

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة الجيلالي بونعاما - خميس مليانة  
Université Djillali Bounaama - Khemis Miliana



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre  
Département des Sciences Agronomiques  
Spécialité : Aménagement Hydro-Agricole

## MEMOIRE

de fin d'études présenté pour l'obtention du diplôme de *Master*

*Thème*

**Analyse et cartographie de la variabilité spatio-temporelle des paramètres climatiques dans le bassin de l'Algérois**

**Présenté par :**

DRAOUI Amina

ARRADJ Nour El Houda

Soutenu publiquement le xx/07/2018, devant le jury composé de :

Mr/ MEROUCHE Abdelkader	MCB	Président	UDB- Khemis Miliana
Mlle KARHAÇANE Hafsa	MAA	Promotrice	UDB- Khemis Miliana
Mlle MATEN Chahrazed Naziha	MAB	Co-Promotrice	UDB- Khemis Miliana
Mr TOUIL Sami	MAA	Examineur	UDB- Khemis Miliana
Mme BOUAICHI Ilhem	MAA	Examinatrice	UDB- Khemis Miliana

Année universitaire 2017/2018

## **Introduction générale**

Le changement climatique est un phénomène qui a fait et fait encore largement parler de lui compte tenu des fluctuations qui touchent le climat terrestre, et leur conséquence sur le mode de vie de l'humanité que ça soit au niveau sanitaire, social, agricole...etc. Ce phénomène tient son importance du fait qu'il touche des secteurs sensibles dont les conséquences peuvent déboucher sur une catastrophe à l'échelle planétaire qui ramène ainsi la question du devenir du genre humain (Farah, 2014).

En raison de leurs répercussions immédiates et durables sur le milieu naturel et sur l'homme, les questions de changement et de variabilité climatiques sont placées depuis quelques temps au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde (Koumassi et al., 2017).

L'étude de variabilité annuelle des précipitations est importante pour les projets de développement en agriculture et en aménagement hydraulique (Meddi et al., 2004).

Les événements extrêmes peuvent être basés sur la rareté des phénomènes climatiques simples se décrivent par une seule variable (par exemple, la température) qui atteint une certaine valeur ; les phénomènes complexes impliquent un ensemble de variables associées à un événement climatique particulier comme la sécheresse, vagues de froid et de chaleur, pluies fortes et chutes de neige (Goubanova, 2007).

L'étude de ces événements a tout d'abord pour objectif de mieux comprendre les processus dans le système climatique et permet de considérer deux caractéristiques importantes des extrêmes (fréquence et intensité). Ces dernières caractéristiques impliquent la considération du dépassement d'un seuil par des variables climatiques associées à ce phénomène (Beniston et Stephenson, 2004).

La présente étude propose une étude de la variabilité climatique au bassin côtier de l'Algérois à partir des données climatiques journalières pluviométriques et températures, mettre en évidence les tendances et les variations climatiques spatiales et temporelles et détermination des années des ruptures.

Le principal outil statistique que nous avons utilisé dans ce travail est les tests statistiques de tendance et de détection de rupture afin de caractériser la variabilité spatiale et temporelle qui touche cette région. Pour évaluer la fréquence et la gravité des événements

météorologiques extrêmes et leurs évolutions au cours des dernières décennies, en utilisant des indices climatiques extrêmes, calcul de la tendance et détecter les dates de rupture.

Pour étudier l'influence des grandes oscillations atmosphériques sur la variabilité dans cette région, une analyse de corrélation entre les indices des oscillations et les indices climatiques extrêmes et l'évapotranspiration.

Ce mémoire a été organisé comme suit :

Dans le premier chapitre on a présenté la synthèse bibliographique sur le climat et les facteurs et élément climatique puis le changement climatique et la variabilité climatique et les tests statistiques à utiliser dans notre étude.

Le deuxième chapitre, nous avons présenté notre zone d'étude bassin hydrographique côtiers Algérois et son localisation géographique et caractérisation climatique (Température minimal et maximal et température moyenne) et les précipitations et les ressources hydrique et la végétation de la région.

Le troisième chapitre contient une présentation sur l'ensemble des matériels et méthodes utilisés pour la réalisation de ce travail.

Le dernier chapitre présente les résultats trouvés avec leurs discussions.

En finalisant par une conclusion générale.

## **Introduction**

Le climat de la planète dépend de nombreux facteurs, principalement de la quantité d'énergie provenant du soleil, mais aussi de facteurs tels que la teneur en gaz à effet de serre et en aérosols de l'atmosphère ou les propriétés de la surface de la Terre, qui conditionnent la quantité d'énergie solaire qui sera absorbée ou réfléchi dans l'espace (GIEC, 2007).

La climatologie se base sur des observations et des relevés d'un maximum des paramètres possibles comme la température, les précipitations, l'humidité...etc. Les climatologues distinguent entre les concepts de la variabilité du climat et le changement climatique. La variabilité du climat se réfère généralement à court ou à moyen terme, aux fluctuations autour de l'état moyen du climat sur les échelles de temps allant de quelques années (15 à 30 ans) (Hermès, 2008).

Le changement climatique, d'autre part, se réfère à un changement fondamental dans l'état moyen du climat qui se rapporte généralement aux tendances à plus long terme. Bien que les projections futures des changements climatiques soient souvent données comme des valeurs moyennes, les climatologues soulignent que ce changement ne peut pas être présumé avoir lieu comme un vrai linéaire progressif hausse. A court terme, la variabilité du climat et la fréquence des événements climatiques extrêmes sont prévues pour être modifiées dans le cadre de la physique des conséquences des changements climatiques à long terme (Hermès, 2008).

### **1. Climat**

Le climat correspond à la distribution statistique des conditions atmosphériques dans une région donnée pendant une période de temps donnée. Il se distingue de la météorologie qui désigne l'étude du temps à court terme dans des zones ponctuelles (Hufty, 2001). Le climat s'agit plus précisément d'une description statistique en fonction de la moyenne et de la variabilité de grandeurs pertinentes sur des périodes variant de quelques mois à des milliers, voire à des millions d'années. Dans un sens plus large, le climat est la description statistique de l'état du système climatique (Dumas *et al.*, 2005).

#### **1.2. Facteurs du climat**

Les facteurs du climat ceux sont des facteurs qui agissent sur la variabilité des éléments du climat soit au niveau du globe terrestre, soit au niveau d'une localité.

### **1.2.1. Facteurs astronomiques**

Qui font intervenir la rotation de la terre sur elle-même et autour du soleil, entraînant une variation de la quantité d'énergie solaire reçue au niveau de la surface terrestre cours d'une journée et au cours de l'année.

L'axe de la Terre est incliné de  $23^{\circ}26'$  par rapport à son plan de rotation autour du Soleil : le plan de l'écliptique. Au cours de l'année, cette inclinaison, par rapport au plan de l'écliptique, garde une direction fixe dans l'espace.

### **1.2.2. Facteurs météorologiques**

Qui tiennent compte de la circulation générale, de l'effet des masses d'air (El khatri, 2003).

### **1.2.3. Facteurs géographiques**

Les éléments climatiques sont influencés par les facteurs géographiques locaux : la latitude, l'altitude, la présence d'étendue d'eau plus ou moins importante, la disposition et la caractéristique du relief, la végétation, mais aussi l'urbanisation.

### **1.2.4. Facteurs anthropiques**

Modification de la composition chimique de l'atmosphère en gaz à effet de serre et en particules d'aérosols résultant par exemple de la combustion de combustibles fossiles ou de la biomasse (GIEC, 2001), des rejets polluants issus des industries et des transports ainsi que de la destruction des grands forêts équatoriaux.

## **1.3. Eléments du climat**

Sont des paramètres physiques et des observations visuelles qui caractérisent le climat qui résultent : soit directement de la lecture ou de l'enregistrement d'un appareil de mesure: thermomètre, pluviomètre, ... soit des observations visuelles codifiées directement par l'observateur par exemple la détermination de la couverture nuageuse ou de la morphologie du type de nuages.

### **1.3.1. Précipitations**

Sont dénommées précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...) (Yann, 1993).

### **1.3.2. Températures**

C'est le degré de chaleur et de froideur de l'atmosphère. Elle est exprimée en degré Celsius (C°). Elle varie selon l'altitude, et les périodes de la journée. La différence entre le mois le plus chaud et le mois le moins chaud est l'Amplitude thermique.

La température représente un facteur limitant de toute première importance car, elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne, de ce fait, la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 1984)

Ainsi que la température de l'air est un facteur qui a une grande influence sur le bilan hydrologique du fait de son impact sur le déficit d'écoulement (évapotranspiration).

**Tmin:** se produit vers le lever du soleil (ou peu après le lever du soleil).

**Tmax:** se produit deux heures après le méridien (le midi soleil).

**Tmoy :** La température moyenne est définie comme la demi-somme de la température minimale et maximale (maxima (TX) + minima (TN)) divisées par 2.

### **1.3.3. Humidité relative**

Elle représente le rapport exprimé en pourcent (%) de la tension de vapeur d'eau observée à la tension de vapeur de saturation pour une température donnée. Donc L'air humide est le mélange de deux gaz : l'air sec et la vapeur d'eau (Frédéric, 2010).

### **1.3.4. Vent**

Le vent c'est de l'air en mouvement alors que la pression est le poids de la colonne d'air au-dessus d'un lieu. C'est le résultat de la différence de pression entre deux zones voisines. Il provoque le déplacement des masses d'air et transporte ainsi les caractères climatiques.

### **1.3.5. Évaporation**

C'est le phénomène physique de la transformation de l'eau en vapeur d'eau. Il intervient à toutes les phases du cycle de l'eau.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eau libre.

## **2. Changement climatique**

Le mot changement renvoie au processus de modification par évolution. Ainsi, l'expression « changement climatique » peut être comprise comme la modification du climat pendant une période longue d'évolution. La convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), définit « le changement climatique » 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 de périodes comparables (CCNUCC, 1992).

Selon le GIEC, le changement climatique s'entend d'une variation de l'état du climat que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus (GIEC, 2001)

## **3. Variabilité climatique**

La variabilité climatique désigne des variations de l'état moyen et d'autres statistiques (écarts standards, phénomènes extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà des phénomènes climatiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations des forçages externes anthropiques ou naturels (variabilité externe) (ONERC, 2007).

### **3.1. Méthodes de détection de la variabilité climatique**

#### **3.1.1. Détection de ruptures et étude de tendance au sein des séries pluviométriques**

Une « rupture » peut être définie par un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives définissent les séries chronologiques étudiées (Lubes et al., 1994). Les tests de détection de rupture permettent de détecter un changement dans la moyenne de la variable traitée dans la série (Bonneaud, 1994). A l'exception de l'approche de Pettitt« elles supposent un non-changement de la variance de la série étudiée».

L'acception générale, mais surtout celle des hydrologues, en ce qui concerne les totaux annuels de précipitations, est que du point de vue stochastique, ceux-ci peuvent être considérés comme un processus stationnaire. La caractéristique d'indépendance suppose que

le cumul de précipitations d'une année n'est pas dépendant du total de précipitations enregistrées 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. On suppose que dans le contexte du réchauffement global actuel, l'espérance mathématique aussi bien que la variance de ce processus stochastique à l'échelle interannuelle ne seraient plus indépendantes du temps au temps (Meddi et al ,2009).

Les erreurs systématiques qui affectent d'une façon uniforme certaines portions des séries de mesure sont dues généralement au déplacement ou au changement d'environnement du pluviomètre pendant la période d'observation, à la croissance d'un arbre qui fait obstacle ou à la substitution pendant la période d'observations de l'éprouvette de lecture du pluviomètre par une autre inadéquate qui entraîne une forte hétérogénéité des séries pluviométriques (Heino,1996).

### **3.1.2. Tests statistique de détection de ruptures sur les séries chronologique**

L'approche statistique par l'application de tests de détection de rupture a été utilisée pour analyser les séries chronologiques des précipitations. Une rupture dans une série chronologique peut être assimilée à un changement dans la loi de probabilité de la série à un instant donné, le plus souvent inconnu. Khronostat (1998) est un logiciel d'analyses statistiques de séries chronologique développé par l'IRD. Il propose plusieurs tests statistiques de détection de ruptures. Les tests choisis permettant de déterminer les dates de ruptures sont: méthode non paramétrique de Pettitt, méthode Bayésienne de Lee et Heghinian et la segmentation du Hubert (Hallouz et al., 2011).

#### **3.1.2.1. Test de Pettitt**

L'approche de Pettitt (1979) est non paramétrique et dérive du test de Mann-Whitney. L'absence de rupture dans la série  $(x_i)$  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  $(x_i)$   $i = 1$  à  $t$  et  $t + 1$  à  $N$  appartiennent à la même population (Fougrach et al., 2011).

Pettitt considère une séquence de variables aléatoires indépendantes Pettitt montre comment une formulation appropriée du test de Mann-Whitney (DAGNÉLIE, 1970) peut être utilisée pour tester  $H_0$  contre  $H_1$  (Pettitt, 1979 ; Demaree, 1990 ; Sutherland *et al.*, 1991 ;Vannitsem et Demaree, 1991).

### **3.1.2.2. Méthode bayésienne de Lee & Heghinian**

La méthode bayésienne de Lee & Heghinian (Lee et Heghinian, 1977) propose une approche paramétrique. Elle nécessite une distribution normale des valeurs de la série. L'absence de rupture dans la série constitue l'hypothèse nulle (Sebbar et al., 2011).

La méthode bayésienne de Lee et Heghinian ne s'exprime pas comme un test statistique classique. Toutefois son interprétation vise à confirmer ou à infirmer l'hypothèse d'un changement de moyenne dans la série. Il s'agit d'une approche paramétrique qui requiert une distribution normale des variables étudiées (Lee et Heghinian, 1977 ; Bruneau et Rassam, 1983 ; Chaouche, 1988).

### **3.1.2.3. Statistique U de Buishand**

La procédure de Buishand (1982 ; 1984) fait référence au même modèle et aux mêmes hypothèses que l'approche de Lee et Heghinian. La statistique de Buishand est dérivée d'une formulation originale donnée par GARDNER (1969).

### **3.1.2.4. Segmentation de Hubert**

Le principe de cette procédure (Hubert *et al.*, 1989) est de « découper » la série en  $m$  segments ( $m > 1$ ) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s). Une telle méthode est appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne (Sebbar et al., 2011).

### **3.1.3. Test de tendances Mann-Kendall**

Le test de Mann-Kendall sert à déterminer avec un test non paramétrique si une tendance est identifiable dans une série temporelle qui comprend éventuellement une composante saisonnière.

Ce test de tendance non paramétrique est le résultat d'une amélioration du test d'abord étudié par Mann (1945) puis repris par Kendall (1975) et finalement optimisé par Hirsch (1982, 1984) de façon à prendre en compte une composante saisonnière.

L'hypothèse nulle  $H_0$  de ces tests est qu'il n'y a pas de tendance. Les trois hypothèses alternatives de tendance négative, non nulle ou positive peuvent être choisies.

Les tests de Mann-Kendall s'appuient sur le calcul du tau de Kendall mesurant l'association entre deux échantillons et lui-même basé sur les rangs à l'intérieur des échantillons.

#### **3.1.4. Test non-paramétrique sur k échantillons appariés : test de Friedman**

Le test de Friedman est un test non paramétrique à utiliser lorsqu'il y a k échantillons appariés correspondant à k traitements portant sur les mêmes blocs, afin de mettre en évidence une différence entre les traitements.

Il permet de tester si k échantillons appariés ( $k > 2$ ) de taille n, proviennent de la même population, ou de populations ayant des caractéristiques identiques, au sens d'un paramètre de position

#### **3.1.5. Principes des tests statistiques**

Les tests statistiques fonctionnent tous sur le même principe qui consiste à énoncer une hypothèse nulle (noté  $H_0$ ) et une hypothèse alternative ( $H_1$ ), définir deux risques d'erreurs liés au choix de  $H_1$  (noté  $\alpha$ ) et de  $H_0$  (noté  $\beta$ ), calculer une valeur notée p et prendre une décision à partir de **p** (Labreuche, 2010).

##### **3.1.5.1. Valeur critique**

La notion de valeur critique a été introduite dans Neyman & Pearson (1928). Cette valeur dépend de la forme de l'hypothèse alternative, en particulier savoir si le test est bilatéral, unilatéral à gauche, ou unilatéral à droite. Pour un test donné, la valeur critique peut-être vue comme la valeur limite à partir de laquelle on pourra rejeter  $H_0$  avec un seuil de significativité donné.

##### **3.1.5.2. Valeur P**

L'idée d'un test statistique est de supposer que  $H_0$  est vraie et de calculer la probabilité d'observer des résultats au moins aussi en désaccord avec  $H_0$  que ceux qui ont été observés (On choisit une valeur  $\alpha$  plus petite que  $\beta$  car un consensus prévaut qu'il faut être plus exigeant pour démontrer une nouvelle propriété que pour conserver une ancienne). Cette probabilité est couramment notée **p**.

À partir de cette probabilité, le choix final d'une hypothèse se base sur la règle suivante : si  $p \leq \alpha$ ,  $H_0$  est rejeté et  $H_1$  est acceptée ; si  $p > \alpha$ ,  $H_1$  est rejeté et  $H_0$  est acceptée. (Labreuche, 2010).

### **3.2. Importance de l'étude de la variabilité climatique**

La recherche sur les indicateurs de variabilité climatique est devenue une priorité pour beaucoup de chercheurs. Par le monde de nombreuses études ont été menées pour la détection de ces changements.

En Maroc septentrional ont été étudié des séries pluviométriques, par l'application des méthodes statistiques de détection de ruptures, a montré que la période de rupture est apparue au cours des années 1970. Ils ont été étudié l'évolution récente du régime pluviométrique et on tente d'évaluer son impact sur l'extension spatio-temporelle de la sécheresse au Maroc septentrional. Les ruptures sont détectées au cours de la période de mesures la plus complète disponible : 1935- 2004. Le calcul de l'indice pluviométrique standardise a permis de localiser une phase déficitaire avant 1956, et une phase normale et/ou excédentaire jusqu' à la décennie de 1970. Après cette date, la baisse de la pluviométrie s'est installée d'une manière significative (Sebbar et al,2011 ).

En Afrique de l'Ouest, une méthodologie statistique a été utilisée pour la détection des sécheresses (Vannitsem *et al.*, 1991). Dans le but de mettre en évidence la non-Stationnarité des séries pluviométriques, trois différents tests non paramétriques ont été utilisé, le test de Mann-Kendall, le test de Lombard, et le test de Pettitt. Le test de Mann-Kendall permet de déceler l'existence d'une seule tendance globale au sein de la série analysée. Le test de Lombard permet d'évaluer le nombre de changement de moyenne significatifs au sein d'une série, le test de Pettitt est par contre capable d'estimer la position d'un changement de moyenne dans une série ou une sous-série. Cette méthodologie a permis de mettre en évidence et de différencier les trois sécheresses majeures qui se sont produites en Afrique de l'Ouest au cours du 20<sup>ème</sup> siècle.

En Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne L'étude présentée ici s'appuie sur les précipitations annuelles et mensuelles enregistrées dans les régions non sahéliennes d'Afrique de l'ouest et centrale, principalement durant les décennies 1950à 1980.Elle repose sur un ensemble de méthodes d'interpolation et de représentation cartographique des résultats, ainsi que sur des méthodes statistiques de détection de ruptures au sein des séries chronologiques. Elles mettent en évidence une variabilité des régimes pluviométriques dans ces régions d'Afrique, dites humides, à la fin des années 1960et au début des années 1970.

L'étude des séries pluviométriques de la Tunisie centrale, par la méthode des variables centrées réduites, a mis en évidence une certaine baisse des totaux annuels entre 1977 et 1989 (Hubert et al., 2000).

Les méthodes statistiques de détection de ruptures de la stationnarité dans les séries chronologiques (le test de Pettitt et la procédure de segmentation d'Hubert) n'ont pas montré de rupture dans les séries de pluviométries annuelles. Par contre elles ont détecté un certain nombre de changements : en 1976 dans le nombre de jours de pluie, dans le cumul de pluies supérieures à 30 mm et dans sa contribution dans le total annuel ; en 1992 dans la pluie printanière. L'année 1989 est aussi apparue dans plusieurs variables comme une année de rupture, sans pour autant caractériser une variable spécifique sauf le nombre de jours de pluies supérieures à 10 mm. Les années 1976 et 1989 ont d'ailleurs été mis en exergue par Crisciani F. *et al.* (1994) qui a montré que la période 1977-1988 était dominée par des basses pressions et des niveaux plus hauts de la mer à Trieste (Nord de la mer Adriatique - Italie), alors que les périodes antérieures et postérieures étaient caractérisées par les phénomènes inverses (Kingumbi et al ; 2000).

Le Nord-Ouest algérien a été le lieu dès la fin des années 1970 d'une sécheresse caractérisée par une sévérité, une ampleur et une persistance du déficit pluviométrique remarquables. Les 26 postes pluviométriques pris en compte dans cette étude répondent à des critères de pourcentages de lacunes faibles (Meddi et al., 2009).

#### **4. Indices climatiques extrêmes**

Les événements extrêmes climatique sont étudiés par l'utilisation de certains types d'indices appelés les indices extrêmes climatique basé sur les données de précipitation indiquées dans le (tableau 1) et d'autres basés sur les données de température présentés dans le (tableau 2).

L'équipe d'experts conjointe sur la détection des changements climatiques et les indices (ETCCDI) a pour mandat de répondre aux besoins de mesure objective et de caractérisation de la variabilité et du changement climatique en fournissant une coordination internationale et en aidant à organiser la collaboration sur la détection du changement climatique et les indices pertinents pour la détection du changement climatique et en encourageant la comparaison des données modélisées. Les questions abordées incluent les aspects pratiques de l'élaboration de guides et de matériels pour les SMHN - outils, logiciels, documentation et autres documents pour guider le calcul et l'utilisation des indices de

détection des changements climatiques et l'homogénéisation des données climatiques, l'amélioration de la couverture mondiale et l'évaluation des indices [1].

**Tableau 1.** Indices extrêmes des précipitations journalières

<b>Identification</b>	<b>Noms de l'indice</b>	<b>Définition</b>	<b>unité</b>
<b>1-PRCPTOT</b>	Total annuel des pluies	Précipitations totales annuelles des jours pluvieux ( $RR \geq 1,0$ mm)	mm
<b>2-Rx1day</b>	Hauteur maximale des Précipitations d'un jour	Précipitation totale maximale d'un jour pluvieux	mm
<b>3-Rx5day</b>	Cumul maximal des précipitations de 5 jours	Précipitation totale maximale sur 5 jours pluvieux consécutifs pendant l'année	mm
<b>4-R10</b>	Nombre de jours de précipitations $\geq 10$ mm	Nombre de jours de l'année avec précipitation $\geq 10$ mm	jour
<b>5-R20</b>	Nombre de jours de précipitations $\geq 20$ mm	Nombre de jours de l'année avec précipitations $\geq 20$ mm	jour
<b>6-R95p</b>	Jours très pluvieux	Précipitation totale annuelle avec précipitation $> 95^{\text{e}}$ percentile	mm
<b>7-R99p</b>	Jours extrêmement pluvieux	Précipitations totales annuelles avec les précipitations $> 99^{\text{e}}$ percentile	mm
<b>8-SDII</b>	Intensité simple des pluies	Total annuel des précipitations sur le nombre des jours pluvieux ( $PRCP \geq 1,0$ mm)	mm/jour
<b>9-CDD</b>	Jours secs consécutifs	Nombre maximal des jours consécutifs avec précipitations journalières $< 1$ mm	jour
<b>10-CWD</b>	Jours pluvieux consécutifs	Nombre maximal de jours consécutifs avec des précipitations journalières $\geq 1$ mm	jour

**Source :**( Zhang et Yang, 2004)

**Tableau 2.** Indices extrêmes des températures journalières.

Indices	Noms	Définition	unités
<b>11-FDO*</b>	Jours de gel	Compte le nombre de jours dans l'année quand la TN (minimum journalière) $< 0^{\circ}\text{C}$	Jours
<b>12-SU25*</b>	Jours d'été	Compte le nombre de jours dans l'année quand la TX (maximum journalière) $> 25^{\circ}\text{C}$	Jours
<b>13-IDO*</b>	Jours de glace	Compte le nombre de jours dans l'année quand la TX (minimum journalière) $< 0^{\circ}\text{C}$	Jours
<b>14-TR20*</b>	Nuits tropicales	Compte le nombre de jours dans l'année quand la TX (minimum journalières) $> 20^{\circ}\text{C}$	Jours
<b>15-GSL*</b>	Longueur de saison de croissance	(à partir du 1er janvier au 31 décembre dans l'hémisphère Nord, du 1er juillet au 30 juin dans l'hémisphère Sud) compte le 1er jour de l'année quand le cumul de 6 jours consécutifs $TG > 5^{\circ}\text{C}$ et le premier jour de l'année dont la somme des températures est $< 5^{\circ}\text{C}$ (après le 1er juillet dans l'hémisphère Nord et le 1er janvier dans l'hémisphère sud)	Jours
<b>16-TXx</b>	Maximum des Tmax	Température maximale la plus élevée dans l'année	$^{\circ}\text{C}$
<b>17-TNx</b>	Maximum des Tmin	Température minimale la plus forte dans l'année	$^{\circ}\text{C}$
<b>18-TXn</b>	Minimum des Tmax	Température maximale la plus basse dans l'année	$^{\circ}\text{C}$
<b>19-TNn</b>	Minimum des Tmin	Température minimale la plus basse dans l'année	$^{\circ}\text{C}$
<b>20-TN10p</b>	Nuits relativement fraîches	Pourcentage des jours avec $T_{\min} < 10^{\text{eme}} \text{ Percentile}$	%jours
<b>21-TX10p</b>	Jours relativement frais	Pourcentage des jours avec $T_{\max} < 10^{\text{eme}} \text{ percentile}$	%jours
<b>22-TN90p</b>	Nuits relativement chaudes	Pourcentage des jours avec $T_{\min} > 90^{\text{eme}} \text{ percentile}$	%jours
<b>23-TX90p</b>	Nuits relativement chaudes	Pourcentage des jours avec $T_{\max} > 90^{\text{eme}} \text{ percentile}$	%jours
<b>24-WSDI</b>	Indicateur des durées des séquences chaudes	Nombre de jours dans l'année avec au moins six jours consécutifs où $T_{\max} > 90^{\text{e}} \text{ percentile}$	%jours
<b>25-CSDI</b>	Indicateur des durées des séquences fraîches	Nombre de jours dans l'année avec au moins six jours consécutifs où $T_{\min} < 10^{\text{e}} \text{ percentile}$	%jours
<b>26-ATD</b>	Amplitude Thermiques Diurne	Différence moyenne annuelle entre Tmax et Tmin	$^{\circ}\text{C}$

**Source :** ( Zhang et Yang, 2004)

## 5. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à une description générale des paramètres du climat, principalement la précipitation et la température, ainsi une synthèse sur l'ensemble des indices climatiques extrêmes qui nous permettent de caractériser l'évolution du climat dans le contexte du changement climatique. En effet, l'Algérie n'est pas à l'abri de ce phénomène qui affecte la majorité des activités humaines principalement d'ordre climatique. Pour cela, une étude de l'évolution des indices climatiques extrêmes est abordée dans les chapitres suivants, dans la région de bassin côtiers de l'Algérois.

## Introduction

Le bassin des Côtiers Algérois est un bassin très important d'Algérie malgré qu'il ne représente que 0,5% de la superficie globale de l'Algérie, il s'étend sur près de 500 km, de Béjaïa jusqu'à Mostaganem, sur la côte méditerranéenne pour une largeur moyenne de 24 km, d'où il tient sa grande diversité climatique. Ce chapitre fait l'objet d'une présentation des caractéristiques climatiques topographiques, géologiques, hydrologiques et le couvert végétal.

### 1. Localisation géographique

Le bassin hydrographique de l'Algérois couvre une superficie de 11 972 km<sup>2</sup>, et il est divisé par l'ANRH en vingt sous bassins hydrologique. Il est contenu entre la latitude 36°1' et 36°58' Nord et entre la longitude 5°6' et 0°7' Ouest. Ce dernier Situé au Nord centre d'Algérie. Il est limité au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par le bassin hydrographique des côtiers Constantinois, au sud par le bassin de la Soummam, l'Isser et le Cheliff qui le borde à l'Ouest aussi. La limite sud est constituée principalement par la chaîne montagneuse de l'Atlas Tellien. La population dans le bassin de l'Algérois est de 6.545.389 habitants en 2015 répartis sur quatre wilayas en totalité (Alger, Blida, Boumerdes et Tizi Ouzou) et cinq wilayas en partie limitant (Bejaïa, Bouira, Médéa, Tipaza et Ain Defla) (ANRH, 2002).

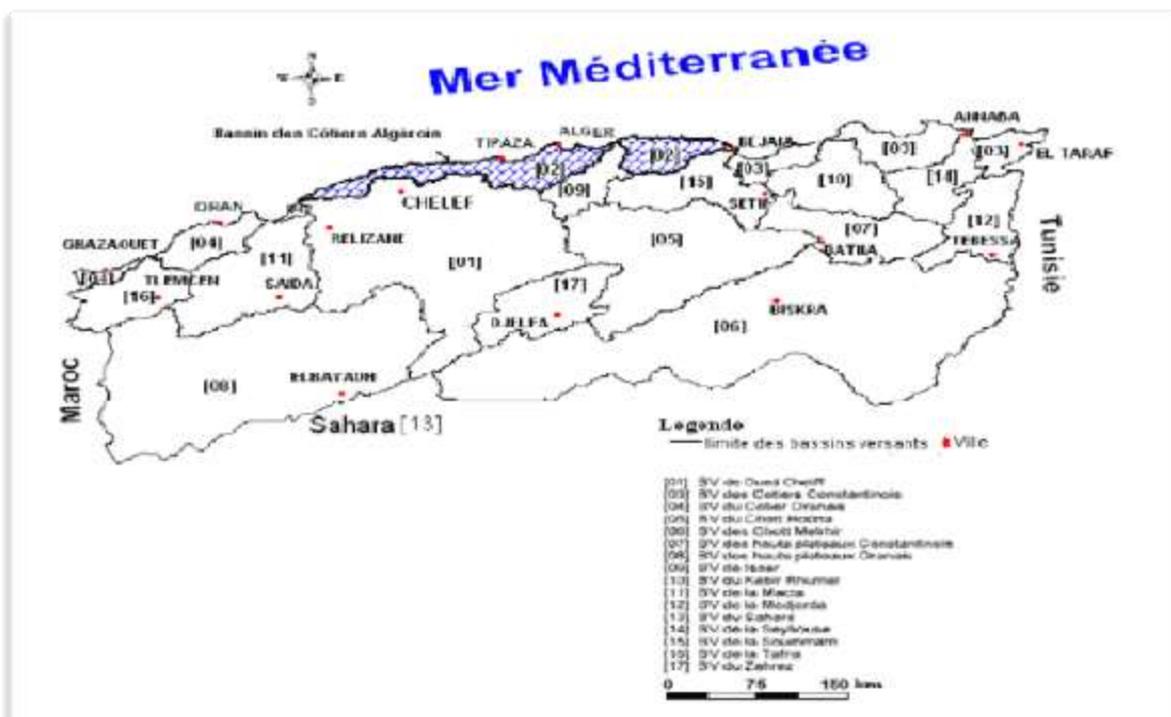


Figure 1. Localisation géographique du bassin d'Algérois (Bouaichi, 2008).

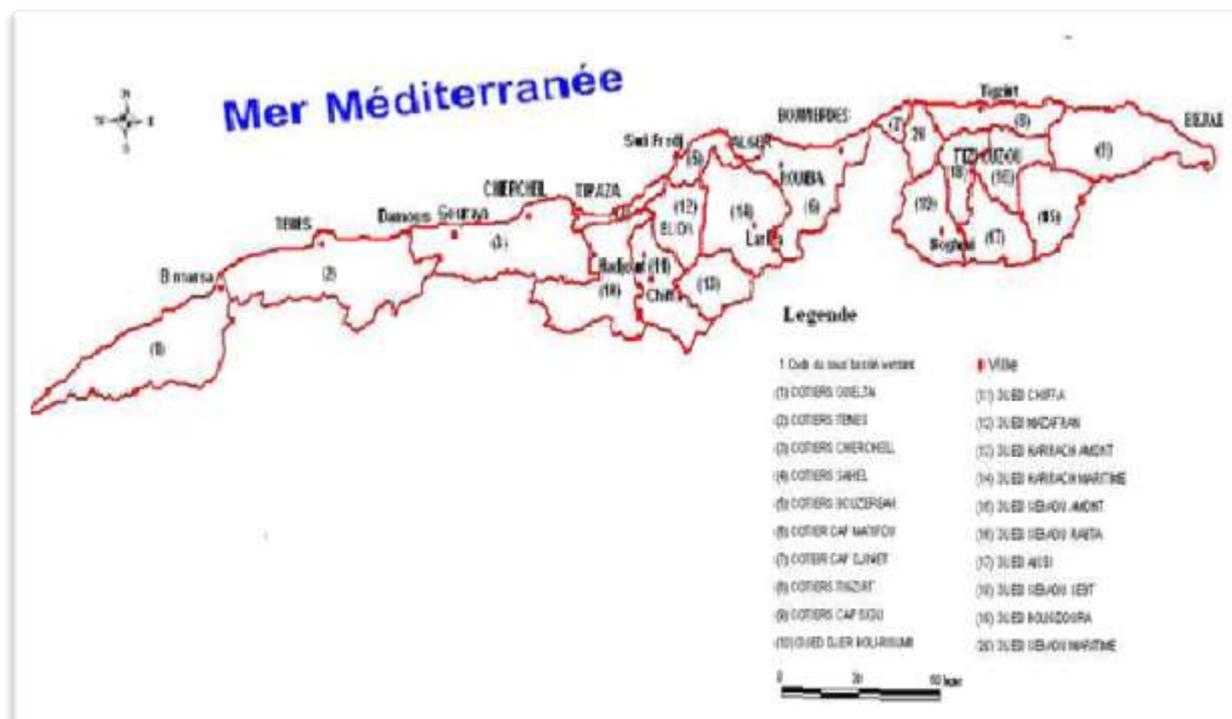


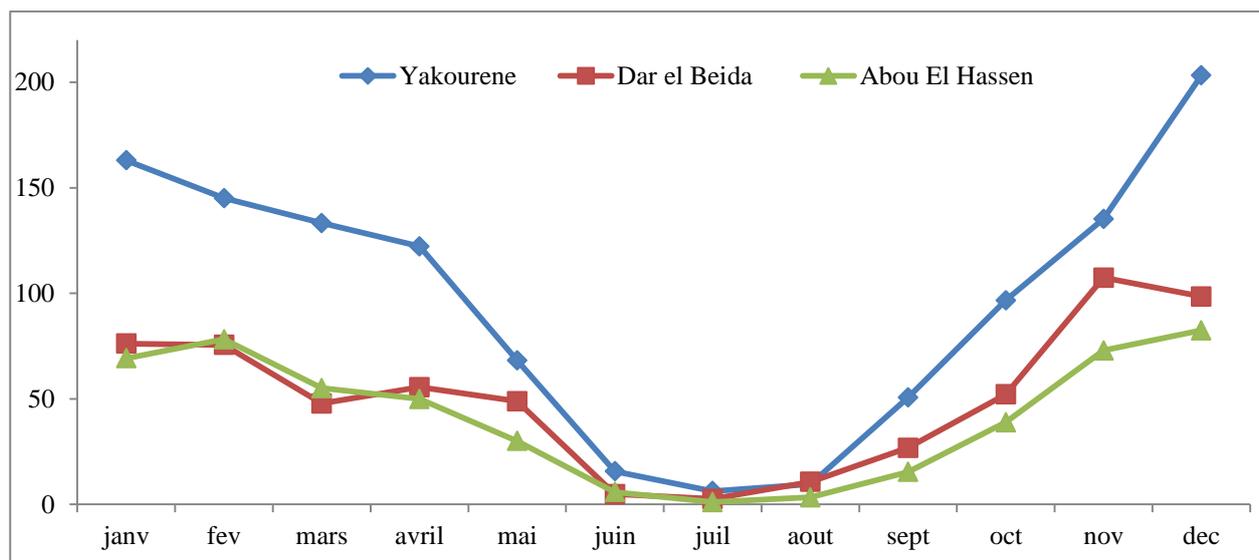
Figure 2. Découpage du bassin hydrographique en sous bassins (Ammari, 2012).

## 2. Etude climatique

Le climat algérien est un climat de transition entre le climat tempéré humide et le climat désertique. Il varie de manière contrastée, du type méditerranéen et semi-aride dans le nord vers le type désertique dans le Sahara. Le bassin de l'Algérois se caractérise par sa particularité climatique spéciale par rapport aux autres régions de l'Algérie à cause des plusieurs effets comme la proximité à la mer. Cette élévation du niveau de la mer peut aussi être observée indirectement par ses conséquences sur les changements des paramètres climatiques (pluie, température, humidité et le vent).

### 2.1. Pluviométrie

La précipitation est un paramètre important de climat. Dans la région d'étude, la saison de précipitation s'étale de mois d'octobre jusqu'au mai. La variation mensuelle des moyennes mensuelles de précipitations est présentée dans la figure 4. Il est décelé que la précipitation décroît de l'Est à l'Ouest du bassin versant.



**Figure 3.** Précipitations mensuelles des trois stations représentatives de la région d'étude.

## 2.2. Température

La température est le deuxième paramètre de climat d'importance majeure pour la caractérisation du type de climat, calcul de l'évapotranspiration. Dans notre région, le choix de trois stations représentative du bassin versant est portée sur Abou el Hassen, Dar el Beida et Yakourène.

**Tableau 3.** Caractérisations des stations utilisées dans le calcul des indices de températures extrêmes

Stations	Coordonnées			Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmoy (°C)	Période
	X (km)	Y (km)	Z(m)				
St1	346,88	396,88	174	36,8	0,7	18,1	1979-2012
St2	380,06	684,06	24	35,1	1,9	17,4	1979-2012
St3	382,15	482,15	820	35,7	8,3	21,9	1979-2012

La température maximale oscille entre 35.1 et 36.8 °C, où le mois le plus chaud est le mois de juillet à Yakourène, et le mois d'Aout à Dar el Beida et Abou el Hassen.

