

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf -Mila

Institut des Sciences et de Technologie

Département de Génie civil et Hydraulique



N°Réf :.....

Projet de Fin d'Etude préparée vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Hydraulique urbaine

**Contribution à la caractérisation du changement
climatique du bassin versant des hauts plateaux
constantinois (07)**

Réalisé par :

-Merikhi selma

-Seraoui inas

Soutenu devant le jury :

M. Koussa Miloud

MCA

Président

Mme Chebbah Lynda

MCA

Examineur

M. Kabour Abdesselem

PR

Promoteur

Année universitaire : 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

*Nous dédions ce mémoire à
Nos chers parents, que nulle dédicace ne puisse exprimer nos
sincères sentiments,
Pour leur patience illimitée, leur encouragement contenu, leur
aide, en témoignage de notre profond amour et respect pour
leurs grands sacrifices
Tous les membres de nos familles et tous ceux qui ont contribué
directement ou indirectement à notre réussite.*





Remerciements

Tout d'abord, nous voudrions remercier Dieu tout-puissant qui nous a donné le courage, la patience et la volonté d'accomplir cet humble travail.

Nous voudrions remercier nos chers parents qui ont été la raison de notre succès et nous ont permis d'atteindre ce stade, ainsi que tous les membres de nos familles, nos frères et sœurs.

Nous voudrions également adresser nos sincères remerciements, notre appréciation et notre profonde gratitude à notre encadreur le professeur Kabour Abesselam, pour ses directives et ses conseils, ainsi que les membres du jury composé du Dr. Koussa M. et Madame Dr. Chebbah L. pour avoir examiné notre travail .

LISTE DES ABREVIATIONS

ABH	: Agence de Bassin Hydrographique.
ANRH	: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
BV	: Bassin Versant.
CC	: Changement climatique
CCNUCC	: Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.
E m	: Indice de l'écart à la moyenne.
ETP	: Evapotranspiration potentielle.
GES	: Gaz à Effet de Serre.
GIEC	: Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat.
IDP	: Indice de déficit pluviométrique.
IP	: Indice de pluviosité.
IPCC	: Intergouvernemental Panel on Climat Change.
IS	: Indice de sécheresse.
ISP	: Indice Standardisé des Précipitations.
Max	: maximum.
Min	: minimum.
Moye	: moyenne.
NE-SW	: Nord-est Sud-ouest.
NW	: Nord- ouest.
OMC	: Organisation mondiale du commerce.
OMM	: Organisation Météorologique Mondiale.
ONM	: Office National de la Météorologie.
SBV	: Sous bassin versant.
SIG	: Système d'Information Géographique.
T, P, H, E, V	: T empérature, P récipitation, H umidité, E vaporation, V ent.
TAI	: l'analyse des tendances.
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climat Change.
AH	: Activités humaines

Table des matières

Dédicace	
Remerciements	
LISTE DES ABREVIATIONS	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Introduction générale	1
Chapitre 01 : Généralité sur l'étude de la variabilité climatique	
1. Introduction	4
2. Changement climatique ou variabilité climatique	4
2.1. Cause changement climatique	4
2.1.1. L'activité solaire	5
2.1.2. Effets de serres naturelles	5
2.2. Conséquences du changement climatique sur notre planète	5
2.3. Variabilité climatique dans le monde	6
2.4. Variabilité climatique en méditerranée	6
2.5. Variabilité climatique en Algérie	7
3. Prévision hydrologique	7
4. Les changements climatiques observés	8
5. Vulnérabilité au changement climatique en Algérie	9
5.3. Événement de Précipitations extrêmes	10
5.4. Tendances pluviométriques :	11
5.5. Variabilité pluviométrique	11
5.6. Mesure des précipitations :	11
6. Impacts attendus des changements climatiques sur les ressources en eau	12
7. Modèle climatique	13
Chapitre 02 : Les méthodes d'étude de la variabilité climatique	
1. Introduction	16
2. Aperçu documentaire sur les méthodes d'étude de la variabilité climatique :	16
2.1. Méthodes statistiques :	16
3. L'homogénéisation des données :	16
3.1. Principe des tests d'homogénéité	17
3.1.1. Indice de l'écart à la moyenne (Em) ou indice de sécheresse (IS) :	17
3.1.2. Indice de pluviosité (Ip) :	18
3.1.3. Indice de déficit pluviométrique (Indice de l'écart à la normale (En) :	18

4. Indice Standard des précipitations (SPI) :	18
4.1. Calcul des paramètres statistiques.....	19
4.1.1. Moyenne arithmétique	19
4.1.2. Ecart type :	19
4.2. Les principaux avantages du SPI sont les suivants	20
5. Détection des ruptures au sein des séries pluviométriques annuelles	20
5.1. Test de Pettit.....	20
6. Analyse de la variation temporelle.....	21
6.1. Test de Mann-Kendall.....	21
7. Définition de l'analyse des tendances	22
7.1.Objectifs de l'analyse des tendances	22
7.2.Les éléments clés de l'analyse des tendances sont les suivants.....	23
Chapitre 03 : Description de site d'étude le bassin versant N ° 07	
1. Présentation des bassins versants en Algérie :	25
1.1. Les bassins versants classent par l'ABH :	25
2. Secteur des Hauts Plateaux :	26
2.1. Caractérisation du site d'étude	26
2.1.1. Bassin des Hauts Plateaux Constantinois.....	26
2.1.2. Description géomorphologique.....	27
2.2. Le bassin intérieur des Hauts Plateaux Constantinois :	27
2.3. Caractéristiques physiques des Hauts Plateaux Constantinois :	28
2.4. Les bassins des Hauts Plateaux Constantinois.....	29
2.5. Occupation des sols et types de couvertures végétales	30
2.6. Les caractéristiques morpho métriques du bassin :.....	31
2.7. Réseau hydrographique du bassin Haut Plateau Constantinois (bassin 07).....	33
2.8. Aperçu climatique sur la région d'étude	34
2.9. Le réseau pluviométrique du bassin des Hauts Plateaux Constantinois	35
3. Description climatique du site d'étude.....	36
3.1. Température	36
3.1.1. Moyenne mensuelle interannuelle	37
3.1.2. Températures Moyennes annuelles	38
3.2. Précipitation	40
3.2.1. Précipitation Moyennes mensuelles interannuelles :	40
3.2.2. Précipitations annuelles :	41
3.3. Vents	43
3.3.1. Les vitesses Moyennes mensuelles interannuelles du vent.....	44
3.3.2. Les valeurs Moyennes annuelles de la vitesse du vent	45
4. Cartographie des différents paramètres climatiques	47
4.1. L'évapotranspiration	48

5. Conclusion	52
Chapitre 04 : Application des méthodes statistiques sur les données du bassin versant 07	
1. Introduction.....	54
2. Diagramme de L. Emberger :.....	56
3. L'indice d'aridité d'Emmanuel de De Martonne :.....	57
4. Coefficient de pluviométrie	58
5. La variabilité du régime et tendance pluviométrique.....	61
5.1. Indice pluviométrique standardisé ‘ISP’	62
6. Test d'homogénéisation	68
6.1. Causes du non homogénéité.....	73
7. Test de Buishand pour l'homogénéité	74
8. La variabilité relative des pluies annuelles : (rapport au coefficient de variation)	76
9. Impact du changement climatique sur la tendance de la température.....	81
9. Conclusion	83
Conclusion générale	85
Références bibliographique	87

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classe de sévérité de l'SPI.....	19
Tableau 2 : Caractéristiques morpho métriques et hydrographiques des sous bassins du Hauts Plateaux Constantinois	34
Tableau 3 : Températures moyennes mensuelles interannuelles, BV07, Série 1958-2023.....	37
Tableau 4 : Récapitulatif des valeurs températures et précipitation moyennes annuelles, du BV07, série 1958 – 2023.....	47
Tableau 5 : Récapitulatif des valeurs températures et précipitation moyennes annuelles, du BV07, série 1958 – 2023.....	49
Tableau 6 : Calcul des paramètres du Diagramme de L. Emberger	56
Tableau 7 : Type de climat selon l'indice d'aridité	57
Tableau 8 : Les différentes valeurs de l'indice d'aridité calculées selon la formule de De Martonne.	57
Tableau 9 : Les différentes valeurs de l'indice d'aridité calculées selon la formule de De Martonne.	61
Tableau 10 : Coefficient pluviométrique avant et après l'année de rupture (AR) du bassin versant	61
Tableau 11 : Moyenne (P), écart-type (S), et coefficient de variation (cv) des séries pluviométriques (1958-2023), du BV07.	61
Tableau 12 : Indice Standard des précipitations (ISP) pour le BV07, la période 1958-2023.....	62
Tableau 13 : Récapitulatif des valeurs de l'ISP, Des stations sélectionnées du BV07,	65
Tableau 14 : Indices standardisés de précipitation des 7 stations de BV07 pour la période (1958 – 2023).....	67
Tableau 15 : L'évolution des précipitations avant et après l'année de rupture pour les sept stations du bassin versant 07.....	71
Tableau 16 : Principaux points de rupture des séries pluviométriques.....	76
Tableau 17 : Résultat de test statistique de Bayésienne de Lee et Heghinianet segmentation d'Hubert appliqué sur les totaux pluviométriques annuels.	77
Tableau 18 : Caractéristiques statistiques des données pluviométriques annuelles.	78
Tableau 19 : Tableau récapitulatif des différents tests statistiques appliqués aux sept stations sélectionnées du BV07, série 1958-2023.....	81

Liste des figures

Figure 1 : Gaz-a-effet-de-serre (https://www.aquaportail.com)	5
Figure 2 : Les bassins hydrographiques de l'Algérie	25
Figure 3 : Situation géographique du bassin versant (07) des hauts plateaux constantinois.	26
Figure 4 : Limites des grands bassins versants en Algérie (Classification d'après ABH)	27
Figure 5 : Les Sous Bassins versants des Hauts Plateaux Constantinois.....	28
Figure 6 : Couverture végétale Du bassin des Hauts Plateaux Constantinois -d'après carte internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis-Sfax et Alger-.....	31
Figure 7 : Cartes des altitudes, lithologie, pentes et précipitations du BV 07	32
Figure 8 : Réseau hydrographique du bassin des Hauts Plateaux Constantinois.....	33
Figure 9 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien	35
Figure 10 : Situation des stations climatiques et hydrométriques du bassin versant 07.	36
Figure 11 : Variation des Températures maximales, minimales et moyennes mensuelles interannuelles des 7 stations sélectionnées. BV07 (1958-2023).....	38
Figure 12 : Moyennes annuelles des températures pour la période (1958-2023).....	39
Figure 13 : Précipitations moyennes mensuelle des stations sélectionnées du BV07 pour la période de 1958 – 2023.	41
Figure 14 : Moyennes annuelles des précipitations de BV07 pour la période (1958-2023).....	43
Figure 15 : Les vitesses moyennes mensuelles interannuelles des vents (m/s), aux stations sélectionnées, pour la période de 1958– 2023.	44
Figure 16 : Diagramme Moyennes annuelles de la vitesse du vent (m/s) pour la période (1958-2023).	46
Figure 17 : Carte des précipitations moyennes annuelles du BV 07, série de 1958 à 2023.	47
Figure 18 : Carte des températures moyennes annuelles du BV 07, série de 1958 à 2023.	48
Figure 19 : Graphe de l'évapotranspiration Moyenne annuelle par la formule de Turc du BV07, pour la période (1958-2023).....	51
Figure 20 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen des stations sélectionnées du BV 07 (série 1958-2023)	52
Figure 22 : Indice d'aridité annuel de Martonne	58
Figure 23 : Coefficient pluviométrique annuelles.	60
Figure 24 : Évolution de l'Indice Standardisé des Précipitation (ISP) de 7 stations du BV07, (1958-2023).....	67
Figure 25 : Méthodologie utilisée dans l'étude	68
Figure 26 : Test de Pettitt d'homogénéisation à 99% de confiance appliqué aux stations.....	70
Figure 28 : Ellipse de contrôle associée à l'expérience Buishand, des 7 stations du BV07.	75
Figure 29 : Tests de tendance de la pente de Sen des sept stations sélectionnées sur le BV07 pour la période (1958-2023).	80
Figure 30 : Graphiques de l'application de la TIA sur sept stations sélectionnées pour la période (1958-2023), du BV07.	83

Résumé :

Le bassin versant du plateau de Constantine BV07, comme tous les bassins versants, est soumis au changement climatique, et afin de mettre en évidence son impact, nous avons sélectionné sept stations climatiques 070105, 070201, 070312, 070403, 070502, 070607 et 070708, une dans chaque sous-bassin versant, choisies en fonction de leur distribution géographique représentative. Nous avons exposé une représentation physique du bassin versant des Hauts plateaux constantinois, située dans le nord-est de l'Algérie, avec une pluviométrie moyenne de 368,17 mm et une température moyenne de 14,74 °C (série 1958-2023). Pour la même série, en utilisant des tests statistiques tels que le test de Mann-Kendall, le test de Mill-Sen, le test de Pettitt et autre appliqués à la série temporelle des valeurs de précipitations annuelles, nous avons pu identifier les années de rupture 2011 pour les stations 070105, 070201 et 2013 pour les stations 070312, 070403, 070502, 070607, Nous avons constaté que toutes les stations ont une tendance négative, car la moyenne des précipitations annuelles avant les années de rupture est plus importante qu'après les années de rupture . Une méthode innovante d'analyse des tendances (TIA) a été utilisée pour montrer que toutes les stations ont une tendance positive de la température.

Mots clés :

Changement climatique, indice de précipitation standardisé (SPI), BV07, Mann-Kendall, test de Pettit, TIA.

Abstract:

The Constantine Plateau watershed area BV07, like all watersheds, is subject to climate change, and in order to highlight its impact, we selected seven climate stations 070105, 070201, 070312, 070403, 070502, 070607, and 070708, one in each sub-catchment chosen according to their representative geographical distribution. First, we exhibited a physical representation of the Hauts plateau Constantinois watershed, located in the northeast of Algeria, with an average rainfall of 368.17 mm and an average temperature of 14.74°C (series 1958-2023). For the same series, using statistical tests such as the Mann-Kendall test, Mill-Sen test, Pettit test and others, applied to the time series of annual precipitation values, we were able to identify the 2011 outage years for stations 070105, 070201 and 2013 for stations 070312, 070403, 070502, 070607, We found that all stations have a negative trend, as the average annual precipitation before the refractory years is greater than after the refractory years. An innovative trend analysis method (TIA) was used to show that all stations have a positive trend in temperature.

Keywords:

Climate change , Standardized Precipitation Index (SPI), BV07, Mann-Kendall, Pettit test, TIA.

ملخص:

تخضع منطقة مستجمعات المياه في هضبة قسنطينة BV07، مثلها مثل جميع مستجمعات المياه، لتغير المناخ، ومن أجل تسليط الضوء على تأثيره، اخترنا سبع محطات مناخية 070105, 070201, 070312, 070403, 070502 , 070607, 070708 ، واحدة في كل مستجمع مائي فرعي تم اختيارها وفقاً لتوزيعها الجغرافي التمثيلي. أولاً، قدمنا وصفاً فيزيائياً للمحيط المائي للهضاب العليا القسنطينية، الواقعة في الشمال الشرقي للجزائر، بمتوسط هطول أمطار 368,17 و متوسط درجة حرارة 14.74 °C (السلسلة 1958-2023). بالنسبة لنفس السلسلة، وباستخدام الاختبارات الإحصائية مثل اختبار Mann-Kendall وميل Sen واختبار Pettitt وغيرها، المطبقة على السلسلة الزمنية لقيم هطول الأمطار السنوية، تمكنا من تحديد سنوات الانقطاع 2011 في المحطات 070105 , 070201 و 2013 للمحطات 070312, 070403, 070502, 070607, 070708 , حيث توصلنا إلى أن جميع المحطات ذات اتجاه سلبي , حيث أن متوسط هطول الأمطار السنوي قبل سنوات الانكسار أكبر منه بعد سنوات الانكسار. استُخدمت طريقة تحليل الاتجاهات المبتكرة (TIA) لإظهار أن جميع المحطات ذات اتجاه إيجابي في درجات الحرارة. الكلمات المفتاحية:

تغير المناخ، مؤشر الترسيب المعياري (SPI)، BV07، Mann-Kendall، اختبار Pettitt، تحليل الاتجاهات المبتكر (TIA).

Introduction générale

Introduction générale

Les changements climatiques est l'une des questions les plus traitée médiatiquement et scientifiquement, ces dernières décennies. Les changements climatiques auxquels le monde est confronté aujourd'hui constituent un défi majeur en raison de l'augmentation des températures moyennes et d'altération de régimes de précipitations, ce qui a provoqué des changements radicaux dans l'environnement.

Les impacts du changement climatique affectent directement le cycle hydrologique et donc la disponibilité des ressources en eau et indirectement les méthodes de gestion de ses ressources. Les précipitations, en tant qu'événement hydrométéorologique le plus important et en tant que principale source d'eau, peuvent avoir des tendances à la hausse ou à la baisse en fonction de la situation géographique, de la circulation générale de l'air, de la proximité de la zone côtière et de la géomorphologie.

La question du changement climatique en Algérie représente un nouveau défi majeur. Une grande partie du territoire algérien appartient au bassin méditerranéen, qui est considéré comme un « point chaud » du changement climatique et doit donc être protégé. L'Algérie a ratifié la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) en avril 1993 et s'est pleinement engagée à respecter ses obligations en matière de stabilisation des émissions de gaz à effet de serre afin de prévenir toute interférence humaine dans le système climatique. Les régions arides et semi-arides de l'Algérie sont affectées par des sécheresses récurrentes caractérisées par une faible pluviométrie et des débits très faibles au niveau des grands bassins versants, de ce fait les ressources en eau de surface est devenue le véritable enjeu de ce siècle. Dans cette situation, la gestion des ressources en eau en Algérie nécessite une bonne prévision des précipitations et des apports fluviaux afin d'optimiser l'exploitation et l'utilisation de cette eau.

Ce mémoire a pour objectif d'utiliser les méthodes statistiques, tel que Mann-Kendall et le test de Pettitt pour la précipitation, ainsi que le test de tendance, pour la température, à travers l'analyses des séries chronologiques, de 1958 à 2023, afin de mettre en évidence le changement climatique subi par le bassin versant des Haut Plateaux Constantinois, Situé au Nord est de l'Algérie.

Le présent mémoire est structuré comme suit :

- ✓ **Le chapitre 1 :** Traite une description approfondie des causes et des effets du changement climatique et de la variabilité climatique.
- ✓ **Dans le deuxième chapitre :** Présente quelques méthodes d'étude de la variabilité climatique à travers l'analyse des séries chronologiques des paramètres hydro climatiques.
- ✓ **Le troisième chapitre :** Nous avons présenté les principales données que nous avons collectées et qui se rapportent au cadre général de notre zone d'étude (situation géographique, étude des sols, caractéristiques morpho métriques du bassin Occupation des sols et types de couvertures végétales et Réseau hydrographique, et enfin étude climatique), et aux données climatiques (température, précipitations, vent, évapotranspiration) à l'échelle mensuelle et annuelle, cette caractérisation concerne principalement le bassin versant des hauts plateaux Constantinois, indexé par l'agence nationale des ressources hydrique (ANRH) au numéro 07.

- ✓ **Chapitre Quatrième :** Analyse des séries chronologiques portant sur les variables suivantes : précipitations, température, à l'échelle mensuelle et annuelle, à l'aide d'indices standardisés et de tests statistiques, et application d'une analyse des tendances précoces des températures aux données interannuelles.

Enfin, une conclusion générale présente les résultats de l'application de ces tests au BV07, ainsi que quelques interprétations.



CHAPITRE01

Chapitre 1 : Généralité sur l'étude de la variabilité climatique

1. Introduction

Le climat et les changements climatiques sont des sujets qui intéressent un nombre important de chercheurs scientifiques, et cela depuis des siècles, par exemple s'intéressait au sur l'impact des variations climatiques 19ème siècle. Par contre, a étudié la sécheresse dans le Sud-ouest de la France (Toulouse) dans le 20ème siècle.

La fin du 20ème siècle et début de celui du 21ème ont été imprégnées par un intérêt remarquable sur les études des variabilités climatiques. Ces variabilités causées par un forçage externe naturel comme le volcanisme et la variabilité solaire. Le forçage externe anthropique qui est le forçage radiatif a été, A la fin du 20ème siècle, la cause des changements climatiques traduits par l'augmentation de la température et les diminutions des précipitations.

Entre 1970 et 2004 les émissions de GES imputables aux activités humaines représentent 70% des émissions.

Les facteurs principaux de l'augmentation des émissions du CO₂ liées à la consommation d'énergie sont la croissance démographique mondiale et l'intensité énergétique globale. Dans le 4ème rapport du GIEC 2007 le taux de rejet de Dioxyde de Carbone, le principal gaz à effet de serre anthropique, a été estimé à 80% entre 1970 et 2004, soit de 21 à 38 Gt (Gigatonnes). La modélisation pluie-débit a débuté à partir des années 1850. Pour résoudre les problèmes d'ingénierie qui consiste à la conception des systèmes de régulation des flux urbains et ruraux. Les méthodes de modélisation hydrologique ont évolué au fil du temps de la plus simple (basée sur le temps de concentration) à la plus sophistiquée (modèles distribués).

Ainsi c'est avec le développement des ordinateurs et leurs puissances de calculs, que les méthodes de conception introduites pour les modélisations hydrologiques deviennent de plus en plus complexes.

2. Changement climatique ou variabilité climatique

L'UNFCCC met en place en 1992 deux (02) définitions distinctes à la variabilité et au changement climatique. De prime abord, la variabilité climatique désigne le changement naturel intra et interannuelle. Le changement climatique quant à lui, aborde le sujet comme étant une variation du climat dont la cause serait les diverses activités humaines qui ont pour conséquence la détérioration de la composition de l'atmosphère observée sur une même période de temps.

Suite à la difficulté de dissocier variabilité et changement climatique, une notion fut établie ralliant ces deux terminologies, il sera question alors de « variabilité et changement climatique ». Suivant (*Niasse et al. En 2004*), Cette notion représente l'importante variation ou changement du climat qu'il soit d'origine humaine ou naturelle. Cette définition apporte une simplification de l'explication donnée par l'UNFCCC d'une part, et une certaine prise en compte de la définition proposée par le GIEC d'autre part, pour qui le changement climatique se résume à une quelconque variation à long terme du climat.

2.1. Cause changement climatique

Il s'agit probablement d'une combinaison de nombreux facteurs, le défi étant d'être capable de comprendre quel est le degré de responsabilité de chaque cause.

2.1.1. L'activité solaire

Le soleil traverse des périodes de grande activité, qui se traduisent par une augmentation du nombre de taches solaires, ainsi que par un accroissement du rayonnement, de l'activité magnétique et des flux de particules de haute énergie. Ces fluctuations de l'activité solaire s'effectuent à des échelles de temps qui peuvent varier de plusieurs millions d'années à quelques minutes (**Tabet S., 2008**). Lorsque le nombre de taches solaires est important, le soleil émet plus d'énergie (la terre en reçoit plus), par conséquent un changement de température et du climat à lieu (**Aliouche Y., 2016**).

2.1.2. Effets de serres naturelles

Les gaz à effet de serre absorbent efficacement le rayonnement infrarouge thermique émis par la surface de la Terre, par l'atmosphère elle-même en raison de la présence de ces gaz et par les nuages. Le rayonnement atmosphérique est émis dans toutes les directions, y compris vers la surface de la Terre. Par conséquent, les gaz à effet de serre retiennent la chaleur dans le système surface-troposphère : c'est ce qu'on appelle « l'effet de serre ». Dans la troposphère, le rayonnement infrarouge thermique est étroitement lié à la température de l'atmosphère à l'altitude à laquelle il est émis, cette température diminuant en général avec l'altitude. En fait, le rayonnement infrarouge émis vers l'espace provient d'une altitude où la température est en moyenne de -19°C , en équilibre avec le rayonnement solaire net incident, alors que la surface de la Terre se maintient à une température beaucoup plus élevée, de $+14^{\circ}\text{C}$ en moyenne. Une augmentation de la concentration de gaz à effet de serre accroît l'opacité de l'atmosphère au rayonnement infrarouge et entraîne donc un rayonnement effectif vers l'espace depuis une altitude plus élevée et à une température plus basse. Il en résulte un forçage radiatif qui entraîne un renforcement de l'effet de serre; c'est ce qu'on appelle « l'effet de serre renforcé » (**GIEC., 2008**).

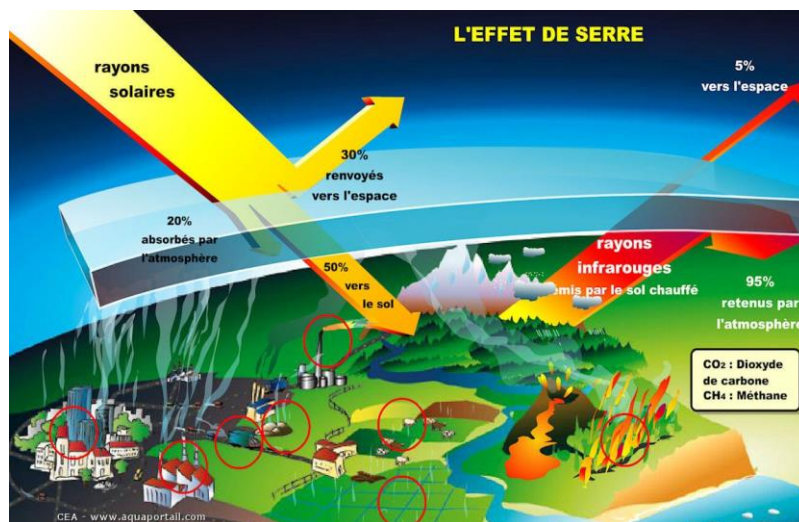


Figure 1 : Gaz-a-effet-de-serre (<https://www.aquaportail.com>)

2.2. Conséquences du changement climatique sur notre planète

En utilisant le terme de « réchauffement climatique », on comprend qu'il est question d'augmentation de température. Mais au-delà de la définition du changement climatique, les effets du réchauffement sont conséquents et concernent tous les pays. L'étude des contraintes liées aux

changements climatiques permet non seulement d'identifier les conséquences directes et indirectes Des aléas sur les différentes ressources mais aussi d'évaluer l'impact des changements climatiques (*Sow et Bathiery., 2022*).

2.3. Variabilité climatique dans le monde

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. Au Maroc septentrional ont été étudié des séries pluviométriques, par l'application des méthodes statistiques de détection des ruptures, a montré que la période de rupture est apparue au cours des années 1970. Ils ont été étudiés 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 (*Bensaadallah et al ., 2020*).

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 le 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 le 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 20ème siècle. 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*).

2.4. Variabilité climatique en méditerranée

La région Méditerranée est dominée par un réchauffement significatif du climat, une forte diminution des précipitations moyennes annuelles et une augmentation de leur variabilité pendant la saison chaude et sèche. À partir d'observations, plusieurs auteurs ont rapporté une augmentation de la température moyenne annuelle d'environ 0,005 °C par an, dans le bassin méditerranéen (*Sala et al., 2000 et Moisselin et al., 2002*) pour atteindre en été la valeur de 0,01 °C par an entre 1976 et 2000, soit l'un des taux les plus élevés sur l'ensemble du globe (*Xoplaki et al., 2003 et Solomon et al., 2007*), Depuis les années 70, la Méditerranée présentait naturellement une zone principalement fragile à la fois en raison de la forte pollution de la Méditerranée et des contraintes d'approvisionnement en eau douce (*Nassopoulos ., 2012*), Le GIEC ainsi que d'autres études menées sur les CC dans le bassin méditerranéen ces dernières années, ont mis en évidence le point chaud ou le 'hot spot' du CC des pays Méditerranéens. La présence de nombreux reliefs favorise la montée de cette masse d'air instable et initie les procédés de condensation (*Drobinsky and Ducrocq ., 2008*). Les régions méditerranéennes sont souvent le siège de précipitations « monstrueuses », avec forte intensité. Ces pluies engendrent des ruissellements extraordinaires donnant lieu à de véritables catastrophes (crues et inondations) (*Desbordes and Masson., 1995*). Le bilan hydrique du bassin méditerranéen est bouleversé par l'accroissement des températures, engendrant la modification de la

répartition spatio-temporelle des précipitations et aussi des ressources en eau (*Lionello et al ., 2006*).

2.5. Variabilité climatique en Algérie

L'Algérie se situe sous un climat de transition, entre la zone tempérée et la zone tropicale, cette position la met sous l'influence directe du climat méditerranéen au Nord et du climat désertique au Sud. Le rythme saisonnier est simple :

- En été, l'Algérie est soumise à l'influence des hautes pressions subtropicales qui, eu égard à latitude, donne des temps très chauds, très secs et tempérés, mais seulement, aux bords de mer.

- En hiver, le retrait des hautes pressions vers des latitudes plus basses livre la région à la circulation zonale d'Ouest : le temps est plus frais et plus humide. Cette circulation d'Ouest envahit le bassin méditerranéen, mais, en réalité, seules quelques perturbations atlantiques arrivent jusqu'au bassin méditerranéen, à cause des reliefs qui entravent l'écoulement de l'air. Les deux tiers des perturbations activant dans la région sont d'origine locale. Elles sont dues à des circulations d'air polaire froid qui atteignent la Méditerranée et provoquent, au contact de ses eaux chaudes, une cyclogenèse active. Cet air froid qui touche le bassin méditerranéen progresse lentement vers le sud en saison froide. Ainsi, s'expliquent la diminution progressive des pluies vers le sud et l'allongement de la saison sèche (*Benyatou et Bouklikha., 2017*).

- Au Nord, les précipitations diminuent du nord au sud et d'est en Ouest. Sur la bande littorale, le climat est tempéré, avec des hivers pluvieux ou très pluvieux, avec des moyennes pluviométriques annuelles pouvant atteindre plus de 1500 mm dans la région de Jijel et Bejaia. Cette variation dans le nord dépend de la latitude, de l'altitude, de la continentalité et du relief. En outre, une dissymétrie très nette existe entre les versants, ceux qui sont exposés au nord sont les mieux arrosés et ceux qui le sont au sud sont les plus secs. La moyenne des températures varie entre 8°C et 15°C en hiver et, en moyenne, 25°C en juillet et août (26.5°C à Annaba ,26°C à Bejaia). En été, le sirocco, vent sec et chaud (baptisé le Chehili localement), souffle du Sahara en direction du nord durant la saison estivale, amenant des nuages de poussières et de sable vers les régions côtières (*Azzi ., 2011*).

Le climat dans la région de l'Atlas tellien est aussi tempéré, mais plus froid à cause de l'altitude. Il est caractérisé par des précipitations plus importantes (*Benyatou et Bouklikha., 2017*).

3. Prévision hydrologique

Une des principales vocations dans de nombreux pays est de fournir des prévisions et de signaler les événements extrêmes, principalement les risques d'inondations, de sécheresses, de tornades et d'avalanches.

Pour ce qui est de la prévision, les informations doivent en premier lieu être disponibles de façon fiable et claire dans des délais suffisamment courts pour que les décisions appropriées puissent être prises rapidement et en toute certitude.

Une prévision hydrologique consiste à faire l'estimation préalable de l'état futur d'une caractéristique hydrologique. Le besoin de telles prévisions croît avec l'expansion économique d'un pays et l'utilisation de ses ressources en eau.

Les méthodes de prévision vont de l'utilisation de formules empiriques simples ou de corrélations à celle de modèles mathématiques complexes simulant toutes les phases du bilan

hydrologique d'un bassin. Les processus hydrologiques sont influencés par les facteurs météorologiques, mais les changements qu'ils provoquent dans le régime ne se manifestent pas immédiatement. La durée du ruissellement causé par les précipitations dans un bassin relativement vaste, par exemple, est nettement supérieure à celle de la précipitation elle-même. De même, la fonte des neiges ne provoque pas immédiatement une augmentation brusque du débit, etc. Le rythme relativement lent du déroulement des processus hydrologiques et le fait qu'ils suivent avec un certain retard les processus météorologiques plus rapides, permettent de prévoir et de calculer à l'avance un certain nombre d'éléments importants du régime hydrologique (Guide des pratiques).

Prévoir revient à considérer que disposer d'une information sur le futur est préférable à l'ignorance (Jolli_e et Stephenson 2003). Cette maxime est aujourd'hui appliquée dans de nombreux domaines tels que l'économie (indicateurs économiques, investissement), les transports (trac routier, essor démographique), la médecine (propagation épidémique) et, évidemment, la météorologie (pollution de l'air, navigation maritime, inondation, avalanche, agriculture). La prévision s'appuie sur un ensemble d'informations disponibles, concernant le passé ou le futur, à l'instant où elle a été exécutée, pour fournir une information sur le comportement futur de l'objet, sur une certaine durée, appelée horizon de prévision ou échéance de prévision (**Nadji R ., 2021**).

