelques projections pour les DOM-COM. Rapport direction générale de l'énergie et du climat (DGEC). France.

[26] : **PAC ,2004 :** Maitrise de l'urbanisation et de l'artificialisation des sols. Projet d'aménagement. Rapport : Etude prospective de l'urbanisation phase 2.2004

[27] : **LARBI, Arezki.** Utilisation d'un SIG et d'un modelé mathématique pour la gestion intégrée des ressources en eau a l'échelle du bassin côtier Algérois 02a.Mémoire Magister. Université des sciences et de la technologie « HOUARI BOUMEDIENE ». Faculté de génie civil 20012

[28] : **Arezki,TAZDAIT.** ÉTUDE DE LA PERSISTANCE DE LA SECHERESSE AU NIVEAU LA PLAINE DE LA MITIDJA A L'AIDE DES CHAINES DE MARKOV. Mémoire magister. ENSH. 2012

[29] : **Nazzel et al,** Variabilité climatique et impacts anthropiques sur la nappe alluviale de la Mitidja orientale (baie d'Alger), Revue scientifique et technique.2013.

[30] : **Meddi M., Meddi H. (2005) :** étude de la persistance de la sècheresse au niveau de sept plaines algériennes par utilisation des chaines de Markov (1930-2003) Courrier du Savoir N°09. Mars 2009

[31] **BELAGOUNE, FARES.** ETUDE ET MODÉLISATION DES CRUES DES COURS D'EAUX EN MILIEU SEMI ARIDE « Cas des grands bassins versants 05, 06 et 07 ». Mémoire du Magister. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA. FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE ET SCIENCES DE LA MATIERE Département d'hydraulique et de génie civil.2012.

[32] : **ACHITE, Mohammed et al .**Etude de la variabilité climatique dans le nord-ouest algérien (Bassin versant de l'Oued Mina) : approche statistique. NTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENT & WATER. 2014

[33] : **Wacila ,Khoualdia et al.** Caractérisation de la variabilité climatique : cas du bassin versant de La Medjerda (Nord-Est algérien). Rev. Sci. Technol., Synthèse 29: 6-23 (2014)

- [34] : **El Ibrahimi, Abdllhamid et al** .Etude de l'impact des variations pluviométriques sur les fluctuations piézométrique des nappes phréatiques superficielle en zone semi-aride (Cas de la plaine de Saïs, Nord du Maroc). European Scientific Journal, 2015
- [35] : **FOSSOU R.M et al.** VARIABILITE CLIMATIQUE ET SON IMPACT SUR LES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES : CAS DES STATIONS DE BOCANDA ET DE DIMBOKRO AU CENTRE-EST DE LA COTE D'IVOIRE (AFRIQUE DE L'OUEST). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°21. Mars 2015
- [36] : **OMAR, CHADID.** ANALYSE DES SÉRIES HYDROMÉTÉOROLOGIQUES PAR LA TRANSFORMÉE EN ONDELETTES. ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE UNIVERSITÉ DU QUÉBEC. 2003.
- [37] : **Tommy, Klein.** COMPARAISON DES SÉCHERESSES ESTIVALES DE 1976 ET 2003 EN EUROPE OCCIDENTALE À L'AIDE D'INDICES CLIMATIQUES. 2009.
- [38] : **Nichane M ,Khelil M A.** Changement climatique et ressource en eau en Algérie : Vulnérabilité, Impact et Stratégie d'adaptation. Larhyss Journal.2015. N°21. Disponible sur < lab.univ-biskra.dz>. Consulté le 29/01/2016

Référence Sito-graphiques

- [39] : [www. books.google.dz](http://www.books.google.dz) .Consulté le 06/12/2015
- [40] : www.sndl.cerist.dz .Consulté le 9/12/2015
- [41] : www.memoireonline.com/ Consulté le 10/12/2015
- [42] : www.meteofrance.fr Consulté le 24/01/2016
- [43] : www.dspace.univ-tlemcen.dz Consulté le 24/01/2016
- [44] : www.ipcc.ch/ Consulté le 24/01/2016