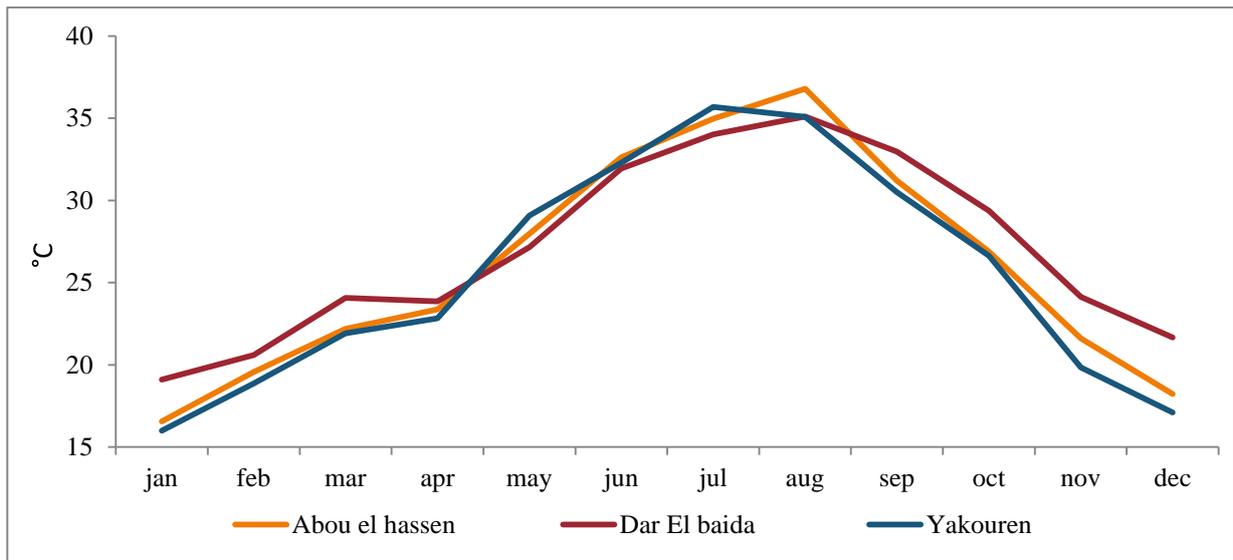


Figure 4. Température maximale inter-mensuelles (1979-2012).

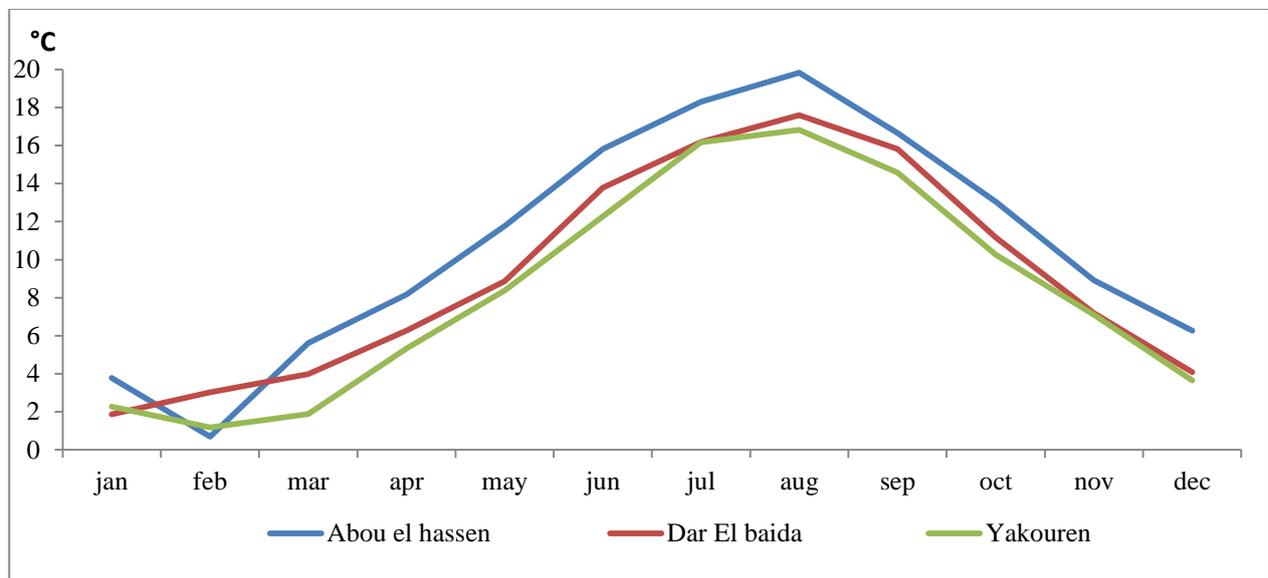


Figure 5. Température minimale inter-mensuelles.

Selon la température minimale, il est observé que la station de Yakourène enregistre les valeurs les plus faibles.

### 2.3. Diagramme Ombrothermique Gausсен

Le diagramme ombrothermique de Gausсен est un graphique climatique qui représente les variations mensuelles, sur une année, des températures et des précipitations. Il est principalement adapté aux climats relativement tempérés et donc aux latitudes moyennes de l'hémisphère Nord. Il fut conçu par le botaniste Henri Gausсен (1953) afin de faire apparaître les périodes ayant une influence favorable ou défavorable sur la végétation en fonction de l'évapotranspiration Bagnouls et Gausсен (1953) ont caractérisé un mois sec par la relation  $P \leq 2T$ , avec :

$T = (M+m)/2$ . Le cumul des mois secs constitue la saison sèche. La saison sèche est enregistrée dans la station de Dar el Beida, une longue période de 08 mois.

Par contre les autres stations nous avons enregistrés la période de 05 mois (Yakourène) et 07 mois (Abou El Hassen).

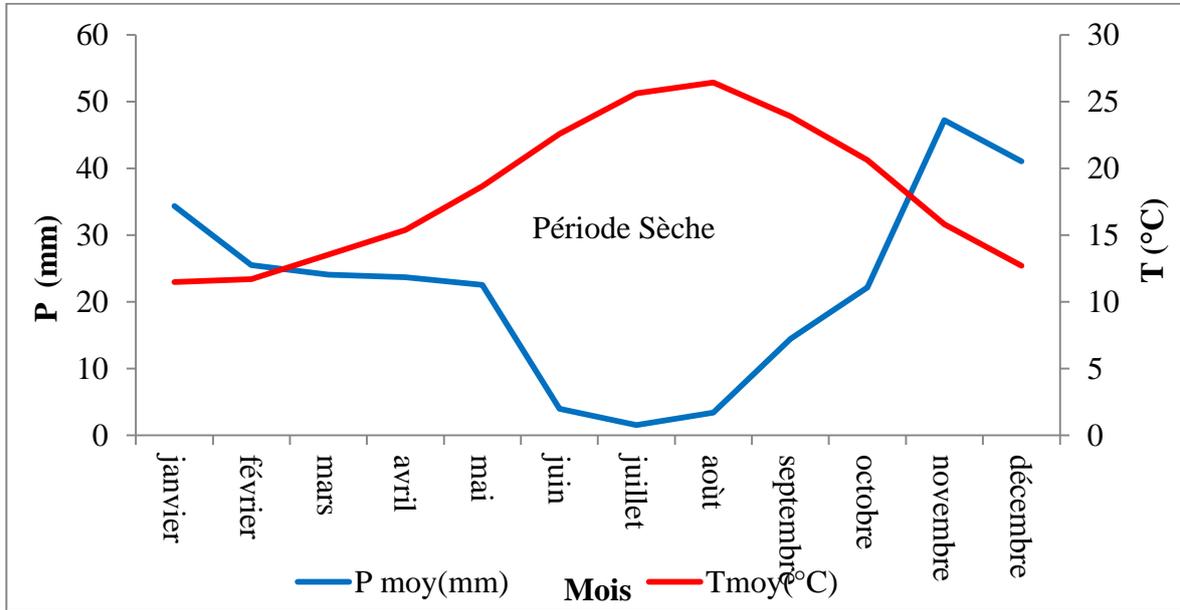


Figure 6. Diagramme ombrothermique Gaussen et Bagnoles de station Dar el Beida .

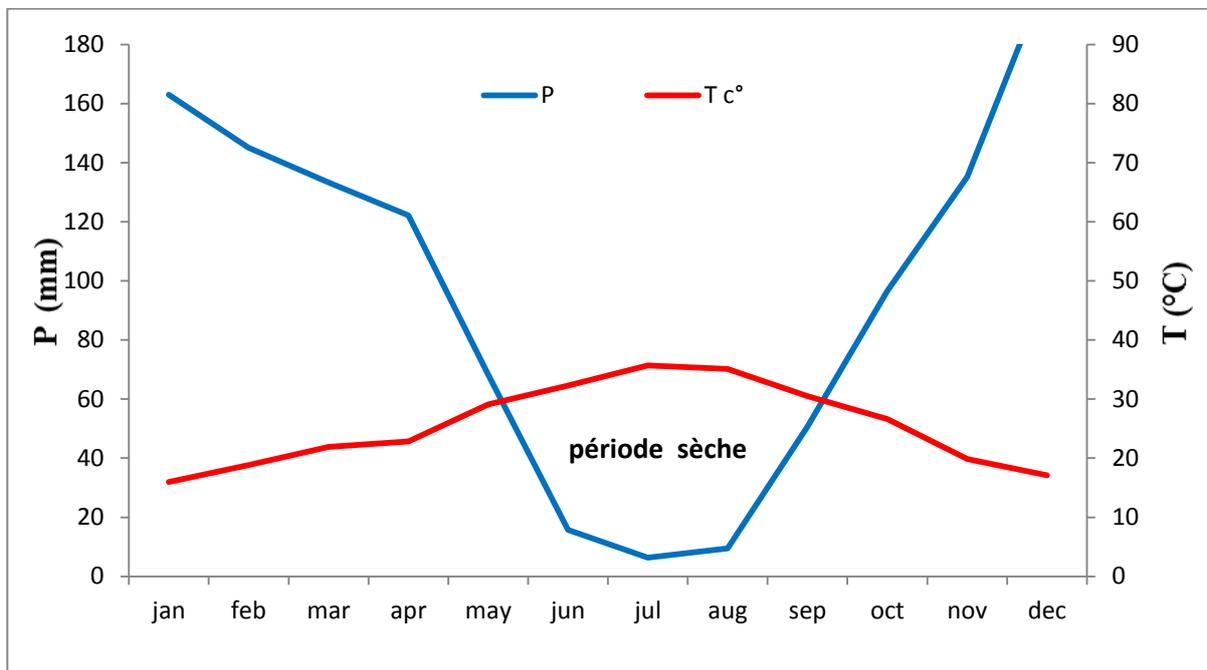


Figure 7. Diagramme ombrothermique Gaussen et Bagnoles de station Yakourène .

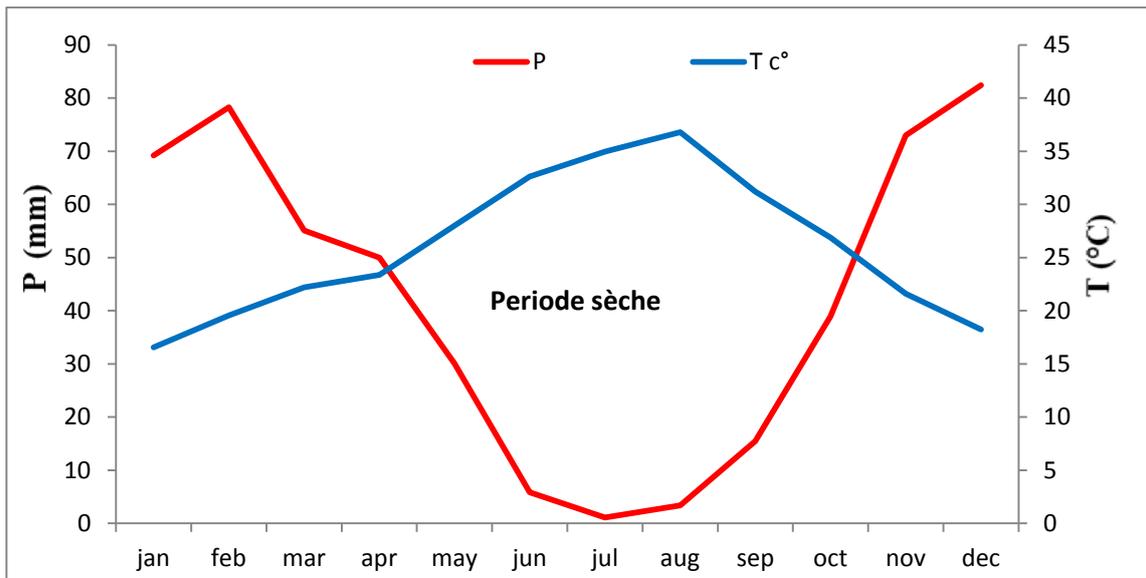


Figure 8. Diagramme ombrothermique Gaussen et Bagnoles de station Abou El Hassen.

#### 2.4. Autres paramètres

L'évaporation et le vent sont des paramètres qui influencent sur le climat au niveau de la zone d'étude.

##### 2.4.1. Evapotranspiration

L'évapotranspiration entre 38,33mm à 240,18 mm. Elle est importante pendant la saison estivale avec souvent une moyenne maximale de 240,18mm durant le mois de juillet. Une moyenne minimale est enregistrée en mois de janvier.

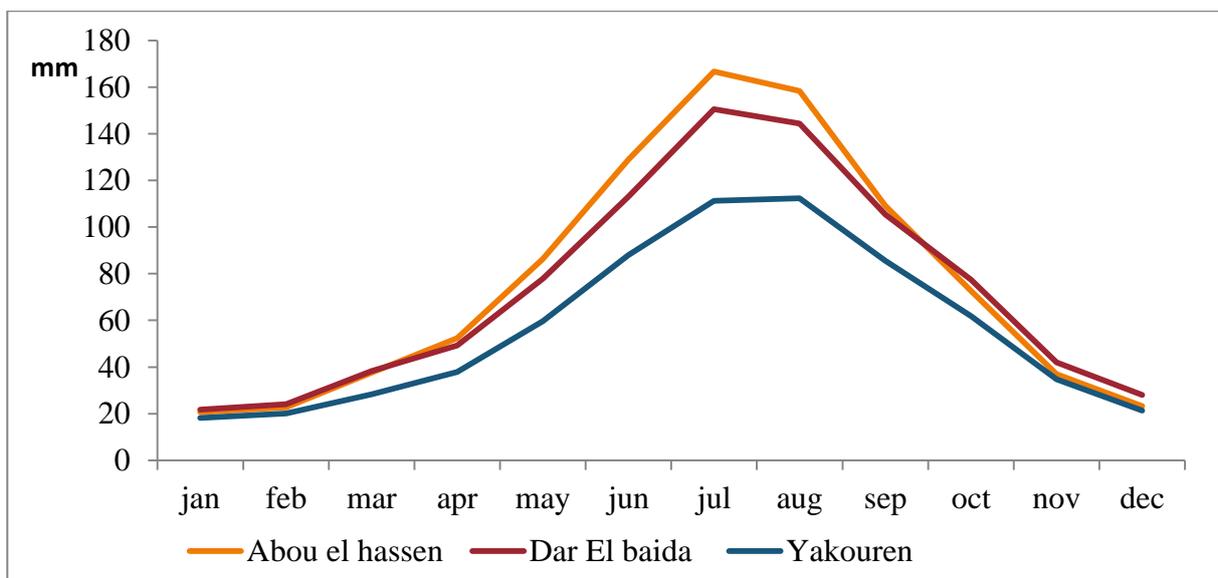


Figure 9. Présentation graphique d'ETP moyennes mensuelles durant le période

### 2.4.1. Le vent

La vitesse du vent dans la région d'étude varie entre 2 et 2,8 m/s jouant un rôle sur la dégradation mécanique du sol et sur l'amplitude de la température, l'évapotranspiration.

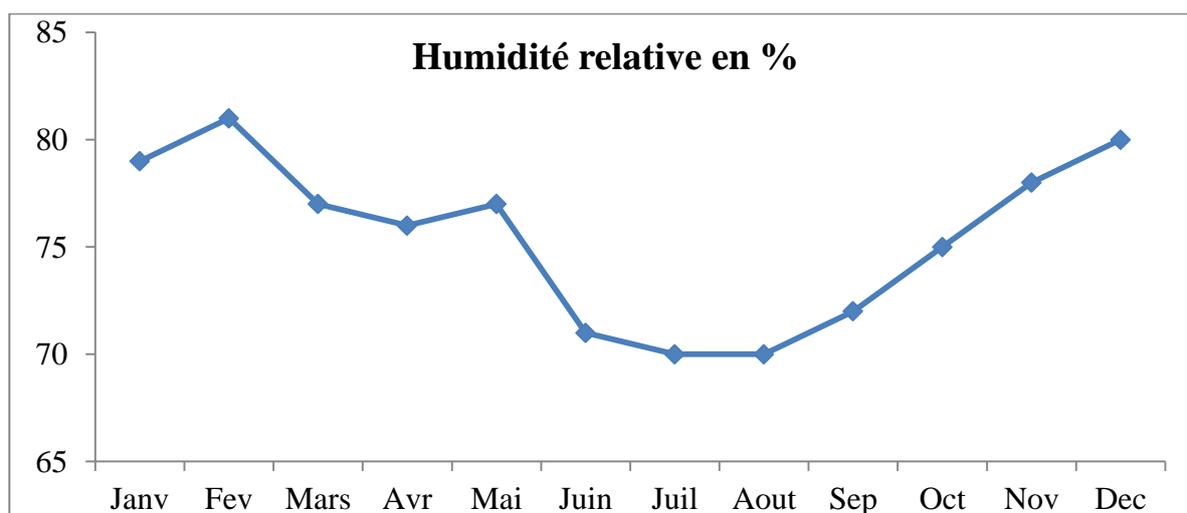
**Tableau 4.** Représentation de vitesse de vent dans la station de Dar El Beida.

Mois	jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
m/s	2,3	2,3	2,4	2,7	2,7	2,8	2,8	2,5	2,4	2	2,4	2,4

Source : (ONM, 2016)

### 2.4.2. Humidité relative

D'après la représentation graphique (Figure 10) des valeurs mensuelles de l'humidité relative de la station de Dar el Beida, il est décelé que les valeurs les plus hautes sont observées pendant la saison hivernale (qui dépasse 75%), les valeurs les plus basses quant à elles, sont enregistrées pendant la saison estivale atteint 50%. cet état de fait est largement imputé aux températures basses enregistrées pendant l'hiver et les températures hautes enregistrées en été.



**Figure 10.** Humidité relative mensuelle de la station de Dar El Beida.

## 3. Topographique

Le bassin Algérois est bordé principalement au sud par les Chaînes montagneuses de l'Atlas Tellien où les altitudes dépassent facilement les 1000 m, comme Chréa (le refuge 1550m), ou le massif du Djurdjura (Lalla khedidja 2308m). A l'Ouest les Altitudes sont moins importantes que l'Est avec des Altitude de plus de 700m pour les hauteurs du Côtier Cherchell, ou 400 m pour les montagnes du Côtier Ténès. Toute cette chaîne montagneuse ne laisse que moins de 20% de la superficie pour les plaines dont la plus importante est certainement la Mitidja avec ces 1400 km<sup>2</sup> de

moins de 100m d'Altitude. Disposé au pied de l'Atlas Tellien, la Mitidja a reçu les alluvions charriés par les cours d'eau qui descendent vers la mer, ce qui lui donne le caractère de plaine Alluviale. Mis à part la Mitidja, le reste des plaines n'est qu'une fine bande aux abords de la côte (Bouanani, 2005).