4. Les changements climatiques observés

Les observations mettent en évidence un changement de la composition de l'atmosphère (augmentation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre tels que le CO₂ et le méthane (CH₄), etc.), ainsi qu'un changement du climat mondial (températures, précipitations, niveau de la mer, glace marine, et dans certaines régions, phénomènes climatiques extrêmes, y compris vagues de chaleur, fortes précipitations, et sécheresses, etc.). Onze des douze dernières années (1995–2006) figurent parmi les douze années les plus chaudes depuis 1850, date à laquelle ont débuté les relevés instrumentaux de la température à la surface du globe.

Les températures ont augmenté presque partout dans le monde, bien que de manière plus sensible aux latitudes élevées de l'hémisphère Nord. Par ailleurs les terres émergées se sont réchauffées plus rapidement que les océans (**GIEC., 2007**). Cette évolution n'est pas uniforme et tend à varier d'une région à une autre, par exemple, le réchauffement en Afrique est légèrement plus élevé par rapport à la tendance mondiale en On ne peut dire à l'heure actuelle si l'accélération du rythme qui a été constatée entre 1993 et 2003 traduit une variation décennale ou un renforcement de la tendance à long terme. Entre 1900 et 2005, les précipitations ont fortement augmenté dans l'Est de l'Amérique du Nord et du Sud, dans le Nord de l'Europe et dans le Nord et le Centre de l'Asie, tandis qu'elles diminuaient au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud.

Il est probable que la sécheresse a progressé à l'échelle du globe depuis les années 1970. Il est très probable que les journées froides, les nuits froides et le gel ont été moins fréquents sur la plus grande partie des terres émergées depuis cinquante ans et que le nombre de journées chaudes et de nuits chaudes a au contraire augmenté. De plus, la fréquence des phénomènes ci-après s'est probablement accrue : vagues de chaleur sur la majeure partie des terres émergées, fortes précipitations dans la plupart des régions et, depuis 1975, élévations extrêmes du niveau de la mer dans le monde entier (**GIEC., 2007**).

5. Vulnérabilité au changement climatique en Algérie

La principale vulnérabilité du pays est observée dans les domaines de l'eau et de l'agriculture. L'Algérie est un pays semi-aride à aride du nord au sud. La disponibilité en eau par habitant est de 600 m³/hab./an, plaçant l'Algérie dans la catégorie des pays pauvres en ressources en eau sous le seuil de pénurie fixé par le PNUD ou de rareté fixé par la Banque mondiale à 1000 m³/hab./an. Avec 71 barrages d'une capacité de 7,1 milliards de m³, l'Algérie a presque atteint le potentiel hydrique mobilisable. Le taux d'exploitation des eaux souterraines dans le nord du pays a atteint environ 90%, près de 2 milliards de m³/an. Certains aquifères sont déjà surexploités. D'autre part, ces dernières années, afin de satisfaire les besoins de consommation, le pays a appliqué avec succès le dessalement de l'eau de mer avec une capacité de production d'environ 2 millions de m³/jour.

Les terres utilisées par l'agriculture, qui occupent près de 21 % de la superficie totale du pays, sont estimées à 49 millions d'hectares répartis comme suit : 8,4 millions d'hectares de surface agricole, 33 millions d'hectares utilisés comme routes, 6,6 millions d'hectares de forêts et de steppes d'Alfa. Les terres irriguées représentent 11% de la surface agricole, soit une superficie de 929 000 ha. L'Algérie ne dispose donc que de 3,5% de la superficie totale du pays en terres arables et irriguées. Le ratio "disponibilité / habitant" des terres agricoles est passé de 0,75 ha / habitant en 1962 à 0,24 ha / habitant en 2008. Cette énorme perte de terres agricoles n'est pas seulement le résultat des pressions humaines (industrielles, construction, pollution), mais aussi le résultat de la désertification, de l'érosion des sols ou de la perte du couvert végétal. Le changement climatique dégradera la biodiversité et contribuera à l'affaiblissement du sol et à la réduction de la couverture végétale, ce qui entraînera une désertification progressive. Dans la steppe, l'effet du changement climatique se traduit par une modification de la nature cyclique de la sécheresse, qui est passée d'un an à trois ans dans les années 1960 à deux ans sur cinq dans les années 1970 et 1980, et à sept ans sur dix aujourd'hui.

La vulnérabilité au changement climatique est une question vitale pour la protection des ressources naturelles et de la santé humaine, ainsi que pour la protection de l'environnement et le développement stratégique du pays.

5.1. Les Caractéristiques d'une précipitation

Les Caractéristiques d'une précipitation dépendent à la fois des propriétés de l'air soulevé et des mécanismes de soulèvement. Les pluies les plus intenses surviennent quand l'apport d'humidité est élevé quand la structure thermique de l'air favorise les courants d'air ascendants. L'approvisionnement en humidité et la nature de la plupart de mécanismes, varient avec les saisons, de même le caractère de la précipitation suit ces variations dans la plupart des régions (**Gordon et Mckay ., 1968**),

5.2. Aperçu sur la mesure et l'étude des précipitations en Algérie

De nombreuses stations ont commencé à fonctionner pendant la période coloniale. La plupart ces stations connues des périodes d'arrêt pendant la guerre d'Algérie. Après l'indépendance, certaines stations se sont arrêtées momentanément ou définitivement. Alors que d'autres sont de date postindépendance.

Un bon nombre de stations ont été installées dans les années 1968- 1970 par l'agence nationale des ressources hydrique ANRH en complément de l'ancien réseau de l'O.N. Lequel a subi, de son côté, une restructuration. Cependant, l'instabilité de fonctionnement de ces stations, les lacunes et les erreurs entachant les séries d'observations, conduit souvent à effectuer un minutieux travail de sélection et de traitement (*Ghenim et al ., 2014*). La pluviométrie en Algérie a été étudiée par plusieurs auteurs (P. Seltzer (1913-1938) H.Gaussen et Paquin (1913-1963)). Plusieurs études ont été faites sur cette variable climatique en Algérie. Parmi les documents de références établis on peut citer :

- la carte pluviométrique dressée par (*Seltzer P., 1946*), qui a été établie d'après les moyennes brutes de 25 années climatiques, du 1^{er} septembre 1913 au 31 août 1938.
- la carte de (Chaumont M. et Paquin C, 1971) qui représente les précipitations annuelles moyennes ramenées à une période de 50 ans (1913-1963).
- la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, réalisée par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H.) en 1993 qui représente les moyennes de 60 ans : du 1^{er} septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1^{er} septembre 1968 au 31 août 1989).

Plus récemment, des séries d'analyses et de cartographie des précipitations ont été menées sur l'ensemble ou une partie du pays comme celles de *Aissani et Laborde 1983, Anser 1998, Davtian 1998, Mouhous 1997, Meddi et Humbert 2000, Touazi 2001, Ineglizs 2002, Laborde et al 2003, Touaibia et al 2006 et Louamri 2009*. Et il apparaît ici que la plupart des chercheurs ont effectué le travail de mesure avant la révolution de la libération.... Cependant, durant la révolution de libération, la période a connu la suspension de la plupart des stations de mesure jusqu'en 1962, date à laquelle les travaux ont commencé à reprendre, mais cela a engendré des erreurs d'observation et de nombreuses lacunes dans les mesures mensuelles ou annuelles 1996, où de nombreuses stations ont été signées jusqu'à la période s'étendant de (1968 à 1990), et pour une bonne étude des précipitations, les données obtenues doivent être collectées et traitées par des méthodes statistiques à travers des courbes et des graphiques pour les corriger et compléter les données manquantes dans la série pour chaque station localisée.)

5.3. Événement de Précipitations extrêmes

Les précipitations extrêmes comprennent à la fois les pluies et les chutes de neige.

À mesure que la terre se réchauffe, que les océans se réchauffent et évaporent plus d'humidité dans l'atmosphère, il est possible que les précipitations soient plus intenses, même dans les régions où la sécheresse est plus répandue, les précipitations et les chutes de neige peuvent être plus intenses parce qu'une atmosphère plus chaude retient plus d'humidité, Par conséquent, lorsque les conditions sont propices aux précipitations, lorsqu'il y a un mouvement ascendant dans l'atmosphère, cela fait sortir plus de précipitations de l'atmosphère, et si cela se produit lorsqu'il fait chaud, il y aura des précipitations, et si cela se produit en hiver, il y aura des chutes de neige.

La vague de chaleur européenne de 2003 (*Bouchama ., 2004*), a déclaré qu'il s'agissait de la pire vague de chaleur jamais enregistrée en Europe, 30 000 personnes ayant péri dans cette vague de chaleur. Les températures enregistrées remontent à des centaines d'années, avec une tendance à la hausse, ce qui indique qu'il s'agissait d'un épisode de chaleur extrême sans précédent. L'été entier a été plus chaud que la moyenne, et la chaleur extrême de cette vague de chaleur a été intégrée dans un été par ailleurs très chaud, qui s'inscrit dans une tendance à des étés de plus en plus chauds. Ce

petit déplacement de la courbe en cloche (distribution normale) a donc transformé un événement vieux de 1 000 ans, un événement qui, selon les données historiques, ne devrait pas se produire plus d'une fois tous les mille ans, en un événement qui se produit tous les 20 ans. Un événement susceptible de se produire tous les 20 ans. Cela nous montre une fois de plus l'impact profond qu'un réchauffement, même modeste, peut avoir sur ce que l'on appelle la queue de la distribution, là où se produisent les événements extrêmes. D'ici la fin du siècle, ce même événement pourrait se produire tous les deux ans, un été comme celui de 2003 en Europe pourrait se produire une fois tous les deux ans. Une vague de chaleur catastrophique deviendrait un événement biannuel en Europe et dans de nombreuses autres régions du monde (Van Aalst, 2006, Banholzer et al, 2014, Pinault, 2012, D'Aleo et Khandekar, 2016). (Basma B., 2021)

5.4. Tendances pluviométriques :

Au sens général, une tendance se traduit par l'évolution probable d'un phénomène au cours d'une longue période. Dans le cas des précipitations, c'est une forme d'inconstance pluviométrique caractérisée par une baisse ou une hausse régulière et unidirectionnelle des valeurs moyennes des précipitations. Selon le Guide des pratiques climatiques de (l'OMM, 2005), cette variation tend à se maintenir dans un sens déterminé pendant de nombreuses périodes, allant de quelques années à plusieurs décennies (Khezazna A., 2017).

5.5. Variabilité pluviométrique

Un des éléments intégrateurs de la variabilité climatique, l'expression « variabilité pluviométrique » a été définie par plusieurs auteurs dont (Boko, 1988 ; Beltrando, 1995 ; Brou, 2005). Elle fait ressentir la mobilité ou la variation du schéma pluviométrique moyen et l'accentuation des valeurs extrêmes à toutes les échelles temporelles et spatiales. Autant que possible, elle est analysée par rapport aux valeurs centrales ou médianes des séries plutôt que par rapport aux valeurs moyennes ou normales, qui sous-entendent l'idée de fixité du climat. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique ou à des variations du forçage externe anthropique. Dans ce travail, il s'agit de caractériser les tendances et les cycles.

5.6. Mesure des précipitations :

Quelle que soit la forme de la précipitation, liquide ou solide, on mesure la quantité d'eau tombée durant un certain laps de temps.

Les précipitations sont mesurées à l'aide d'un pluviomètre et, plus récemment par les techniques de télédétection telles que le radar météorologique. Lorsqu'elle est classée en fonction du taux de précipitations, la pluie peut être divisée en catégories.

- La pluie légère décrit les précipitations qui tombent à un taux compris entre une trace et 2,5 millimètres par heure.
- Une pluie modérée décrit des précipitations avec un taux de précipitation compris entre 2,6 millimètres et 7,6 millimètres par heure.
- Les fortes pluies décrivent les précipitations avec un taux de précipitation supérieur à 7,6 millimètres par heure.

L'intensité des chutes de neige est classée en termes de visibilité.

- Lorsque la visibilité est supérieure à 1 kilomètre, la neige est jugée faible.
- La neige modérée décrit une chute de neige avec des restrictions de visibilité comprises entre 0,5 kilomètre et 1 kilomètre.
- Les fortes chutes de neige décrivent les conditions où la visibilité est limitée à moins de 0,5 kilomètre (*Naji R., 2011*).

A. L'appareillage :

Il existe deux catégories principales d'appareils de mesure des précipitations : les pluviomètres et les pluviographes.

- Le pluviomètre : instrument de base de la mesure des précipitations liquides ou solides. Il indique la quantité d'eau totale précipitée et recueillie à l'intérieur d'une surface calibrée dans un intervalle de temps séparant deux relevés ; en mm ($1 \text{ mm} = 1 \text{ L/m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$)
- Le pluviographe : instrument captant la précipitation de la même manière que le pluviomètre mais avec un dispositif permettant de connaître, outre la hauteur d'eau totale, leur répartition dans le temps, autrement dit l'intensité de la pluie, en mm/h, sur des pas de temps courts de l'ordre de 1 à 6 minutes en général, les pas de temps étant fixes ou variables (*Naji R., 2011*).

B. L'appareillage de mesure :

Le pluviomètre est un instrument de mesure qui sert à trouver la quantité de pluie tombée sur une région supposons que l'eau des précipitations est uniformément répartie.

Si nous examinons de près des jauges de pluie différentes, nous remarquerons que la majorité d'entre eux travaillent sur le même principe de base. La pluie tombe dans un entonnoir cylindrique qui recueille l'eau, qui tombe dans un mécanisme de mesure différent. Ces différents mécanismes et méthodes de collecte et de mesure des précipitations rendent chaque jauge de pluie différente. Il existe principalement cinq types de jauges de pluie :

- i. Jauges de pluie cylindrique
- ii. Jauges de pluie ordinaires
- iii. Jauges de pluie à SIPHON
- iv. Jauges de pluie auget basculeur
- v. Enregistreur de jauge de pluie auget basculeur (*Naji R., 2011*).

6. Impacts attendus des changements climatiques sur les ressources en eau

Depuis les années 1950, le climat terrestre a connu des changements représentés, essentiellement par le réchauffement dû aux gaz à effet de serre, en étroite relation avec l'activité humaine (*GIES., 2013*). Parmi les conséquences de ces changements on note pour de nombreux pays :

1. Une augmentation de la température.
2. Une diminution des précipitations et de la masse des calottes glaciaires.
3. Une élévation du niveau de la mer.
4. Une raréfaction des ressources en eau.

Les pays maghrébins (Algérie, Maroc et Tunisie) n'ont pas été épargnés par l'impact de ces changements qui affectent négativement la plupart de leurs ressources en eau.

Dans son rapport de septembre 2013, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) affirme que le réchauffement climatique du globe est sans équivoque, ajoutant que l'influence humaine est la cause principale de ce réchauffement. Parmi les résultats de ce réchauffement, on note ceux obtenus pour les facteurs climatiques :

- La tendance à la hausse de la température moyenne du globe (0,85 °C).
- L'augmentation des précipitations dans les régions continentales de moyenne latitude de l'hémisphère Nord et dans l'est de l'Amérique du Sud.

Par contre, une diminution a été enregistrée au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud (*GIES ., 2013*).

Les pays du Maghreb n'ont pas été épargnés par le changement climatique. Le nord-ouest de l'Algérie a connu une réduction de l'ordre de 40 % des précipitations annuelles à partir de la première moitié des années 1970 accompagnée d'une hausse de température. Les lames d'eaux de surface écoulées annuelles moyennes pour la période de 1976 à 2002 sont de 28 % à 36 % plus faibles que celles de la période 1949-1976, et cette réduction est attribuée principalement au changement climatique (*Ouhamdouch, Bahir, & Carreira ., 2018*), S'attendre pour le siècle à venir.

7. Modèle climatique

Les modèles climatiques sont des outils informatiques utilisés par les scientifiques pour comprendre les changements climatiques dans le passé, le présent et l'avenir, passé, présent et futur. Il s'agit de programmes informatiques qui simulent le climat de la Terre en se basant sur les lois fondamentales de la physique, de la chimie et de la biologie de l'atmosphère de la physique, de la chimie et de la biologie de l'atmosphère, des océans des océans, de la glace et de la terre. Certains modèles comprennent modèles comprennent plus de processus, de complexité et de détails que d'autres. Les climats simulés peuvent donc varier entre les modèles. C'est pourquoi le GIEC groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) examine toujours les résultats de nombreux modèles climatiques afin de comprendre quels sont les résultats nous pouvons être plus sûrs. Les scientifiques évaluent la précision des modèles climatiques en comparant les résultats avec des observations antérieures et des preuves très anciennes. Si les Si les modèles climatiques sont capables de simuler les changements climatiques passés, nous pouvons être sûrs que les simulations ont pris en compte les processus climatiques les plus importants, et donc qu'ils ont été pris en compte dans les modèles climatiques. Les processus climatiques les plus importants et que nous pouvons donc utiliser ces modèles pour identifier les facteurs à l'origine de ces changements dans le passé Nous pouvons également étudier comment le climat pourrait changer à l'avenir en fonction des activités humaines. Bien entendu, il est impossible de savoir exactement comment les émissions de gaz à effet de serre et les polluants atmosphériques d'origine humaine changeront à l'avenir.

Changeront à l'avenir. Mais les scientifiques peuvent explorer différentes possibilités : Par exemple, en modélisant un avenir où les émissions de Les scientifiques peuvent cependant explorer différentes possibilités : par exemple, en modélisant un avenir où les émissions de gaz à effet de serre diminuent fortement ou où les émissions de gaz à effet de serre restent élevées. Ils peuvent étudier comment ces évolutions futures pourraient affecter sur l'élévation du niveau de la mer, les événements extrêmes, la pollution atmosphérique,...etc. oppc)



CHAPITRE 02

Chapitre 2 : Les méthodes d'étude de la variabilité climatique

1. Introduction

Dans le domaine des géosciences, le climat est défini comme l'ensemble moyen des états de l'atmosphère et des conditions météorologiques d'une zone d'étude donnée. Là où la météorologie s'intéresse aux processus physiques, essentiellement atmosphériques, de temps courts (pouvant aller de la seconde jusqu'à quelques semaines), la science du climat, c.-à.-d. la climatologie, a pour but d'extraire un signal de fond moyen de la variabilité météorologique. Pour cela, la climatologie repose sur des temporalités beaucoup plus longues. À l'instar de la météorologie, la climatologie recouvre toutes les échelles spatiales. Lorsqu'elle porte sur la planète toute entière on parle de climat global, et de climat régional lorsqu'elle se concentre sur un continent ou un pays. Ces différentes échelles sont influencées par des processus tout aussi multiples. Le climat global est animé par des processus de « grande échelle » dits synoptiques (plusieurs milliers de kilomètres), comme les cellules de circulation générale ou les courants océaniques. À l'échelle régionale, le climat est gouverné conjointement par les processus de grande échelle, mais également par des processus plus fins (d'une centaine de kilomètres) liés à la surface, comme les effets orographiques ou les brises de mer. La dernière échelle, la plus fine, est l'échelle locale qui couvre les processus allant d'une dizaine de kilomètres jusqu'à la centaine de mètres. Comme les échelles supérieures, elle est en partie influencée par les mouvements de l'atmosphère, mais avec cette fois un impact encore plus important de la surface.

Les différentes méthodes utilisées pour étudier la variabilité du climat comprennent l'analyse des tendances, l'analyse par grappes et la modélisation statistique du climat. L'analyse des tendances, telle que le test de Mann-Kendall et la pente de Sen, permet d'identifier les tendances des données climatiques au fil du temps. L'analyse des clusters, comme la méthode de Ward, est utilisée pour homogénéiser les séries de températures et identifier les clusters significatifs indiquant une variabilité climatique. Des modèles climatiques statistiques, sont utilisés pour caractériser les variables atmosphériques, contribuant ainsi à la gestion et à la planification des ressources en eau. Ces méthodes jouent un rôle crucial dans la compréhension et la prévision des changements climatiques, qui sont essentiels pour s'adapter aux impacts de la variabilité climatique.

2. A perçu documentaire sur les méthodes d'étude de la variabilité climatique :

2.1. Méthodes statistiques :

Les méthodes statistiques s'appliquent dans le cas de disponibilité de données climatiques en suffisance, tels que les pluies, les températures et les débits. Ces méthodes peuvent être couplées aux méthodes déterministes. Elles correspondent au traitement statistique des séries d'observation de valeurs journalières, mensuelles ou annuelles, ce qui permet d'obtenir des interprétations sur les impacts du changement climatique sur ses paramètres à travers le temps (*Acquet et Jacquet., 1964*).

A. Analyse fréquentielle :

La méthode d'analyse fréquentielle se base sur le principe de l'ajustement d'une série d'observation à une loi de distribution statistique connue, il convient de vérifier son adéquation. Il est alors possible d'en extraire des résultats relatifs à des phénomènes rares.

3. L'homogénéisation des données :

L'homogénéisation des données Le terme "inhomogénéités" représente les variations non naturelles qui sont causées par des modifications dans les réseaux d'observations.

L'homogénéisation consiste à détecter puis à corriger ces variations. Les sauts de moyenne et les tendances sont les deux types d'inhomogénéités les plus communes. Par exemple, les mesures de précipitations sont perturbées par le vent et l'effet Venturi produit au-dessus du cône du pluviomètre. Donc, toute modification ayant un effet sur le vent induira des sauts dans les données (e.g. un changement d'emplacement, de la forme du capteur ou de sa hauteur au-dessus du sol). Une modification dans l'environnement immédiat d'une station, induite par exemple par l'urbanisation, la reforestation, ou l'industrialisation, suscite des changements plus graduels (*e.g. Peterson et al., 1998*), et ce en particulier sur les températures. Une tendance est plus délicate à quantifier car il faut identifier correctement le début et la fin de cette tendance ainsi que son amplitude. En pratique, il est assez difficile de déterminer si une rupture dans une série représente un changement dans le climat régional ou une inhomogénéité. Deux types d'informations permettent de pencher pour l'une ou l'autre des explications : les enregistrements aux stations voisines (s'il y en a) et les métadonnées (s'il y en a également).

3.1. Principe des tests d'homogénéité

Les tests d'homogénéité rassemblent un grand nombre de tests pour lesquels l'hypothèse nulle est qu'une série temporelle est homogène entre deux temps donnés.

La variété des tests vient de ce que les hypothèses alternatives possibles sont nombreuses : changement de distribution, changements de moyenne (une ou plusieurs fois) ou présence de tendance.

Les tests d'homogénéité présentés dans cet outil correspondent à l'hypothèse alternative d'un unique décalage. Pour l'ensemble des tests, XLSTAT fournit des p-values en utilisant des ré-échantillonnages Monte Carlo, les calculs exacts étant soit impossibles soit trop coûteux en temps de calcul.

Pour la présentation des différents tests, nous désignons par X_i ($i=1, 2, \dots, T$) une série de T variables dont on observe une valeur x_i ($i=1,2,3, \dots, T$) à T temps successifs. Soit μ la moyenne des T valeurs observées, et soit σ leur écart type biaisé (on divise par T).

3.1.1. Indice de l'écart à la moyenne (Em) ou indice de sécheresse (IS) :

Il permet d'estimer le déficit pluviométrique annuel. Cet écart à la moyenne est la différence entre la hauteur de précipitations d'une année P_i et la hauteur moyenne annuelle de précipitations P de la série. La formule est :

$$IS = P_i - P$$

L'indice est positif pour l'année humide et négative pour les années sèches. C'est l'indice le plus simple et le plus utilisé. Il peut également se formuler de cette façon :

$$Em = P_i - P_m$$

Où (P_i) : hauteur de précipitation annuelle et (P_m) : hauteur moyenne annuelle de précipitation.

On parle d'année déficitaire quand la pluie est inférieure à la moyenne et d'année excédentaire quand la moyenne est dépassée. Cet indice permet de visualiser et de déterminer le nombre d'années déficitaires et leur succession (*Hafiza Tatar, Nora Regad*).

3.1.2. Indice de pluviosité (Ip) :

C'est le rapport de la hauteur de précipitation d'une année à la hauteur moyenne annuelle de précipitation de la série.

$$I_p = P_i / P_m$$

Une année est dite humide si ce rapport est supérieur à 1 et sèche s'il est inférieur à 1. Le cumul des indices d'années successives permet de dégager les grandes tendances en faisant abstraction des faibles fluctuations d'une année à l'autre. Quand la somme des indices croît, il s'agit d'une tendance « humide » et, dans le cas contraire, lorsque la somme des indices décroît, la tendance est de type « sèche » (*Hafiza Tatar et Nora Regad*).

3.1.3. Indice de déficit pluviométrique (Indice de l'écart à la normale (En) :

Pour situer une pluviométrie dans une longue série de relevés pluviométriques, on utilise l'écart proportionnel à la moyenne. Il s'exprime par la formule suivante :

$$IDP (\%) = (P_i - P_m) / P_m \times 100$$

Où :

IDP : Indice de déficit pluviométrique (en pourcentage).

P_i : précipitation annuelle (en mm).

P_m : précipitation moyenne (en mm).

Cet indice, nommé aussi Ecart à la normale, permet de visualiser et de déterminer le nombre des années déficitaires et leur succession. Une année est qualifiée d'humide si cet indice est positif, de sèche lorsqu'il est négatif. De même que l'indice de pluviosité, le cumul des indices d'années successives permet de dégager les grandes tendances. Quand la somme des écarts croît, il s'agit d'une tendance humide et, inversement, lorsque la somme des écarts décroît, la tendance est de type « sèche » (*Hafiza Tatar et Nora Regad*).

4. Indice Standard des précipitations (SPI) :

L'indice standardise de précipitation « SPI » (standardise de précipitation index) a été développé en vue de caractériser les déficits de précipitation pour une période donnée (*Mckee et al., 1993*). Il prend en considération l'importance du temps dans l'analyse de la disponibilité des ressources en eau. En effet, la période de temps sur laquelle le déficit des précipitations est accumulé devient extrêmement importante pour séparer entre les différents types de sécheresses (*Mckee et al., 1995*). La formule mathématique de SPI est la suivante :

$$ISP = (P_i - P_m) / S$$

P_i : Précipitation de l'année i (mm).

P_m : Précipitation moyenne (mm).

S : Ecart type.

Dans notre étude on se basera sur la méthode de l'indice standardisé de précipitation « SPI ». Cet indice pluviométrique traduit un excédent ou un déficit pluviométrique pour l'année considéré par rapport à la période de référence choisie. La sévérité de la sécheresse est identifiée par des valeurs SPI selon le schéma de classification (tab1) proposé (*MCKEE et al., 1993*), et utilisé dans plusieurs

études dans la région du Maghreb (*Ali Lebel, 2009 ; Ardoin-Bardin, 2004; Ardoin-Bardin et al., 2003; BergaouiAlouini., 2002*).

Tableau 1 : Classe de sévérité de l'SPI (MCKEE et al ., 1993).

Classes	Valeurs de l'SPI
Extrêmement humide	Plus de 2.0
Sévèrement humide	De 1.5 à 1.99
Modérément humide	De 1.0 à 1.49
Proche de la normale	De -0.99 à 0.99
Modérément sèche	De -1.0 à -1.49
Sévèrement sèche	De -1.5 à -1.99
Extrêmement sèche	Moins de -2.0

La cartographie des courbes valeurs qui en résulte est une cartographie d'« intensité » de déficit ou d'excès pluviométriques. Elle révélera ainsi le contraste entre les différentes périodes étudiées. En deuxième lieu, pour mieux visualiser les résultats obtenus, ceci dans le but d'observer :

- Une succession de périodes déficitaires et excédentaires.
- Une intervention simultanée ou non des fluctuations climatiques à une même date sur l'ensemble de la zone d'étude.

4.1. Calcul des paramètres statistiques

4.1.1. Moyenne arithmétique

La moyenne est la valeur de la variable qui, affectant uniformément l'ensemble des unités d'observation, conserverait l'effet total de la variable (*Houari H et Benzartiha ., 2019*).

La « moyenne » se note « X » (x barre) on lira : Si la variable statistique est donnée sous forme d'une série $x_1, x_2, \dots, x_n$, la moyenne arithmétique est à la somme des « x_i » divisée par le nombre « n » (« n » étant égal au nombre de « x » de la série).

La moyenne arithmétique est égale au rapport :

$$X = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

$$X = \frac{1}{n} \sum x_i$$

4.1.2. Ecart type :

Est la mesure de dispersion la plus couramment utilisée en statistique lorsqu'on emploie la moyenne pour calculer une tendance centrale. Il mesure donc la dispersion autour de la moyenne. En raison de ses liens étroits avec la moyenne, l'écart-type peut être grandement influencé si cette dernière donne une mauvaise mesure de tendance centrale (*Houari H et Benzartiha ., 2019*). L'écart-type est aussi utile quand on compare la dispersion de deux ensembles de données séparés qui ont approximativement la même moyenne. La dispersion des mesures autour de la moyenne est

plus étroite dans le cas d'un ensemble de données dont l'écart-type est plus petit. Habituellement, un tel ensemble renferme comparativement moins de valeurs élevées ou de valeurs faibles. Un élément sélectionné au hasard à partir d'un ensemble de données dont l'écart-type est faible peut se rapprocher davantage de la moyenne qu'un élément d'un ensemble de données dont l'écart-type est plus élevé. On définit la variance d'une variable discrète composée de n observations comme suit :

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (x_i - \bar{X})^2}}{n}$$

4.2. Les principaux avantages du SPI sont les suivants

- L'indice SPI offre une bonne souplesse d'utilisation : il est possible de le calculer pour de multiples échelles de temps.
- Quand il porte sur un laps de temps relativement court, entre 1 et 3 mois par exemple, l'indice SPI permet de détecter rapidement les situations de sécheresse et d'en évaluer la gravité.
- L'indice SPI présente une bonne cohérence spatiale, ce qui permet d'établir des comparaisons entre des zones différentes soumises à des climats différents.

Sa nature probabiliste le place dans un contexte historique, ce qui convient bien à la prise de décision (*Guide., 2012*).

5. Détection des ruptures au sein des séries pluviométriques annuelles

Des études ont été menées par l'application de tests statistiques pour la détection de "rupture" en moyenné des séries chronologiques de pluviométrie annuelle. La "Rupture" doit être compris, ici, comme un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné (*Lubeset al., 1994*). Plusieurs méthodes disponibles dans la littérature, et qui permettent l'analyse de ces phénomènes dans une série chronologique.

5.1. Test de Pettitt

Le test de Pettitt (*Pettitt, 1979 ; Demaree, 1990 ; Sutherland et al., 1991 ; Vannitsem et Demaree, 1991*) Pour décrire le test de Pettitt, des extraits du papier original de Pettitt sont repris ici. Pettitt considère une séquence de variables aléatoires indépendantes, $X_1, X_2, \dots, X_N$.

La séquence est censée contenir un point de rupture à x si les X_t , pour $t = 1, \dots, x$ ont une distribution commune $F_1(X)$, et les X_t , pour $t = x + 1, \dots, N$ ont une distribution commune $F_2(X)$, différente de $F_1(X)$. Hypothèse nulle de « non-rupture », $H_0 : x = N$ contre l'hypothèse alternative de « rupture », $H_1 : 1 < x < N$; 0 si $x = 0$ et -1 si $x < 0$, alors, la variable.

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

Est équivalente à la statistique de Mann-Whitney pour tester l'appartenance des deux échantillons, $X_1, \dots, X_t$ et $X_{t+1}, \dots, X_N$ à la même population.

La statistique $U_{t,N}$ est considérée pour les valeurs de t comprise entre 1 et N .

Pour tester H_0 contre H_1 , Pettitt propose d'utiliser la variable

$$K_N = \max |U_{tN}|$$

En utilisant la théorie des rangs, Pettitt donne la probabilité de dépassement approximative d'une valeur k par :

$$\text{Prob}(K_N > k) \sim 2\exp(-6k^2 / (N^3 + N^2))$$

Pour un risque α de première espèce donné, H_0 est rejetée si cette probabilité est inférieure à α . Dans ce cas, la série présente une rupture au temps $t = \tau$ définissant K_N .

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

6. Analyse de la variation temporelle

Pour l'analyse des séries temporelles et leurs tendances, il y a le test de Mann-Kendall

6.1. Test de Mann-Kendall

Le test de Mann-Kendall a permis de détecter d'éventuels changements graduels dans les séries de variables extrêmes. *Selon Mann (1945) et Kendall (1975)*, ce test non paramétrique, basé sur le rang, permet de déterminer si la corrélation entre le temps et la variable d'étude est significative ou pas. Soit $(x_1, \dots, x_n)$ un échantillon de valeurs indépendantes relative à une variable aléatoire X dont on cherche à évaluer la stationnarité. La statistique de Mann-Kendall est définie comme suit Equation :

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{signal}(x_j - x_i)$$

Où n est la longueur de la série, x_i et x_j deux valeurs génériques de données séquentielles et la fonction est définie par l'équation suivante :

$$\text{Signal} = \begin{cases} +1 & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases}$$

La statistique S représente donc le nombre de différences positives moins le nombre de différences négatives trouvées dans les séries chronologiques analysées. Si l'hypothèse est nulle, il n'y a pas de tendance dans les données de corrélation entre les variables considérées et le temps, chaque ordre de l'ensemble des données étant également probable. Dans cette hypothèse, la statistique S est environ une distribution normale avec la moyenne $E(S)$ et la variance $\text{Var}(S)$ définies respectivement sur les équations suivantes :

$$E(S) = 0$$

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)]$$

Où n est le nombre de données non manquantes, t_p le nombre de valeurs dans le $p^{\text{ième}}$ groupe et q le nombre de rang ex aequo. Le second terme représente un ajustement de données liées ou censurées. La valeur de S et de $\text{Var}(S)$ serve au calcul du test statistique standardisé Z qui s'écrit sous la formule de l'équation suivante :

$$Z_{MK} = \begin{cases} x = \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ x = \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

La présence d'une tendance statistiquement significative est évaluée en étudiant la valeur de Z . L'hypothèse nulle (H_0) indique l'absence d'une tendance et l'hypothèse alternative (H_a) la présence d'une tendance dans la série. Une valeur de Z positive indique une tendance à la hausse dans le temps, tandis qu'une valeur de Z négative une tendance à la baisse. En cas de hausse ou de baisse de la tendance monotone par rapport à un seuil de signification p , l'hypothèse nulle (H_0) est rejetée. Dans ce travail, le seuil de signification 0,01, le plus élevé pour ce test a été appliqué et une p -valeur a été obtenue pour chaque série analysée.

Il est également possible d'obtenir une estimation non paramétrique pour la magnitude de la pente de la tendance (**Hirsch et Slack ., 1984**). Ainsi, la méthode de la pente de Sen (**Sen. 1968**), qui a été appliquée pour déterminer l'ampleur de du changement, s'obtient par la formule suivante (équation) :

$$B = \text{median} \left[\frac{(x_j - x_i)}{(j - i)} \right] \text{ pour } i < j$$

Où b est la pente entre les points Données X_j et X_i mesuré au temps j et i respectivement. (**MANN H. B., 1945**).

7. Définition de l'analyse des tendances

Une tendance temporelle est une augmentation ou une diminution régulière et continue le long de l'axe temporel, et peut être linéaire ou non linéaire. Les définitions des tendances se répartissent généralement en deux catégories :

Décrire la variation d'une population fixe dans le temps et décrire le changement numérique d'une population sur une période de temps spécifique. Les tendances existent presque partout. Il existe une variété de définitions des tendances en fonction de l'objectif et des circonstances. En général, il s'agit d'une tendance dans laquelle un événement se développe sous la forme de changements croissants (à la hausse) ou décroissants (à la baisse). Chaque tendance à une direction générale et peut également être exprimée par des termes tels que dérive, changement, balancement, trajectoire, courant, inclinaison et les synonymes biais et courbure. Le terme tendance peut également avoir un contexte social comme paradigme moderne, mode, engouement, mode, genre, style, vogue et fureur. Quelques exemples : tendance au réchauffement climatique, tendance à la mode, tendance économique à la hausse, tendance commerciale à la baisse, tendance à la qualité, tendance boursière, tendance commerciale, etc. (**Boudiaf B ., 2021**).

7.1. Objectifs de l'analyse des tendances

Les objectifs possibles de l'analyse d'une série temporelle sont les suivants :

- Détecter une tendance.
- Estimer l'ampleur de la tendance.
- Identifier les périodes où le changement est le plus important.
- Identifier les périodes où la tendance est forte et les périodes où la tendance est faible.
- Prédire ou prévoir une tendance. (**Boudiaf B ., 2021**).

7.2. Les éléments clés de l'analyse des tendances sont les suivants

- **Données de séries temporelles** : L'analyse des tendances repose sur des données de séries chronologiques, c'est-à-dire une séquence d'observations ou de mesures collectées et enregistrées sur des intervalles de temps successifs. Elle peut être quotidienne, mensuelle, annuelle, etc.
- **Visualisation des données** : La représentation visuelle des données, telle que les diagrammes linéaires ou les graphiques, est souvent utilisée dans l'analyse des tendances pour illustrer les schémas et les tendances dans le temps.
- **Identification des modèles** : Les analystes examinent les données afin d'identifier les modèles, les tendances ou les cycles récurrents. Ces schémas peuvent être ascendants (indiquant une croissance), descendants (indiquant un déclin) ou cycliques.
- **Méthodes statistiques** : Diverses méthodes statistiques peuvent être utilisées pour quantifier et analyser les tendances. Il peut s'agir de moyennes mobiles, d'analyses de régression ou d'autres techniques d'analyse des séries chronologiques.
- **Extrapolation et prédiction** : Sur la base des tendances identifiées, les analystes peuvent extrapoler dans l'avenir pour faire des prédictions sur les valeurs ou les résultats futurs potentiels (**Boudiaf B ., 2021**).



CHAPITRE 03

Chapitre 3 : Description de site d'étude le bassin versant N° 07

1. Présentation des bassins versants en Algérie :

1.1. Les bassins versants classent par l'ABH :

Les Agences de bassins hydrographiques (ABH) ont subdivisé le territoire algérien en 5 grands bassins hydrographiques, réparties géographiquement 4 au nord et une au sud (figure02), créant en 1996, dans chacun d'entre eux des organismes de gestion nommés :

Agences de Bassin hydrographique et Comités de bassin hydrographique. Ces unités hydrographiques sont labellisées comme suit :

1. Oranie Chott-Chergui
2. Cheliff –Zahrez
3. Algérois- Hodna –Soummam
4. Constantinois - Seybouse –Mellegue
5. Sahara



Figure 2 : Les bassins hydrographiques de l'Algérie (*Bouchedja., 2012*).

2. Secteur des Hauts Plateaux :

Situés entre l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud, les Hauts Plateaux sont de vastes étendues planes d'altitude variable (800-900 mètres), découpées par des collines qui les divisent en de nombreux petits bassins bien délimités. Ils s'étendent sur une distance de plus de 200 kilomètres, avec une pénétration nord-sud de 80-100 kilomètres (*Arfa., 2008*).

Dans ces hauts plateaux celui qui nous intéresse est le bassin versant des Hauts Plateaux Constantinois sujet de notre étude.

2.1. Caractérisation dusite d'étude

2.1.1. Bassin des Hauts Plateaux Constantinois

Le bassin versant des Hauts Plateaux constantinois est situé au nord-est de l'Algérie (figure 03 et 04), il est subdivisé en sept sous-bassins couvrant une superficie totale de 9 578Km². Il est situé entre les coordonnées géographiques suivant : les Latitude : 35° et 37° Nord, et les Longitude : 06° et 8° Est (*Baazi., 2002*).

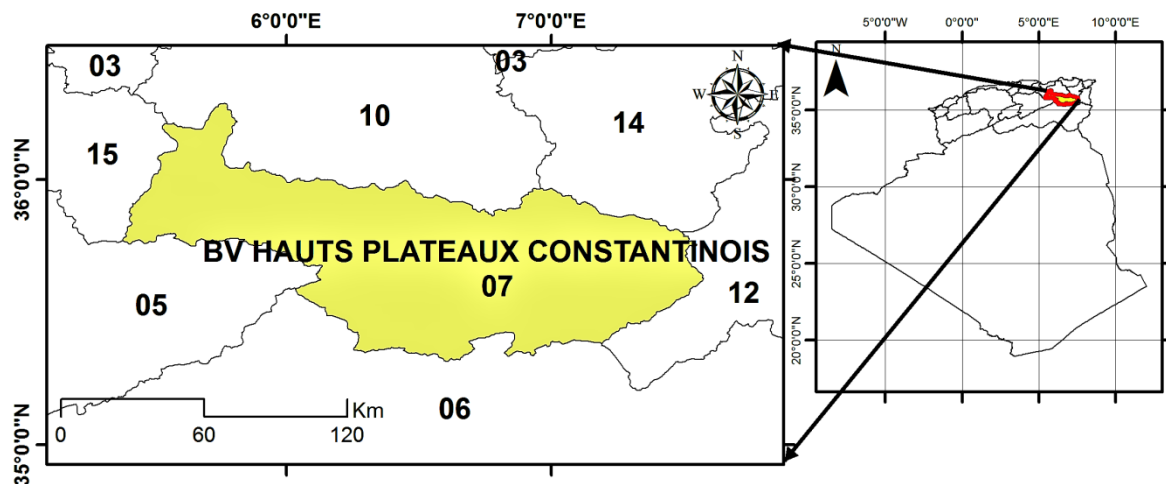


Figure 3 : Situation géographique du bassin versant (07) des hauts plateaux constantinois.

Le bassin est limité au Nord par le bassin du Kébir Rhumel (10) et la Seybouse (14), au Sud par le bassin du Chott Melrhir (06), à l'Ouest par celui de la Soummam (15), et du Hodna (05) et à l'Est par le bassin de la Medjerda (12) (figure 7 et 8) (*Abdeddaim H., 2018*).

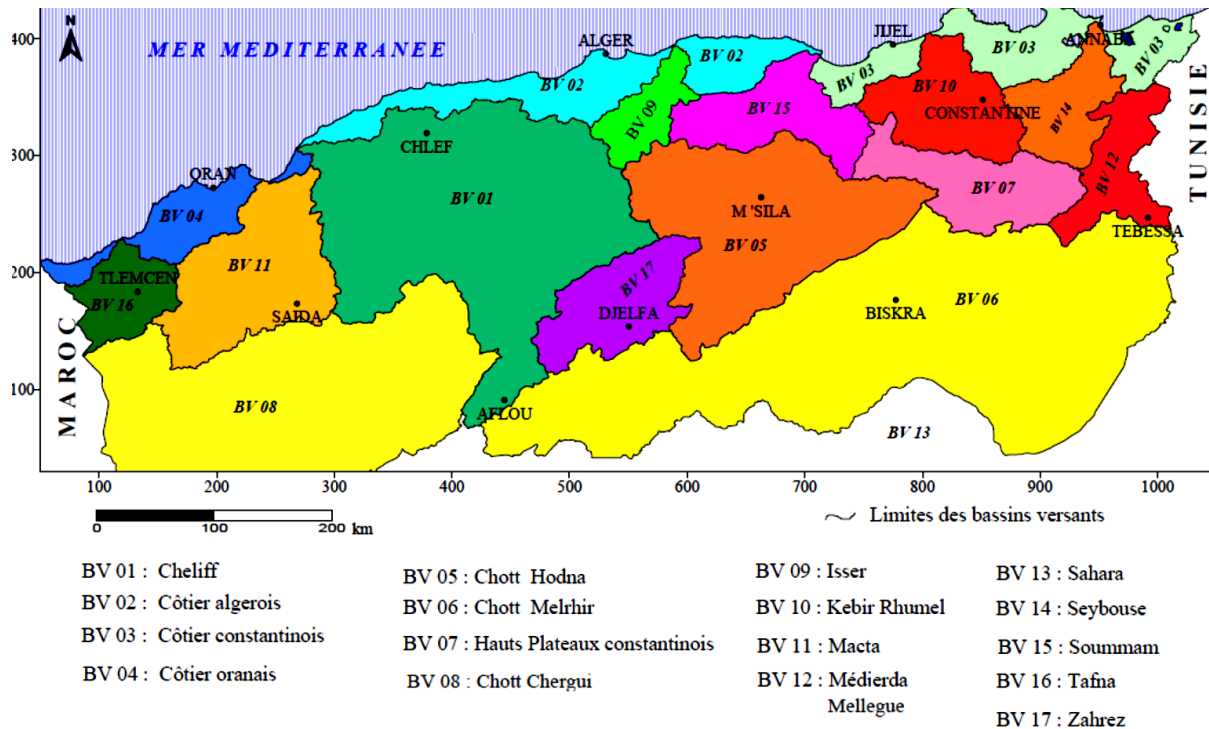


Figure 4 : Limites des grands bassins versants en Algérie (Classification d'après ABH) (Abdeddaim H., 2018).

Le bassin des hauts plateaux constantinois couvre cinq Wilayas : Oum El Bouaghi -Khenchela - Mila - Sétif - Batna.

Le territoire de ce bassin comprend les plaines d'Ain M'lila au Nord du bassin et les plaines d'Ain Touta et Batna au Sud, aussi les hautes plaines Sétifiennes et les plaines de Bellezma à l'Ouest et les plaines de Remila à l'Est (Abdeddaim H., 2018), Le Haut plateau constantinois est situé dans les étages bioclimatiques semi-arides arides (200 à 400 mm/an de précipitation) et renfermant de grandes dépressions continentales salées appelées chotts et sebkhas (Baazi., 2002). Cette zone renferme les principales ressources en eaux de surface et les infrastructures hydrauliques de la région (Belagoune., 2012).

2.1.2. Description géomorphologique

2.2. Le bassin intérieur des Hauts Plateaux Constantinois :

Le milieu des "Hautes Plaines", vaste étendue plate comprise entre 800 et 1000 mètres d'altitude, dont la limite nord coïncide avec le flanc sud de l'Atlas saharien et se divise en une série de bassins simples, plus ou moins bordés par des sommets calcaires. Les contreforts des massifs calcaires qui entourent les plaines glaciaires du Quaternaire sont délimités par de longs glaciers. Les écarts de température sont importants et les fluctuations météorologiques plus fréquentes (Mebarki., 1984), Il existe une dizaine de lacs salés dont les plus importants sont l'oued El Medhir (54 km), l'oued Chemoura (33 km) et l'oued Boulfrais (52 km). Ces oueds prennent naissance sur le versant nord des Auras et s'écoulent vers le nord (centre du bassin) où ils se perdent dans des lacs salés tels que Sabkhat Zamoul, Gara Ank Jamal, Sabkhat Jandali (Mbarki., 2000), et Qara Tarif, qui est la dépression la plus basse, d'origine tectonique et climatique, Dans ces vastes zones steppiques, où la pluviométrie est très faible par rapport à la superficie totale de la région, l'évaporation est très forte (figure5) (Kot et Benazzouz, 1974) et (Benazzouz., 1986).

Les oueds qui dévalent les pentes abruptes des Aurès (Oued Tazoult, Oued Rabwa, Oued Boufrais, etc.) sont très puissants lors des crues ; ils finissent généralement par perdre leur énergie dans la partie basse des hautes plaines où ils rejoignent les lacs salés soumis à une évaporation intense (*Mbarki.,2000*).

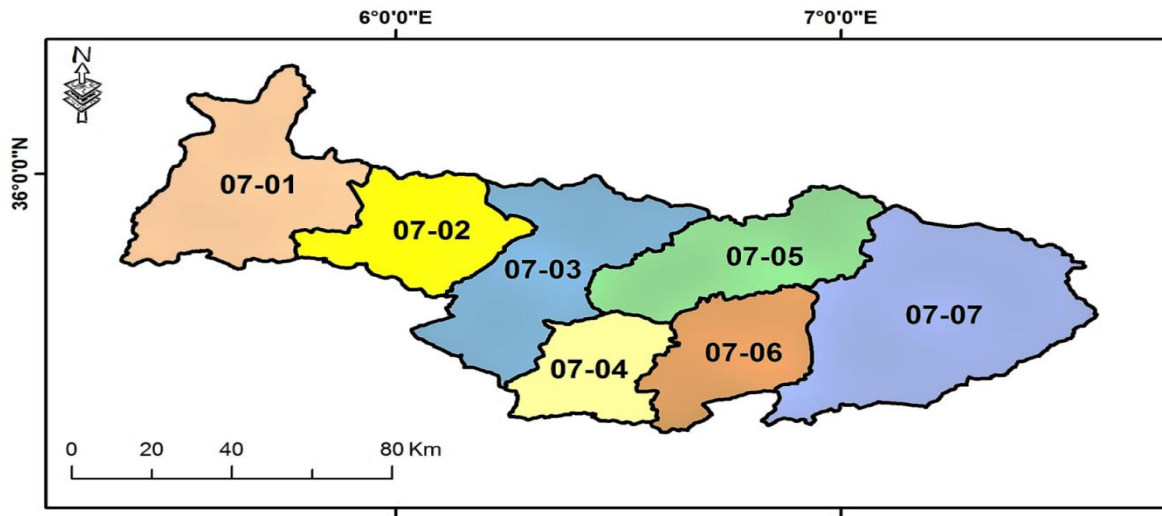


Figure 5 : Les Sous Bassins versants des Hauts Plateaux Constantinois.

2.3. Caractéristiques géomorphologiques des Hauts Plateaux Constantinois :

A. Le relief :

Est le résultat d'une conjugaison de plusieurs facteurs et particulièrement par l'évolution géologique et par l'action de l'érosion à une grande échelle. Dans ce contexte, la zone semi-aride est divisée en quatre ensembles distants.

B. Les montagnes :

Ces reliefs forment une barrière naturelle qui joue un rôle climatique et hydrologique important. Les différents paramètres climatiques sont fortement influencés par ces reliefs qui forment des limites entre les influences sahariennes du Sud et celles de la mer méditerranéenne au nord. La zone montagneuse du bassin versant des Haut plateaux est composée essentiellement des massifs des Aurès : Asker (1833m), Ras er Rih (1916 m), El Mahmel dont l'altitude s'élève jusqu'à 2231m, plus à l'Est de Grand bassin versant on rencontre les massifs de Djebels Timagoult (1875 m), monts des Aurès (1746 m), et Djebels Aslaf (1606 m) (*ANRH., 1993*).

C. Le piedmont

Sur le bassin versant de haut plateau constantinois c'est une zone de transition entre la montagne et la plaine : Elle s'allonge de l'Ouest à l'Est au pied du versant c'est une zone de transition entre la montagne et la plaine : Elle s'allonge de l'Ouest à l'Est au pied du versant notamment ceux des Aurès au sud et de Djebels Bou-Arif au Nord-ouest, sous forme des collines constituées par les dépôts colluviaux qui descendent en pente atténuée vers la plaine, son altitude varie entre 1200 et 1400m. En plus de ces collines, le bassin se caractérise par les draâs, Il s'agit d'une série de glacis sous forme des petits reliefs monoclinaux. La zone de piedmont est le plus souvent agricole (*ANRH., 1993*).

D. La plaine

Ces terrains plutôt plats à relief peu accusé occupent la plus grande partie du bassin et s'étend au Nord et à l'Est des piedmonts. Ils sont circonscrits par les courbes de niveau 1200m et 900m, et s'étalent jusqu'aux rives des lacs salés avec une déclivité qui ne dépasse pas le plus souvent les 8%. Les dépôts accumulés dans ces plaines sont composés dans l'ensemble, de sable, gravier, et de limon, résultants de l'apport solide des oueds qui perdent leur compétence avant d'atteindre les lacs salés. Ces terrains sont utilisés pour les activités agricoles saisonnières (*ANRH., 1993*).

2.4. Les bassins des Hauts Plateaux Constantinois

A) Fesdis :

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

Les formations du Crétacé inférieur constituent les principaux affleurements des monts de Belezma-Batna et du Djebel Bou Arif. Il s'agit d'un ensemble varié comprenant des calcaires, des grès, des marnes gréseuses, et des marno-calcaires. Les marnes, les argiles à intercalations calcaires, et les marno-calcaires, forment de vastes dépressions sénoniens à l'affleurement dans les monts de Batna-Belezma et à Djebel Chentouf dans les Aurès. De véritables faisceaux jurassiques constitués de dolomies, de calcaires à silex et de marnocalcaires, et d'une épaisseur de 1000 mètres, affleurent dans les monts de Batna (*Menan., 1991*).

L'argile vari-couleur, le gypse et le sel gemme attribuée au Trias, sont représentés sous forme des petits lambeaux dans les Monts de Batna.

B) Oued Chemoura :

Le bassin de l'Oued Chemoura englobe trois ensembles géologiques bien distincts : Le bassin Miocène de Timgad, dans lequel se sont accumulés d'abondantes formations détritiques continentales et fluviales issues du démantèlement des massifs, et les deux structures anticlinales d'âge Crétacé, Djebels l'Aurès dans le sud et les monts de Bou-Arif au nord-ouest du bassin. Les terrains attribués au Crétacé, constituent les principaux affleurements de ces structures. Les séries à dominante calcaire, bien litées et attribuées à l'Aptien ont une extension réduite, et affleurent au nord-ouest du bassin (Dj. Bou-Arif).

Les marno-calcaires et les marnes dominantes du Crétacé supérieur qui s'étend du Cénomane au Maastrichtien, apparaissent sur la majorité des reliefs des Aurès et sur les monts de BouArif.

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

de la charge solide arrachée aux versants. Elles sont constituées par des alluvions récentes, éboulis des calcaires, et des glacis de pente (*Guidoum A., 2017*).

C) Oued El Gueiss :

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

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

2.5. Occupation des sols et types de couvertures végétales

L'action complexe et contradictoire de la couverture végétale, s'exerce aussi bien sur les paramètres climatiques notamment l'évaporation que sur les bilans hydriques des sols ; Elle donne de l'ombre, ce qui conserve l'humidité et l'activité biologique nécessaire à l'équilibre du sol, l'infiltration en profondeur est facilitée par les fissurations préparées au sein du sol par le réseau des racines. Enfin les végétaux jouent un rôle mécanique très important dans les zones de forte déclivité, en atténuant la violence des crues, ils protègent le sol contre l'érosion, et limitent le transport solide.

Le couvert végétal de la région d'étude offre une importante diversité spatiale qui est influencée par le modelé des terres et les écarts climatiques induits par la proximité du Sahara au Sud et de la mer méditerranée au Nord. La caractéristique essentielle est la prédominance des surfaces occupées par les céréales et la jachère, qui représentent la part majoritaire dans le bassin. Ainsi que les terrains favorisant le Ruissellement notamment les terrains de parcours et les terrains nus restent importants (Figure 06).

Malgré sa faible extension en termes de surfaces et sa discontinuité, le couvert forestier s'étend sur les forêts des hautes montagnes de l'Atlas saharien au sud du bassin, notamment, les forêts de pins d'Alep qui se distinguent au niveau des monts des Aurès. On distingue aussi, des maquis arborés dans le Sud du bassin (*Djouidi .A et Zerrouki.A., 2019*).

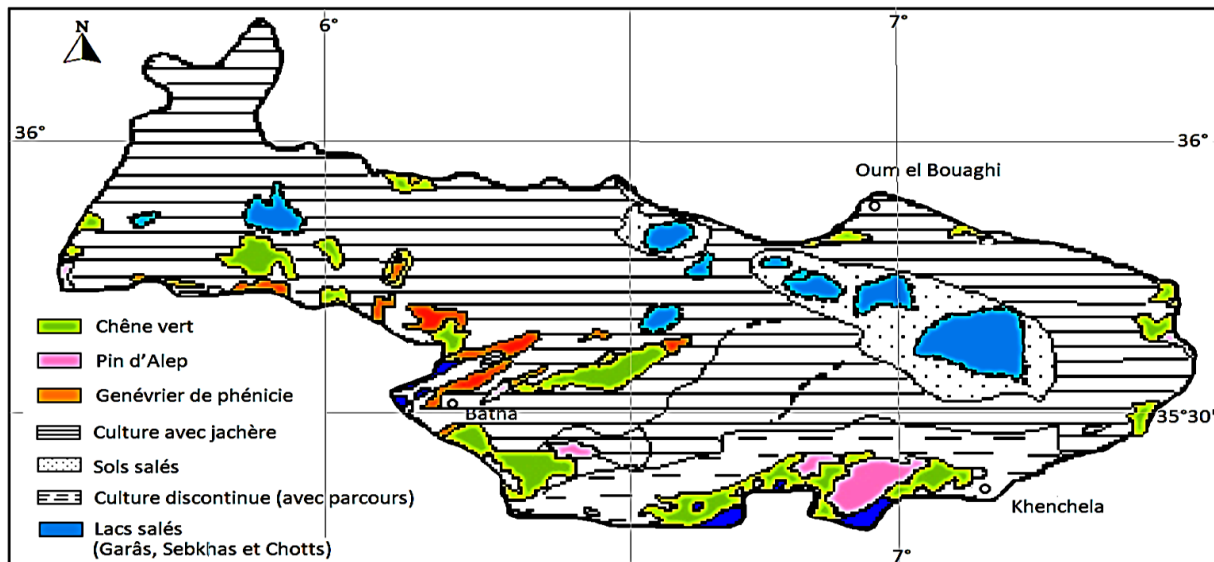


Figure 6 : Couverture végétale Du bassin des Hauts Plateaux Constantinois -d'après carte internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis-Sfax et Alger-(*Mebarki ., 2005*).

En somme, les formations végétales assurant une protection médiocre au sol, sont les plus représentées dans le bassin des Hauts Plateaux Constantinois, dont le caractère dégradé et discontinué de cette couverture présage d'un écoulement irrégulier et torrentiel et d'une érosion très développée dans le bassin, seule la couverture forestière des massifs montagneux des Aurès, peut avoir un impact positif sur le ruissellement et la régularisation de l'écoulement.

2.6. Les caractéristiques morpho métriques du bassin :

Les différents paramètres morpho métriques d'un bassin versant notamment, la forme, l'altitude caractéristique, la pente, et le relief, interviennent surtout et souvent de façon combinée dans les modalités de l'écoulement. Cependant l'approche cartographique s'impose souvent pour faire ressortir les nuances internes à l'intérieur du bassin. Le (tableau03) récapitule les principales caractéristiques morpho métriques et hydrographiques des sous bassins des Hauts Plateaux Constantinois, et doivent donc être identifiés Au début de toute étude.

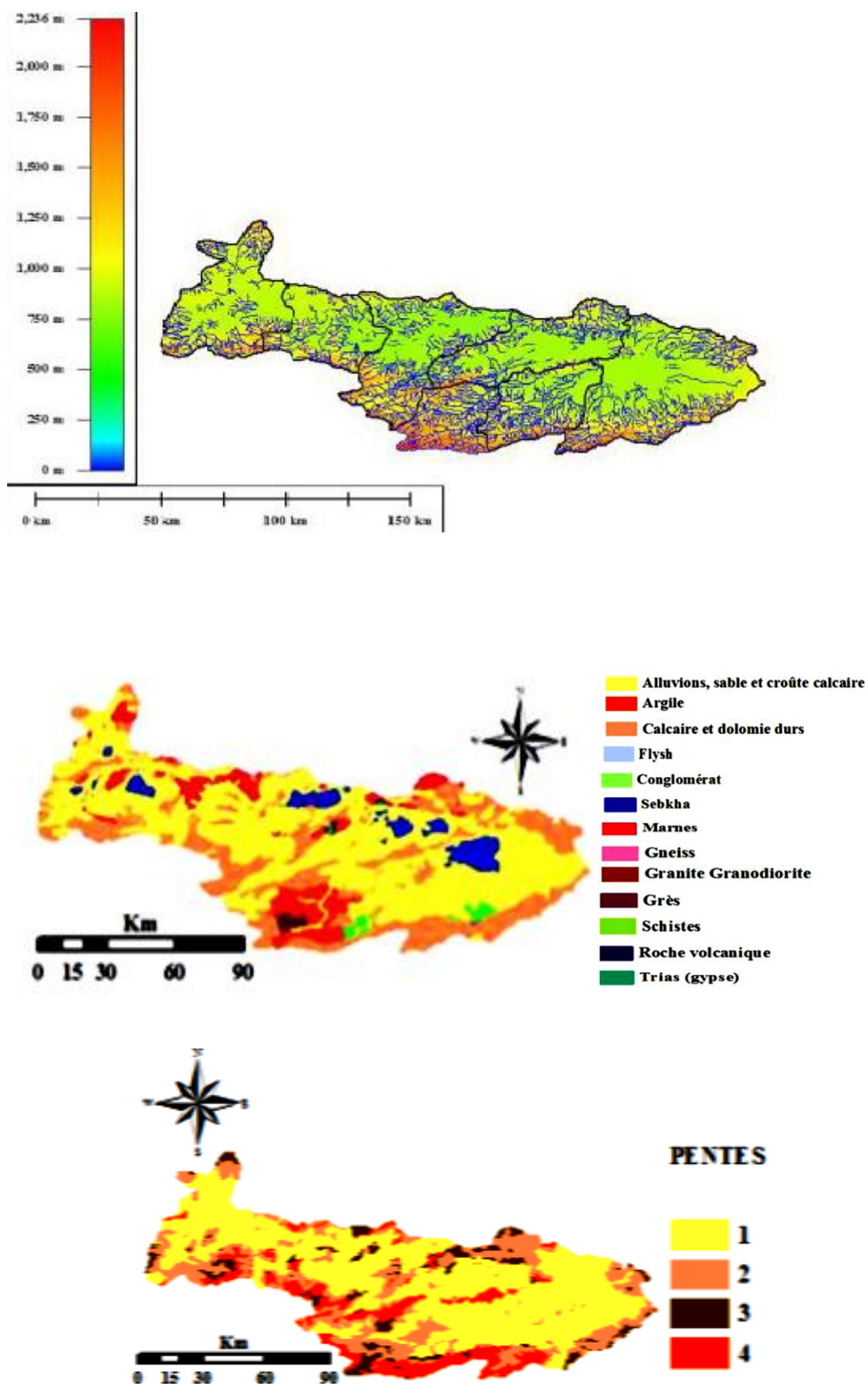


Figure 7 : Cartes des altitudes, lithologie, pentes et précipitations du BV 07 (Abdeddaim H., 2018)

2.7. Réseau hydrographique du bassin Haut Plateau Constantinois (bassin 07)

Un réseau hydrographique est défini comme l'ensemble des cours d'eau naturels, permanents ou temporaires, par lesquels toutes les eaux de ruissellement s'écoulent et se rassemblent en un seul point de décharge (exutoire).

Le BV 07 contient un réseau hydrographique caractéristique des régions semi-arides (système endoréique) (Figure08) ; Il est divisé en sept (7) sous-bassins ; Il couvre une superficie de 9 578 km² et présente un réseau hydrographique typique des régions semi-arides (endoréisme) dont les vallées les plus importantes sont l'oued El Medhir (54 km), l'oued Chmoura (33 km) et l'oued Boufrais (52 km). Ces oueds prennent naissance sur le versant nord des Auras et s'écoulent vers le nord (centre du bassin) où ils se déversent dans des lacs salés tels que SabkhaZemmoul, garaAnk Jamal, SabkhaJandali et gara El Tarif. Parmi ces vallées, on trouve L'oued Ribua, dont la source est formée par l'intersection de deux oueds :

L'oued Taja, qui provient de la chaîne de montagnes des Aures et s'écoule vers le sud et l'est. L'oued Reboua traverse la vallée entre Draa el Charf et Tarab en direction du sud-est, jusqu'à l'oued OuladMakhlouf, où il rencontre les roches gréseuses, change brusquement de direction vers le nord-ouest pour recevoir l'oued Mori sur sa rive gauche, puis reprend sa direction vers le sud-est (**Ben Jama., 2000**).

L'oued Chmoura est le résultat de la confluence de deux affluents : L'oued Ribois et l'oued Soltz qui drainent respectivement une superficie de 280,5 et 189,5 km² et dont la confluence aboutit à l'oued Chamoura qui reçoit sur sa rive gauche les vallées du Tguidai et de l'Amzragon. Sur une trentaine de kilomètres, l'oued Chamoura se jette dans les lacs salés des hautes plaines de Constantine, à savoir SbkhaJandali, QaraAnk Djamel et Qara El Tarif (**Ben Jama., 2000**).

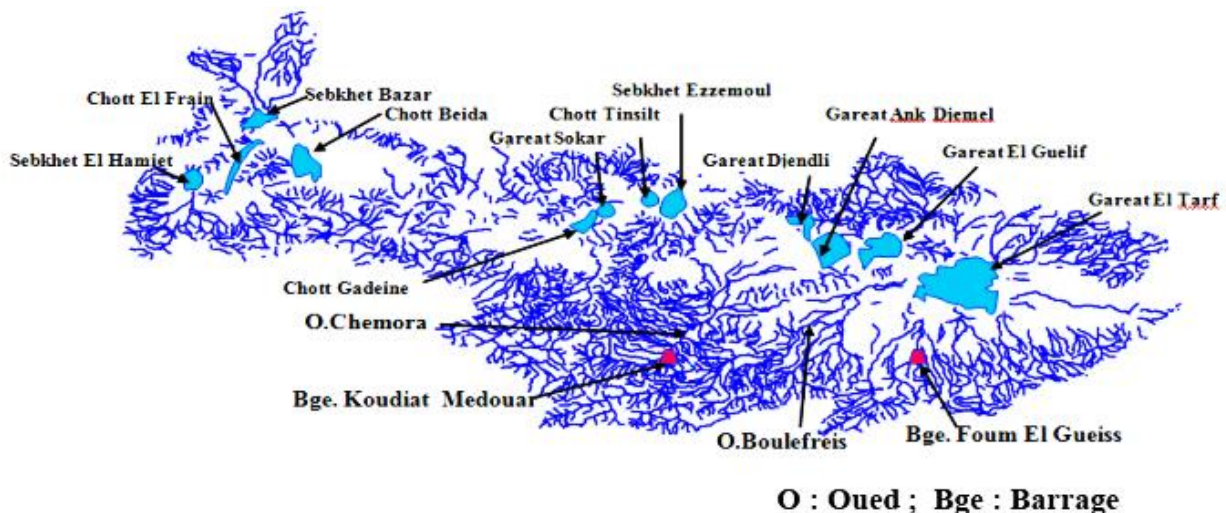


Figure 8 : Réseau hydrographique du bassin des Hauts Plateaux Constantinois (**Abdeddaim.h., 2018**).