La forme et le relief sont des facteurs essentiels qui influence directe sur les variations du climat à l'échelle spatiale (nord, sud, est et ouest) et temporelle (jour, mois, saison et année) dans le bassin.

#### **4. Couvert végétal**

Le bassin Algérois prouve une couverture végétale très importante, sur la carte suivante montre un couvert végétal très dense dans les zones Est (Tizi-Ouzou) vers le couvert est moins dense à l'Ouest (Tipaza), dont les cultures sont principalement maraîchères.

La zone la plus cultivée est la Mitidja d'une superficie de 140 000 hectares, où les principales cultures sont les cultures maraîchères, les agrumes et les vignes, la région du Sébaou est aussi une région agricole caractérisée par les cultures de montagnes, telles les vignes et l'arboriculture. Cette déférence à dégradé spécialement à cause de la diminution ou l'augmentation des précipitations (Benslimane *et al.*, 2008).

#### **5. Hydrographie**

Le réseau hydrographique du bassin d'Algérois offre d'importante potentialité en eau superficielle. Il compte 14 Oueds principaux totalisant une longueur de 574 Km qui varie de 13 à 96 Km (ABH, 2002).

**Tableau 5.** Représentation des oueds du bassin d'Algérois

<b>Oueds</b>	<b>Langueur (km)</b>
El Harrach	95
Bouroumi	72
Chiffa	35
Mazafran	96
Hamiz	35
Djamaa	27
Barak	25
Djer	50
Semmar	23
Reghaia	13
El hachem	34
Meurad	20
El affroun	49
Bourkika	36
Sébaou	97

**Source :**( ABH, 2002).

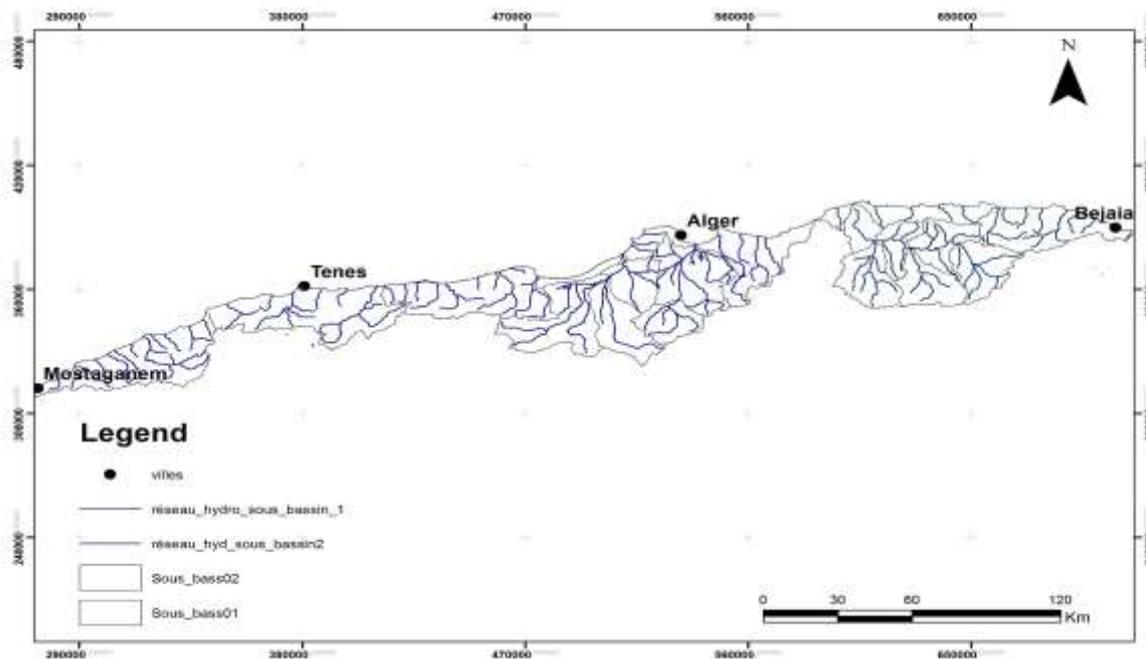
Le bassin Algérois possède six barrages (Taksebt, Keddara, El Hamiz, Bouroumi, Meurad, Boukourdane) d'une capacité de 628 Hm<sup>3</sup> (ANBT) et une soixantaine de retenues collinaires destinées à l'irrigation d'un volume global de 9,69 Hm<sup>3</sup> (ABH, 2002).

**Tableau 6.** Représentation des barrages du bassin d'Algérois.

Barrage	wilaya	Capacité initiale Hm <sup>3</sup>
Taksebt	Tizi-Ouzou	175
Keddara	Boumerdès	145,6
El Hamiz	Boumerdès	14
Bouroumi	Blida	188
Meurad	Tipaza	1,2
Boukourdane	Tipaza	97
Koudiet Acerdoune	Bouira	640
Ladrat	Médéa	10
Beni Amrane	Boumerdès	16

Source :(ABH 2002).

Le réseau hydrologique de ce bassin est résumé dans la carte suivante :



**Figure 11.** Carte de réseau hydrographique dans le bassin de l'Algérois.

## **Conclusion**

Ce chapitre a fait l'objet une présentation du cadre général de la région d'étude de bassin côtier de l'Algérois. Elle est basé sur la situation climatique qui représente une vue d'ensemble comprise la méthodologie détaillée pour analyser les principaux paramètres du climat comme la température et précipitation dans les stations suivants : (Dar el bieda, Yakourène, Abou El Hassen) avec une période commune s'étalant entre (1979-2012). Ensuite les ressources hydriques, topographiques et la végétation.

## **Introduction**

L'analyse des séries journalières de précipitation et de température (maximale et minimale) ont été effectuées sur 25 stations météorologiques. Une étude générale est consacrée à pour but principal de l'analyse de la variabilité du régime pluviométrique et température à l'échelle spatio-temporelles. Les méthodes utilisées dans l'analyse des extrêmes climatiques sont définies par les étapes ci-après dans ce chapitre.

### **1. Données climatologiques utilisées**

Pour notre travail, nous disposons de 25 stations pluviométriques et 12 stations de température, dont l'altitude varie entre 5 et 980 m réparties sur d'une façon plus ou moins homogène sur le bassin de l'Algérois.

Notre choix s'est porté sur les données journalières de précipitations structurées suivant l'année civile (du 1 Janvier au 31 Décembre). La période de fonctionnement est différente d'une station à l'autre. Les séries journalières de température (maximale et minimale) sont enregistrées sur une période commune de 33ans. Ces données proviennent des fichiers informatisés de l'Agence National des Ressources Hydrauliques (Alger et Blida) et Office National de la Météorologie (Alger).

Les caractéristiques de ces stations sont désignées dans le tableau 7. La répartition géographique des stations est représentée sur la figure 13.

Tableau 7. Inventaire des stations étudiées

Code station	Nom de la station	X (Km)	Y (Km)	Z (m)	P (mm)	période
020201	Abou	346,88	370,00	174	468,3	1967-2011
020203	Damous	361,35	411,20	40	529,6	1967-2011
020303	Menaceur	354,45	458,25	250	621,7	1967-2011
020306	Meurad barrage	349,90	473,80	300	634,9	1967-2011
020312	Cherchell	368,00	454,35	16	550,1	1967-2011
020405	Fouka Marine	374,40	504,10	25	546,9	1967-2011
020511	Mahelma Ferme	376,85	517,00	150	613,3	1967-2011
020601	deux bassins	352,30	554,00	890	680,6	1967-2011
020627	Ouled Ali	371,65	553,00	67	572,7	1967-2011
020902	Yakourène	382,15	655,20	820	95,3	1967-2011
021012	Rouabah	344,50	494,30	240	563,4	1967-2011
021014	Oued Zeboudj	334,80	468,05	400	556,0	1967-2011
021016	Hammam Righa	341,90	472,80	480	610,5	1967-2011
021020	Ameur El Ain	352,75	488,10	120	558,9	1967-2011
021116	Blida	352,75	509,80	210	631,8	1967-2011
021128	Mouzaia Mines	336,35	498,75	520	614,3	1967-2011
021504	Azazga Ecole	383,90	649,25	430	928,8	1967-2011
021601	Aghribs	391,25	645,10	680	981,0	1967-2011
021705	Larbaa Nath Irathen	370,80	634,90	980	914,6	1967-2011
021801	Bouassam	371,50	620,00	600	801,6	1967-2011
021911	Tizi Lthnine	356,10	606,90	500	626,2	1967-2011
021810	Tizi Ouzou	380,05	620,08	180	786,8	1967-2011
021443	Altairac	375,30	525,40	20	493,6	1967-2011
020205	Ténès	359,00	376,80	5	550,1	1967-2011
390	Dar el Beida	346,88	549,26	24	635,0	1967-2011

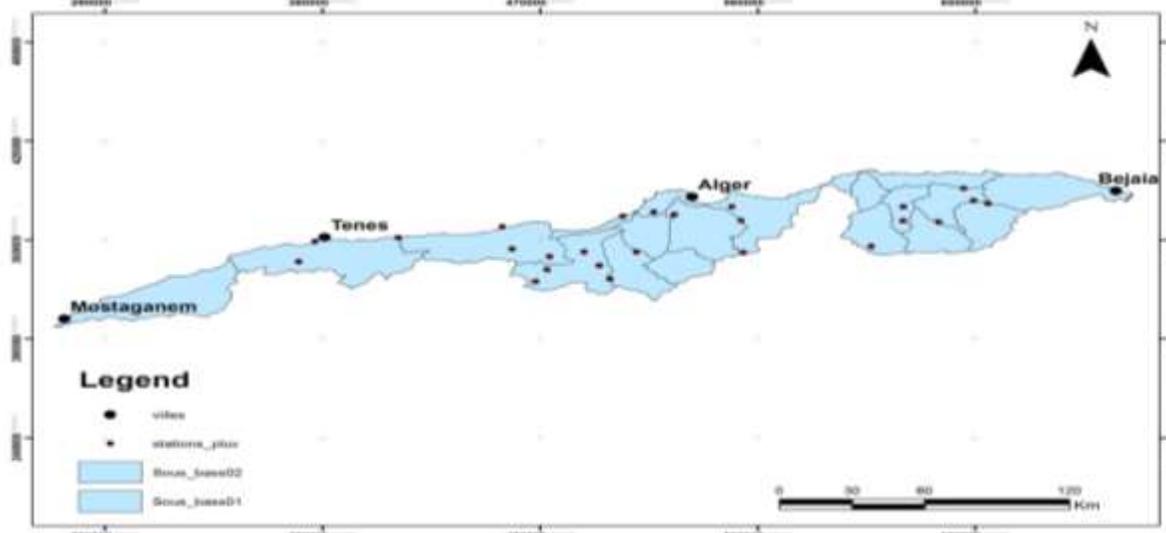


Figure 12. Répartition géographique des stations étudiées dans le bassin côtier d'Algérois

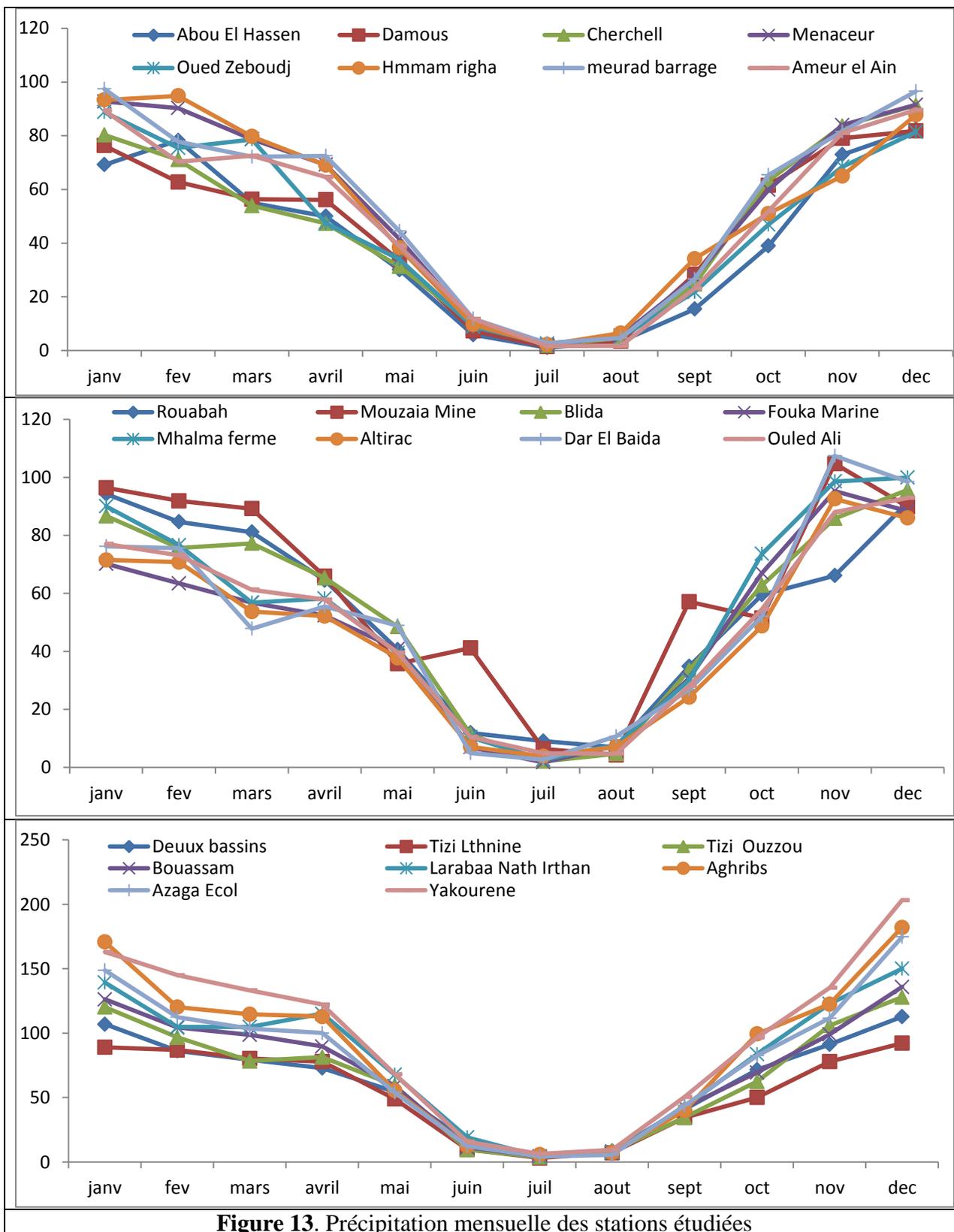


Figure 13. Précipitation mensuelle des stations étudiées

## 2. Traitement et qualité de données

Les fichiers des données ont subi une organisation afin de créer une série continue débutant du Janvier jusqu'au Décembre. Les traitements ont réalisés à l'aide du support informatique, sur la feuille de calcul EXCEL 2007.

Cette mise en forme est imposée par le logiciel utilisé pour le calcul des indices. Un contrôle de qualité est appliqué aux séries organisées vise à détecter des anomalies (valeurs aberrantes).

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	août	annuel
2	Code station : 021443												
3	Nom station : ALTAIRAC												
4	X : 525.4												
5	Y : 375.3												
6	Z : 20												
7													
8	1975												
9													
10	0	0	0	0	0	26.1	0	0	29.5	0	0	0	
11	0	0	15.4	0	0	0.6	0	0	2.8	0	0	0	
12	0	0	8.9	0	0	0	0	0	0	0	2	0	
13	0	0	13.5	0	0	0	0	1.8	0	0	0	0	
14	0	0	4	0	0	21.4	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	12	0	0	25.7	0	0	0	0	2.4	0	
16	1.4	0	11.4	0	0	3	0	0	1.3	0	0	0	
17	1.3	0	0	0.8	0	3.3	0	0	4.5	0	0	0	
18	2.8	0	0	0	0	17.8	3	1.9	0	0	0	0	
19	0	0	0	0	0	7.5	0	0	0	0	0	0	
20	0	8.2	0	1.4	0	23.1	0	0	0	0	0	0	
21	0	5.6	0	12.2	0	3.8	3.2	1.8	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	1.2	0	11.9	0	0	0	
23	0	0	0	3.5	6.5	5.8	0	0	7.3	0	0	0	
24	0	0.6	0	0	0	6	4.8	2.3	0	0	0	0	
25	0	9	22.8	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0	
26	0	1.5	27.7	1.5	0	0	0	3.1	0	0	12.5	0	
27	0	6.3	14	0	0	0	0	1.2	0	0.4	0	0	
28	0	0	8	3.8	0	2.8	0	0	3.8	0	0	0	

Figure 14. Capture d'écran de fichier brut de station Altairac

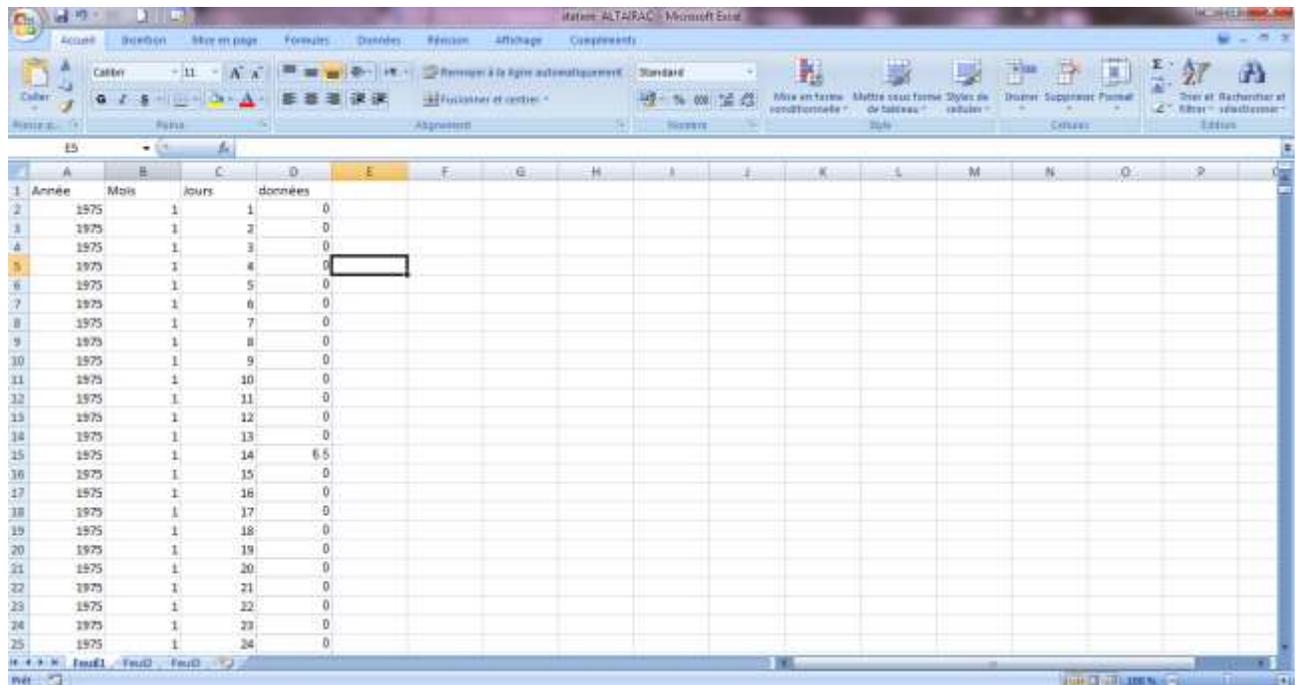


Figure 15. Série organisée de la station Altairac

### 3. Calcul des indices climatiques extrêmes

Les séries journalières de précipitations et températures (maximales et minimales) ont fait l'objet de calcul des indices climatiques extrêmes. Le choix des indices de pluies et de températures (maximales et minimales) journalières a été basé sur les indices définis par le groupe d'Experts sur la Détection et les Indices du Changement Climatique (ETCCDI ; Expert Team (ET) on Climate Change Detection and Indices). Les indices utilisés dans notre étude de sont indiqués dans tableaux suivants :