Tableau 2 : Caractéristiques morpho métriques et hydrographiques des sous bassins du Hauts Plateaux Constantinois (Djouidi .A et Zerrouki.A., 2019).

N-BV	N-Sbv	Oued	S ⁽¹⁾	P ⁽²⁾	L _{ch} ⁽³⁾	K ⁽⁴⁾	L _{re} ⁽⁵⁾	l _{re} ⁽⁶⁾	Dd ⁽⁷⁾	H _{min} ⁽⁸⁾	H _{max} ⁽⁹⁾	H _{moy} ⁽¹⁰⁾
07	701	Chott beida	1601	242.7	835.7	1.70	106.3	15.1	0.52	900	1700	1300
07	702	Merdjazana	1033.3	170.1	571.4	1.48	70.4	14.7	0.55	825	1650	1237.5
07	703	Sebkhetzmoul	1554	255.1	1077.2	1.81	113.9	13.6	0.69	0	2050	1025
07	704	O.chemorah	765.5	145.1	793.3	1.47	59.8	12.8	1.04	900	2300	1600
07	705	Garat annkdjamel	1244.0	202.2	817.0	1.61	86.8	14.3	0.66	825	1650	1237.5
07	706	O.boulefrais	954.1	161.0	807.0	1.46	66.1	14.4	0.85	850	2300	1575
07	707	Garet el tarf	2429.0	258.9	1408.7	1.47	106.7	22.8	0.58	850	2150	1500

N_Bv : Numéro du bassin versant (*Selon l'ANRH*) ; N_Sbv : Numéro du sous bassin ; S : superficie du sousbassin en km² ; Périmètre du sous bassin en km ; K : Indice de compacité de GRAVELIUS ; L_{re} : Longueur d'rectangle équivalent en km ; l_{re} : Largeur du rectangle équivalent en km ; Dd : densité de drainage en km/km²; H_{min} : altitude minima en m ; H_{max} : altitude maxima en m ; H_{moy} : altitude moyenne en m.

(1) : Superficie du sous bassin. (2) : Périmètre du sous bassin. (3) : L_{ch} : Longueur totale chevelu hydrographique en km. (4) : Indice de compacité de GRAVELIUS qui est défini comme le rapport du périmètre stylisé du bassin au périmètre d'un cercle ayant la même surface : $K = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} \cong 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}}$

(5) : Longueur du rectangle équivalent en m : $L_{re} = \frac{\sqrt{S} \cdot k}{0.128} \left[1 + \sqrt{\left(\frac{1.128}{K} \right)^2} \right]$

(6) : Largeur du rectangle équivalent en m : $l_{re} = \frac{\sqrt{S} \cdot k}{0.128} \left[1 - \sqrt{\left(\frac{1.128}{K} \right)^2} \right]$

(7) : Densité de drainage : **Dd = L_{ch} / S en (km/km²)**

(8) : Altitude minimale en m

(9) : Altitude maximale en m

(10): (Altitude moyenne en m : $H_{moy} = \sum \frac{hi \cdot si}{S}$; avec si, aire comprise entre deux courbes de niveau (km²) et hi altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m))

2.8. Aperçu climatique sur la région d'étude

Les facteurs climatiques dans leur ensemble permettent d'expliquer quantitativement l'intensité et la variabilité des composantes du régime hydrologique, dans le temps et dans l'espace, en interaction avec les conditions physico-géographiques du bassin versant.

La combinaison des précipitations et des températures caractérise le rythme climatique à dominance « méditerranéenne » régnant généralement à travers les Hauts Plateaux Constantinois : la saison froide et humide s'oppose à la saison chaude et sèche. Cependant des variations s'observent d'une zone à l'autre.

Les sous bassins versants des Hauts plateaux constantinois sont dans leurs majorités situés dans les étages bioclimatiques semi-arides à arides. Le subaride se limite à une bande étroite du piémont méridional de l'Aurès (figure09) (Djoudi .A et Zerrouki.A., 2019).

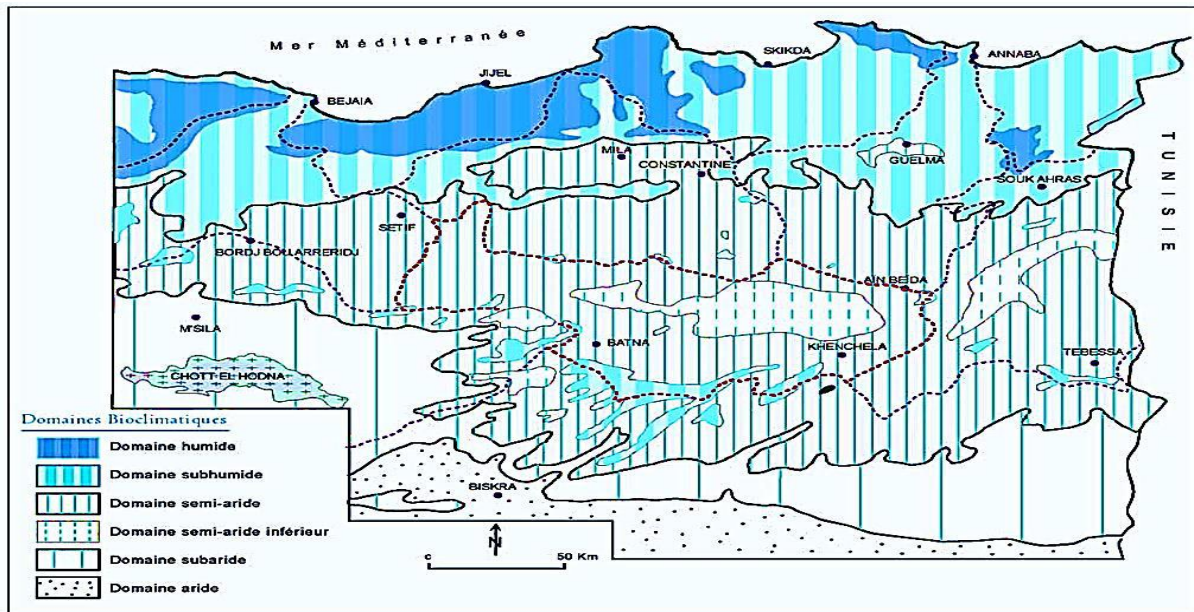


Figure 9 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien

(Établie d'après Côte, 1998 in Mebarki, 2005)

Selon (Mebarki ., 2005), l'ensemble du bassin est nettement cerné dans sa bordure Nord par l'isohyète 500 mm. La pluviométrie décroît vers la bordure Sud (350 mm) avec des creux assez nets (200 à 300mm) dans la zone des lacs salés. En raison de l'effet orographique et l'exposition de son versant Nord, les massifs de l'Atlas Saharien au sud du bassin enregistrent une remontée de la pluviométrie moyenne annuelle vers des valeurs de 400 à 600 mm.

2.9. Le réseau pluviométrique du bassin des Hauts Plateaux Constantinois

Bassin du Haut Plateau de Constantine : est équipé de 24 stations pluviométriques, soit environ une (1) station pour 400 km² , Ces stations sont réparties de manière hétérogène. Le réseau est dense, notamment surtout dans la région des Auras, zone montagneuse qui reçoit l'essentiel des précipitations.

En revanche, la densité du réseau est plus faible dans les zones des hauts plateaux et le secteur des lacs salés. Pour les besoins de l'étude, nous avons utilisé Sept (7) stations pluviométriques situées dans les sous bassins formant le BV 07.

La figure 10 indiquent la position géographique des 41 postes pluviométriques de ANRH, qui couvrent le BV07, ainsi que celles sélectionnées pour l'étude (tableau 03).

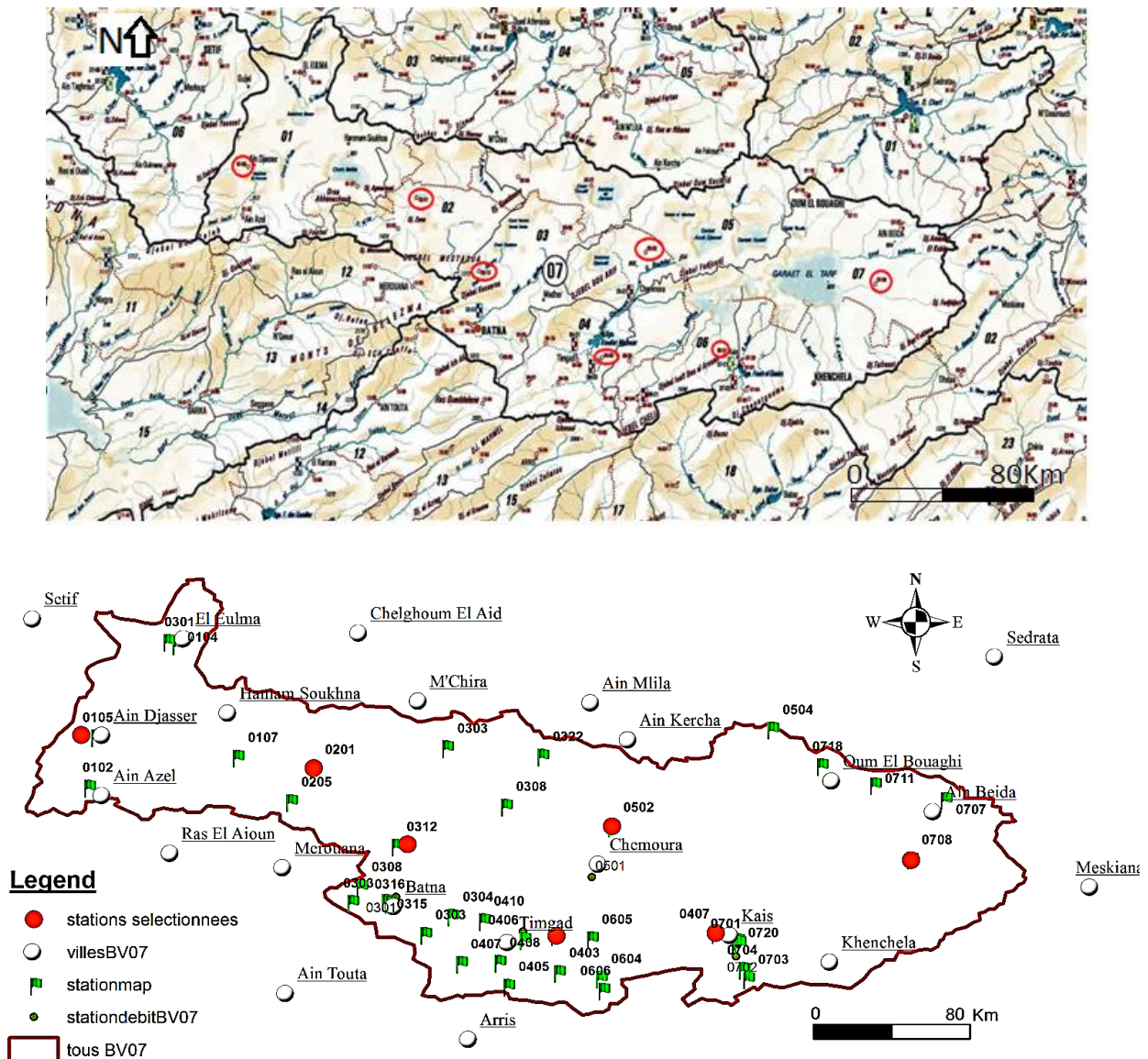


Figure 10 : Situation des stations climatiques et hydrométriques du bassin versant 07.

3. Description climatique du site d'étude

Un aperçu climatique est dressé en se basant sur les différents paramètres climatiques tels que : la température, la précipitation, l'évapotranspiration ETP, le vent. Les données sont téléchargées du site : [Formatted Downloads \(northwestknowledge.net\)](http://northwestknowledge.net). Les données recueillies concernent sept stations sélectionnées, selon une certaine distribution géographique, de façon à avoir une station par sous-bassins versant. La série s'étale sur 66 ans, de 1958 à 2023.

Les stations sélectionnées sont : **070105, 070201, 070312, 070403, 070502, 070607, 070708.**

3.1. Température

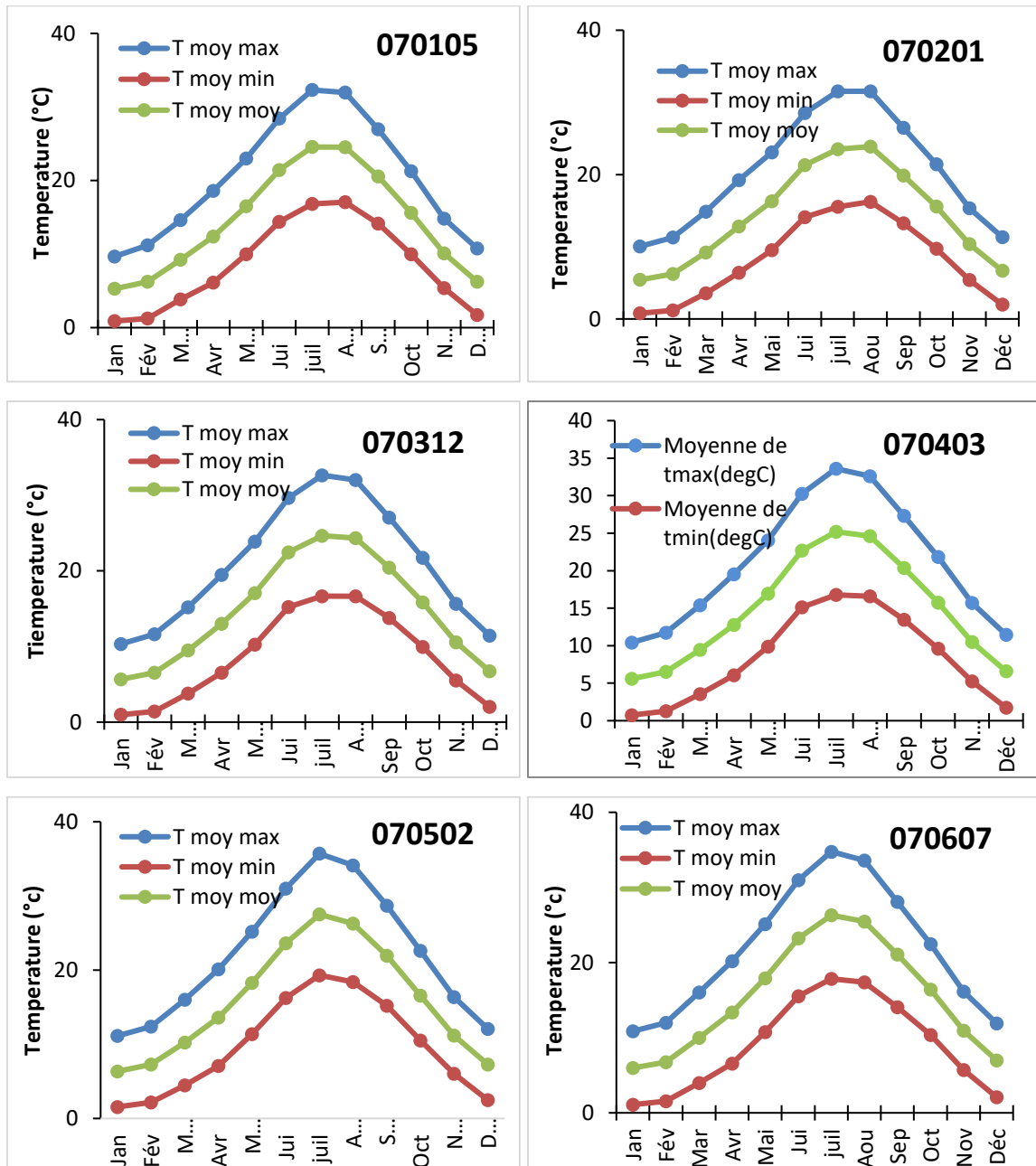
La température est l'un des indicateurs climatiques les plus importants dans toutes les études du climat, dans notre cas la variation de la température dans le BV07, pour la série 1958-2023, est représentée sur des graphes de la valeur moyenne annuelle et la valeur moyenne mensuelle interannuelle, pour les sept stations sélectionnées (Figure 11 et 12).

Tableau 3 : Températures moyennes mensuelles interannuelles, BV07, Série 1958-2023.

Code des Stations	T min	Tmax	Tmoy
070105	0.89	32.30	24.56
070201	0.78	31.54	23.89
070312	0.98	32.64	24.65
070403	0.75	33.60	25.19
070502	1.55	35.71	27.51
070607	1.09	34.76	26.30
070708	1.69	36.22	27.72

3.1.1. Moyenne mensuelle interannuelle

La représentation graphique (figure 11) des valeurs de la température Moyenne mensuelle interannuelle des 7 stations sélectionnées. BV07 (1958-2023), permet d'avoir un aperçu sur son évolution a travers l'année.



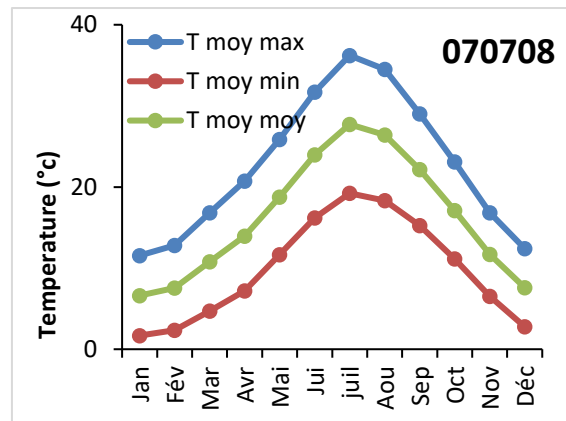


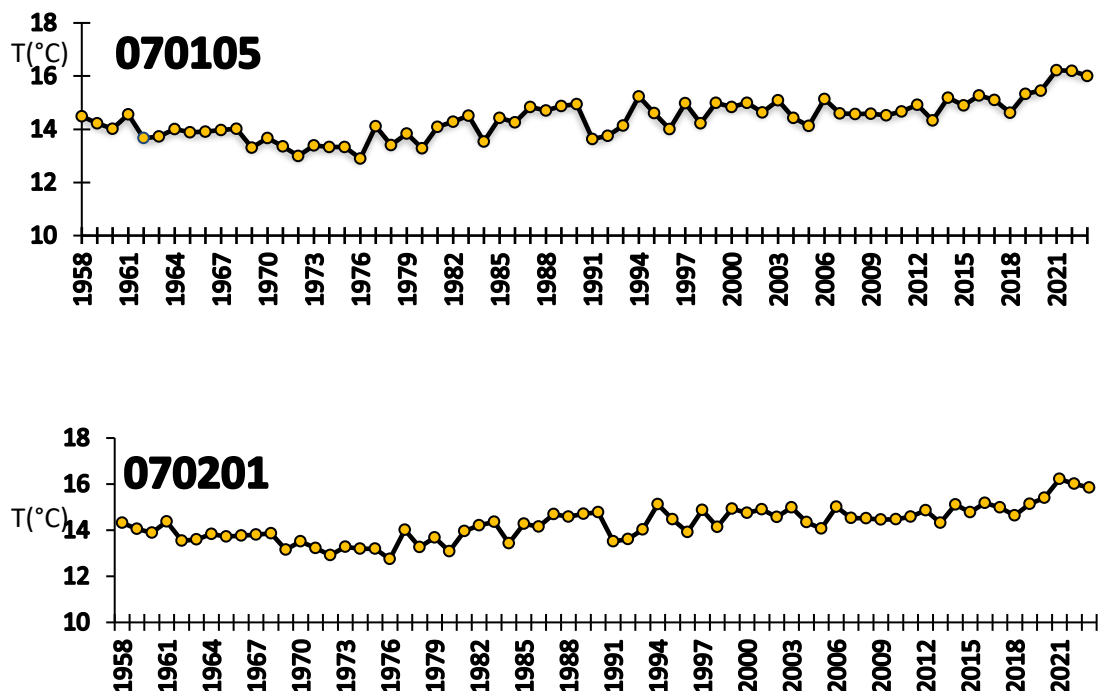
Figure 11 : Variation des Températures maximales, minimales et moyennes mensuelles interannuelles des 7 stations sélectionnées. BV07 (1958-2023)

Les graphes de la figure 11 montrent les températures moyennes mensuelles interannuelles du BV07, ou on remarque que :

- Pour l'ensemble de la série, la valeur la plus élevée est de **27,72°C** en juillet à la station **070708**.
- La valeur la plus basse pour l'ensemble du bassin est de **5,28°C** en janvier à la station **070105**.
- La température moyenne pour l'ensemble du bassin 07 est de **14,36°C**.

3.1.2. Températures Moyennes annuelles

Les données de la température moyenne annuelle des sept stations sélectionnées, du BV07 pour la période de 65 ans sont représentées sur les graphes suivants (figure 12) :



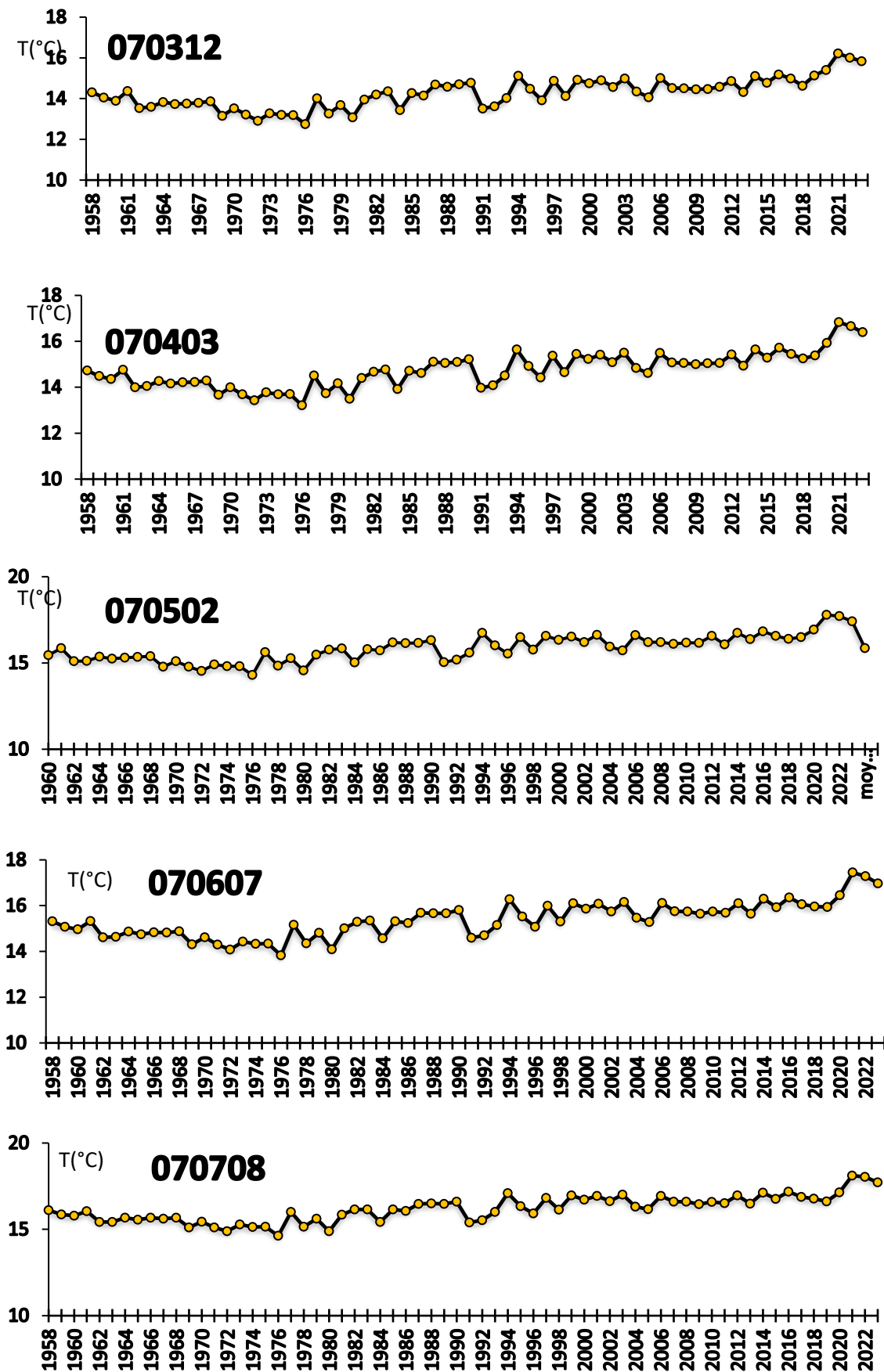


Figure 12 : Moyennes annuelles des températures pour la période (1958-2023)

Les graphiques de la figure 12 montrent les températures annuelles moyennes subies par le BV07 :

- Pour l'ensemble de la série 1958-2023, la température la plus élevée est **17.79 °C**, à 2021 à la station 070502
- La valeur minimale pour le bassin 07 est **12.75 °C**, en 1976, enregistrée à la station 070201
- La température moyenne annuelle pour l'ensemble du bassin 07 est de **14.74°C**.

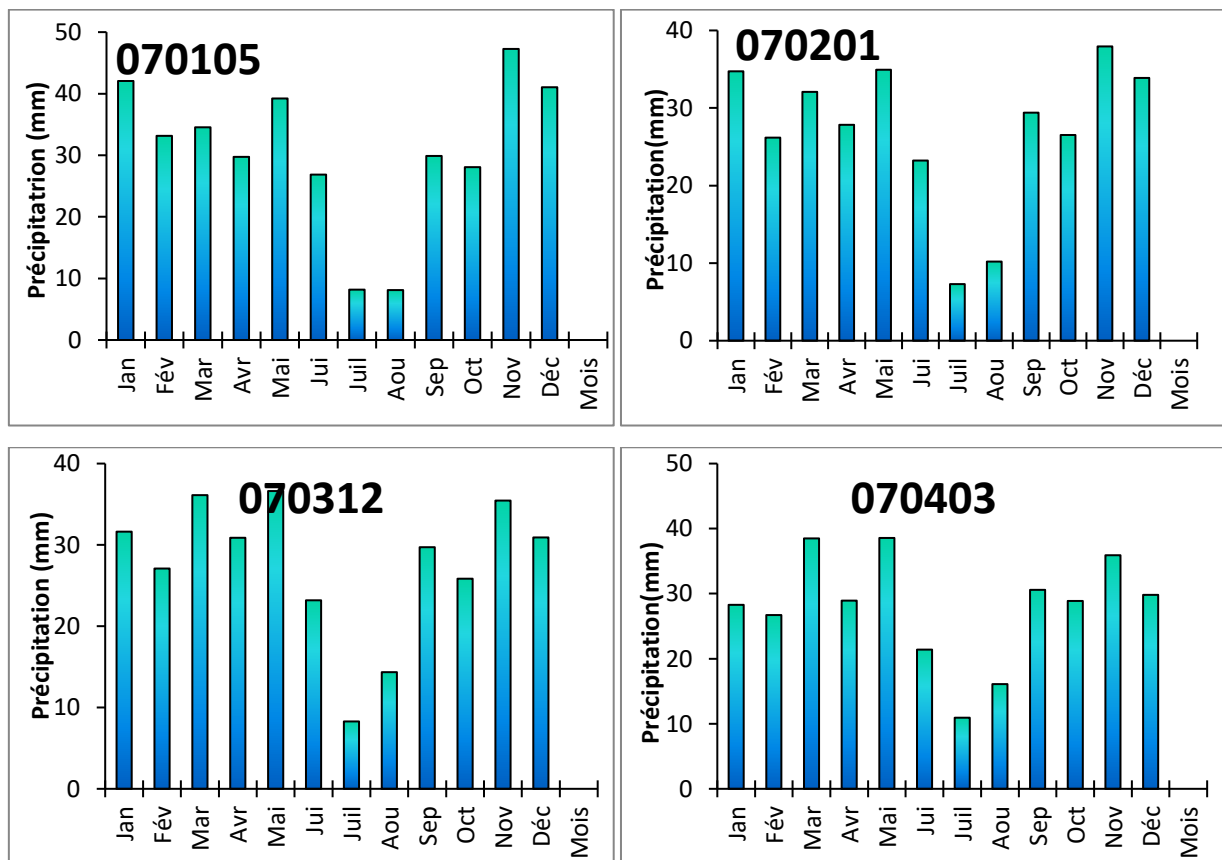
3.2. Précipitation

Généralement, nous englobons sous le terme de « précipitations », toutes les eaux qui tombent à la surface de la terre sous forme liquide ou solide. Les précipitations nous renseignent sur les quantités d'eau utile au renouvellement de réserves, elles sont évidemment le facteur essentiel des régimes hydrologiques puisqu'elles constituent la matière première des débits.

Dans notre cas la variation de la précipitation dans le BV07, pour la série 1958-2023, est représentée sur des graphes de la valeur moyenne annuelle et la valeur moyenne mensuelle interannuelle, pour les sept stations sélectionnées (Figure 13 et 14).

3.2.1. Précipitation Moyennes mensuelles interannuelles :

Les précipitations moyennes mensuelles des sept stations sélectionnées sont représentées sur les graphes de la figure 13.



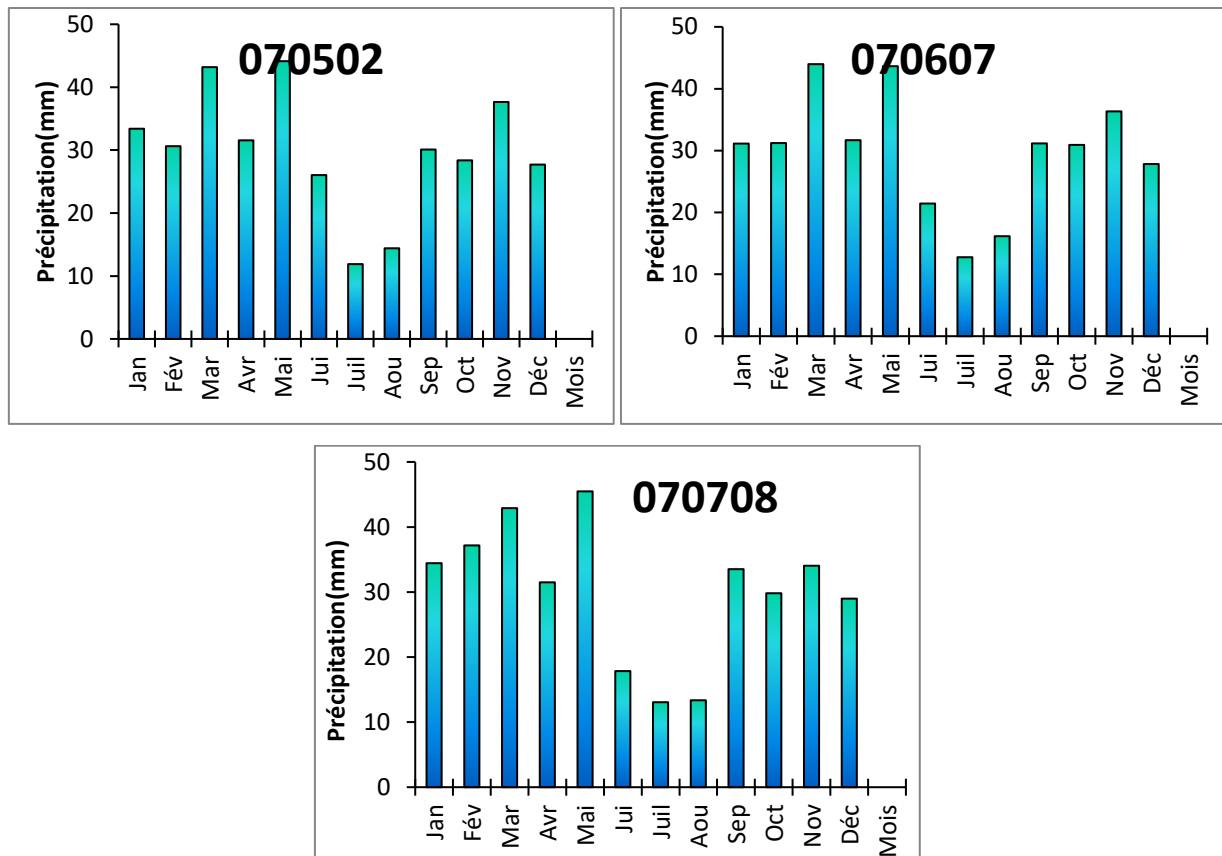


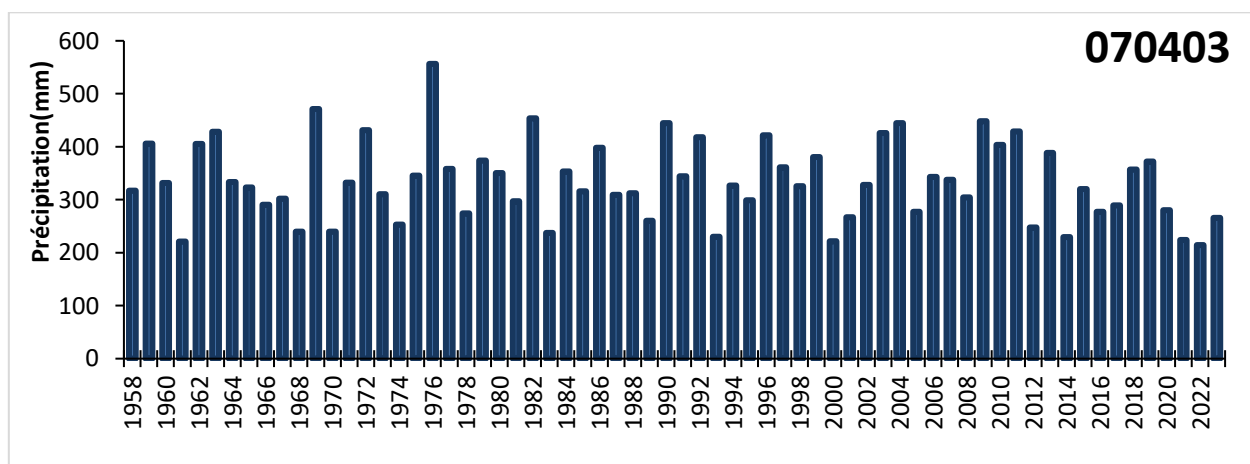
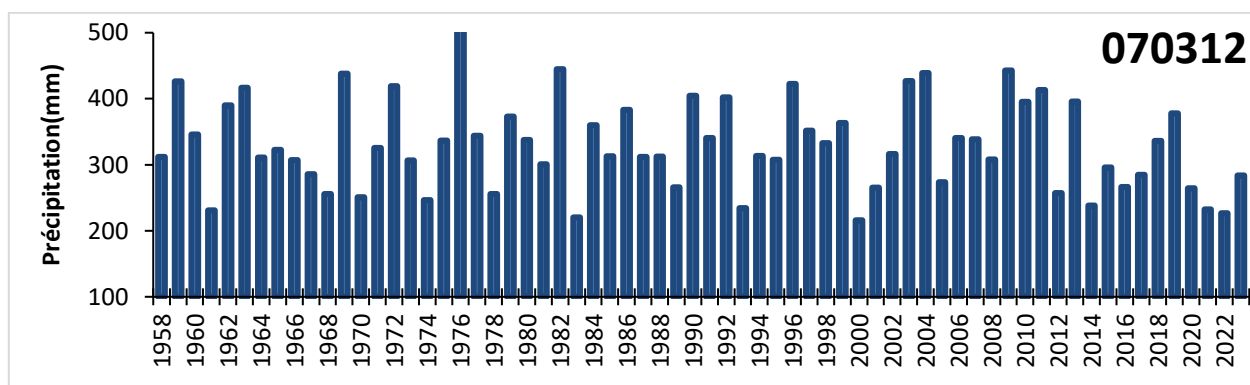
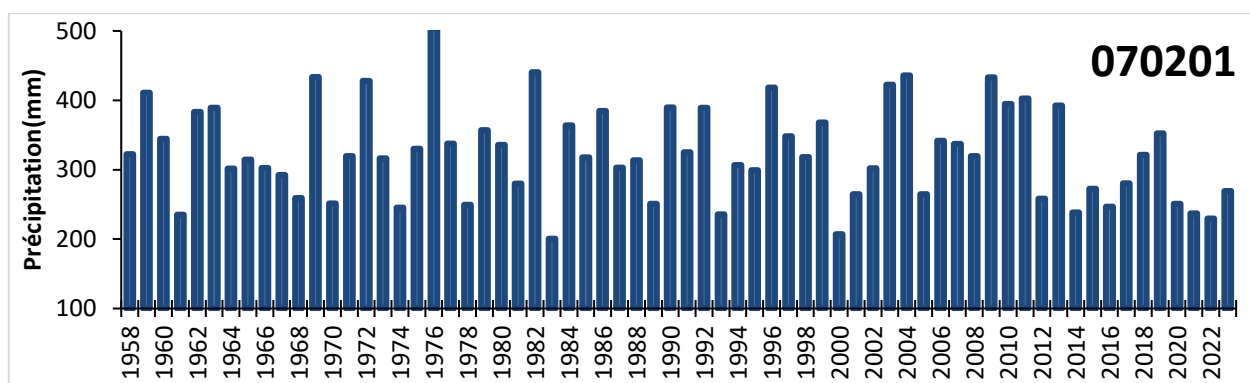
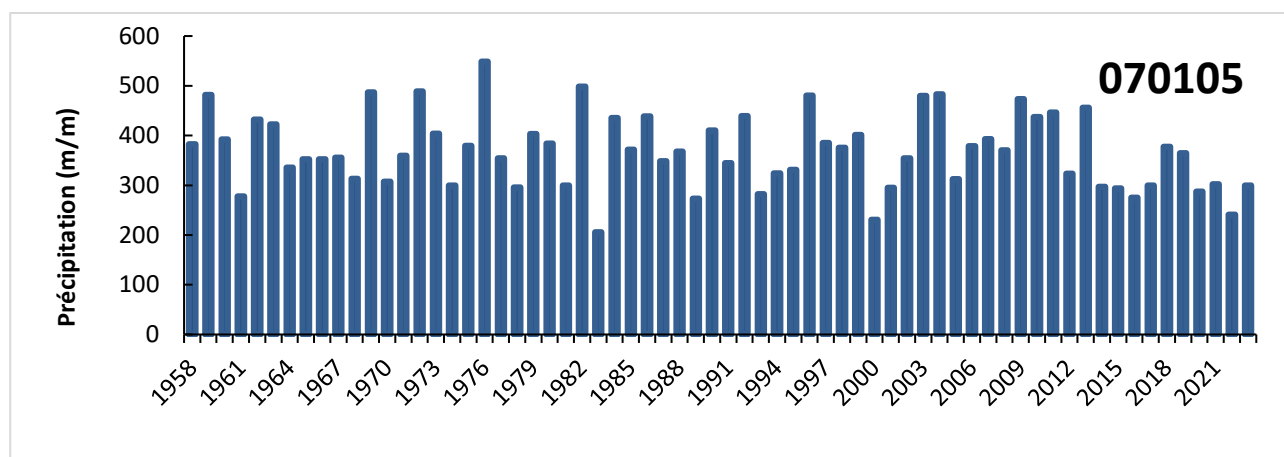
Figure 13 : Précipitations moyennes mensuelle des stations sélectionnées du BV07 pour la période de 1958 – 2023.

Les graphiques de la figure 13 montrent les précipitations mensuelles moyennes pour les stations sélectionnées :

- Pour l'ensemble de la série 1958-2023, la valeur la plus élevée est de **47,27 mm** en novembre à la station 070105.
- La valeur la plus faible pour le bassin 07 est de **7,30 mm** au mois de juillet à la station 070201.
- Les précipitations mensuelles moyennes pour les stations sélectionnées dans le bassin 07 sont les suivantes : **27.02 mm**.

3.2.2. Précipitations annuelles :

Les Précipitations annuelles des stations sélectionnées Pour toute la série 1958-2023 sont représentées graphiquement sur la figure 14.



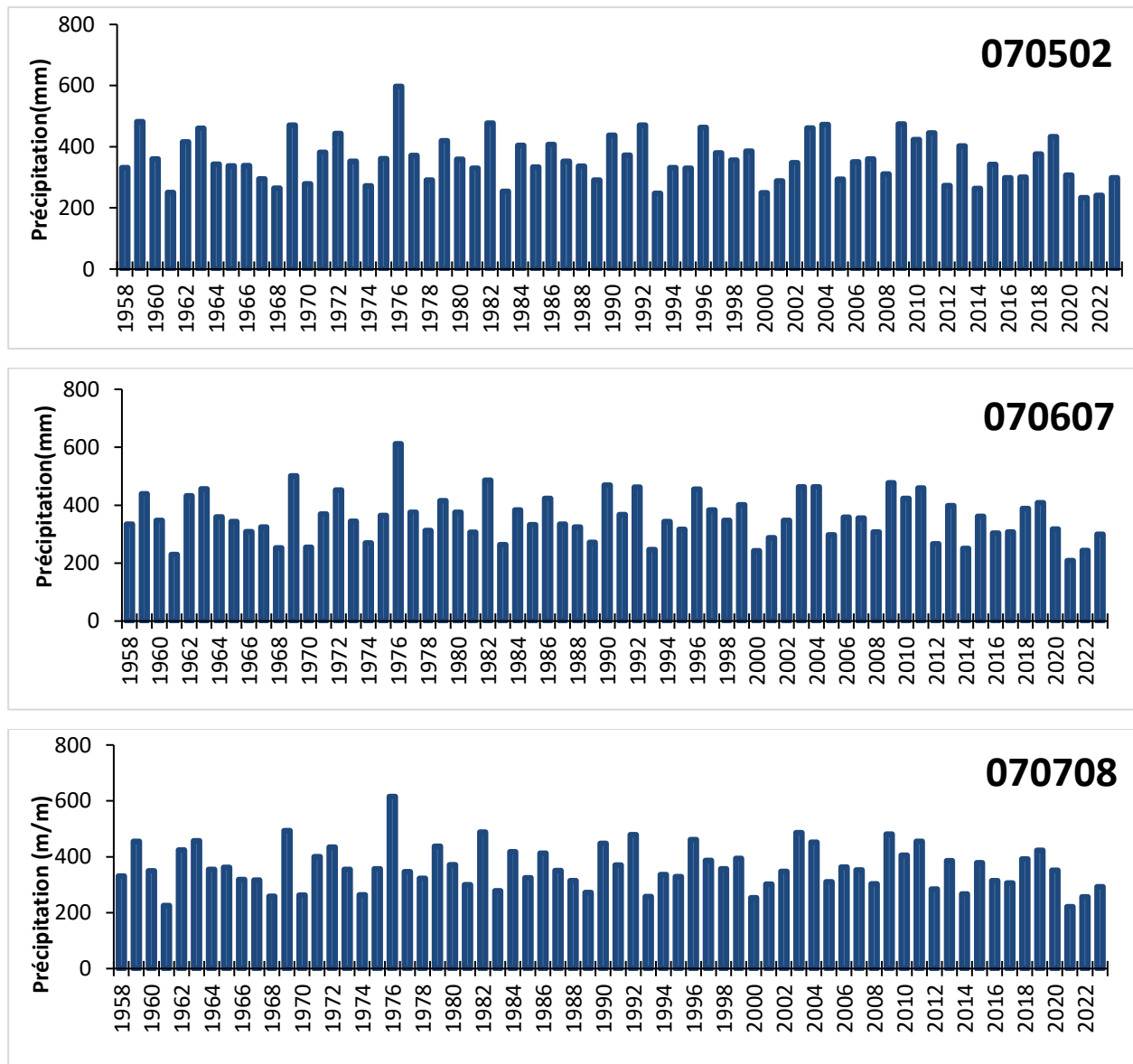


Figure 14 : Moyennes annuelles des précipitations de BV07 pour la période (1958-2023)

Les graphes de la figure 14 montrent les Moyennes annuelles des précipitations du BV07, ou on observe que :

- La valeur la plus élevée, pour toute la série est de **615.8mm**, en 1976 à la station de 070708
- La valeur minimale de la précipitation du BV07 est de **200.7mm**, en 1983, enregistrée à la station de 070201
- La valeur moyenne de la précipitation de tous les bassins 07 est de **368.17mm**.

3.3. Vents

Le vent est le résultat de la différence de pression entre deux zones voisines. Il provoque le déplacement d'air et transporte ainsi les caractères climatiques. Les valeurs moyennes mensuelles interannuelles et annuelles des vitesses du vent (en mètre/seconde) sur le BV 07, des stations sélectionnées, pour la période de 1958 -2023 sont représentées sur les graphes des figures 15 et 16.

3.3.1. Les vitesses Moyennes mensuelles interannuelles du vent

Les valeurs moyennes mensuelles interannuelles du vent 3.22m/s.

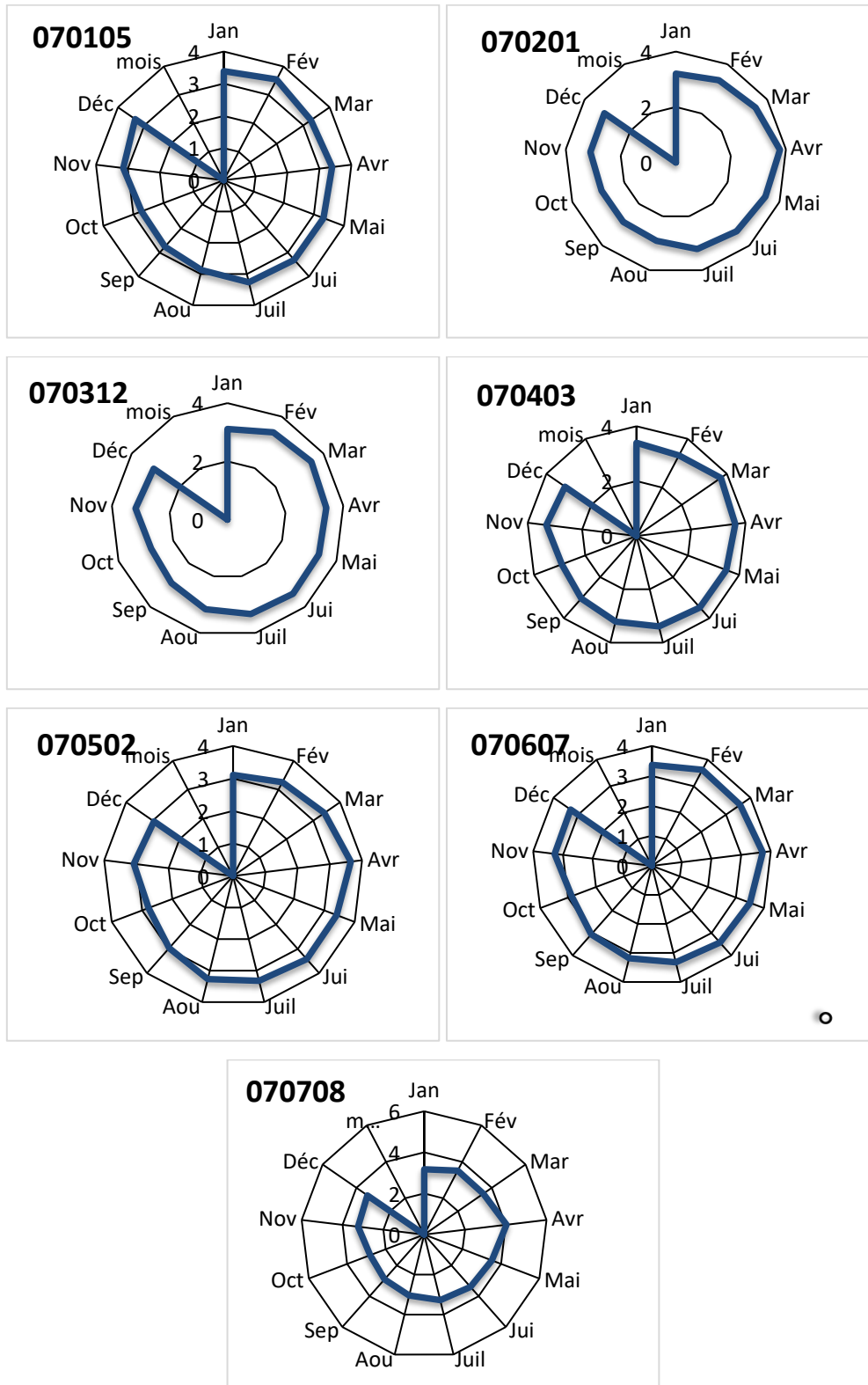


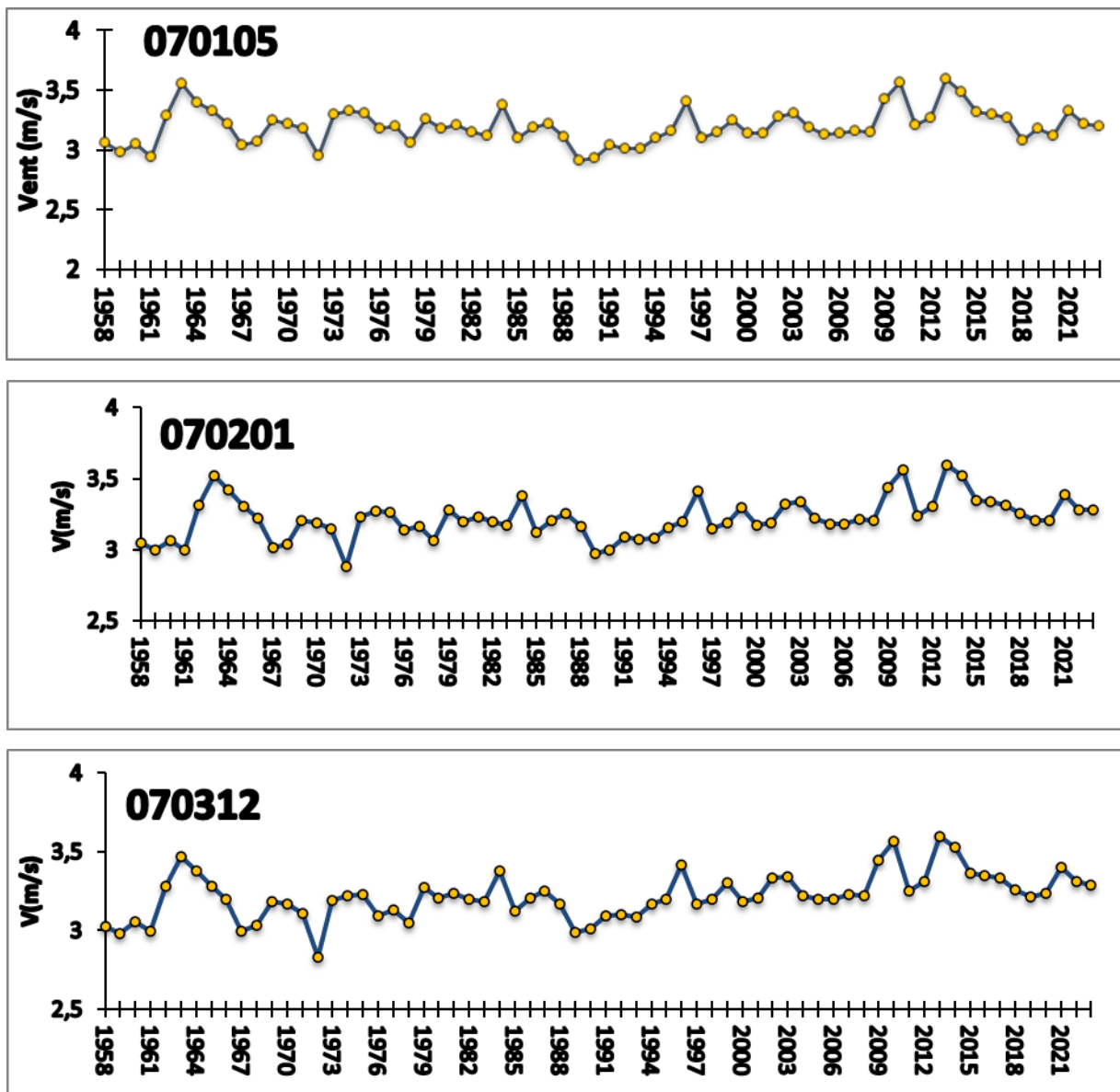
Figure 15 : Les vitesses moyennes mensuelles interannuelles des vents (m/s), aux stations sélectionnées, pour la période de 1958– 2023.

Les graphes de la figure 15 montrent les Moyennes mensuelles interannuelles des vents (m/s) du BV07, ou on note que :

- La valeur la plus élevée, pour toute la série est de **4.04 m/s**, au mois d'avril à la station de 070708.
- La valeur minimale du vent du BV07 est de **2.73 m/s**, au mois d'octobre, enregistrée à la station de 070105.
- La valeur moyenne du vent (m/s) de tous les bassins 07 est de **3.22 m/s**.

3.3.2. Les valeurs Moyennes annuelles de la vitesse du vent

Les valeurs moyennes annuelles des vents des vents (m/s), aux stations sélectionnées, pour la période de 1958– 2023, sont représentées dans la figure 16.



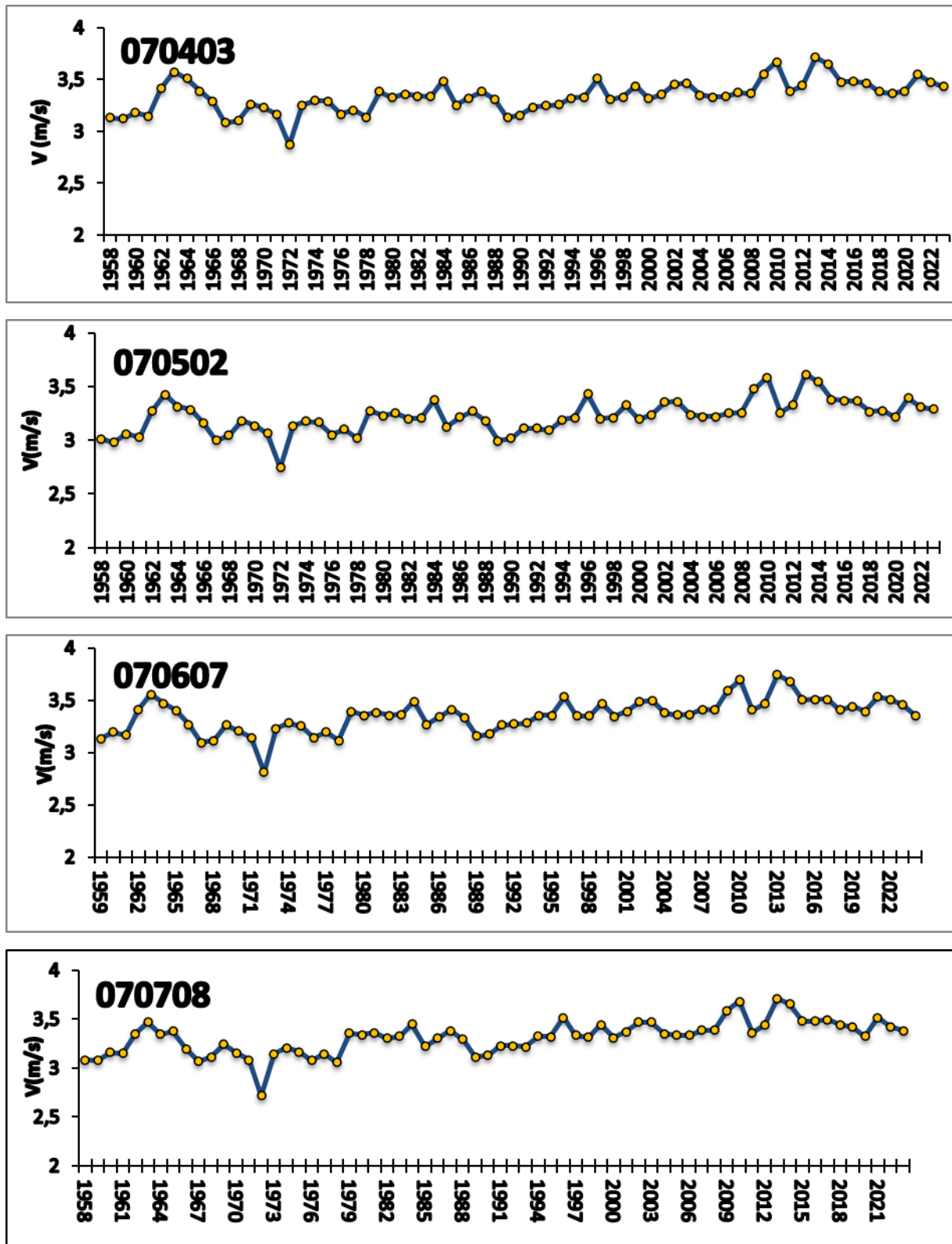


Figure 16 : Diagramme Moyennes annuelles de la vitesse du vent (m/s) pour la période (1958-2023).

La représentation graphique de la figure 16 montrent les Moyennes annuelles des vents (m/s) du BV07, pour la période (1958-2023) ou on observe que :

- La valeur la plus élevée, pour toute la série est de **3.75 m/s**, en 2013 à la station de 070607

- La valeur minimale du vent du BV07 est de **2.72 m/s**, en 1972, enregistrée à la station de 070708
- La valeur moyenne annuelle du vent (m/s) de tous les bassins 07 est de **3.22 m/s**.

4. Cartographie des différents paramètres climatiques

Les deux principaux paramètres climatiques étudiés sont la précipitation et la température, pour mettre en évidence leur variation spatio-temporelle, une représentation cartographique est adoptée, en utilisant l'outil ArcMap 10.8. Les stations et les données utilisées sont présentées dans le (tableau 4)

Tableau 4 : Récapitulatif des valeurs températures et précipitation moyennes annuelles, du BV07, série 1958 – 2023.

Station sélectionnées	T moy annuelle	P moy annuelle
070105	14.38	338.17
070201	14.27	324.20
070312	14.74	330.07
070403	14.75	334.62
070502	15.85	359.08
070607	15.37	358.26
070708	16.19	362.11

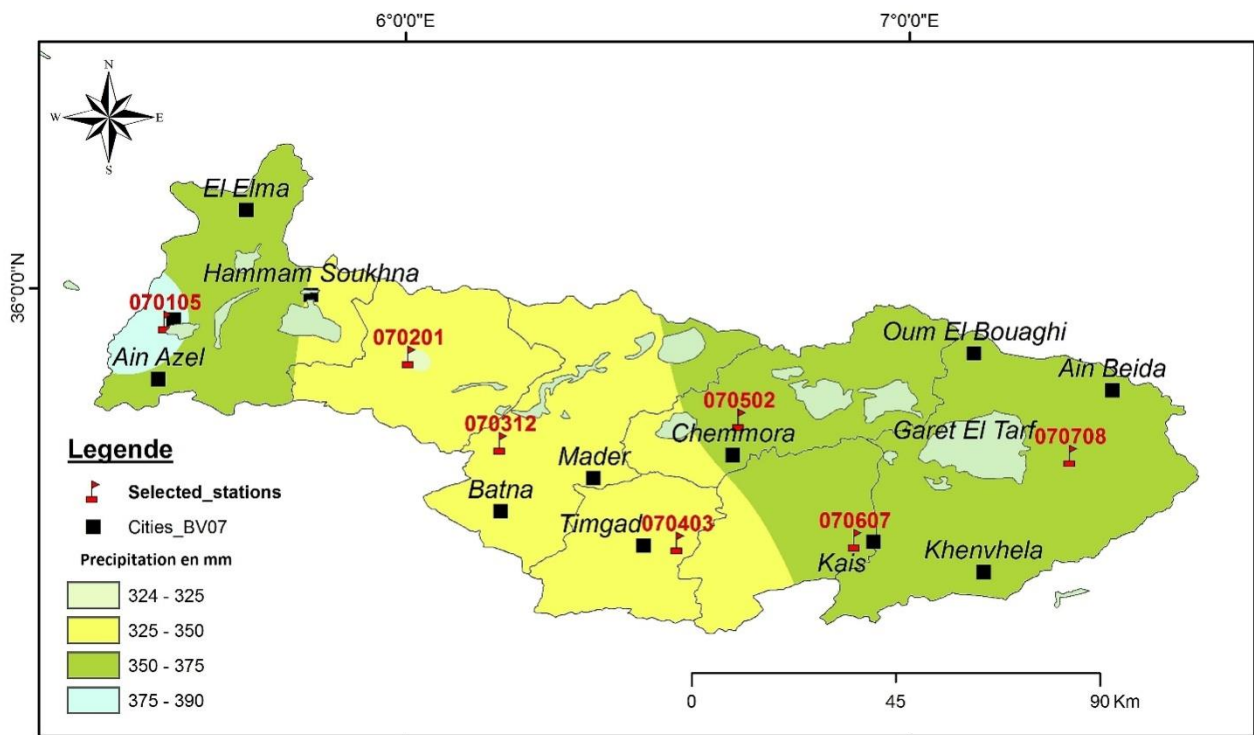


Figure 17 : Carte des précipitations moyennes annuelles du BV 07, série de 1958 à 2023.

L'utilisation des données des précipitations moyennes annuelles des sept stations sélectionnées du BV 07, série de 1958 à 2023, pour tracer la carte de leur répartition spatiale (Figure 17), permet de voir que la précipitation varie de 324 mm à 390 mm. Les valeurs de 325 à 350 mm sont situées au milieu du bassin, tandis que les valeurs de 350 à 375 sont localisées à l'est et à l'ouest.

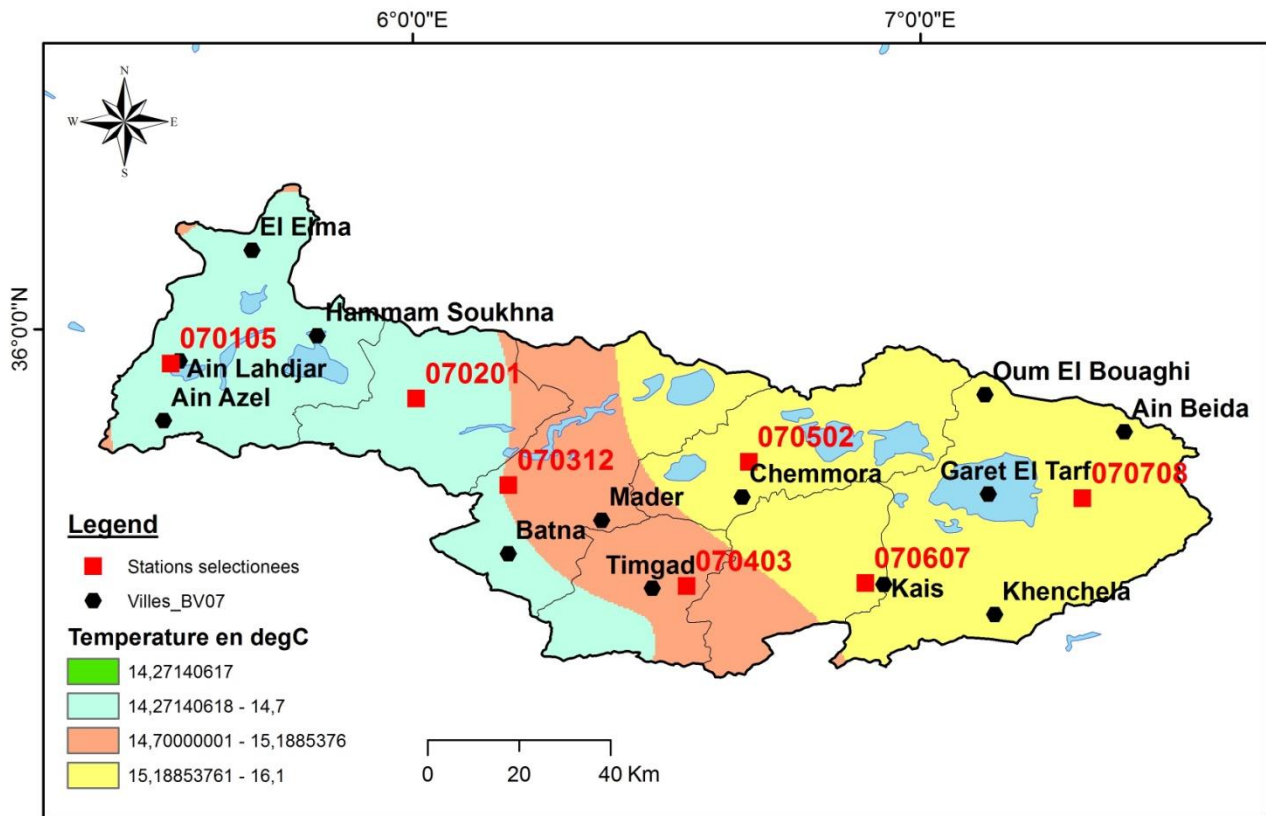


Figure 18 : Carte des températures moyennes annuelles du BV 07, série de 1958 à 2023.

La carte des températures moyennes annuelles du BV 07, série de 1958 à 2023, permet d'observer la répartition spatiale de ses valeurs. Elles varient entre 14,2 et 16,1 °C, distribuées suivant une pente décroissante de l'ouest vers l'est.

4.1. L'évapotranspiration

A. Formule de TURC :

Sur la base des bilans hydrologiques observés sur 254 bassins versants Situés sous différents climats, et sur la base d'expériences au lys kilomètre, L. TURC (1961) considère que les principaux éléments qui régissent l'ETP sont essentiellement :

La température, la radiation solaire, les précipitations, et la réserve en eau du sol.