**Tableau 8.** Indices extrêmes de précipitations journaliers

Identification	Noms de l'indice	Formules	unités
<b>1-PRCPTOT</b>	Total annuel des pluies	$PRCPTOT_j = \sum RR_{wj}$	mm
<b>2-Rx1day</b>	Hauteur maximale des Précipitations d'un jour	$RX1day_j = \max (RR_{ij})$	mm
<b>3-Rx5day</b>	Cumul maximal des précipitations de 5 jours	$RX5day_j = \max (RR_{ij})$	mm
<b>4-R10</b>	Nombre de jours de précipitations $\geq 10$ mm	$RR_{ij} \geq 10\text{mm}$	Jour
<b>5-R20</b>	Nombre de jours de précipitations $\geq 20$ mm	$RR_{ij} \geq 20\text{mm}$	Jour
<b>6-R95p</b>	Jours très pluvieux	$RR_{wj} \geq RR_{wj95}$	Mm
<b>7-R99p</b>	Jours extrêmement pluvieux	$RR_{wj} \geq RR_{wj99}$	Mm
<b>8-SDII</b>	Intensité simple des pluies	$SDII_j = \sum RR_{wj}/W$	mm/jour
<b>9-CDD</b>	Jours secs consécutifs	$RR_{ij} < 1\text{mm}$	Jour
<b>10-CWD</b>	Jours pluvieux consécutifs	$RR_{ij} \geq 1\text{mm}$	Jour

Source : ([http://etccdi.pacificclimate.org/list\\_27\\_indices.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml))

**Tableau 9.** Indices extrêmes des températures journalières

Indices	Noms	formules	Unités
12-SU25	Jours d'été	$TXx_j = \max (TX_{ij})$	Jours
13-TXx	Maximum des Tmax	$TN_{ij} < TN_{in10}$	°C
14-TNX	Maximum des Tmin	$TX_{ij} < TX_{in10}$	°C
15-TXn	Minimum des Tmax	$TX_{ij} < TX_{in10}$	°C
16-TNn	Minimum des Tmin	$TN_{ij} < TN_{in10}$	°C
17-TN10p	Nuits relativement fraîches	$TN_{ij} < TN_{in10}$	%jours
18-TX10p	Jours relativement frais	$TX_{ij} < TX_{in10}$	%jours
19-TN90p	Nuits relativement chaudes	$TN_{ij} > TN_{in90}$	%jours
20-TX90p	Nuits relativement chaudes	$TX_{ij} > TX_{in90}$	%jours
21-WSDI	Indicateur des durées des séquences chaudes	$TX_{ij} > TX_{in90}$	%jours
22-CSDI	Indicateur des durées des séquences fraîches	$TN_{ij} < TN_{in10}$	%jours

Source : ([http://etccdi.pacificclimate.org/list\\_27\\_indices.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml))

#### 4. Calcul des indices climatiques extrêmes

Les indices climatiques extrêmes sont calculés sous Excel en appliquant les formules présentées dans les tableaux 8 et 9.

#### 5. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) par La formule de Thornthwaite :

Cette méthode est largement utilisée basées surtout sur la température de l'air, et calculer par la formule suivante.

$$ETP = 16 \left( \frac{10 t}{I} \right)^a f$$

**ETP** : Evapotranspiration mensuelle en mm ;

**t**: température moyenne mensuelle;

**I**:indice thermique annuel soit la somme des indices de chaleur mensuels;

**f** : coefficient d'ajustement mensuel (relevé de cette tableau dans Annexe 1)

Avec:

$$I = \sum_i^{12} i \quad I = (t/5)^{1,514} \quad a = 0.016 \times I + 0.5$$

#### 6. Analyse de tendance des indices climatiques extrêmes

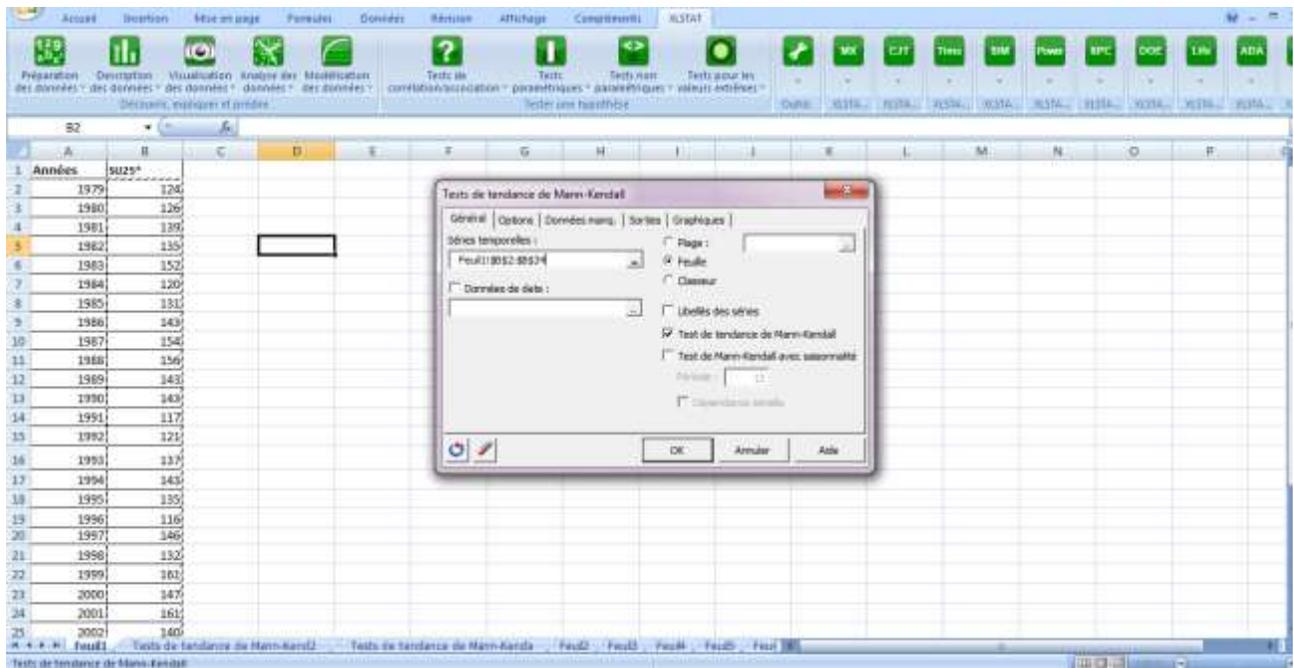
##### 6.1. Test Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975)

Le test Mann-Kendall est lancé sous Xlstat afin de détecter une présence de tendance ou non dans les séries des indices climatiques extrêmes ainsi les séries de l'ETP annuelles. Ce test présente deux hypothèses à vérifier :

H0 : Il n'y a pas de tendance dans la série

Ha : Il existe une tendance dans la série

Si la p\_value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0. Si la p\_value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.



**Figure 16.** Capture d'un exemple de l'application de test de tendance de Mann Kendall sur l'indice SU25 de station Aghribs

### 6.2. Statistique de rang de Spearman (Sneyers, 1975) :

Les observations originales  $(x_i)$ ,  $i = 1, N$  sont remplacées par le rang  $y_i$  qui leur est attribué lorsqu'on les range par ordre de grandeur croissante et la statistique du test est le coefficient de corrélation  $r_s$  entre les séries  $i$  et  $y_i$ .

La distribution de cette statistique est asymptotiquement normale avec

$$E(r_s)=0 \text{ et } \text{var}(r_s) = \frac{1}{n-1}$$

Pour un seuil  $\alpha= 0.05$ , on utilise la table de Spearman, ou un logiciel pour avoir le valeur critique (relever à partir de table t-Student).

Années	CDO	Di	i	Di-i	(Di-i)²	Rho s	n(n²-1)
1940	48	10	1	9	81	-0,2694501	238266
1941	75	37	2	35	1225		
1942	82	44	3	41	1681		
1943	132	62	4	58	3364		
1944	69	32	5	27	729		
1945	111	59	6	53	2809		
1946	58	20	7	13	169	Zsp	-2,14132528
1947	83	46	8	38	1444	n-2	60
1948	54	15	9	6	36	R²sp	0,07099566
1949	106	56	10	46	2116	1-R²sp	0,92900434
1950	98	53	11	42	1764	racine	64,5852739
1951	81	43	12	31	961		8,03649637
1952	52	12	13	-1	1		
1953	54	16	14	2	4		
1954	115	60	15	45	2025		
1955	93	52	16	36	1296		
1956	83	47	17	30	900		
1957	80	42	18	24	576		
1958	68	31	19	12	144		
1959	60	23	20	3	9		
1960	66	29	21	8	64		
1961	77	39	22	17	289		
1962	78	40	23	17	289		
1963	34	2	24	-22	484		

Figure 17. Exemple de calcul de Rho de Spearman sous Excel.

## 7. Corrélation entre les indices climatiques extrêmes, ETP et les indices de l'oscillation atmosphérique (MOI, SOI, NAO, WeMOI)

### 7.1. MOI (Mediterranean Oscillation Index)

L'indice MOI représente une circulation atmosphérique régionale qui caractérise le bassin Méditerranéen. Il correspond à la différence de pression entre Alger et le Caire (Crudata. Uea.Ac.Uk). WeMOI (l'oscillation occidentale de la Méditerranée) a été défini comme la différence de pression entre les régions du nord de la péninsule italienne et le sud-ouest de la péninsule ibérique afin de caractériser la variabilité climatique de la région Ouest de la méditerranée (Taibi et al, 2011)

### 7.2. SOI (South Oscillation Index)

L'indice SOI calculé avec les pressions de Darwin (nord de l'Australie) et de Papeete (station de FAAA à Tahiti, gérée par Météo-France) (Crudata. Uea.Ac.Uk). L'indice d'oscillation australe (SOI) est une mesure des fluctuations à grande échelle de la pression atmosphérique entre le Pacifique tropical occidental et oriental (c'est-à-dire l'état de l'oscillation australe) pendant les épisodes El Niño et La Niña. Traditionnellement, cet indice a été calculé sur la base des différences d'anomalie de pression atmosphérique entre Tahiti et Darwin, en Australie. En

général, les séries chronologiques lissées du SOI correspondent très bien avec les changements de la température des océans dans le Pacifique tropical oriental. La phase négative du SOI représente une pression d'air inférieure à la normale à Tahiti et une pression atmosphérique supérieure à la normale à Darwin. Des périodes prolongées de valeurs négatives de SOI coïncident avec des eaux océaniques anormalement chaudes à travers le Pacifique tropical oriental typiques des épisodes El Niño. Des périodes prolongées de valeurs de SOI positives coïncident avec des eaux océaniques anormalement froides à travers le Pacifique tropical oriental typiques des épisodes de La Niña [2].

Les valeurs SOI antérieures à 1935 doivent être utilisées avec prudence. Il y a des questions concernant la cohérence et la qualité des valeurs de pression de Tahiti avant 1935. Ropelewski et Jones (1987) décrivent les sources de données et les méthodes utilisées pour étendre les données. D'autres commentaires sont fournis par Allan et Ansell (2006).

#### **7.3. NAO (Oscillation du Nord Atlantique)**

La NAO est une variation du climat naturelle qui a des impacts importants sur le climat de l'Europe de l'ouest, des environs du nord de l'Afrique et de l'est de l'Amérique du Nord. La NAO a des effets bien plus importants en hiver qu'en été. C'est vers 1920 que les deux météorologues, l'autrichien Friedrich et l'anglais Gilbert Walker ont découvert l'Oscillation du Nord Atlantique. Oscillation de l'Atlantique Nord et oscillation de l'Arctique. L'Oscillation Nord-Atlantique (ONA) est reconnue depuis plus de 70 ans comme le mode atmosphérique dominant de la variabilité basse-fréquence de la CAGE en Atlantique Nord (Walker, 1924). Néanmoins, c'est seulement depuis les 2 dernières décennies que son étude connaît un fort regain intérêt (e.g. van Loon & Rogers, 1978; Rogers, 1984; Barnston & Livezey, 1987; Lamb & Pepler, 1987; Hurrell, 1995; Hurrell & van Loon, 1997; Wanner et al., 2001), en particulier du fait que la signature spatiale du réchauffement observé au cours du siècle dernier (avec une accélération marquée au cours des trois dernières décennies) présente de grandes similitudes avec les anomalies de température de surface associées à l'ONA. L'ONA représente une redistribution de masse atmosphérique entre les régions arctiques ou subarctiques et les régions subtropicales de l'Atlantique. Le champ de pression de surface au niveau de la mer, pour lequel on dispose de séries chronologiques relativement longues, est souvent utilisé pour caractériser l'oscillation. L'indice ONA est ainsi défini comme la différence de pression de surface normalisée entre l'Anticyclone des Açores et la Dépression d'Islande. Les moyennes mensuelles hivernales sont

traditionnellement retenues (décembre à mars) car c'est durant cette saison que la signature de l'ONA est la plus importante.

#### 7.4. AMO (Oscillation multi-décennale de l'Atlantique)

L'oscillation multi-décennale de l'Atlantique (AMO) est une fluctuation des températures de surface de la mer dans l'océan Atlantique Nord. Il a été identifié en 2000 et l'indice AMO a été défini en 2001 comme la moyenne mobile sur 10 ans des anomalies SST atlantiques dérivées au nord de l'équateur. Il existe une corrélation négative significative avec les précipitations continentales américaines avec moins de pluie au cours d'un indice AMO positif [3].

Le coefficient de corrélation de Pearson a été utilisé pour détecter une liaison entre les événements extrêmes et ETP et l'oscillation atmosphérique (MOI, SOI, NAO, WeMOI)

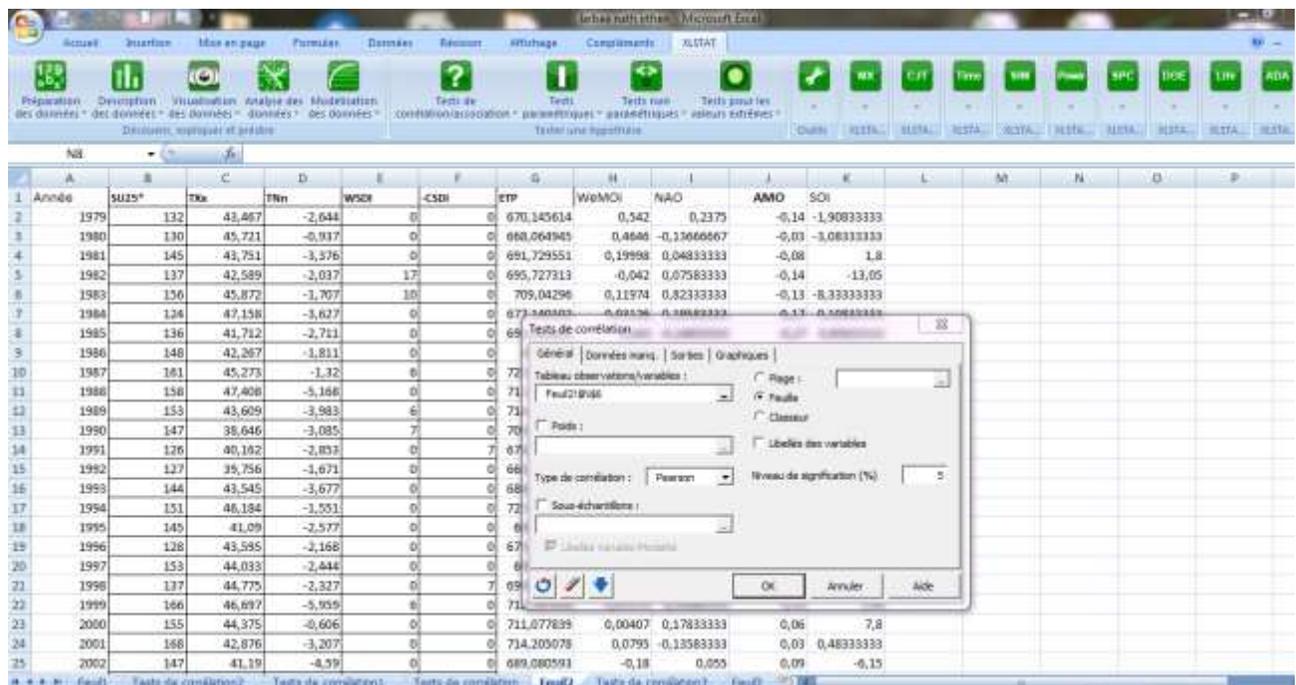


Figure 18. Exemple de calcul du coefficient de corrélation entre les indices extrêmes climatique de température, l'ETP et les indices de l'oscillation atmosphérique.

#### 8. Analyse du régime pluviométrique par les tests de détection de rupture

L'analyse statistique de séries chronologiques de données météorologiques est un des outils d'identification des variations climatiques. Nous avons utilisé un ensemble des tests statistiques, à savoir : le test de Pettitt, Procédure Bayésienne de Lee et Heghinian et la procédure de segmentation d'Hubert sur les séries des totaux annuels de précipitations des stations étudiées.

Ces tests ont pour objectif de détecter les ruptures ou tendances au sein d'une série chronologique des données.