TURC distingue entre l'ETR et l'ETP aux pas de temps différents (journaliers, décadaires, mensuels, et annuels) ; En ce sens, il a suggéré pour chaque durée, la formule convenable ; Les plus simples étant celles qui concernent le pas mensuel calculé par :

- Si l'humidité relative (hr) est supérieure ou égale 50%, l'ETP selon TURC s'exprime par la formule suivante :

$$ETP = 0,40 \cdot \frac{t}{t+15} \cdot (I_g + 50)$$

- ETP : Evapotranspiration potentielle en mm/ mois.
- I_g : Moyenne mensuelle de la radiation solaire globale, exprimé en cal/cm²/jours, qui s'exprime par la formule suivante :

$$I_g = I_{ga} [0.18 + 0.62 \frac{h}{H}]$$

- I_{ga} : Le rayonnement global à la limite de l'atmosphère pour le mois considéré, qui dépend de latitude ; Il est obtenu à partir de tables.
- h : Durée moyenne d'insolation en heures.
- H : Durée astronomique du jour en heures, elle dépend de la latitude, et s'obtient à partir de tables.
- t : Moyenne mensuelle de la température mesurée sous abri en $^{\circ}\text{C}$.
- Si l'humidité relative (hr) est inférieure à 50%, le résultat obtenu par la précédente formule doit être multiplié par le facteur correctif

$$[1 + \frac{50 - hr}{70}]$$

Et l'estimation annuelle de l'ETP et l'ETR ; Ces dernières donnent une idée générale sur l'évapotranspiration pour de grandes surfaces (**Bella N., 2005**).

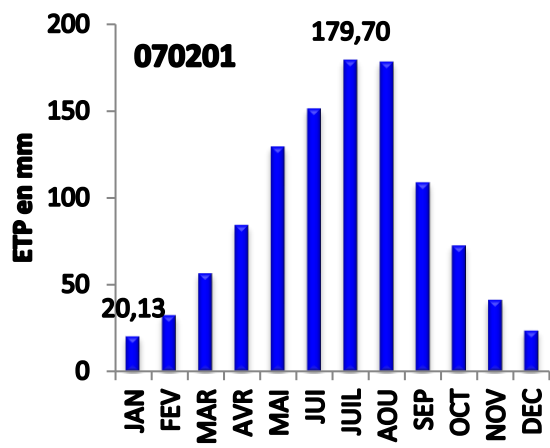
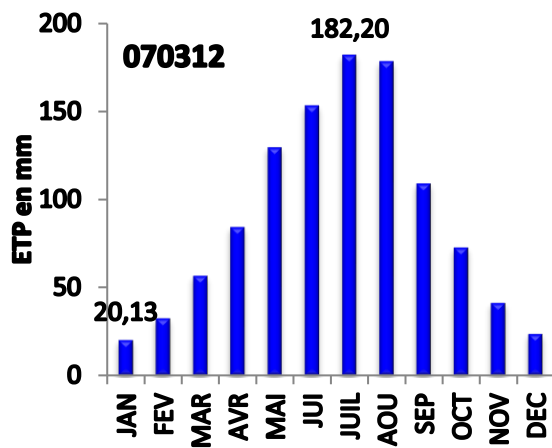
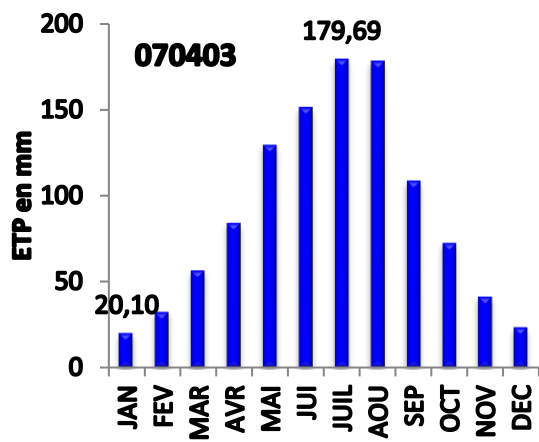
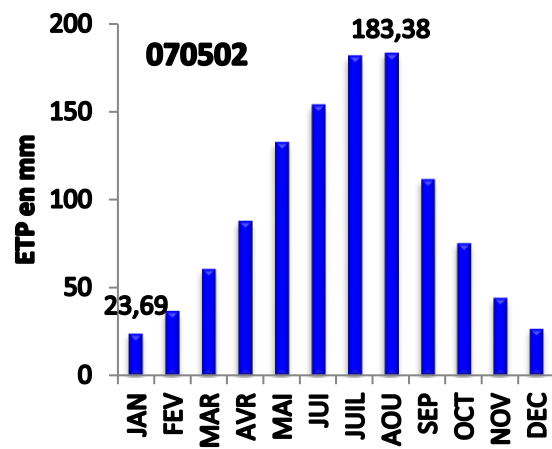
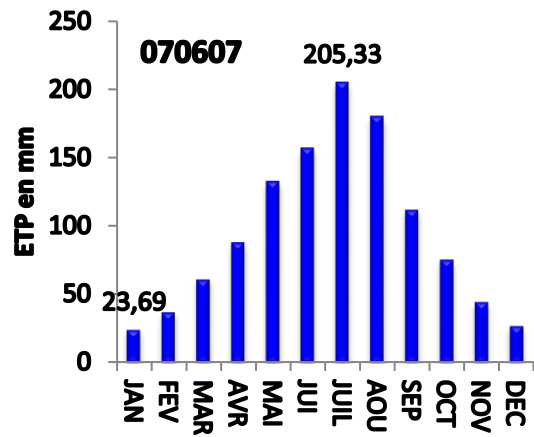
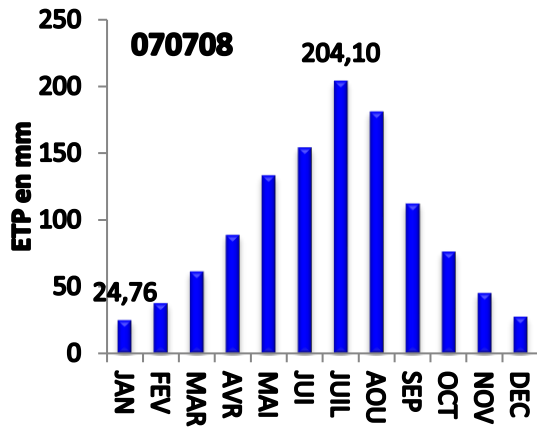
L'application du calcul de l'évapotranspiration mensuelle interannuelle par la formule de Turc du BV07, pour la période (1958-2023) est représentée sur la Figure 19.

Tableau 5 : Récapitulatif des valeurs températures et précipitation moyennes annuelles, du BV07, série 1958 – 2023.

Station sélectionnées	ETP min	ETP moy	ETP max
070105	24.29	95.52	165.82
070203	20.13	95.11	179.70
070312	20.13	93.17	182.20
070403	20.10	89.94	179.60
070502	23.69	90.30	183.38
070607	23.69	89.95	205.33
070708	24.76	90.05	204.10

La figure 19 et le tableau 5 permettent d'observer que :

- L'ETP mensuelle interannuelle du BV07 varie de **1958** à **2023**.
- La valeur maximale de L'ETP est de **205.33** est obtenue pour la station **070607**.
- La valeur minimale est de **20.10** est calculée pour la station de **070403**.



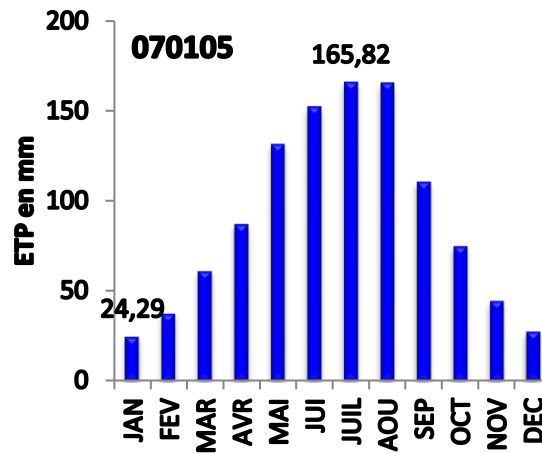
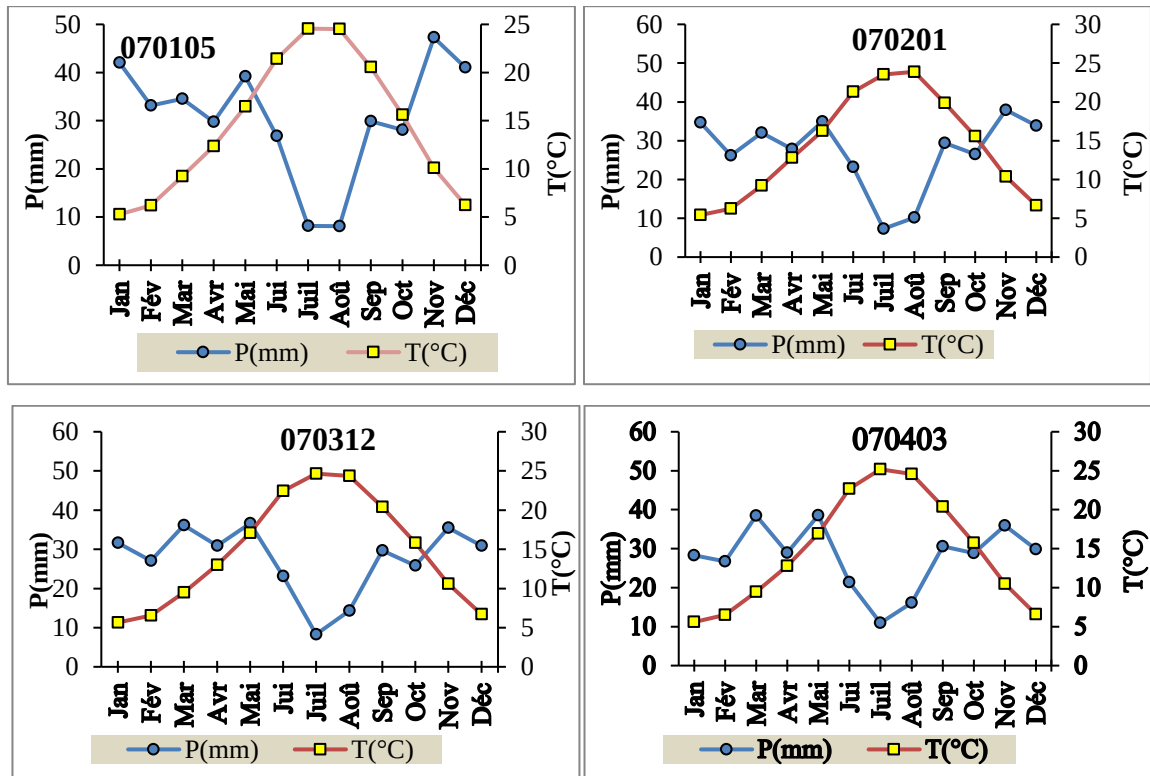


Figure 19 : Graphe de l'évapotranspiration Moyenne annuelle par la formule de Turc du BV07, pour la période (1958-2023).

B. Diagramme pluviométrique :

BAGNOULS et GAUSSEN ont décrit un mois sec comme celui où le total moyen des précipitations est inférieur ou égal au double de la température moyenne ($P \leq 2T$). Pour cela, un diagramme est construit sur lequel on porte les températures à une échelle double de celle des précipitations et on établit mois par mois les deux courbes. La courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations pendant les mois secs.

Les diagrammes pluviométriques des stations sélectionnées du BV 07, pour Moyenne mensuelle interannuelle, de la série 1958 – 2023, confirment : une période sèche du 15 Maiau 1^{er} Octobre, et le reste (sept mois et demi) de l'année la période humide.



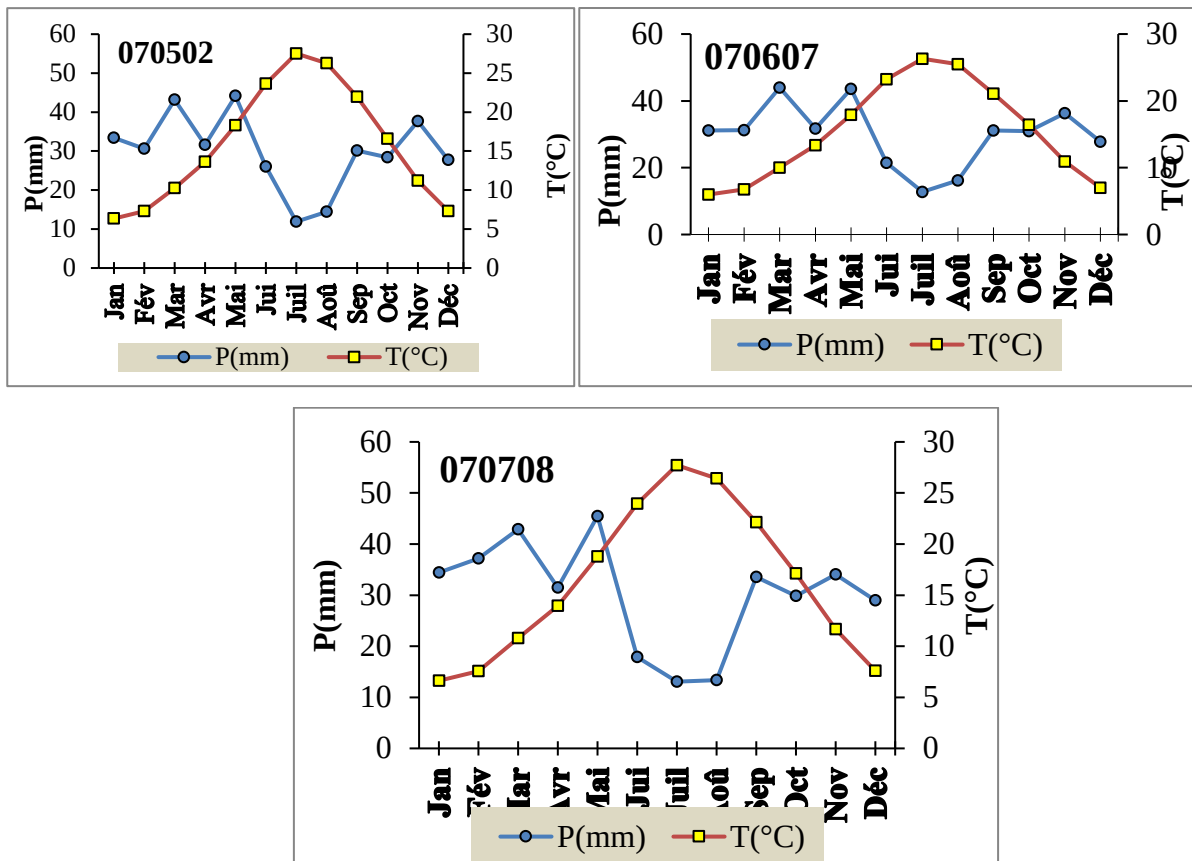


Figure 20 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen des stations sélectionnées du BV 07 (série 1958-2023)

5. Conclusion

La caractérisation physique du bassin versant des hauts plateaux constantinois, BV07, décrit une superficie totale de 9 578Km², subdivisée en sept sous bassins versant.

L'aperçu climatique, nous a permis de déterminer les principales caractéristiques climatologiques de la zone d'étude. Un climat de type semi-aride à l'est et aride à l'ouest, a été mis en évidence. Au niveau des stations sélectionnées du BV07, pour la série 1958/2023, les valeurs moyennes annuelles des précipitations et de température sont respectivement de l'ordre de **368.17 mm** et **36.22°C**.

Dans les conditions climatiques de la zone d'étude, l'évapotranspiration (ETP) constitue un facteur important de perte évalué, en termes de moyenne annuelle, à **368.25 mm**, en fonction de l'équation de Turc.

Les diagrammes pluviométriques des stations sélectionnées du BV 07, pour les moyennes mensuelles interannuelles, de la série 1958 – 2023, affirment une période sèche sept mois et demie de l'année.



CHAPITRE 04

**Chapitre 4 : Application de méthodes statistiques sur le site du
bassin versant 07**

1. Introduction

Les études de la variabilité climatique à l'échelle des bassins versant sont évalué les impacts de facteurs climatiques tels que les précipitations, la température et l'évapotranspiration sur l'hydrologie, la qualité de l'eau et la santé du bassin versant. Ces études utilisent des modèles avancés, des analyses statistiques et des techniques de télédétection pour évaluer les tendances, la variabilité et les projections futures des principales variables climatiques au sein des bassins versants. Les résultats soulignent l'importance de comprendre les tendances à long terme, les variations spatiales et les implications des scénarios de changement climatique sur la gestion des ressources en eau et la santé des bassins versants. En intégrant des données provenant de sources multiples et en utilisant des méthodologies sophistiquées, les chercheurs peuvent améliorer notre compréhension de la dynamique complexe de la variabilité climatique au niveau des bassins versants, ce qui facilite la prise de décisions éclairées pour les stratégies de gestion durable des bassins versants.

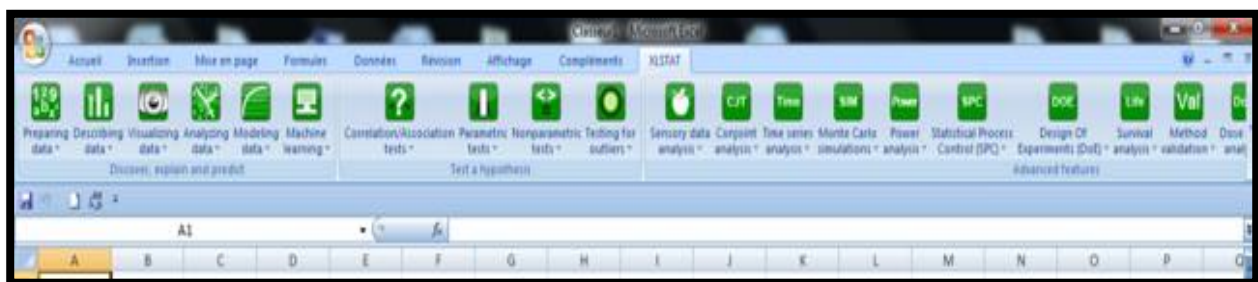
Dans notre travail nous avons sélectionnés quelques méthodes pour la caractérisation et la mise en évidence de la variation et la tendance climatique au niveau du bassin versant 07, à travers l'analyse des séries climatiques de la précipitation et la température de la période 1958-2023.

Logiciel utilisé dans l'étude :

XLSTAT : Est un logiciel dont le fonctionnement s'appuie sur Microsoft Excel pour la saisie des données et la publication des résultats. En revanche, les calculs sont entièrement réalisés dans des programmes autonomes. L'utilisation d'Excel comme interface rend le produit très convivial, simple d'utilisation et efficace. La qualité des calculs est quant à elle identique à celle des logiciels scientifiques les plus renommés.

XLSTAT offre de très nombreuses fonctionnalités qui font d'Excel un outil performant et facile d'accès pour répondre à la majorité de vos besoins en analyse de données et modélisation.

XLSTAT fonctionne avec toutes les versions d'Excel, depuis la version 97 jusqu'à la version 2007 sous les environnements Windows et Mac.



Le logiciel khronostat :

Regroupe différents tests statistiques. Ces tests sont spécifiques d'un changement de comportement de la variable dans la série temporelle. Les tests les plus utilisés, les mieux argumentés dans la littérature et, surtout, les plus robustes ont été choisis.

La première catégorie de test concerne le caractère aléatoire des séries (test de corrélation sur le rang et auto corrélogrammes). Ils portent sur la constance de la moyenne de la série tout au long de sa période d'observation. Dans l'hypothèse où la série est déclarée non aléatoire, des tests sont

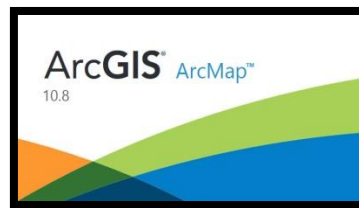
proposés (test de Pettitt, statistique de Buishand et ellipse de contrôle, procédure bayésienne et procédure de segmentation de Hubert) pour tenter de caractériser la nature « non aléatoire » présente dans la série.

Ils sont plus particulièrement adaptés à la détection de ruptures dans une série chronologique.



Logiciel Arc GIS :

Arc GIS est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Le système est disponible partout au moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des Smartphones et d'ordinateurs de bureau. <https://resources.arcgis.com>



Support informatique

1. Logiciels

- **Logiciel Kronostat:** Détection des ruptures des séries chronologiques et testes.
- **Excelstat :** Etude des tendances des séries chronologiques.
- **ArcGIS :** Cartographie, calcul hydrologique (hydrotools), réseau hydrographique et caractéristique, délimitation des bassins versants et caractéristiques morpho métriques, carte des pentes, carte des altitudes.

2. Diagramme de L. Emberger :

C'est un abaque dont les abscisses portent les moyennes de minima de la Saison froide en C°, et les ordonnées les valeurs du quotient pluviométrique.

$$(Q2 = 1000 \cdot P) / (M^2 - m^2)$$

Q2 : le quotient pluviométrique d'Emberger.

P: la précipitation moyenne interannuelle en mm.

M : la moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré Kelvin (K°)

m: la moyenne des minima du mois le plus froid en degré Kelvin (K°)

L'application de cette méthode pour les stations sélectionnées, dans le BV 07, est consignée dans le tableau 6.

Tableau 6 : Calcul des paramètres du Diagramme de L. Emberger

Stations	Code ANRH	P (mm)	M (°C)	m (°C)	M (°K)	m (°K)	Q ²
st1	070105	368,17	32,3	0,89	305,45	274,04	40,45
st2	070203	324,21	31,54	0,78	304,69	273,93	36,43
st3	070312	330,07	32,64	0,98	305,79	274,13	35,96
st4	070403	334,62	33,6	0,75	306,75	273,90	35,09
st5	070502	359,08	35,71	1,55	308,86	274,70	36,03
st6	070607	358,26	34,76	1,09	307,91	274,24	36,56
st7	070708	362,11	36,22	1,69	309,37	274,84	35,90

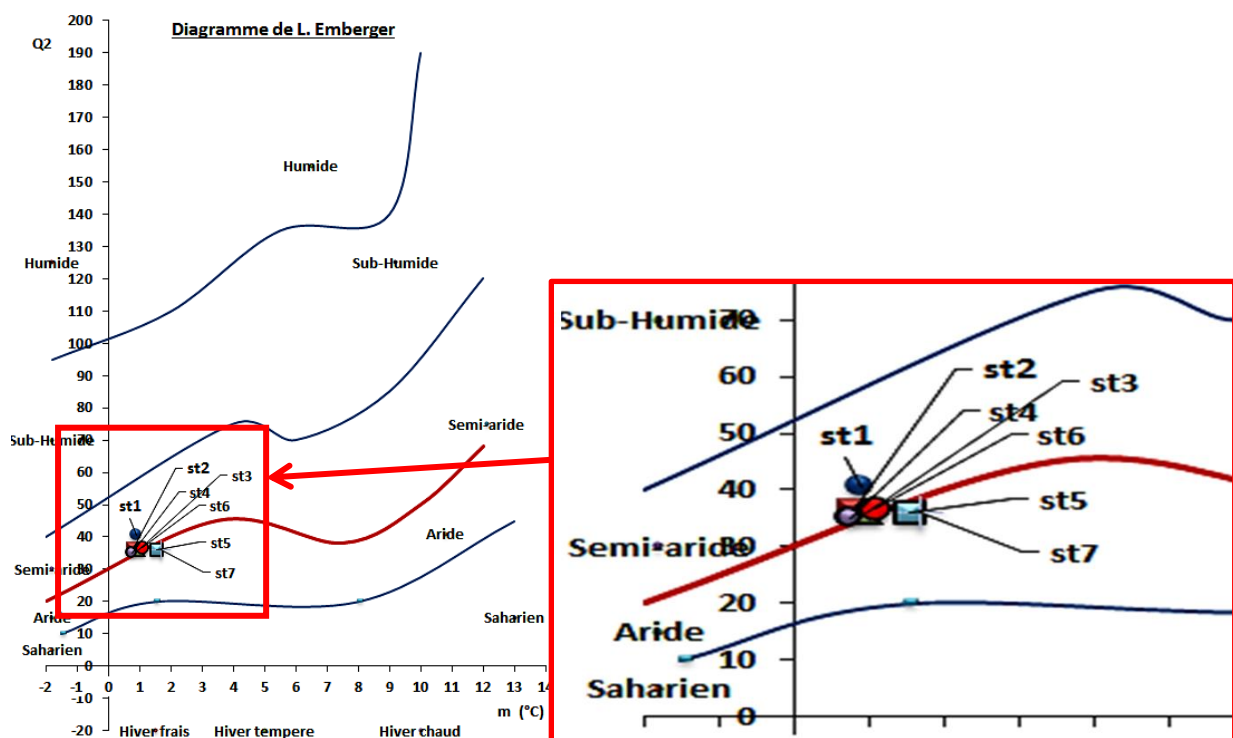


Figure 25 : Diagramme de L. Emberger des stations sélectionnées du BV 07 (série 1958-2023)

Le diagramme de L. Emberger (figure 25 et tableau 6) permet de classer les stations sélectionnées du BV 07 (série 1958-2023), dans les étages climatiques correspondants, ainsi on observe que les stations 5 (070502) et 7 (070708) sont situées dans le climat aride, à l'ouest du BV07 et les stations :st1 (070105) , st2 (070203), st3 (070312), st4 (070403), st6 (070607) appartiennent à l'étage du climat semi-aride, à l'est du BV07.

3. L'indice d'aridité d'Emmanuel de De Martonne :

Emmanuel De Martonne élabore un système de classification des climats en utilisant une méthode statistique. Il utilise un indice regroupant des données hydrométriques et thermiques Cet indice est défini comme étant un rapport entre la hauteur moyenne des précipitations annuelles (P en mm) et la moyenne des températures annuelles (T en C°), et permet de Déterminer le type de climat qui caractérise la zone d'étude (*Gaagri., 2009*).

Cette méthode statistique est caractérisée par la formule suivante :

$$I_a = P / (T + 10)$$

Avec :

I_a : indice d'aridité

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : températures moyennes annuelles (°C).

Cet indice simple a été, largement, utilisé par les géographes. Il prend des valeurs d'autant plus élevées que le climat est plus humide et d'autant plus faibles que le climat est plus sec (tableau 7).

Tableau 7 : Type de climat selon l'indice d'aridité

Climat	Hyperaride	Désertique	Steppique	Semi-aride	Tempéré	Humide
Indices d'aridité	$I_a < 5$	$5 < I_a < 7.5$	$7.5 < I_a < 10$	$10 < I_a < 20$	$20 < I_a < 30$	$I > 30$

Tableau 8 : Les différentes valeurs de l'indice d'aridité calculées selon la formule de De Martonne.

Stations	Code ANRH	T _{moy} (°C)	P(mm)	I	Observation
st1	070105	14.38	368.17	15.10	Climat semi-aride
st2	070201	14.27	324.21	13.36	Climat semi-aride
st3	070312	14.73	330.07	13.35	Climat semi-aride
st4	070403	14.75	334.62	13.52	Climat semi-aride
st5	070501	15.85	359.08	13.89	Climat semi-aride
st6	070607	15.37	358.26	14.12	Climat semi-aride
st7	070708	16.19	362.11	13.83	Climat semi-aride

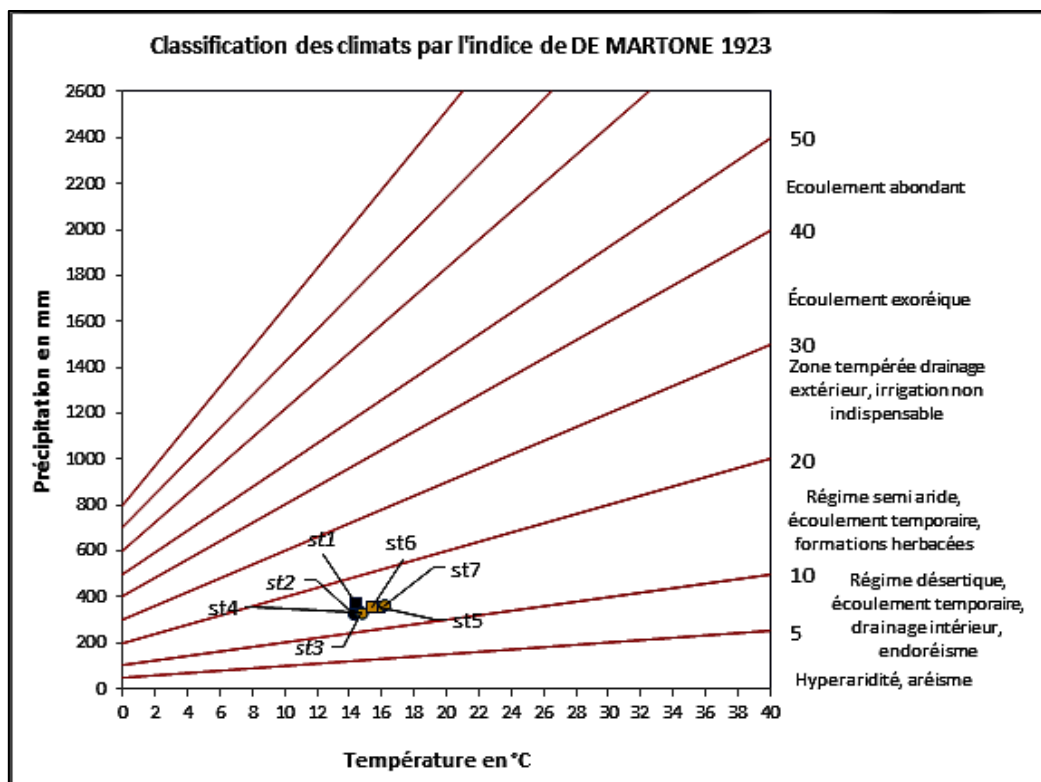


Figure 21 : Indice d'aridité annuel de Martonne

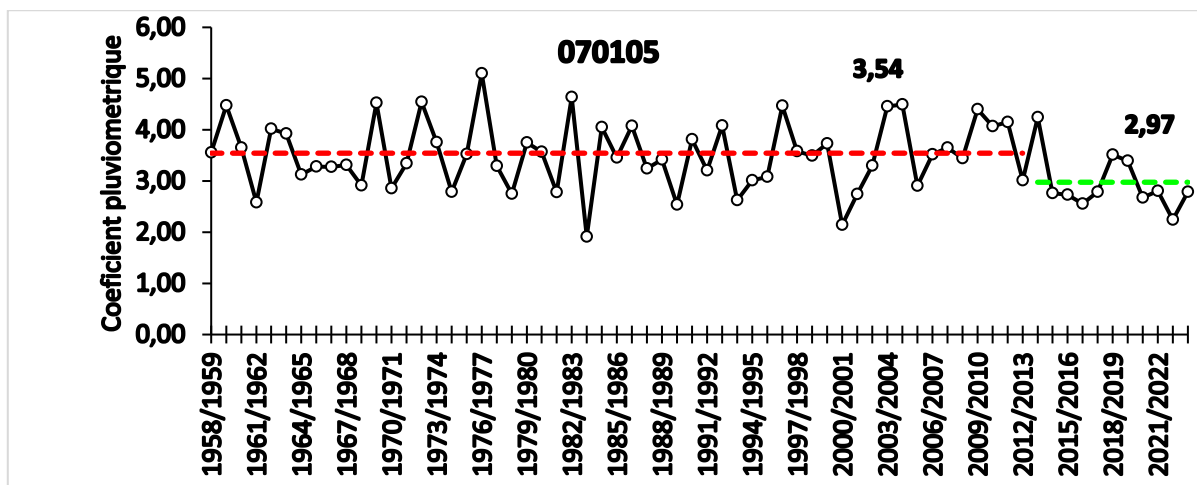
Le tableau 8 et la figure 22 permettent d'observer quelles stations sélectionnées du BV 07 (série 1958-2023) sont situées dans le domaine du régime semi-aride, avec un écoulement temporaire, formations herbacées.