Ces tests sont regroupés dans le logiciel Khronostat, qui est un logiciel d'analyses statistiques de séries chronologiques développé par Jean-François Boyer à l'IRD disponible sur le site internet d'HydroSciences Montpellier (Khronostat, 1998). Sur ce logiciel, plusieurs tests de détection de ruptures sont disponibles (Hallouz *et al.*, 2011)

### **8.1. Test de Pettitt (1979)**

Le test de Pettitt est une version modifiée du test de Man-Whitney, il a été décrit par plusieurs auteurs (Pettitt, 1979 ; Lubes *et al.*, 1998). Il permet de vérifier la stationnarité de la série pluviométrique. Cette série étudiée est divisée en deux (2) échantillons respectivement de taille m et n. Les valeurs des deux échantillons sont regroupées et classées par ordre croissant. On calcule alors la somme des rangs des éléments de chaque sous échantillon dans l'échantillon total. Une 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. Ce test repose sur le calcul de la variable  $U_{t,N}$  définie par l'équation suivante :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N \dots \dots \dots (1)$$

Avec  $D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j)$  avec  $\text{sgn}(X) = 1$  si  $X > 0$  et  $-1$  si  $X < 0$

### **8.2. Procédure Bayésienne de Lee et Heghinian :**

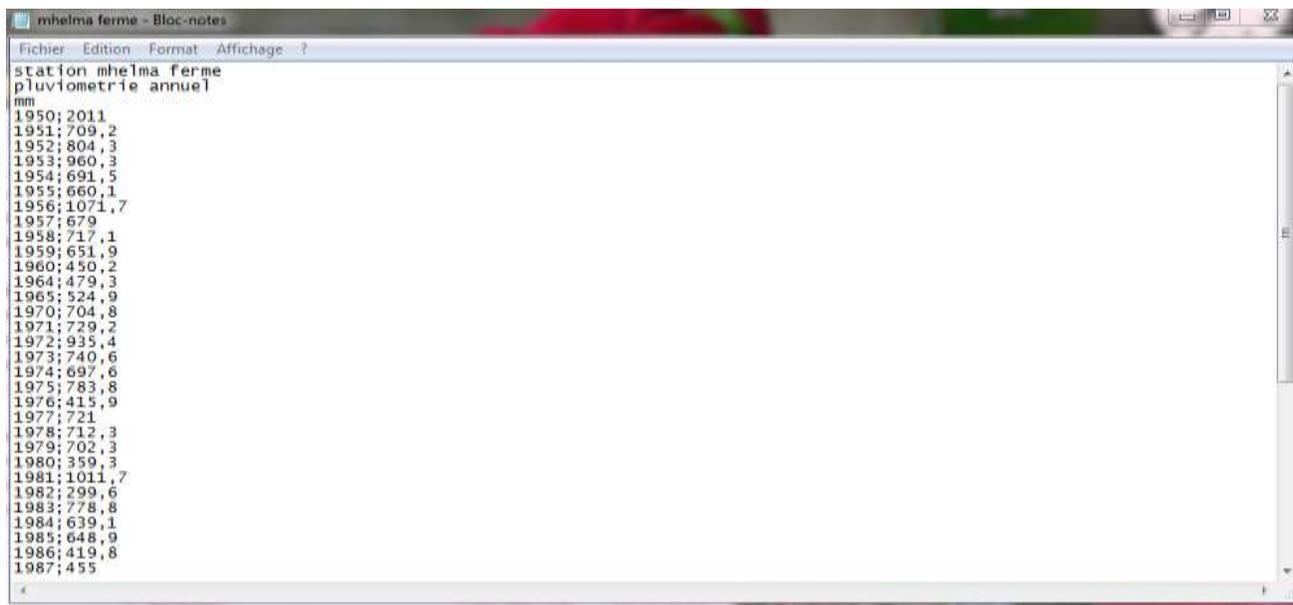
La méthode fournit la probabilité que le changement se produise à un moment t, dans une série chronologique où on suppose a priori qu'il y a effectivement un changement à un moment indéterminé. De même, cette procédure donne une estimation de la probabilité que l'amplitude du changement ait la valeur du changement éventuel de la moyenne.

### **8.3. Test de segmentation d'Hubert (1989)**

Une procédure de segmentation de séries hydrométéorologiques a été présentée par Hubert en 1989. Le principe de cette procédure est de « découper » la série en m segments ( $m > 1$ ) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne (ou des) segment(s) voisin(s). Une telle méthode est appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne. La segmentation est définie de la façon suivante :

Toute la série  $x_i$ ,  $i = i_1, i_2$  avec  $i_1 \leq 1$  et  $i_2 \geq N$  où ( $i_1 < i_2$ ) constitue un segment de la série initiale des  $(x_i)$ ,  $i = 1, \dots, N$ . Toute partition de la série initiale en  $m$  segments est une segmentation d'ordre  $m$  de cette série.

D'après les auteurs (Hubert et *al.*, 1989), cette procédure de segmentation peut être regardée comme un test de stationnarité, « la série étudiée est stationnaire », constituant l'hypothèse nulle de ce test. Si la procédure ne produit pas de segmentation acceptable d'ordre supérieur ou égal à 2, l'hypothèse nulle est acceptée (Khaldi, 2005).



**Figure 19.** Capture écran de la mise en forme des données demandé par le Khronostat  
**8.4. Application par le Khronostat**

Après l'installation de ce logiciel, sélectionner le fichier, puis les méthodes, exécuter. Plusieurs méthodes pour le calcul de rupture sont possibles en même temps.

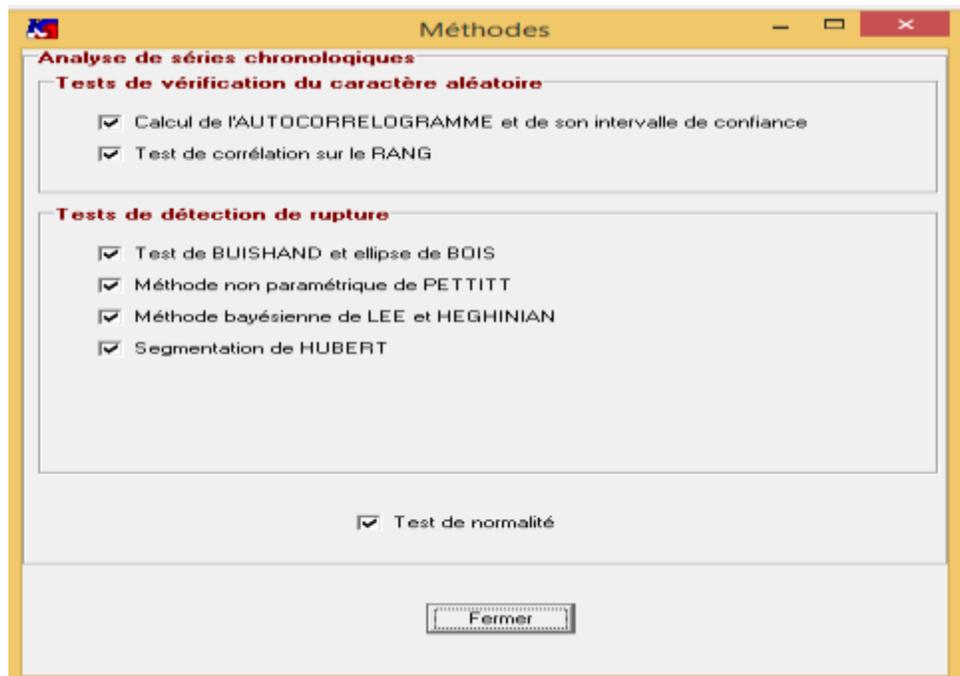


Figure 20. Interface des méthodes présentées sous Khronostat

### 9. Cartographie des cumuls annuels des précipitations

Afin de présenter la variabilité spatiale des totaux annuels de précipitation, et d'après les résultats des tests de rupture, nous avons choisie l'année xxx comme année commune de rupture sur l'ensemble des stations analysées. Une redéfinition de la valeur moyenne des précipitations avant et après cette date a permis de tracer les courbes isohyètes pour les deux périodes. Pour ce faire, nous avons utilisé un système d'information géographique.

### 10. Conclusion

Les méthodes présentées dans ce chapitre sont les plus utilisées dans le cadre de l'analyse des valeurs extrêmes du climat et que nous avons adoptées pour notre étude.

Débutant par la collecte des données puis définir la méthodologie de travail nous commençons par le calcul des indices, analyse de la tendance, rechercher la relation entre les indices de l'oscillation atmosphérique avec les indices climatiques extrêmes et l'ETP, finalisons par une cartographie des isohyètes.

**Introduction**

Les précipitations et les températures (maximales et minimales) représentent les éléments météorologiques qui sont impliqués dans l'analyse de la variabilité climatique en suivant la méthodologie présentée dans me chapitre précédant.

**1. Tendances des indices climatiques extrêmes****1.1. Tendances des indices extrêmes de précipitation**

Les résultats de l'analyse de la tendance des indices extrêmes de précipitation identifiée par le test de Mann-Kendall et Spearman à un seuil de signification de 5%, sont indiqués dans les tableaux 12 et 13. Les stations ont été organisées selon leur localisation géographique de l'ouest à l'est.

**1.1.1. Totaux annuels des précipitations (PRCPTOT)**

L'indice des totaux des pluies est caractérisé par une tendance significative à la baisse dans (6) stations qui se trouve dans la région centre du bassin (Damous, Cherrhell, Hammam Righa, Rouabah, Blida, Mahelma Ferme, dont les valeurs oscillent entre -0,207 et -0,422 mm par an ; et une seule tendance significative à la hausse à la station de l'Altirac exprime une augmentation de 0,448 mm de pluie par an.

Le test Rho de Spearman confirme les résultats détectés par le test Mann Kendall, avec une légère variation dans les valeurs de la tendance.

**1.1.2. Hauteur maximale des précipitations d'un jour (Rx1day)**

Nous avons observé une tendance significative à la baisse dans 6 stations qui se trouvent dans la région centre du bassin, où la précipitation journalière maximale décroît de 0,132 à 0,557 mm. Le RX1 day enregistré une augmentation significative à la station d'Azazga Ecole avec 0,193 mm, qui est située à l'Est du bassin.

Le test Rho de Spearman montre des résultats significatifs dans les mêmes stations révélées par le test Mann Kendall, avec en plus une tendance significative la hausse la station de Dar El Beida de 0,494mm.

**1.1.3. Cumul maximal des précipitations de 5 jours (R5days)**

Les tests Mann-Kendall et Spearman décèlent une tendance significative à la baisse comprise entre 0,194 et 0,439 mm ; qui touche les régions ouest et centre de la région d'étude.

Tableau 12. Résultats de détection de tendance par le test Mann-Kendall et le Rho de Spearman des indices extrêmes de précipitation pour les stations étudiées- groupe 1-

		Abou El Hassen	Ténès	Damous	Cherchell	Menaceur	Oued Zeboudj	Hamмам Righa	Meurad barrage	Ameur el Ain	Rouabah	Mouzaia Mine	Blida	Fouka Marine
Prcptot	Tau de Kendall	-0,180	-0,039	<b>-0,311</b>	<b>-0,303</b>	-0,169	-0,178	<b>-0,340</b>	-0,171	-0,140	<b>-0,296</b>	-0,257	<b>-0,422</b>	-0,132
	Rho sp	-0,267	-0,090	<b>-0,444</b>	<b>-0,447</b>	-0,285	-0,301	<b>-0,467</b>	-0,225	-0,230	<b>-0,399</b>	-0,370	<b>-0,594</b>	-0,236
RX_1Day	Tau de Kendall	-0,177	-0,038	<b>-0,358</b>	<b>-0,224</b>	<b>-0,132</b>	-0,195	<b>-0,323</b>	-0,164	<b>-0,557</b>	-0,037	-0,167	<b>-0,398</b>	-0,024
	Rho sp	-0,245	-0,078	<b>-0,481</b>	<b>-0,320</b>	-0,216	-0,313	<b>-0,467</b>	-0,228	<b>-0,750</b>	-0,042	-0,212	<b>-0,565</b>	-0,026
RX_5 days	Tau de Kendall	-0,233	-0,007	<b>-0,284</b>	<b>-0,252</b>	-0,220	-0,206	<b>-0,297</b>	<b>-0,194</b>	<b>-0,258</b>	-0,042	<b>-0,381</b>	<b>-0,439</b>	-0,026
	Rho sp	-0,312	-0,036	<b>-0,375</b>	<b>-0,343</b>	-0,296	<b>-0,316</b>	<b>-0,427</b>	<b>-0,295</b>	<b>-0,376</b>	-0,060	<b>-0,568</b>	<b>-0,616</b>	-0,047
R_10	Tau de Kendall	-0,145	-0,111	-0,199	<b>-0,224</b>	-0,126	-0,150	<b>-0,231</b>	-0,131	0,002	<b>-0,319</b>	-0,102	<b>-0,346</b>	-0,198
	Rho sp	-0,114	-0,110	-0,241	<b>-0,283</b>	-0,163	-0,160	-0,288	-0,134	0,032	<b>-0,378</b>	-0,130	<b>-0,480</b>	-0,259
R_20	Tau de Kendall	-0,209	-0,058	<b>-0,339</b>	<b>-0,209</b>	-0,221	-0,158	<b>-0,276</b>	-0,085	<b>-0,290</b>	-0,164	-0,211	<b>-0,421</b>	-0,209
	Rho sp	-0,239	-0,015	<b>-0,398</b>	-0,207	-0,235	-0,168	<b>-0,314</b>	-0,059	<b>-0,376</b>	-0,190	-0,187	<b>-0,527</b>	-0,242
R_95	Tau de Kendall	-0,090	-0,090	<b>-0,310</b>	<b>-0,239</b>	-0,198	-0,187	<b>-0,341</b>	-0,160	<b>-0,493</b>	0,026	<b>-0,501</b>	<b>-0,521</b>	-0,208
	Rho sp	-0,235	-0,117	<b>-0,396</b>	<b>-0,345</b>	-0,260	-0,290	<b>-0,439</b>	-0,232	<b>-0,637</b>	0,030	<b>-0,597</b>	<b>-0,676</b>	-0,307
R_99	Tau de Kendall	-0,078	-0,030	<b>-0,440</b>	<b>-0,202</b>	<b>-0,178</b>	<b>-0,249</b>	<b>-0,288</b>	-0,194	<b>-0,482</b>	-0,118	-0,218	<b>-0,416</b>	-0,048
	Rho sp	0,242	<b>0,302</b>	-0,197	-0,013	-0,123	0,179	-0,011	0,125	-0,043	0,320	0,335	-0,159	0,286
SDII	Tau de Kendall	-0,187	-0,150	-0,219	-0,150	<b>-0,292</b>	-0,189	<b>-0,263</b>	<b>-0,259</b>	-0,195	0,072	-0,313	<b>-0,421</b>	-0,122
	Rho sp	-0,284	-0,234	-0,266	-0,205	<b>-0,399</b>	-0,276	<b>-0,363</b>	<b>-0,359</b>	<b>-0,333</b>	0,206	-0,438	<b>-0,594</b>	-0,159
CDD	Tau de Kendall	0,023	-0,130	0,226	-0,033	-0,060	-0,086	0,026	-0,143	0,165	<b>0,361</b>	-0,053	0,058	0,022
	Rho sp	0,029	-0,193	0,319	-0,033	-0,049	-0,098	0,028	-0,186	0,267	<b>0,495</b>	-0,082	0,117	0,029
CWD	Tau de Kendall	0,078	0,091	-0,120	-0,142	0,154	-0,021	-0,195	-0,030	<b>0,246</b>	-0,181	-0,221	<b>-0,355</b>	0,008
	Rho sp	0,244	<b>0,316</b>	-0,024	-0,068	<b>0,375</b>	0,128	-0,102	0,074	<b>0,467</b>	-0,134	-0,144	-0,326	0,117

Caractère gras : Tendance significative au seuil de 5%

Tableau 13. Résultats de détection de tendance par le test Mann-Kendall et le Rho de Spearman des indices extrêmes de précipitation pour les stations étudiées- groupe 2-

		Mahelma ferme	Altirac	Dar El Beida	Ouled Ali	Deux bassins	Tizi Lthnine	Tizi Ouzou	Bouassam	Larabaa Nath Irathen	Aghribs	Azazga École	Yakourène
Prcptot	Tau de Kendall	<b>-0,207</b>	<b>0,448</b>	-0,024	0,032	-0,090	-0,011	0,255	0,068	-0,067	0,092	0,041	-0,075
	Rho sp	<b>-0,332</b>	<b>0,595</b>	-0,085	0,015	-0,116	-0,035	0,372	0,106	-0,094	0,161	0,078	-0,128
RX_1Day	Tau de Kendall	-0,191	0,062	0,126	0,007	0,006	0,000	0,076	-0,151	0,084	0,094	<b>0,193</b>	0,113
	Rho sp	-0,267	0,077	<b>0,494</b>	0,029	0,012	-0,005	0,077	-0,208	0,117	0,149	<b>0,290</b>	0,160
RX_5 days	Tau de Kendall	-0,132	0,154	-0,081	0,114	0,001	-0,056	0,072	0,047	0,029	0,163	0,086	0,001
	Rho sp	-0,200	0,184	-0,157	0,076	-0,022	-0,077	0,094	0,049	0,042	0,206	0,131	0,020
R_10	Tau de Kendall	<b>-0,239</b>	<b>0,446</b>	-0,080	<b>0,086</b>	-0,102	0,031	<b>0,298</b>	<b>0,467</b>	-0,056	0,058	-0,057	-0,163
	Rho sp	<b>-0,305</b>	<b>0,627</b>	-0,095	0,142	-0,098	0,069	<b>0,465</b>	0,243	-0,053	0,132	-0,049	-0,243
R_20	Tau de Kendall	-0,142	<b>0,311</b>	0,017	0,087	0,033	0,198	0,182	0,115	-0,091	0,083	0,009	-0,101
	Rho sp	-0,136	<b>0,486</b>	0,076	0,208	0,093	0,296	0,334	0,236	-0,069	0,177	0,072	-0,091
R_95	Tau de Kendall	-0,163	0,024	0,052	0,025	0,025	0,378	0,037	-0,032	0,024	0,198	0,127	0,191
	Rho sp	-0,214	0,300	0,087	0,035	0,076	0,035	0,091	-0,018	0,070	0,289	0,209	0,105
R_99	Tau de Kendall	-0,178	0,251	-0,018	-0,060	-0,088	0,097	0,014	-0,191	0,016	0,088	<b>0,279</b>	0,128
	Rho sp	-0,010	<b>0,561</b>	<b>0,338</b>	<b>0,359</b>	<b>0,290</b>	<b>0,358</b>	0,247	-0,020	<b>0,846</b>	<b>0,422</b>	<b>0,609</b>	<b>0,412</b>
SDII	Tau de Kendall	-0,176	<b>0,269</b>	0,017	0,204	-0,005	0,096	0,096	0,041	0,083	0,110	0,008	-0,092
	Rho sp	-0,217	<b>0,398</b>	0,046	<b>0,350</b>	0,008	0,179	0,186	0,089	0,134	0,161	0,029	-0,108
CDD	Tau de Kendall	0,098	-0,067	<b>-0,198</b>	0,182	-0,012	0,200	-0,006	0,027	-0,069	0,042	<b>-0,230</b>	0,041
	Rho sp	0,177	-0,070	<b>-0,266</b>	0,280	0,025	0,285	0,048	0,063	-0,079	0,063	<b>-0,327</b>	0,071
CWD	Tau de Kendall	-0,142	0,241	<b>-0,215</b>	-0,082	0,008	-0,128	0,276	0,031	-0,117	<b>-0,263</b>	-0,126	0,028
	Rho sp	-0,025	<b>0,433</b>	-0,117	0,045	0,184	-0,225	<b>0,485</b>	0,194	-0,026	-0,271	-0,043	0,144

Caractère gras : Tendance significative au seuil de 5%

**1.1.4. Nombre de jours des pluies  $\geq 10$  mm (R10)**

Le nombre de jours pluvieux supérieurs à 10 mm par jour connaît une baisse significative au niveau des stations localisées à l'ouest et au centre du bassin. Cette baisse est estimée entre 0,224 et 0,346 jour. Cependant une tendance significative à la hausse dans les stations de la région Est du bassin avec une augmentation de 0,086 à 0,467 jour. Pour le test de Spearman, il valide les tendances détectées par le test Mann-Kendall.