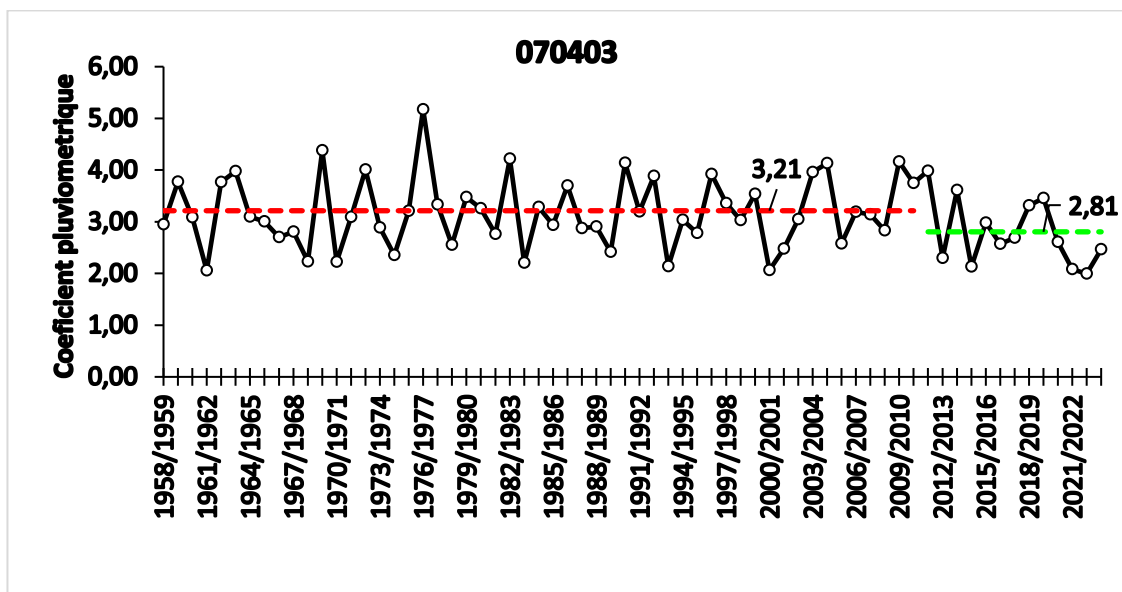
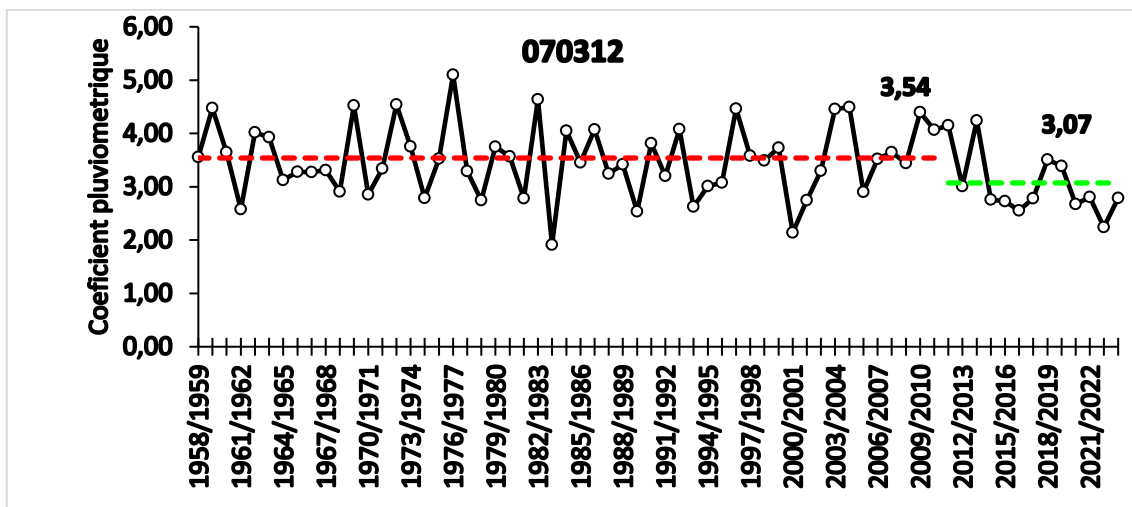
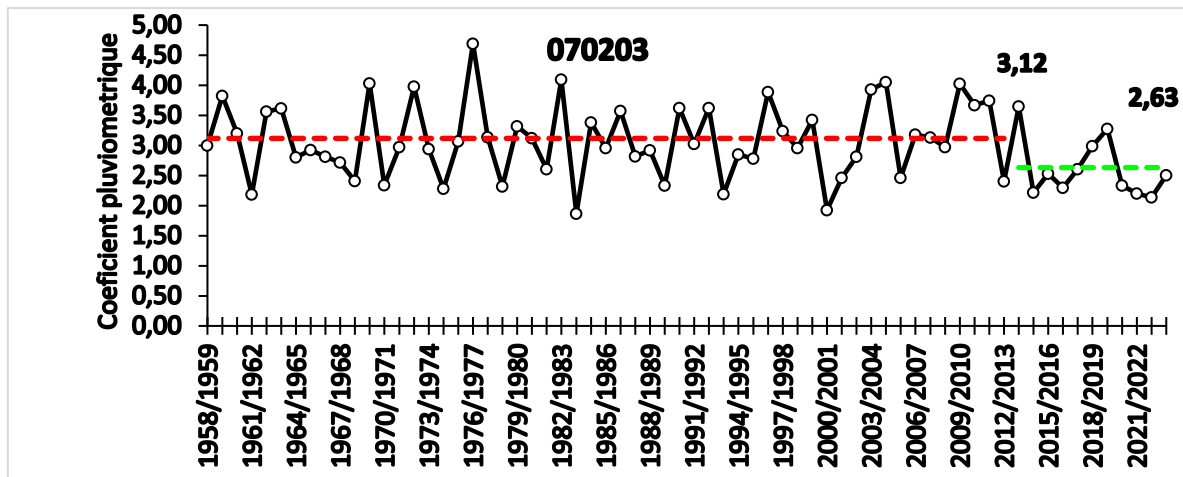
4. Coefficient de pluviométrie

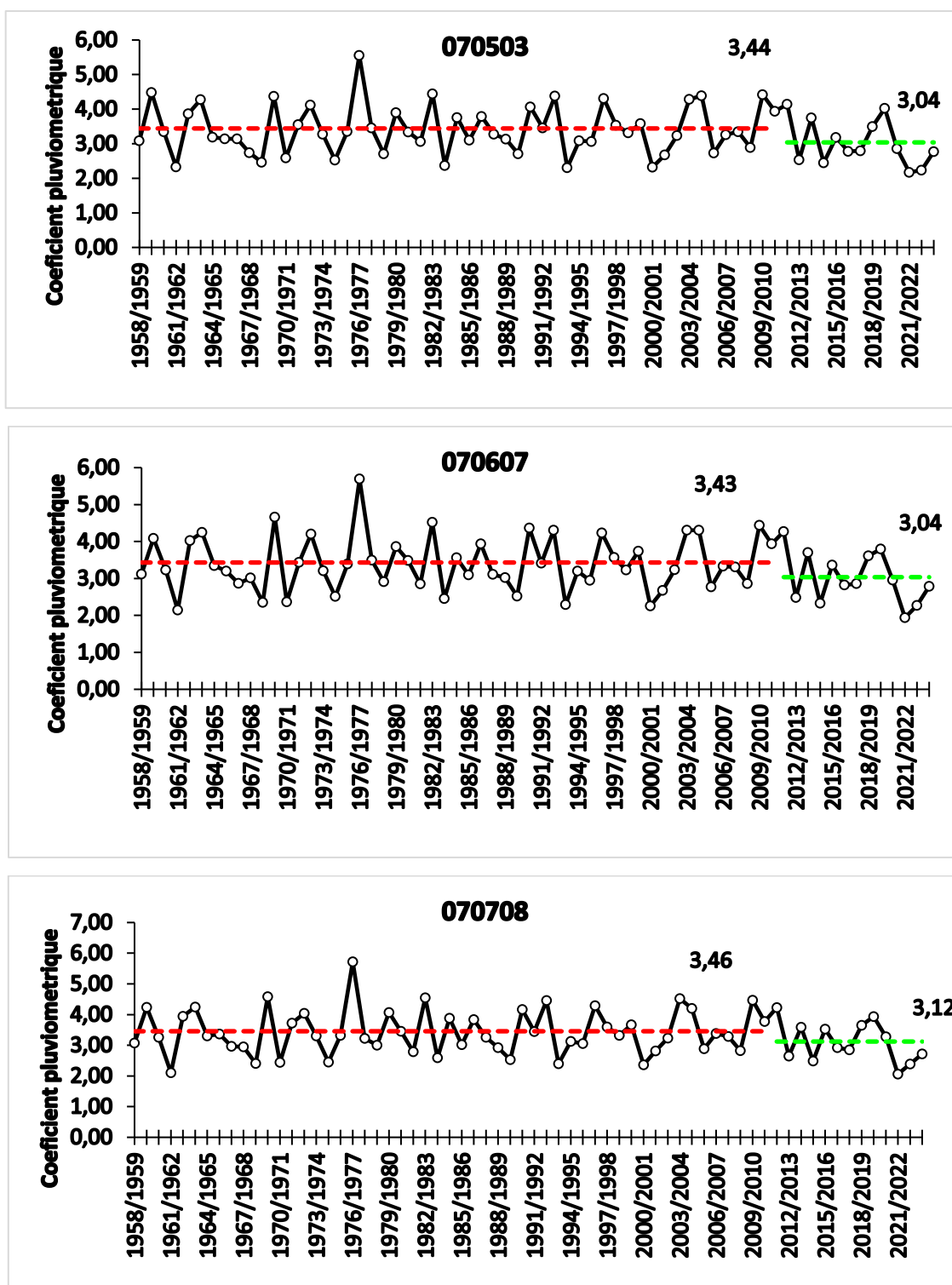
Le coefficient de pluviométrie « H » est une méthode pour exprimer l'évolution temporelle de la fraction de somme des précipitations annuelles (P_i) par rapport à la valeur moyenne de la série considérée (P_{moy}), à l'échelle mensuelle ou annuelle ; elle se calcul par la formule suivante :

$$H = P_i / P_{moy}$$

Le résultat est représenté sur les graphes de la figure 23.







Ligne Rouge : Coefficient pluviométrique avant l'année de la rupture.

Ligne Vert : Coefficient pluviométrique après l'année de la rupture.

Figure 22 : Coefficient pluviométrique annuelles.

La figure 23 et les tableaux 9 et 10, représente la variation annuelle du coefficient pluviométrique des stations sélectionnées du BV 07 (série 1958-2023), avant et après le point de rupture et permettent de constater que la valeur de ce coefficient varie de 1.87 à 5.72, avec une valeur moyenne de 3.24.

Tableau 9 : Les différentes valeurs de l'indice d'aridité calculées selon la formule de De Martonne.

Code des Stations	H min	H max	H moy
070105	1.91	5.10	3.42
070201	1.87	4.69	3.01
070312	2.01	4.89	3.07
070403	1.99	5.17	3.11
070502	2.17	5.56	3.34
070607	1.94	5.69	3.33
070708	2.06	5.72	3.37

Tableau 10 : Coefficient pluviométrique avant et après l'année de rupture (AR) du bassin versant

Code des Stations	Coefficient pluviométrique		Valeur X	Années de rupture (AR)
	Avant AR	Après AR		
070105	3.54	2.97	0.57	2013
070201	3.12	2.63	0.49	2013
070312	3.54	3.07	0.47	2011
070403	3.21	4.01	-0.8	2011
070502	3.44	3.04	0.4	2011
070607	3.43	3.04	0.39	2011
070708	3.46	3.12	0.34	2011

Valeur X= Différence entre le coefficient de pluviométrie avant et après AR.

5. La variabilité du régime et tendance pluviométrique

L'étude de la variabilité du régime pluviométrique (mm) permet de mettre en évidence l'instabilité des précipitations d'un mois sur l'autre au sein d'une même année, même si le total annuel ne varie pas. Les hauteurs des précipitations mensuelles, calculées pour toutes les stations sélectionnées du BV07, sont portées dans le (tableau 11), avec leurs coefficients de variation et l'écart-type pour la période (1958-2023).

Tableau 11 : Moyenne (P), écart-type (S), et coefficient de variation (cv) des séries pluviométriques (1958-2023), du BV07.

Code de station		jan	fév	mar	avr	mai	jun	jul	aot	sep	oct	nov	déc	Année
070105	P	42.07	33.16	34.55	29.74	39.23	26.86	8.18	8.11	29.89	28.07	47.27	41.05	368.17
	S	26.94	19.93	17.59	14.98	24.78	23.03	8.44	7.11	18.25	18.86	26.19	22.73	342.75
	cv	0.64	0.60	0.51	0.50	0.63	0.86	1.03	0.88	0.61	0.67	0.55	0.55	0.93
070201	P	42.07	33.16	34.55	29.74	39.23	26.86	8.18	8.11	29.89	28.07	47.27	41.05	324.21
	S	26.94	19.93	17.59	14.98	24.78	23.03	8.44	7.11	18.25	18.86	26.19	22.73	299.26
	cv	0.64	0.60	0.51	0.50	0.63	0.86	1.03	0.88	0.61	0.67	0.55	0.55	0.92
070312	P	31.63	27.09	36.12	30.87	36.62	23.18	8.29	14.35	29.72	25.84	35.45	30.92	330.07
	S	21.89	16.28	18.56	16.09	23.04	20.20	8.40	12.68	17.50	17.28	21.60	17.69	104.96
	cv	0.69	0.60	0.51	0.52	0.63	0.87	1.01	0.88	0.59	0.67	0.61	0.57	0.32
070403	P	28.28	26.71	38.50	28.93	38.57	21.40	10.93	16.10	30.59	28.88	35.91	29.82	334.62
	s	20.33	16.51	20.24	15.74	24.05	18.71	11.12	14.29	17.97	19.65	22.59	17.79	73.80
	cv	0.72	0.62	0.53	0.54	0.62	0.87	1.02	0.89	0.59	0.68	0.63	0.60	0.22
070502	P	33.40	30.63	43.19	31.56	44.13	26.04	11.89	14.40	30.10	28.38	37.65	27.71	359.08
	S	22.23	18.24	21.56	16.67	27.73	22.73	12.07	12.49	17.16	18.81	23.43	15.88	75.96
	cv	0.67	0.60	0.50	0.53	0.63	0.87	1.02	0.87	0.57	0.66	0.62	0.57	0.21
070607	P	31.13	31.22	43.97	31.68	43.64	21.45	12.76	16.16	31.16	30.92	36.34	27.83	358.26
	s	21.60	19.50	22.70	17.15	27.33	18.73	12.93	14.03	18.04	20.59	23.22	16.81	83.04
	cv	0.69	0.62	0.52	0.54	0.63	0.87	1.01	0.87	0.58	0.67	0.64	0.60	0.25
070708	P	34.44	37.17	42.90	31.49	45.47	17.85	13.06	13.36	33.52	29.82	34.04	28.99	362.11
	s	21.65	22.48	21.34	16.40	28.31	15.32	13.06	11.33	18.70	19.31	21.59	16.90	77.70
	cv	0.63	0.60	0.50	0.52	0.62	0.86	1.00	0.85	0.56	0.65	0.63	0.58	0.21

Le tableau 11 présente une analyse statistique de base de la pluviométrie mensuelle de la série 1958-2023, du BV07, qui permet de remarquer que :

- Pour la valeur moyenne minimale est de **324.21mm** la station de **070201** est la valeur maximale est de **368.17mm** pour la station de **070105**.
- Pour l'écart-type la valeur minimale est de **73.80mm** à la station de **070403**, est la valeur maximale est de **342.75mm** pour la station de **070105**.
- Pour le coefficient de variation, la valeur minimale est de **0.21** à la station de **070502** et **070708** est la valeur maximale est de **0.93** pour la station de **070105**.

5.1. Indice pluviométrique standardisé "ISP"

L'indice de pluviométrie standardisé "ISP" est calculé par la formule suivante :

$$ISP = (P_i - P_{moy}) / ET$$

Avec :

P_i : Précipitation (somme) annuelle.

P_{moy} : moyenne des Précipitations (somme) annuelles.

ET : écart type

Il est utilisé pour la caractérisation des périodes sèches (valeurs négatives) et des périodes humides (valeurs positives), Nous avons calculé l'indice de pluviométrie standardisé "ISP" annuel pour les séries pluviométriques (1958-2023), du BV07. Les résultats du calcul sont présentés dans le tableau 12 et la figure 27.

Tableau 12 : Indice Standard des précipitations (ISP) pour le BV07, la période 1958-2023.

Années	070105	070201	070312	070403	070502	070607	070708
1958	0.042	-0.005	-0.173	-0.235	-0.355	0.007	-0.402
1959	0.331	0.291	0.917	0.967	1.623	1.416	1.205
1960	0.071	0.068	0.153	-0.040	0.017	0.176	-0.152
1961	-0.264	-0.297	-0.946	-1.536	-1.428	-1.414	-1.749
1962	0.187	0.198	0.573	0.956	0.745	1.329	0.797
1963	0.159	0.218	0.824	1.268	1.330	1.653	1.221
1964	-0.094	-0.076	-0.182	-0.019	-0.212	0.344	-0.089
1965	-0.045	-0.031	-0.072	-0.152	-0.281	0.126	-0.001
1966	-0.046	-0.072	-0.220	-0.596	-0.275	-0.354	-0.551
1967	-0.036	-0.106	-0.422	-0.441	-0.842	-0.138	-0.581
1968	-0.161	-0.218	-0.710	-1.283	-1.241	-1.106	-1.323
1969	0.346	0.366	1.029	1.853	1.469	2.260	1.691
1970	-0.178	-0.243	-0.753	-1.286	-1.057	-1.087	-1.277
1971	-0.025	-0.016	-0.043	-0.029	0.306	0.470	0.498
1972	0.352	0.347	0.850	1.311	1.109	1.592	0.930
1973	0.104	-0.025	-0.222	-0.323	-0.089	0.143	-0.085
1974	-0.199	-0.263	-0.797	-1.101	-1.142	-0.877	-1.268
1975	0.032	0.020	0.064	0.146	0.024	0.408	-0.066
1976	0.526	0.604	1.866	3.009	3.143	3.761	3.265
1977	-0.040	0.044	0.134	0.324	0.170	0.559	-0.198

Années	070105	070201	070312	070403	070502	070607	070708
1958	0.042	-0.005	-0.173	-0.235	-0.355	0.007	-0.402
1959	0.331	0.291	0.917	0.967	1.623	1.416	1.205
1960	0.071	0.068	0.153	-0.040	0.017	0.176	-0.152
1961	-0.264	-0.297	-0.946	-1.536	-1.428	-1.414	-1.749
1962	0.187	0.198	0.573	0.956	0.745	1.329	0.797
1963	0.159	0.218	0.824	1.268	1.330	1.653	1.221
1964	-0.094	-0.076	-0.182	-0.019	-0.212	0.344	-0.089
1965	-0.045	-0.031	-0.072	-0.152	-0.281	0.126	-0.001
1966	-0.046	-0.072	-0.220	-0.596	-0.275	-0.354	-0.551
1967	-0.036	-0.106	-0.422	-0.441	-0.842	-0.138	-0.581
1968	-0.161	-0.218	-0.710	-1.283	-1.241	-1.106	-1.323
1969	0.346	0.366	1.029	1.853	1.469	2.260	1.691
1970	-0.178	-0.243	-0.753	-1.286	-1.057	-1.087	-1.277
1971	-0.025	-0.016	-0.043	-0.029	0.306	0.470	0.498
1972	0.352	0.347	0.850	1.311	1.109	1.592	0.930
1973	0.104	-0.025	-0.222	-0.323	-0.089	0.143	-0.085
1974	-0.199	-0.263	-0.797	-1.101	-1.142	-0.877	-1.268
1975	0.032	0.020	0.064	0.146	0.024	0.408	-0.066
1976	0.526	0.604	1.866	3.009	3.143	3.761	3.265
1978	-0.211	-0.249	-0.710	-0.816	-0.894	-0.290	-0.502
1979	0.102	0.110	0.410	0.532	0.794	1.100	0.978
1980	0.047	0.039	0.074	0.214	0.006	0.551	0.121
1981	-0.201	-0.148	-0.281	-0.506	-0.387	-0.380	-0.798
1982	0.381	0.388	1.095	1.618	1.562	2.055	1.632
1983	-0.473	-0.413	-1.048	-1.319	-1.373	-0.956	-1.070
1984	0.197	0.133	0.285	0.257	0.599	0.658	0.717
1985	0.011	-0.021	-0.165	-0.251	-0.337	-0.022	-0.478
1986	0.205	0.202	0.506	0.859	0.637	1.200	0.658
1987	-0.056	-0.071	-0.171	-0.339	-0.081	0.004	-0.143
1988	-0.001	-0.035	-0.169	-0.300	-0.291	-0.130	-0.609
1989	-0.277	-0.245	-0.610	-1.007	-0.890	-0.857	-1.151
1990	0.123	0.219	0.709	1.496	1.032	1.829	1.109
1991	-0.068	0.003	0.101	0.131	0.171	0.446	0.112
1992	0.207	0.218	0.687	1.128	1.477	1.738	1.513
1993	-0.251	-0.295	-0.913	-1.418	-1.460	-1.190	-1.341
1994	-0.129	-0.059	-0.158	-0.109	-0.353	0.128	-0.326
1995	-0.108	-0.083	-0.216	-0.481	-0.385	-0.240	-0.430
1996	0.328	0.314	0.880	1.183	1.371	1.639	1.275
1997	0.051	0.081	0.207	0.357	0.279	0.666	0.319
1998	0.021	-0.020	0.027	-0.121	-0.029	0.172	-0.061
1999	0.097	0.147	0.318	0.627	0.352	0.909	0.416
2000	-0.402	-0.392	-1.088	-1.529	-1.436	-1.244	-1.393
2001	-0.213	-0.198	-0.618	-0.918	-0.936	-0.637	-0.766
2002	-0.039	-0.073	-0.129	-0.092	-0.143	0.177	-0.184
2003	0.325	0.329	0.923	1.236	1.342	1.745	1.603
2004	0.336	0.373	1.037	1.489	1.491	1.742	1.157
2005	-0.162	-0.199	-0.539	-0.774	-0.855	-0.499	-0.662
2006	0.031	0.059	0.100	0.115	-0.114	0.328	0.020

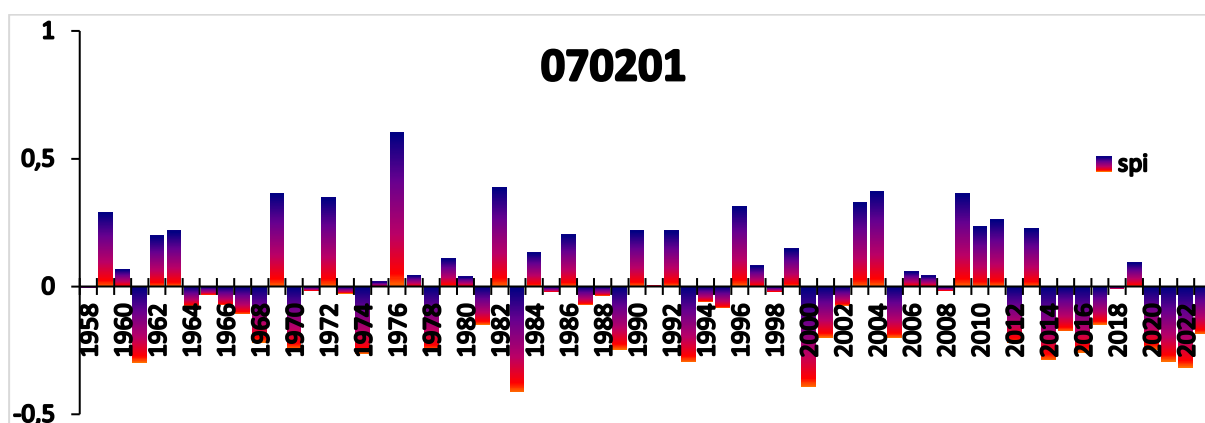
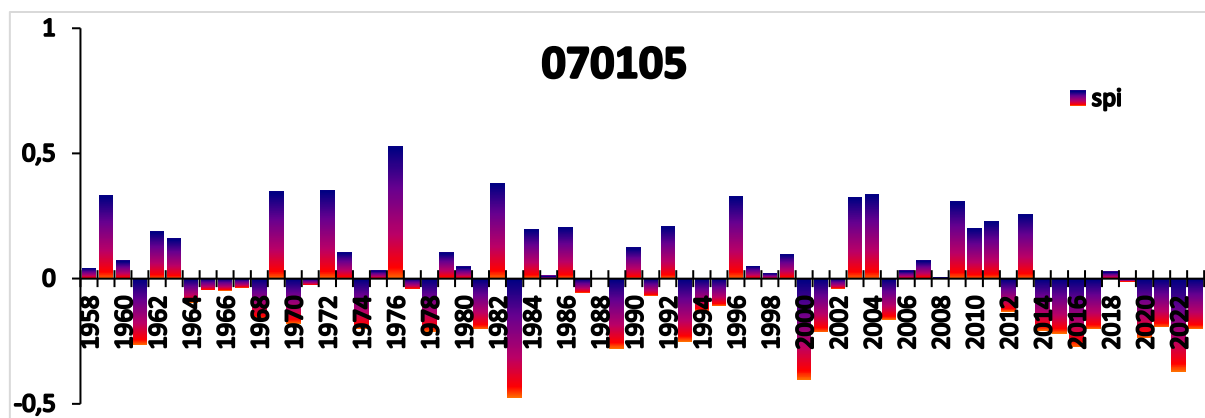
Années	070105	070201	070312	070403	070502	070607	070708
1958	0.042	-0.005	-0.173	-0.235	-0.355	0.007	-0.402
1959	0.331	0.291	0.917	0.967	1.623	1.416	1.205
1960	0.071	0.068	0.153	-0.040	0.017	0.176	-0.152
1961	-0.264	-0.297	-0.946	-1.536	-1.428	-1.414	-1.749
1962	0.187	0.198	0.573	0.956	0.745	1.329	0.797
1963	0.159	0.218	0.824	1.268	1.330	1.653	1.221
1964	-0.094	-0.076	-0.182	-0.019	-0.212	0.344	-0.089
1965	-0.045	-0.031	-0.072	-0.152	-0.281	0.126	-0.001
1966	-0.046	-0.072	-0.220	-0.596	-0.275	-0.354	-0.551
1967	-0.036	-0.106	-0.422	-0.441	-0.842	-0.138	-0.581
1968	-0.161	-0.218	-0.710	-1.283	-1.241	-1.106	-1.323
1969	0.346	0.366	1.029	1.853	1.469	2.260	1.691
1970	-0.178	-0.243	-0.753	-1.286	-1.057	-1.087	-1.277
1971	-0.025	-0.016	-0.043	-0.029	0.306	0.470	0.498
1972	0.352	0.347	0.850	1.311	1.109	1.592	0.930
1973	0.104	-0.025	-0.222	-0.323	-0.089	0.143	-0.085
1974	-0.199	-0.263	-0.797	-1.101	-1.142	-0.877	-1.268
1975	0.032	0.020	0.064	0.146	0.024	0.408	-0.066
1976	0.526	0.604	1.866	3.009	3.143	3.761	3.265
2007	0.072	0.043	0.082	0.043	0.015	0.287	-0.116
2008	0.007	-0.016	-0.207	-0.408	-0.636	-0.366	-0.754
2009	0.306	0.364	1.076	1.538	1.527	1.940	1.529
2010	0.202	0.236	0.621	0.935	0.851	1.206	0.564
2011	0.229	0.262	0.791	1.275	1.140	1.687	1.199
2012	-0.129	-0.220	-0.696	-1.182	-1.136	-0.915	-0.994
2013	0.257	0.229	0.628	0.729	0.578	0.864	0.314
2014	-0.207	-0.287	-0.875	-1.426	-1.256	-1.136	-1.216
2015	-0.217	-0.173	-0.326	-0.191	-0.216	0.364	0.221
2016	-0.272	-0.258	-0.607	-0.781	-0.795	-0.423	-0.609
2017	-0.200	-0.147	-0.433	-0.613	-0.763	-0.369	-0.717
2018	0.027	-0.008	0.059	0.301	0.227	0.730	0.392
2019	-0.010	0.095	0.454	0.508	0.972	1.004	0.784
2020	-0.235	-0.245	-0.624	-0.732	-0.676	-0.228	-0.125
2021	-0.193	-0.292	-0.932	-1.496	-1.648	-1.706	-1.807
2022	-0.370	-0.315	-0.984	-1.626	-1.556	-1.228	-1.358
2023	-0.199	-0.183	-0.441	-0.934	-0.796	-0.477	-0.893

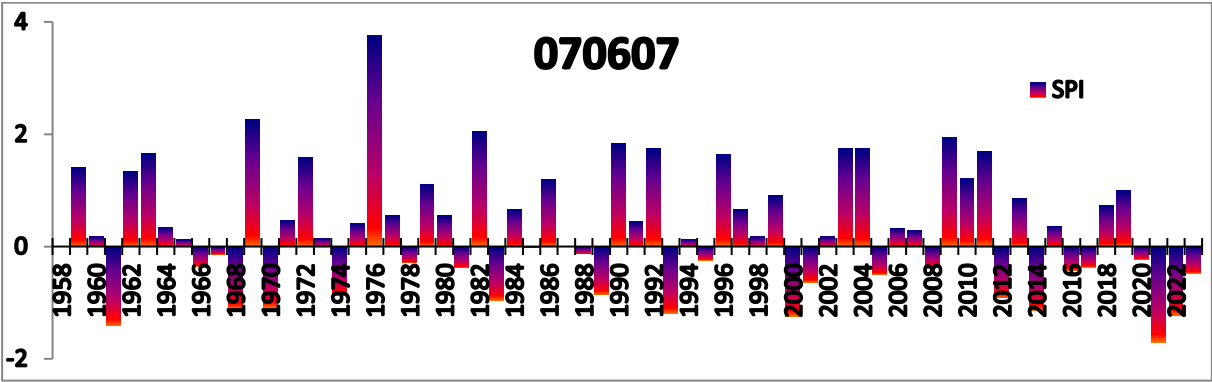
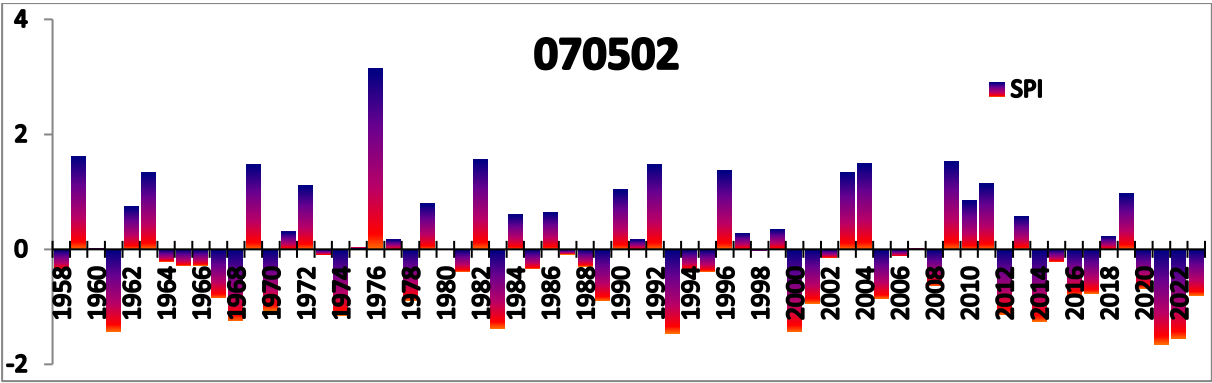
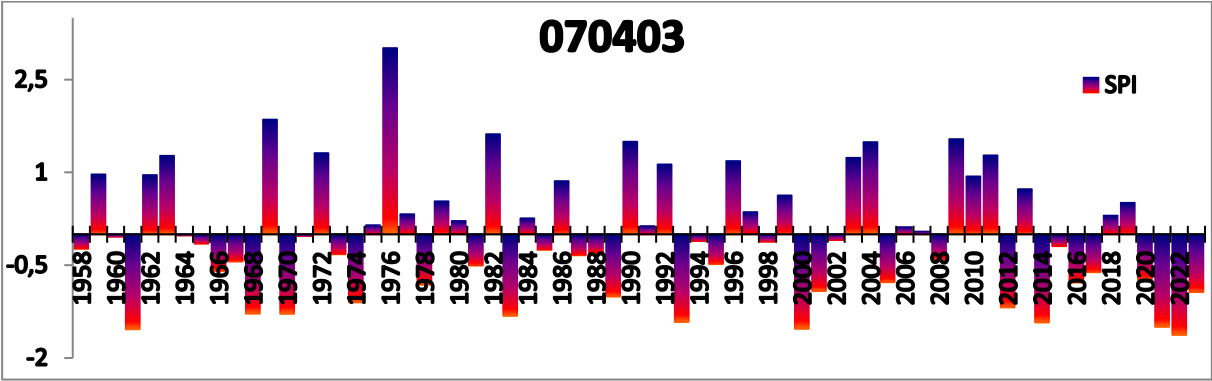
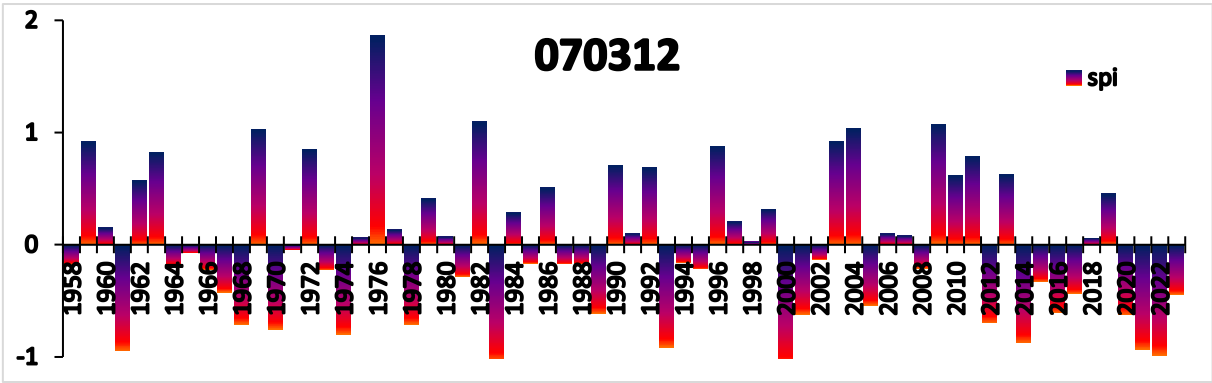
Tableau 13 : Récapitulatif des valeurs de l'ISP, Des stations sélectionnées du BV07,
Série 1958-2023.