**1.1.5. Nombre de jours pluvieux  $\geq 20$  mm (R20)**

Les journées pluvieuses ayant une précipitation supérieure à 20 mm notent une tendance significative à la baisse dans 5 stations : Damous, Cherchell, Hammam Righa, Ameer El Ain, Blida. Cette diminution oscille entre 0,209 et 0,421 jour. Cet indice enregistre une seule augmentation significative à la station d'Altirac avec 0,486 jour.

**1.1.6. Jours très pluvieux (R95p)**

L'indice de précipitation totale annuelle avec précipitation supérieure au 95e percentile dénote une tendance significative à la baisse dans les stations suivantes Cherchell, Oued Zeboudj, Hammam Righa, Ameer El Ain, Mouzaia Mines et Blida. Cette réduction est estimée de 0,239 à 0,521 mm/an.

**1.1.7. Jours extrêmement pluvieux (R99p)**

L'évolution des totaux annuels des précipitations des jours extrêmement pluvieux démontre une tendance significative à la baisse dans les stations Damous, Cherchell, Menaceur, Oued Zeboudj, Hammam Righa, Ameer El Ain et Blida où elle varie entre -0,178 à -0,4 mm/an. Tandis que le test de Spearman dénonce une évolution significative à la hausse sur les stations qui s'étendent à l'Est de Dar el Beida avec 0,289 à 0,846mm/an.

Pour le test man Kendall la présence des valeurs 0 influe sur la performance du test.

**1.1.8. Intensité Simples des Pluies (SDII)**

Les intensités simples de précipitations ont une tendance significative à la baisse sur les stations : Menaceur, Hammam Righa, Meurad Barrage, Ameer El Ain, elle oscille entre 0,292 et 0,421 mm/jour. Cependant, le test de Spearman indique une tendance à la hausse sur deux stations à savoir : Altirac et Ouled Ali estimée entre 0,350 et 0,397mm/jour.

**1.1.9. Jours consécutivement sec (CDD)**

Cet indice est évolué en deux grandes tendances, les stations de Dar El Beida et Azazga Ecole marquent une tendance significative à la baisse avec respectivement 0,198 et 0,230 jour, et une tendance significative à la hausse à la station de Rouabah avec 0,361 jour.

**1.1.10. Jours consécutivement humides (CWD)**

Tests de détection de tendance présentent une tendance significative à la hausse de 0,316 à 0,485jour sur cinq stations à savoir : Ténès, Menaceur, Ameer El Ain, Altairac et Tizi-Ouzou. Une tendance significative à la baisse est observée aux stations de : Aghribs, Dar El Beida et Blida avec une diminution de 0,215 à 0,355 jours.

**1.2. Tendance des indices extrêmes de températures**

Les tests de Mann-Kendall et Spearman pour la détection de la tendance au niveau des séries des indices extrêmes de températures présentent les résultats dans le tableau 3. Les résultats sont exprimés à un seuil de signification de 5%. Le détail des résultats des tests est présenté dans l'annexe 2.

**1.2.1. Jours d'été (SU25)**

Nombre de jours dans l'année ayant la TX supérieure à 25°C a connaît une évolution significative à la hausse dans les stations côtières (Abou el Hassen, Ténès, Dar El Beida et Fouka Marine), avec une augmentation de 0,339 à 0, 515 jour.

**1.2.2. Nuits tropicales (TR20)**

Le nombre de jours dans l'année quand la TX est supérieure à 20°C marque une tendance à la hausse au niveau de trois stations : Ténès, Fouka marine et Mahelma entre 0,35 et 0,37 jour.

**1.2.3. Maximum des températures maximales (TXx)**

L'indice de maximum de la température maximale présente une tendance caractérisée par une baisse significative varie de 0,237et 0,291 °C dans les stations Deux Bassins, Aghribs et Larabaa Nath Irathen.

**1.2.4. Maximum des températures minimales (TNx)**

L'indice de température minimale la plus forte dans l'année ne présente aucune tendance significative sur l'ensemble des stations étudiées.

Tableau 14. Résultats de détection de tendance par le test Mann-Kendall et le Rho de Spearman des indices extrêmes de température pour les stations étudiées

		Abou El Hassen	Ténès	Cherchell	Menaceur	Meurad Bge	Fouka Marine	Mahelma ferme	Dar el Beida	Deux bassins	Larabaa Nath Irathen	Aghribs	Yakourène
SU25*	Tau de Kendall	0,225	<b>0,339</b>	0,200	0,211	0,124	0,209	0,126	<b>0,327</b>	0,072	0,032	0,002	0,018
	Rho sp	<b>0,370</b>	<b>0,515</b>	0,336	0,319	0,217	<b>0,343</b>	0,210	<b>0,500</b>	0,154	0,077	0,025	0,050
TR20	Tau de Kendall	0,034	<b>0,243</b>	0,155	0,085	0,123	0,220	0,232	0,246	0,089	0,060	0,184	0,191
	Rho sp	0,062	<b>0,373</b>	0,260	0,131	0,190	<b>0,362</b>	<b>0,353</b>	0,304	0,155	0,111	0,257	0,268
TXx	Tau de Kendall	0,091	0,123	0,182	-0,087	-0,169	0,169	-0,169	-0,144	<b>-0,237</b>	<b>-0,291</b>	<b>-0,250</b>	-0,198
	Rho sp	0,152	0,204	0,268	-0,095	-0,249	0,263	-0,231	-0,114	<b>-0,350</b>	<b>-0,435</b>	<b>-0,357</b>	-0,284
TXn	Tau de Kendall	0,030	0,012	-0,023	0,159	0,214	-0,023	0,073	-0,053	0,070	-0,089	0,008	-0,059
	Rho sp	0,099	0,024	-0,006	0,165	0,326	-0,018	0,118	-0,063	0,114	-0,121	0,001	0,013
TNn	Tau de Kendall	0,049	-0,119	-0,219	-0,023	0,048	-0,173	0,009	-0,013	-0,196	-0,039	0,049	-0,057
	Rho sp	0,353	-0,159	-0,290	-0,008	0,076	-0,241	0,041	0,026	-0,267	-0,062	0,056	-0,071
TNx	Tau de Kendall	-0,123	0,183	0,152	0,111	0,153	0,176	0,212	0,155	0,048	-0,018	0,006	-0,012
	Rho sp	-0,170	-0,015	0,228	0,162	0,203	0,281	0,283	0,265	0,056	-0,024	0,019	-0,008
TN10p	Tau de Kendall	-0,084	<b>-0,252</b>	-0,184	-0,034	-0,202	<b>-0,293</b>	<b>-0,357</b>	-0,133	-0,061	-0,150	<b>-0,245</b>	<b>-0,273</b>
	Rho sp	0,083	<b>-0,346</b>	-0,263	-0,008	-0,255	-0,427	-0,465	-0,226	-0,051	-0,206	-0,329	<b>-0,360</b>
TN90p	Tau de Kendall	<b>0,269</b>	<b>0,269</b>	0,119	-0,023	0,077	<b>0,255</b>	0,211	<b>0,308</b>	0,009	-0,098	0,042	0,039
	Rho sp	0,045	<b>0,396</b>	0,172	-0,055	0,088	<b>0,366</b>	0,317	<b>0,455</b>	0,021	-0,129	0,056	0,051
TX10p	Tau de Kendall	-0,121	<b>-0,271</b>	-0,205	-0,066	-0,145	<b>-0,285</b>	-0,096	<b>-0,351</b>	-0,116	-0,030	-0,110	-0,127
	Rho sp	-0,202	<b>-0,471</b>	-0,304	-0,136	-0,219	<b>-0,417</b>	-0,165	<b>-0,507</b>	-0,179	-0,045	-0,141	-0,183
TX90p	Tau de Kendall	<b>0,331</b>	<b>0,331</b>	<b>0,280</b>	0,152	0,192	<b>0,355</b>	0,096	0,182	0,066	-0,005	0,106	0,055
	Rho sp	<b>0,353</b>	<b>0,470</b>	<b>0,399</b>	0,306	0,291	<b>0,499</b>	0,126	<b>0,383</b>	0,111	0,005	0,155	0,117
WSDI	Tau de Kendall	0,193	0,207	-0,149	0,038	-0,045	-0,068	-0,107	-0,174	-0,075	-0,162	-0,203	-0,169
	Rho sp	<b>0,752</b>	<b>0,565</b>	<b>0,434</b>	<b>0,537</b>	<b>0,425</b>	<b>0,445</b>	<b>0,652</b>	<b>0,463</b>	<b>0,408</b>	<b>0,446</b>	<b>0,455</b>	<b>0,455</b>
CSDI	Tau de Kendall	0,056	-0,077	-0,111	0,041	-0,151	-0,103	-0,089	-0,170	-0,086	0,058	-0,088	-0,152
	Rho sp	<b>0,674</b>	0,206	0,171	<b>0,704</b>	<b>0,725</b>	0,310	<b>0,388</b>	<b>0,423</b>	<b>0,538</b>	0,892	<b>0,848</b>	<b>0,755</b>

Caractère gras : Tendance significative au seuil de 5%

**1.2.5. Minimum des températures maximales (TXn)**

L'indice de la température maximale la plus basse dans l'année ne mentionne aucune évolution significative sur le bassin d'étude.

**1.2.6. Minimum des températures minimales (TNn)**

L'évolution de l'indice de la température la plus minimale des températures minimales n'a enregistré aucune tendance significative dans le seuil de 0,05 pour le test de Mann Kendall, sauf pour le test de Spearman où une tendance significative à la hausse est détectée à la station d'Abou El Hassen.

**1.2.7. Nuits relativement fraîches (TN10p)**

Pourcentage des jours avec Tmin supérieure 10eme percentile dénote une tendance à la baisse dans les stations de Ténès, Fouka Marine, Mahelma Ferme, Aghribs, Yakourène de l'ordre de 0,245 0,357 % jours.

**1.2.8. Jours relativement frais (TX10p)**

L'évolution des jours frais mis en évidence une baisse significative dans trois stations Fouka Marine, Ténès et Dar El Beida où elle oscille entre 0,271 et 0,350 % jours/an. Pour le Rho de Spearman dénote les mêmes stations entre -0,417 -0,507 % jours/an.

**1.2.9. Nuits relativement chaudes (TN90p)**

Pourcentage des jours avec Tmin supérieure au 90eme percentile marque une tendance significative à la hausse dans quatre stations côtières : Ténès, Fouka Marine, Dar El Beida et Abou El Hassen. Les valeurs estimées varient entre 0,366 et 0,455 % jours/an.

**1.2.10. Jours relativement chauds (TX90p)**

Pourcentage des jours avec Tmax supérieure au 90eme percentile présente une tendance à la hausse évaluée entre 0,237 et 0,355 % de jours/an. Cette hausse est marquée dans cinq stations qui se situent dans le centre et l'ouest de la région d'étude. Le test de Rho de Spearman montre des résultats significatifs dans les mêmes stations estimées entre 0,353 et 0,499 % jours/an.

**1.2.11. Indicateur des durées des séquences chaudes (WSDI)**

Nombre de jours dans l'année avec au moins six jours consécutifs où Tmax est supérieure 90e percentile montrent une tendance significative à la hausse sur l'ensemble des stations étudiées, où elle varie de 0,408 à 0,752% jours/an.

### 1.2.12. Indicateur des durées des séquences fraîches (CSDI)

Nombre de jours dans l'année avec au moins six jours consécutifs où  $T_{min}$  est supérieure au 10e percentile montre une tendance significative à la hausse relativement sur l'ensemble des stations.

## 2. Tendance de l'évapotranspiration ETP

Nous avons observé une tendance significative à la hausse dans six stations, cette augmentation varie de 0.13 à 0.52 mm pas an. Ceci peut être expliqué par l'effet de l'augmentation de la température qu'a connue cette région durant les dernières décennies.

**Tableau 15.** Résultats de détection de tendance dans les séries de l'ETP annuelles pour les stations étudiées

	Abou El Hassen	Tenès	Cherchell	Menaceur	Meurad Bge	Fouka Marine
<b>Tau de Kendall</b>	<b>0,241</b>	<b>0,130</b>	<b>0,266</b>	0,148	0,106	<b>0,365</b>
<b>Rho sp</b>	0,371	<b>0,529</b>	<b>0,404</b>	0,210	0,137	<b>0,483</b>

	Mahelma ferme	Dar el Beida	Deux bassins	Larabaa Nath Irathen	Aghribs	Yakourène
<b>Tau de Kendall</b>	0,230	<b>0,261</b>	0,162	0,121	0,119	0,134
<b>Rho sp</b>	0,371	<b>0,372</b>	0,074	0,168	0,192	0,187

## 3. Corrélation entre les indices climatique extrêmes et ETP

### 3.1. Corrélation avec les indices extrêmes de précipitation

Le coefficient de corrélation de Pearson calculé entre les séries des indices extrêmes de précipitations et les valeurs annuelles de l'évapotranspiration montre les résultats présentés dans le tableau 3. Le test de corrélation est établi avec les indices de précipitation (Prcptot, CDD, CWD, SDII) dont le choix est basé sur l'importance que renferme ces indices sur les ressources hydriques et l'agriculture. Cependant, une seule corrélation significative négative est décelée avec le PRECPTOT et le SDII à la station de Mahelma Ferme.

### 3.2. Corrélation avec les indices extrêmes de température

La corrélation évaluée entre l'ETP et les indices extrêmes de température avec un seuil de signification de 5% a permis d'avoir les résultats figurant dans le tableau 14.

Une forte corrélation positive significative avec l'indice SU25 est démontrée sur l'ensemble des stations étudiées ( $r \geq 0.51$ ).

Pour l'indice TXX, une bonne corrélation est définie avec l'ETP au niveau trois stations qui se situent dans les régions côtières : Ténès, Cherchell, Fouka marine. Le coefficient de Pearson varie entre 0,475 et 0,592.

Une seule corrélation positive significative est observée avec l'indice TNn au niveau de la station d'Abou El Hassen. Tandis que, sept stations présentent une corrélation positive significative avec l'indice de WSDI. Les valeurs de r de Pearson varient de 0.34 à 0.51.

Des bonnes corrélations négatives significatives sont détectées avec l'indice de CSDI exprimant une relation inverse entre ces deux variables.

Tableau 16. Résultats de coefficient de corrélation de Pearson au seuil de 5% de l’ETP avec les indices extrêmes de précipitation.

	Abou el Hassen	Tenès	Cherchell	Menaceur	Meurad barrage	Fouka marines	Mahelma ferme	Dar el Beida	Deux bassins	Larabaa Nath Irathen	Aghribs	Yakourène
Prcptot	-0,117	0,029	-0,174	-0,071	0,127	-0,025	<b>-0,365</b>	-0,354	-0,163	-0,158	0,084	-0,050
CDD	0,127	-0,023	-0,312	-0,178	0,061	0,052	-0,261	-0,045	-0,302	-0,119	0,112	-0,087
CWD	0,450	0,365	-0,112	-0,068	0,009	-0,339	0,255	-0,226	-0,050	-0,217	0,121	-0,207
SDII	-0,069	0,123	0,026	-0,149	0,203	0,079	<b>-0,379</b>	-0,182	0,113	-0,148	-0,014	0,109

Caractère gras : Corrélation significative

Tableau 17. Résultats de coefficient de corrélation de Pearson au seuil de 5% de l’ETP avec les indices extrêmes de température.

	Abou el Hassen	Tenès	Cherchell	Menaceur	Meurad barrage	Fouka marines	Mahelma ferme	Dar el Beida	Deux bassins	Larabaa Nath Irathen	Aghribs	Yakourène
SU25	<b>0,606</b>	<b>0,793</b>	<b>0,850</b>	<b>0,680</b>	<b>0,716</b>	<b>0,762</b>	<b>0,718</b>	<b>0,514</b>	<b>0,780</b>	<b>0,757</b>	<b>0,590</b>	<b>0,787</b>
TXx	0,077	<b>0,482</b>	<b>0,592</b>	0,235	0,262	<b>0,475</b>	0,134	-0,317	0,238	0,169	0,114	0,173
TNn	<b>0,356</b>	0,128	-0,036	0,196	0,068	0,083	0,186	0,176	-0,124	-0,018	0,082	0,157
WSDI	0,275	<b>0,420</b>	<b>0,449</b>	<b>0,348</b>	<b>0,419</b>	<b>0,466</b>	<b>0,373</b>	0,052	<b>0,509</b>	0,265	0,212	0,292
CSDI	-0,184	<b>-0,512</b>	<b>-0,556</b>	-0,303	<b>-0,510</b>	<b>-0,384</b>	-0,259	<b>-0,469</b>	0,154	-0,131	-0,036	-0,038

Caractère gras : Corrélation significative

Tableau 18. Résultats de coefficient de corrélation de Pearson au seuil de 5% des indices climatiques extrêmes avec les indices d’oscillations atmosphériques à la station d’Abou El Hassen

Abou el Hassen	PRCPTOT	SDII	CDD	CWD	SU25	TXx	TNn	WSDI	-CSDI	ETP
WeMOi	<b>-0,478</b>	-0,408	0,313	-0,072	<b>-0,441</b>	-0,052	0,082	-0,112	-0,049	-0,337
NAO	0,085	0,175	0,388	-0,046	-0,081	0,022	0,055	-0,016	-0,016	0,051
AMO	0,233	0,011	0,043	0,247	<b>0,361</b>	0,049	-0,140	0,079	0,166	0,250
SOI	0,009	0,083	0,137	-0,206	0,149	0,021	-0,118	-0,256	0,229	0,008

**Tableau 19.** Résultats de coefficient de corrélation de Pearson au seuil de 5% des indices climatiques extrêmes avec les indices d’oscillations atmosphériques à la station de Ténès.

Ténès	PRECPTOT	SDII	CDD	CWD	SU25	TXx	TNn	WSDI	CSDI	ETP
<b>WeMOI</b>	-0,273	0,278	0,084	<b>-0,507</b>	<b>-0,343</b>	-0,110	0,249	-0,195	0,100	<b>-0,460</b>
<b>NAO</b>	-0,310	0,164	0,149	<b>-0,638</b>	-0,127	-0,104	0,156	-0,145	-0,022	-0,150
<b>AMO</b>	0,149	-0,332	0,063	0,370	<b>0,384</b>	0,300	-0,251	0,267	-0,120	<b>0,440</b>
<b>SOI</b>	0,362	-0,290	-0,303	<b>0,426</b>	0,111	0,075	-0,134	0,023	0,101	0,149

**Tableau 20.** Résultats de coefficient de corrélation de Pearson au seuil de 5% des indices climatiques extrêmes avec les indices d’oscillations atmosphériques à la station de Cherchell.

Cherchell	PRECPTOT	SDII	CDD	CWD	SU25	TXx	TNn	WSDI	CSDI	ETP
<b>WeMOI</b>	0,006	-0,056	-0,225	-0,253	-0,246	-0,083	0,216	0,055	0,124	<b>-0,353</b>
<b>NAO</b>	-0,318	-0,351	-0,361	<b>-0,515</b>	-0,051	-0,136	0,335	0,119	0,031	-0,061
<b>AMO</b>	0,217	0,345	0,317	0,215	0,265	0,316	-0,330	-0,257	-0,056	<b>0,357</b>
<b>SOI</b>	0,146	0,098	0,249	0,307	-0,105	0,135	-0,076	-0,203	0,047	0,017

**Tableau 21.** Résultats de coefficient de corrélation de Pearson au seuil de 5% des indices climatiques extrêmes avec les indices d’oscillations atmosphériques à la station de Fouka Marine.

Fouka marine	PRECPTOT	SDII	CDD	CWD	SU25	TXx	TNn	WSDI	CSDI	ETP
<b>WeMOI</b>	-0,228	0,056	<b>0,451</b>	-0,281	-0,274	-0,098	0,210	0,010	0,129	<b>-0,468</b>
<b>NAO</b>	-0,096	0,079	0,251	-0,211	0,036	-0,074	0,173	0,300	0,057	-0,091
<b>AMO</b>	0,139	0,133	-0,059	0,134	0,292	0,323	-0,298	-0,224	0,066	<b>0,415</b>
<b>SOI</b>	0,005	-0,159	-0,048	0,001	-0,070	0,086	-0,220	-0,273	0,075	0,087

Caractère gras : Corrélation significative

**Tableau 22.** Résultats de coefficient de corrélation de Pearson au seuil de 5% des indices climatiques extrêmes avec les indices d'oscillations atmosphériques à la station de Dar el Beida.

Dar El Beida	PRCPTOT	SDII	CDD	CWD	SU25	TXx	TNn	WSDI	-CSDI	ETP
<b>WeMOi</b>	0,311	0,236	0,163	0,206	<b>-0,678</b>	0,074	0,101	0,206	0,183	<b>-0,585</b>
<b>NAO</b>	-0,372	-0,319	0,266	0,019	-0,015	-0,056	0,054	0,103	-0,044	-0,044
<b>AMO</b>	-0,152	-0,050	-0,399	-0,218	<b>0,410</b>	0,110	-0,078	-0,284	-0,053	0,292
<b>SOI</b>	0,006	-0,191	-0,027	0,104	0,111	0,140	-0,166	-0,200	0,136	0,027

Caractère gras : Corrélation significative

**Tableau 23.** Résultats de coefficient de corrélation de Pearson au seuil de 5% des indices climatiques extrêmes avec les indices d'oscillations atmosphériques à la station de Larabaa Nath Irathen.

Larabaa Nath Irathen	PRCPTOT	SDII	CDD	CWD	SU25	TXx	TNn	WSDI	CSDI	ETP
<b>WeMOI</b>	<b>-0,467</b>	<b>-0,458</b>	0,305	<b>-0,459</b>	-0,201	<b>0,369</b>	0,055	0,030	0,010	-0,267
<b>NAO</b>	<b>-0,421</b>	<b>-0,433</b>	0,143	<b>-0,408</b>	0,177	0,153	-0,063	0,276	0,014	0,099
<b>AMO</b>	0,211	0,201	-0,239	0,213	0,213	-0,207	-0,102	-0,069	0,224	0,152
<b>SOI</b>	<b>0,364</b>	0,325	-0,125	<b>0,370</b>	-0,033	0,044	-0,277	-0,278	-0,074	-0,048

Caractère gras : Corrélation significative

#### **4. Corrélation entre des indices climatique extrêmes et les indices d'oscillation atmosphérique**

Le coefficient de Pearson est calculé pour établir la corrélation entre les indices climatiques extrêmes à un seuil de signification de 5% dont les résultats figurent dans les tableaux 18 au 23. Les autres tableaux sont présentés dans l'annexe 3.

##### **4.1. Corrélation avec WeMOI**

Cet indice d'oscillation atmosphérique spécifique du bassin méditerranéen exprime une corrélation significative négative avec deux indices : PRCPTOT (0,478) et SU25 (0,441).

La station de Ténès présente une bonne corrélation significative négative avec CWD (0,507), ETP (0,460) et SU25 (0,433). Station Cherchell montre une seule corrélation significative négative avec ETP (0,353). SU 25 présente une corrélation négative significative à la station de Menaceur.

Le WeMOI exprime une corrélation positive significative avec le CDD (0,45) et corrélation négative (0,46) à la station de Fouka Marine ainsi à Mahelma Ferme avec un r de 0,39.

Dar el Beida, une forte corrélation significative négative avec SU25 (0,678) et ETP (0,585). Larabaa Nath Irathen montre une corrélation significative négative avec trois indices PRCPTOT (0,467), SDII (0,58) et CWD (0,459) et positive avec TXx (0,369). A Aghribs, des corrélations significatives positives avec l'indice TXx 0,352 et négative avec ETP (0,346) ont été décelées. Meurad barrage, Deux bassin, Yakourène dans ces trois stations aucune corrélation significative n'est observée avec le WeMOI.

##### **4.2. Corrélation avec le NAO**

Abou el Hassen, Menaceur, Meurad barrage, Fouka Marine, Mahelma Ferme, dar el Beida, Aghribs, ces stations n'ont aucune corrélation significative avec l'indice NAO.

Les stations de Ténès, Cherchell, Larabaa Nath Irathen possèdent une forte corrélation significative négative avec l'indice CWD avec une valeur de 0,638 à 0,515. L'indice TXx présente une corrélation significative positive à Larabaa Nath Irathen de l'ordre de 0,369.

Dans les stations deux bassins, Yakourène, l'indice NAO a une corrélation significative négative avec l'indice SDII (0,4) et dans Yakourène une corrélation positive avec l'indice WSDI (0,356).

### 4.3. Corrélation avec AMO

L'indice d'Oscillation Atlantique Multidécennal présente des corrélations significatives avec l'indice de température SU25 au niveau de quatre stations à savoir : Abou el Hassen, Ténès, Menaceur et Dar el Beida. Les valeurs de coefficient de Pearson sont de l'ordre de 0.301 à 0,41.

Cependant, des corrélations positives significatives sont observées avec l'ETP aux stations de Ténès, Cherchell, et Fouka marine. Cette corrélation oscille entre 0.37 et 0.44.

### 4.4. Corrélation avec SOI

Cet indice exprime des corrélations positives significatives au niveau de trois stations seulement ; la station de Ténès avec l'indice CWD (0.42) ; Mahelma ferme avec CSDI (0.366) et Larabaa Nath Irathen avec deux indices PRCPTOT (0.364) et CWD (0.37).

Les autres stations ne présentent aucune corrélation significative avec les indices climatiques extrêmes calculés.

## 5. Analyse du régime pluviométrique par les tests de détection de rupture

Les tests de détection de rupture fournis par le Khronostat et appliqués sur les séries des totaux annuels de précipitation ont permis de déceler les résultats indiqués dans le tableau 27.

**Tableau 27.** Résultats des tests de détection de rupture appliqués aux séries pluviométriques annuelles

Station	Pettitt	Lee et Heghinian	Segmentation d'Hubert	Moyenne avant	Moyenne après	diff en %
Abou El Hassen		1953	1957	663,367	442,573	-33,28
Aghribs		1947				
Altairac	2001		1994	462,337	680,06	47,09
Ameur El Ain		1991				
Azazga école		2005				
Blida	1981	1981	1981	878,869	504,695	-42,57
Bouassam		2004				
Cherchell	1980	1975	1971	629,131	473,655	-24,71
Damous	1985	1975	1963	713,5	502,962	-29,51
Deux bassins		1944				
Fouka marine	1985	1985	1966	684,513	539,496	-21,19
Hammam Righa	1985	1973	1956	1751,8	947,7	-45,90
			1960	947,7	577,491	-39,06

Larabaa Nath Irathen		1976	1968	1025,178	857,589	-16,35
Menaceur		1953				
Meurad barrage		1979				
Mahelma ferme	1981	1956	1974	704,725	562,315	-20,21
Mouzaia mines		1985	1981	820,8	537,542	-34,51
Oued Zeboudj	1986	1979	1979	671,564	503,74	-24,99
Ouled Ali		1975				
Rouabah	1981	2000	1980	754,392	508,907	-32,54
			1995	508,907	1104,1	
Ténès	1978	1978	1967	564,819	832,9	47,46
			1972	832,9	478,144	-42,59
Tizi Lthnine		1980				
Tizi Ouzou		2005	2004	717,742	958,371	33,53
Yakourène		1985				
Dar el Beida	1986	1986	1947	485,867	707,578	45,63
			1988	707,578	529,46	-25,17

Les résultats de l'application des tests de rupture sur les séries pluviométriques annuelle, présentent les observations suivantes :

Le test de Pettitt indique une rupture dans les stations : Blida, Cherchell, Damous, Fouka marine, Hammam Righa, Mahelma ferme, oued Zeboudj, Rouabah, Ténès et Dar el Beida, où l'année de la rupture est comprise entre 1978 et 1986 sauf la station d'Altairac en 2001.

Pour toutes les stations, la procédure bayésienne de Lee Heghinian indique des ruptures durant les décennies 1970 et 1980.

Cependant la segmentation d'Hubert présente des ruptures identifiées par une diminution dans le cumul annuel de précipitation à partir des années 1960 jusqu'au 1995. Cette baisse est observée pratiquement sur l'ensemble des stations étudiées où elle varie de 16 à 45%.

D'autres stations en nombre de quatre à savoir : Tizi Ouzou, Dar el Beida, Ténès et l'Altairac montrent un changement à la hausse des totaux annuels de précipitations par la segmentation d'Hubert de l'ordre de + 33 à +47 %.

### **6. Cartographie des cumuls annuels des précipitations**

SIG est un outil très intéressant qui permet de donner une représentation de la variabilité temporelle et spatiale des données climatiques. D'après les résultats de tests de détection de rupture, nous avons choisi une année commune comme date de rupture 1975 (la plus détecté par la procédure bayésienne) et nous avons redéfini les moyennes de

précipitations annuelles avant et après cette date. Les séries de valeurs font l'objet d'une cartographie des courbes isohyètes dans le bassin de l'Algérois.

### **7.1. Précipitations totales annuelles avant 1975**

Les courbes d'isohyètes montrent que la moyenne annuelle de précipitation est de 450 à 650 mm dans la partie Ouest du bassin de l'Algérois ; de 650 à 850 mm au centre du bassin et de 850 à 1100 mm dans la partie Est. Ceci montre que les précipitations décroissent de l'Est à l'Ouest.

### **7.2. Précipitations totales annuelles après 1975**

Après 1975, une diminution générale est observée sur l'ensemble du bassin dans les cils annuels de pluie ; où la pluviométrie annuelle à l'ouest est de 450 à 500 mm (perte de 150 mm par an). La partie centre est caractérisée d'une pluie annuelle de 550 à 700 mm (perte de 150 mm par an). La partie Est enregistre un apport annuel en pluie de l'ordre de 700 à 1000 mm (perte de en moyenne de 100mm par an).

Une diminution de 450 à 400 mm et de 650 mm à 500 mm dans le centre et l'Est du bassin et une forte diminution dans les station d'oued Zeboudj qui se situe dans le centre du bassin avec une altitude de 400 m et une autre diminution de 100mm dans la station de Meurad barrage et une fort diminution dans la station de Mouzaia entre 1021 mm avant la rupture et 620 mm après 1975

Une fort diminution été enregistré dans les stations de Rouabah, Hammam Righa, Mouzaia, Blida et Mahelma ferme (1183mm/an à 477 mm/an), une diminution sur les régions côtière au niveau des stations de Fouka Marine et Damous (770 à 477 mm).

La région Est du bassin a observé une diminution de précipitation au niveau de la station Larabaa Nath Irathen, Aghribs, Azazga école, Tizi Ouzou 1010 mm à 782 mm /an et une augmentation de 100 mm dans la station Abou el Hassen.

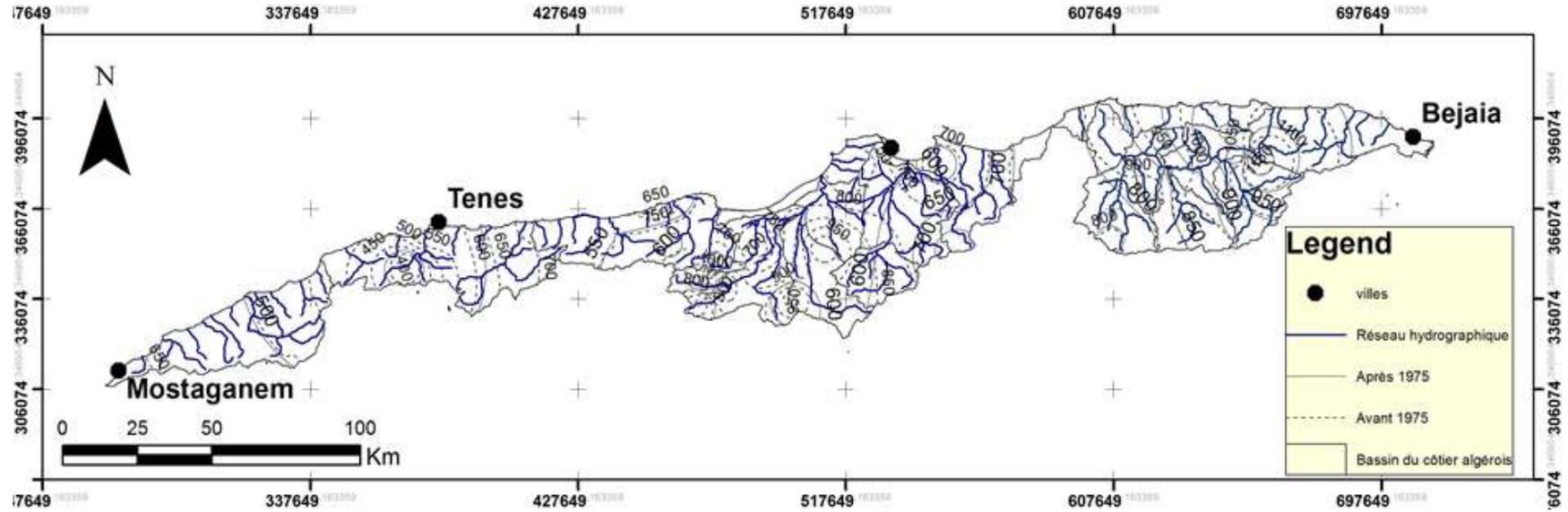


Figure 21. Moyennes de précipitation annuelle avant et après 1975 dans le bassin de l'Algérois

## **8. Discussion générale**

La tendance de l'indice total annuel des précipitations (PRCPTOT) enregistre une diminution aux cours de la période d'étude dans les stations suivantes : Damous, hammam Righa, Rouabah, Blida et Mahelma ferme. Cette diminution peut influencer négativement sur le rendement agricole et les ressources hydriques (superficielle et souterraines).

Le cumul maximal de la précipitation de cinq jours (Rx5dy) et de un jour (Rx1day) enregistrant des baisses dans huit stations au centre et l'Ouest du bassin. Cette baisse affecte positivement sur les phénomènes érosifs et les inondations.

Les jours d'été SU25 connait une hausse tendance au niveau de cinq stations Abou El Hassen Ténès, Fouka, Dar el Beida. Cette augmentation peut être à l'origine des phénomènes de sécheresse ou les feux de forêt, l'activité industriel dans les régions, ce qui peut influencer négativement sur les pratiques agricoles et augmente l'ETP avec une diminution des ressources hydriques ainsi la qualité des eaux superficielles.

Nous avons noté que le test Mann-Kendall n'a pas détecté une tendance significative sur certain indices R99p, WSDI, CSDI ceci est peut-être expliquer par la présence des valeurs nulles ce qui peut affecter la performance du test.

La corrélation négative entre les indices de précipitations avec l'ETP et influe négativement sur l'ETP et provoque la diminution de ses valeurs.

La corrélation significative positive de l'indice SU25 avec ETP influe positivement sur l'augmentation de l'ETP, donc une diminution importante dans le stock d'eau dans les barrages et une demande accrue de l'eau d'irrigation.

La corrélation des deux indices TXx et WSDI influence sur les valeurs de ETP en provoquant une augmentation de ses valeurs.

La corrélation négative avec l'indice CSDI influe par une diminution dans les valeurs d'ETP.

Les indices d'oscillations atmosphériques présentent une liaison avec les indices de précipitations en influant négativement (WeMOI et NAO), sauf avec le SOI agit sur l'augmentation des apports en pluie dans le bassin étudié.

En effet, AMO agit positivement sur les indices de température par les accroître, ce qui peut affecter négativement sur les ressources hydriques surtout dans les régions côtières.

**Conclusion**

Le bassin de côtier d'Algérois un bassin caractérisé par une modification des paramètres climatiques dans le temps et dans l'espace interprété par une augmentation de température et diminution de précipitation influencé par différents facteurs (les reliefs, l'altitude et la proximité de la mer) au niveau des toutes les stations étudiées.

## Conclusion générale

Le bassin versant de côtier Algérois a un relief très accidenté avec les sommets qui atteignent en moyenne plus de 1415 m, ces chaînes montagneuses cause l'appauvrissement de l'atmosphère en vapeur d'eau celle-ci une grande influence sur la variation spatiale de la pluviométrie. Cette variabilité est engendrée par l'effet d'altitude la distance à la mer et la forme du relief (exposition aux vents).

La présente étude a pour but de caractériser la variabilité temporelle et spatiale dans le bassin de l'Algérois. Les relevés de données journalières de précipitations (25 stations) et de température (Tmin et Tmax) (12 stations) ont été utilisés dans le calcul des indices climatiques extrêmes. Puis une analyse de tendance est menée afin de déceler leur évolution.

Les résultats obtenus permettent de détecter une tendance significative à la baisse des indices de précipitation, ce qui peut influencer négativement sur la gestion des ressources hydriques et sur la qualité de l'eau, sur l'irrigation, les rendements agricoles dans cette région.

Des hausses significatives observées dans les indices de température (SU25, WSDI, IX1day, TXx) sur la période de 33 ans (1979-2012). Cette augmentation affecte directement sur l'accroissement des séquences de sécheresse, des valeurs de l'ETP, la demande en eau d'irrigation, ainsi sur la fréquence des périodes de grandes chaleurs.

Les tests de détection de ruptures employés sur les séries des pluies annuelles ont donné des points de changement durant les décennies de 1970 et 1980. Ce changement est une diminution de l'ordre de 16 à 45% dans le cumul annuel en pluies. Seules les ruptures détectées pendant les années 2000 qui expriment une augmentation de 33% à 47%.

L'analyse de la relation entre l'ETP et les indices climatiques extrêmes évoque que seuls les indices extrêmes de température qui influent positivement sur l'ETP.

Le coefficient de Pearson calculé entre les indices climatiques extrêmes et les indices d'oscillations atmosphériques sert à établir l'impact des circulations atmosphériques sur les indices climatiques. Les résultats révèlent que WeMOI et NAO ont un effet négatif sur les indices de précipitations extrêmes.

Cette étude a permis de caractériser les principales manifestations de la variabilité climatique dans ce bassin et de caractériser sa variabilité spatiale. Pour les indices extrêmes de précipitation les résultats montrent que seules les stations côtières qui affirment d'être fait partie de la même population climatique.