Stations	ISP min	ISP max	Nbre d'années sèches	Nbre d'années humides
070105	-0.47	0.53	34	32
070201	-0.41	0.60	37	26
070312	-1.09	1.87	35	31
070403	-1.63	3.00	37	26
070502	-1.65	3.14	37	26
070607	-1.71	3.76	26	37
070708	-1.81	3.26	38	28

Sur leBV07, pour la période 1958-2023, les 66 ans sont caractérisés par une alternance de périodes humides et sèches dans les stations étudiées. Cependant, les périodes sèches ont été fréquentes dans toutes les stations enregistrées et analysées.

Les résultats ISP pour la zone d'étude ont montré ce qui suit : Dans toutes les stations, la valeur la plus élevée de l'indice des précipitations à une valeur minimale de **3,76** en **1976**, la station **070607**, et la valeur la plus faible était de **-1,80** à la station **070708** en **2021**.





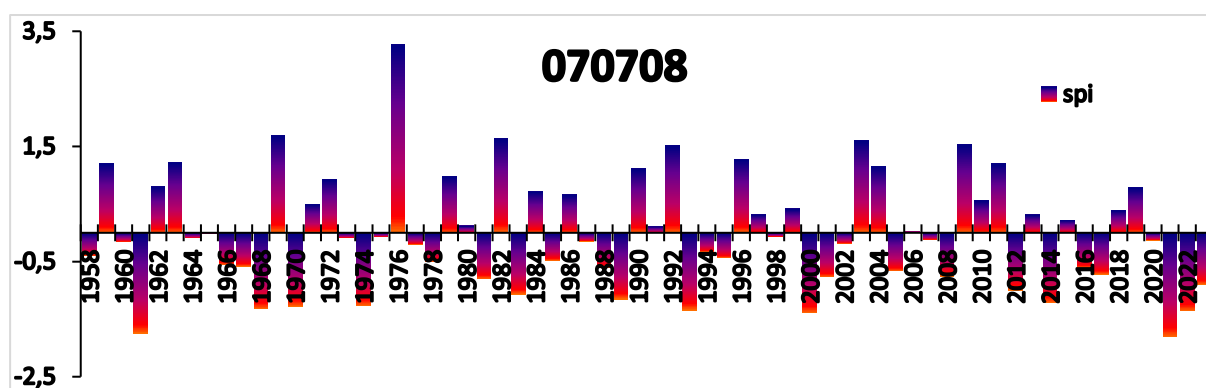


Figure 23 : Évolution de l'Indice Standardisé des Précipitation (ISP) de 7 stations du BV07, (1958-2023)

A partir du graphique 24, nous pouvons extraire chaque type de sécheresse dans 7 stations, séparés par la ligne de partage la valeur 0, des années sèches et humides, pour la période (1958-2023), les résultats sont présentés dans le tableau 14.

Tableau 14 : Indices standardisés de précipitation des 7 stations de BV07 pour la période (1958 – 2023)

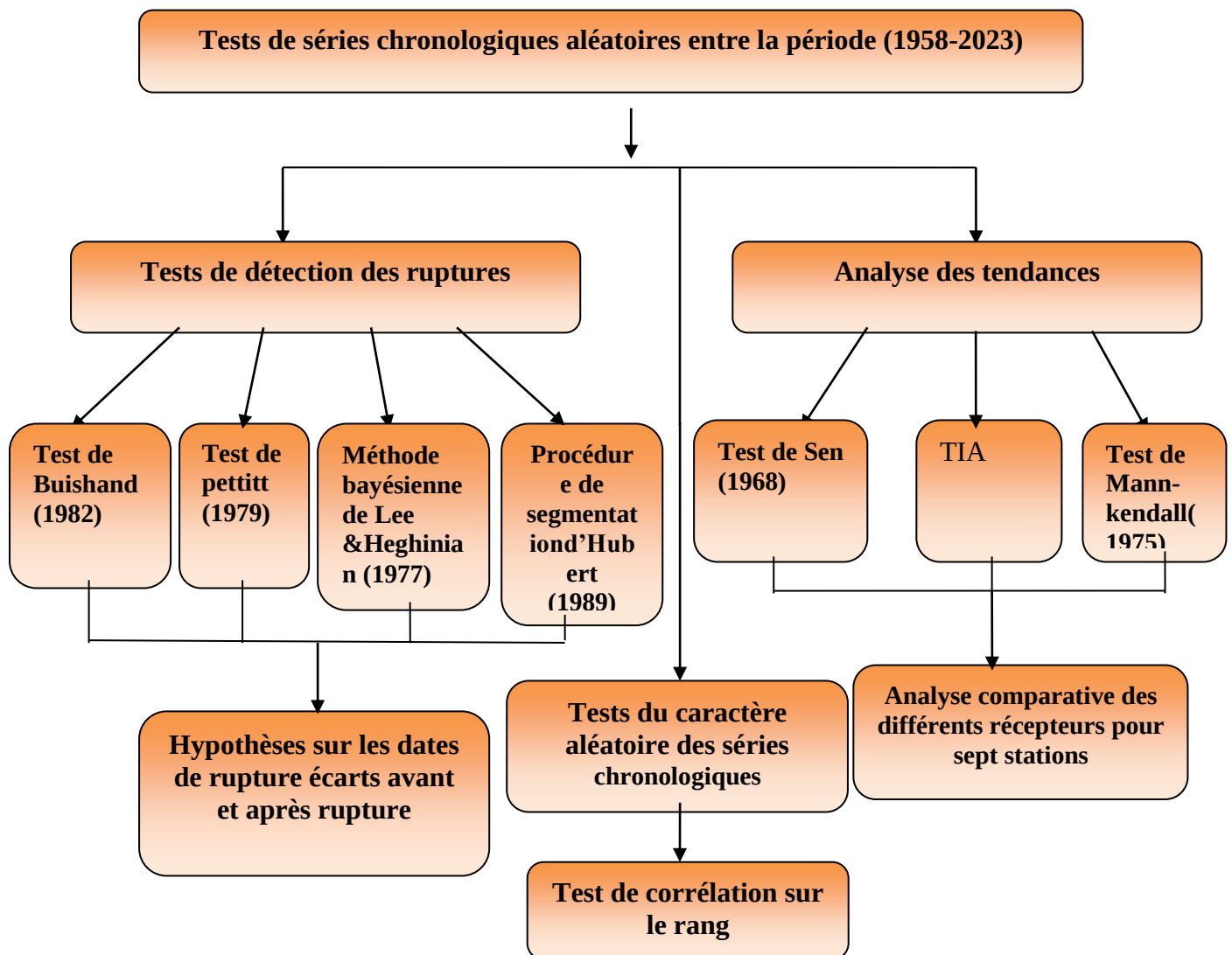
N	Code ANRH	Degré de la sécheresse (%)											
		E. H	%	S.H	%	M.H	%	P N	%	M	%	S	%
1	070105	0	0	0	0	0	0	66	100	0	0	0	0
2	070201	0	0	0	0	0	0	66	100	0	0	2	3.03
3	070312	0	0	2	3.03	2	3.03	61	92.42	1	1.52	0	0
4	070403	1	1.52	4	6.06	7	10.61	42	63.64	8	12.12	4	6.06
5	070502	1	1.52	3	4.54	9	13.64	42	63.64	9	13.64	2	3.03
6	070607	3	4.54	9	13.64	6	9.09	40	60.61	7	10.61	1	1.52
7	070708	1	1.52	5	7.58	6	9.09	42	63.64	9	13.64	2	3.03

Le Tableau14 : porte les Indices standardisés de précipitation des 7 stations de BV07 pour la période (1958 – 2023), ou on remarque que :

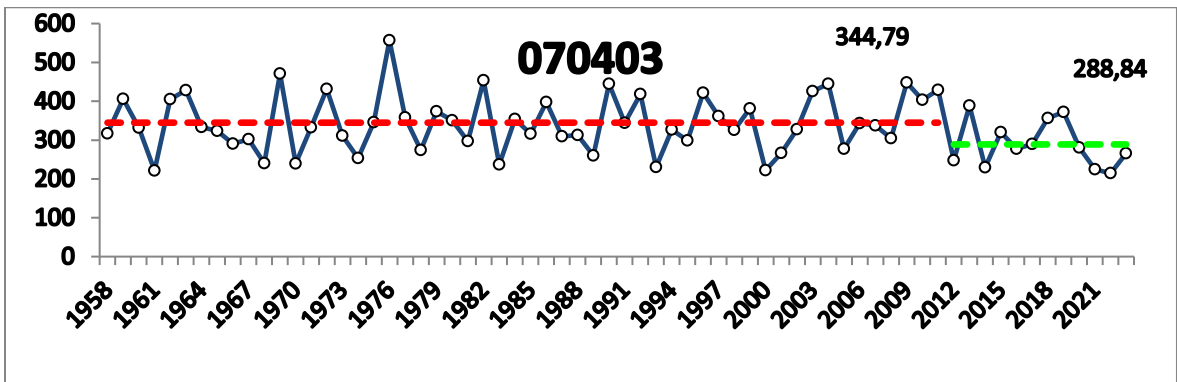
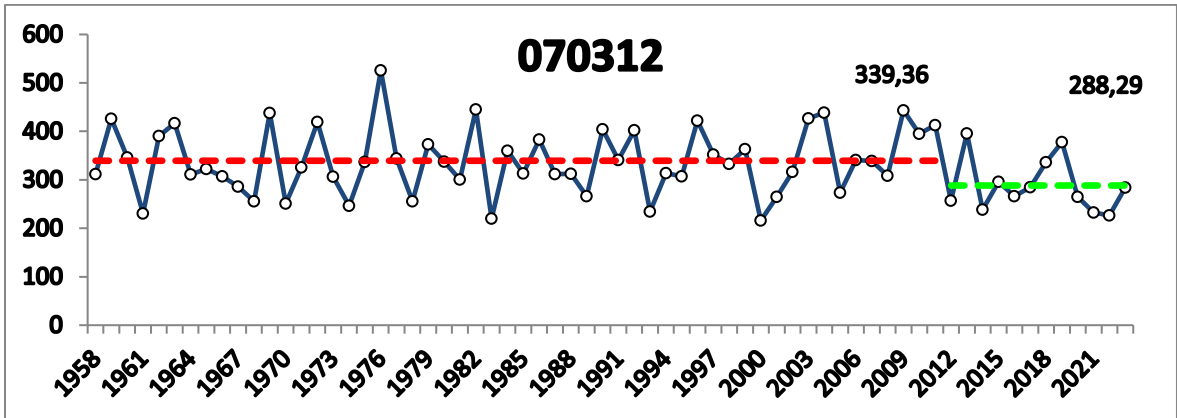
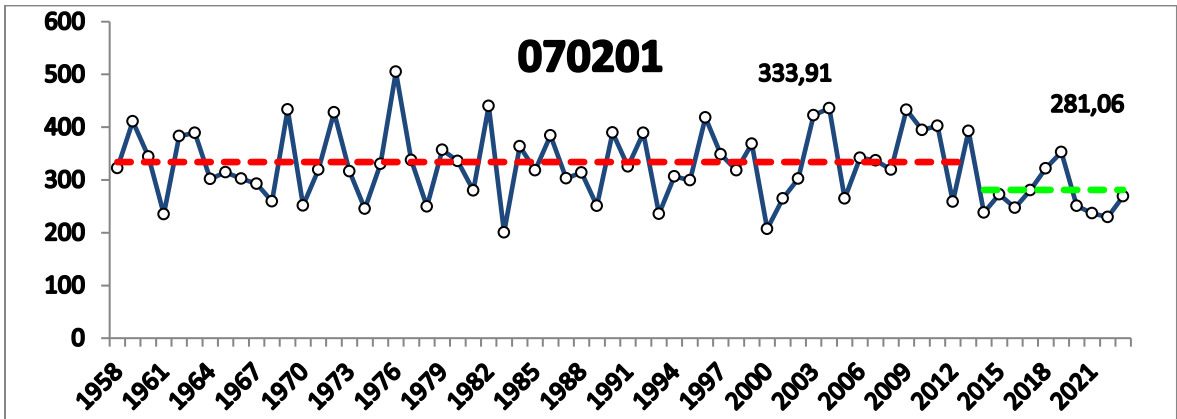
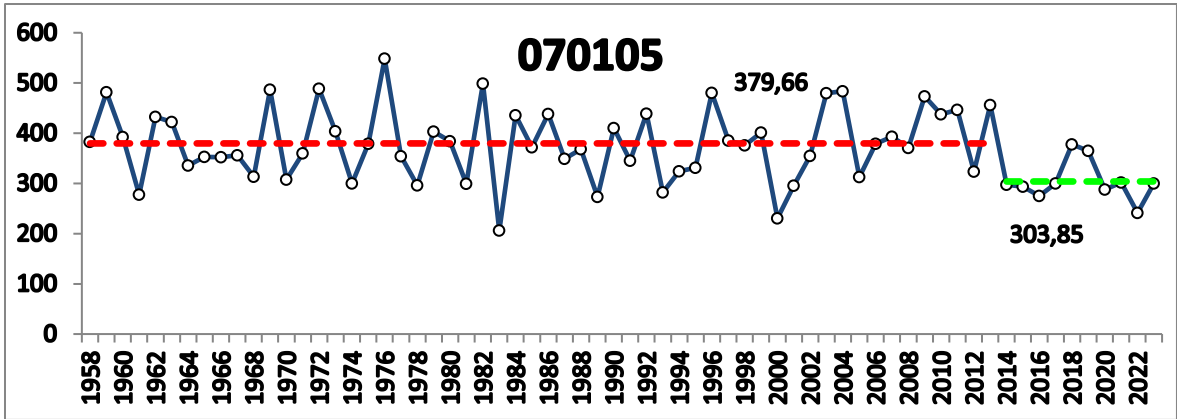
- **EH** (Extrêmement Humide) varie entre **4.54%** A la station 070607 et **1.52%** à la station 070403, 070502, 070708.
- **SH** (Sévèrement Humide) varie entre **13.64%** A la station 070607 et **3.03%** à la station 070312.
- **MH** (Modérément Humide) varie entre **13.64%** A la station 070502 et **3.03%** à la station 070312.
- **PM** (P proche de la normale) varie entre **100%** A la station 070105, 070201 et **60.61%** à la station 070607.
- **S** (Sévèrement sèche) varie entre **3.03%** A la station 070201, 070502, 070708 et **1.52%** à la station 070312.
- **M** (Modérément sèche) varie entre **13.64%** A la station 070502 et **1.52%** à la station 070312.

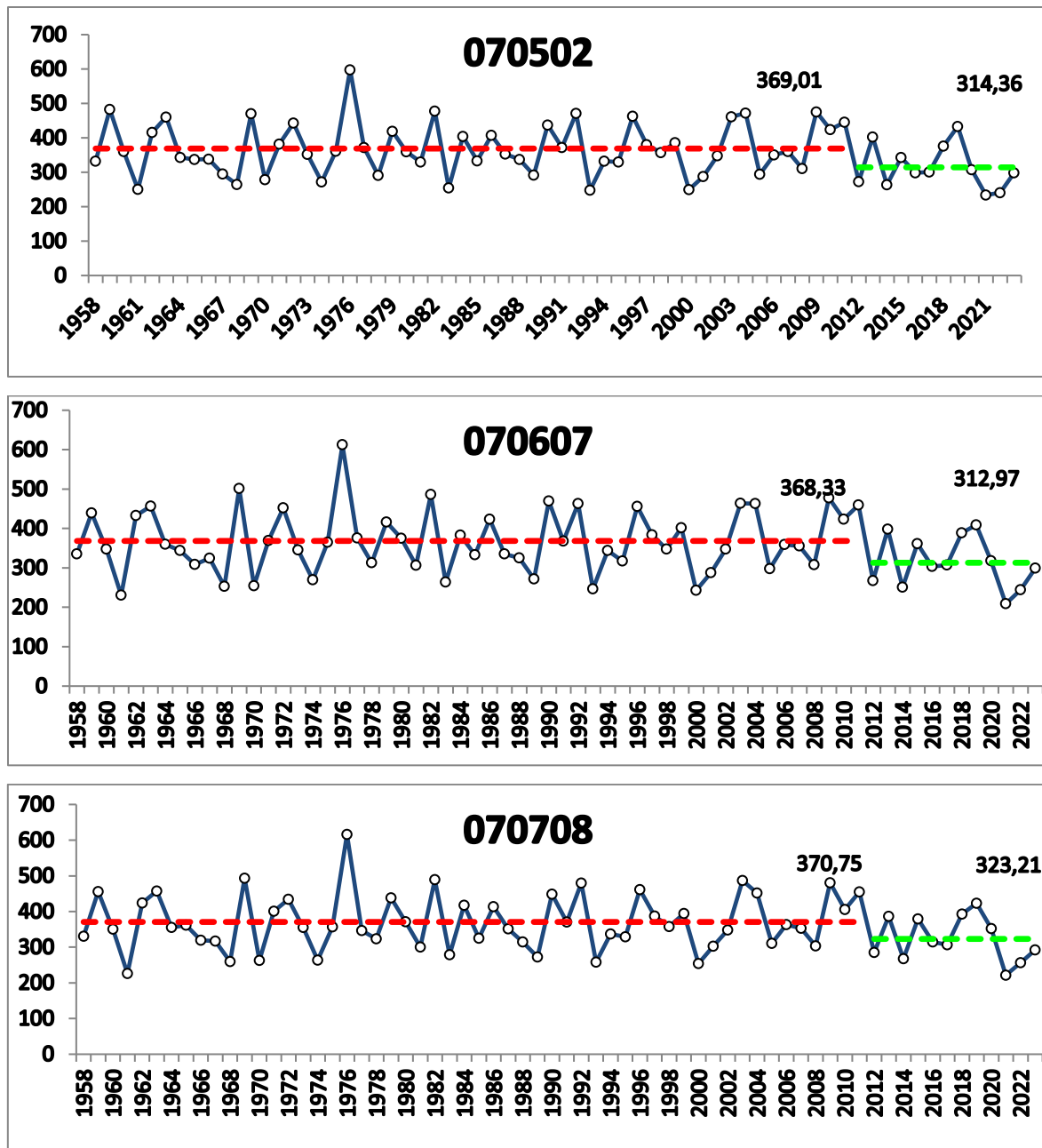
6. Test d'homogénéisation

Un test d'homogénéité est conçu pour vérifier l'homogénéité des suites chronologiques de précipitations annuelles dans une zone climatique déterminée, en utilisant, l'analyse statistique de la série pour détecter d'éventuelles ruptures dans la suite chronologique, pour cela elle utilise plusieurs tests tel que : le test de Pettitt, Mann-Kendall, Buishand...etc. Parmi les méthodes offertes à cet effet, nous avons retenus quelques testes pour l'étude des séries chronologiques des 7 stations sélectionnées du BV07, à l'aide des logiciels *XLSTAT* et *KHRONOSTAT* (libre) et qui sont exprimés dans les paragraphes suivants :



**Figure 24 : Méthodologie utilisée dans l'étude
Graphe des précipitations avec la rupture**





Ligne Rouge : Précipitation Moyenne annuelles avant l'année de la rupture.

Ligne Vert : Précipitation Moyenne annuelles après l'année de la rupture.

Figure 25 : Test de Pettitt d'homogénéisation à 99% de confiance appliqué aux stations

Tableau 15 : L'évolution des précipitations avant et après l'année de rupture pour les sept stations du bassin versant 07.

Code de station	Précipitation (mm)			Taux de reduction %
	Avant AR	Après AR	Années de rupture	
070105	379.66	303.85	2013	75.81 %
070201	333.91	281.06	2013	52.85 %
070312	339.36	288.29	2011	51.07 %
070403	344.79	288.84	2011	55.95 %
070502	369.01	314.36	2011	54.65 %
070607	368.33	313.98	2011	55.35 %
070708	370.75	323.21	2011	47.54 %

La figure 26 et le Tableau 15 montrent les années de ruptures et l'évolution des précipitations avant et après l'année de rupture, ainsi que le taux de réduction des valeurs de précipitations après la rupture, pour les sept stations du bassin versant 07.

➤ Test de corrélation sur le rang

Ce test est intéressant du point de vue de son hypothèse alternative qui est celle d'une tendance. De plus ce test s'est révélé satisfaisant pour détecter un changement de moyenne sur des séries aléatoires générées artificiellement avec perturbations. En outre, il ne suppose aucune propriété particulière de la série chronologique étudiée.

➤ Test de Pettitt (Pettitt, 1979)

La réputation de ce test de détection de rupture. Il s'applique à des séries non auto corrélées et requiert implicitement que la variance de la série ne soit pas affectée par la rupture (**Lazzouzi., 2015**).

Statistique U de Buishand

La robustesse de ce test et l'originalité de son fondement à partir d'une approche Bayésienne le rendent intéressant.

➤ Ellipse de Contrôle

L'ellipse de contrôle est un complément graphique original au test de Buishand.

➤ La procédure Bayésienne de Lee et Heghinian :

La méthode bayésienne de Lee et Heghinian ne s'exprime pas comme un test statistique classique. Il s'agit plutôt d'une approche paramétrique qui demande une distribution normale des variables étudiées. L'interprétation de cette méthode vise à confirmer ou infirmer l'hypothèse d'un changement de moyenne dans la série chronologique (**Lazzouzi., 2015**).

Procédure de segmentation d'Hubert :

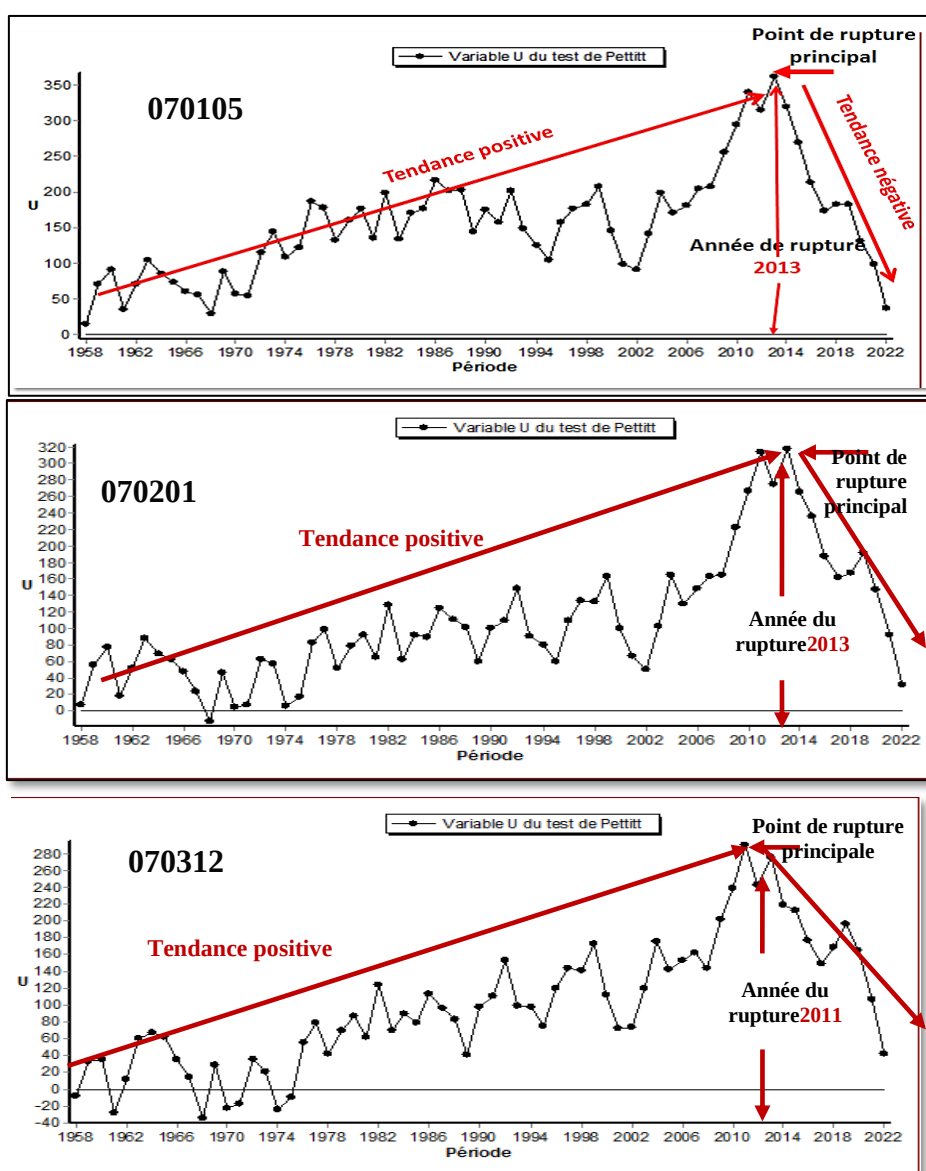
Déjà appliquée à des séries de précipitations de l'Algérie (**Meddi et al ., 2003**), son utilisation est fortement recommandée pour l'étude de stationnarité d'une série de données pluviométriques, c'est pour cela que nous l'avons retenue.

Parmi les raisons pour lesquelles certaines méthodes n'ont pas été retenues, il faut citer :

- L'absence d'hypothèse alternative précise ;
- L'existence de tests similaires plus performants ; c'est ainsi que les procédures de détection de rupture ont été jugées plus pertinentes que le test t de Student de différence de deux moyennes ou le test de Cramer ;
- Une hypothèse trop forte de normalité de la variable étudiée, c'est-à-dire un défaut de robustesse

A. Résultats de l'application du test de Pettitt :

Les graphes de la figure 26 montrent les résultats de l'application du test de Pettitt, pour les 7 stations sélectionnées du BV 07, ils présentent la répartition temporelle de la variable U du test de Pettitt, la représentation de cette variable met en exergue les points (année) de rupture de la série, après lequel il y a soit une augmentation soit une diminution des variables (ici les précipitations). Les points de ruptures peuvent être principaux ou secondaires, en fonction de la longueur de la série post rupture.



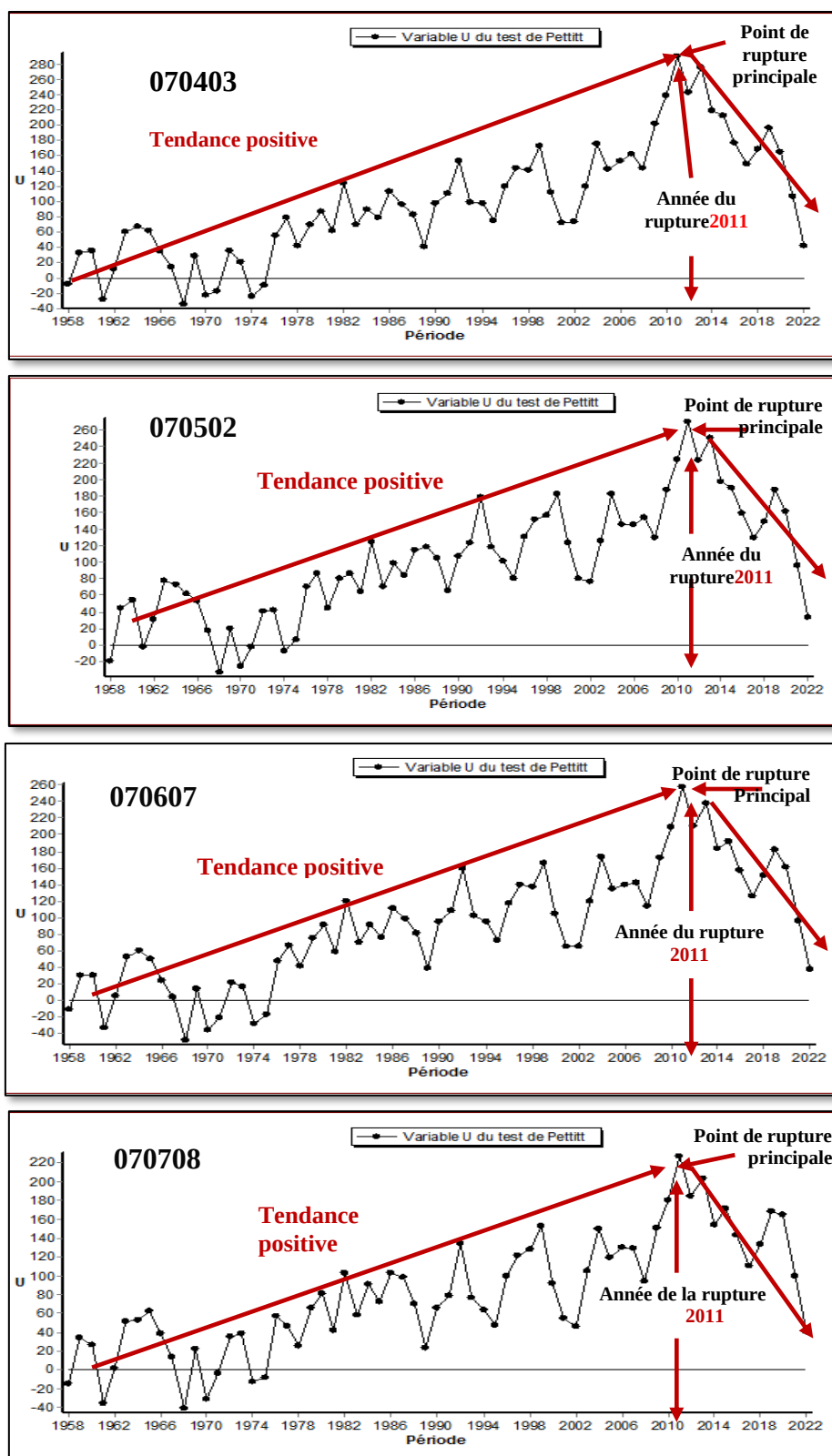


Figure 27: Graphes de la variable U du Test de Pettitt.

6.1. Causes du non homogénéité

Le non homogénéité des données pluviométriques résulte fréquemment des causes d'origine climatique qui résultent de deux facteurs essentiels :

- Des modifications éventuelles de l'environnement local à cause de la déforestation, Variation climatique... etc.
- La non homogénéité des données peut aussi résulter des changements internes du climat Et du microclimat (*Rhissaag B., 2018*).

7. Test de Buishand pour l'homogénéité

Le test de (*Buishand, 1982*). peut être utilisé sur des variables suivant des distributions quelconques.

Néanmoins ses propriétés ont été particulièrement étudiées pour le cas normal.

L'article Buishand se concentre sur le cas du test bilatéral, mais pour la statistique Q présentée ci-dessous le cas unilatéral est aussi possible. Buishand a développé une seconde statistique R, pour laquelle seule une hypothèse bilatérale est possible. Dans le cas de la statistique Q, les hypothèses

Nulles et alternatives sont définies par :

- H_0 : les T variables suivent une ou plusieurs distributions ayant une même moyenne.
- Test bilatéral : H_a : Il existe un temps t à partir duquel les variables changent de Moyenne.
- Test unilatéral à gauche : H_a : Il existe un temps t à partir duquel la moyenne des Variables diminue de D.
- Test unilatéral à droite : H_a : Il existe un temps t à partir duquel la moyenne des variables Augmente de D.

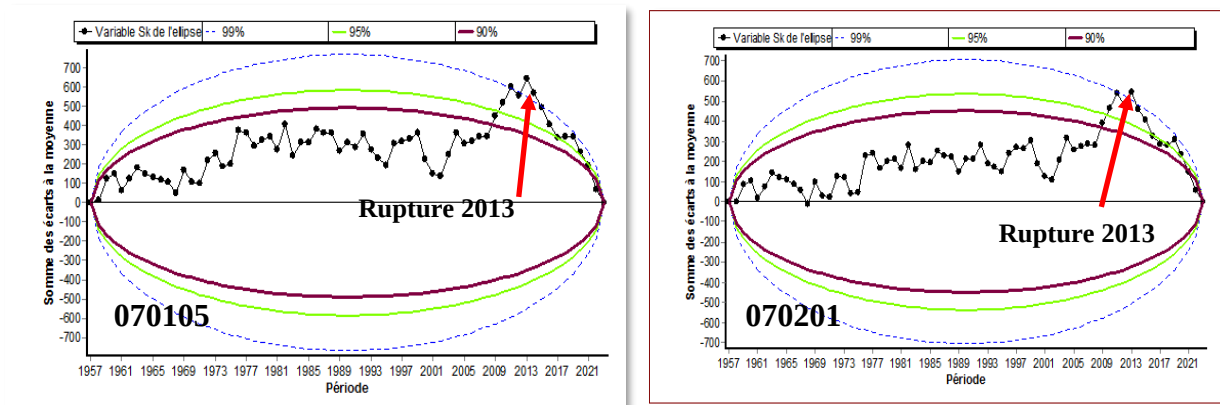
La statistique U de Buishand est définie par :

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

OU:

$$S_k = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})$$

B. Résultats d'ellipse de contrôle associée à l'expérience buishand:



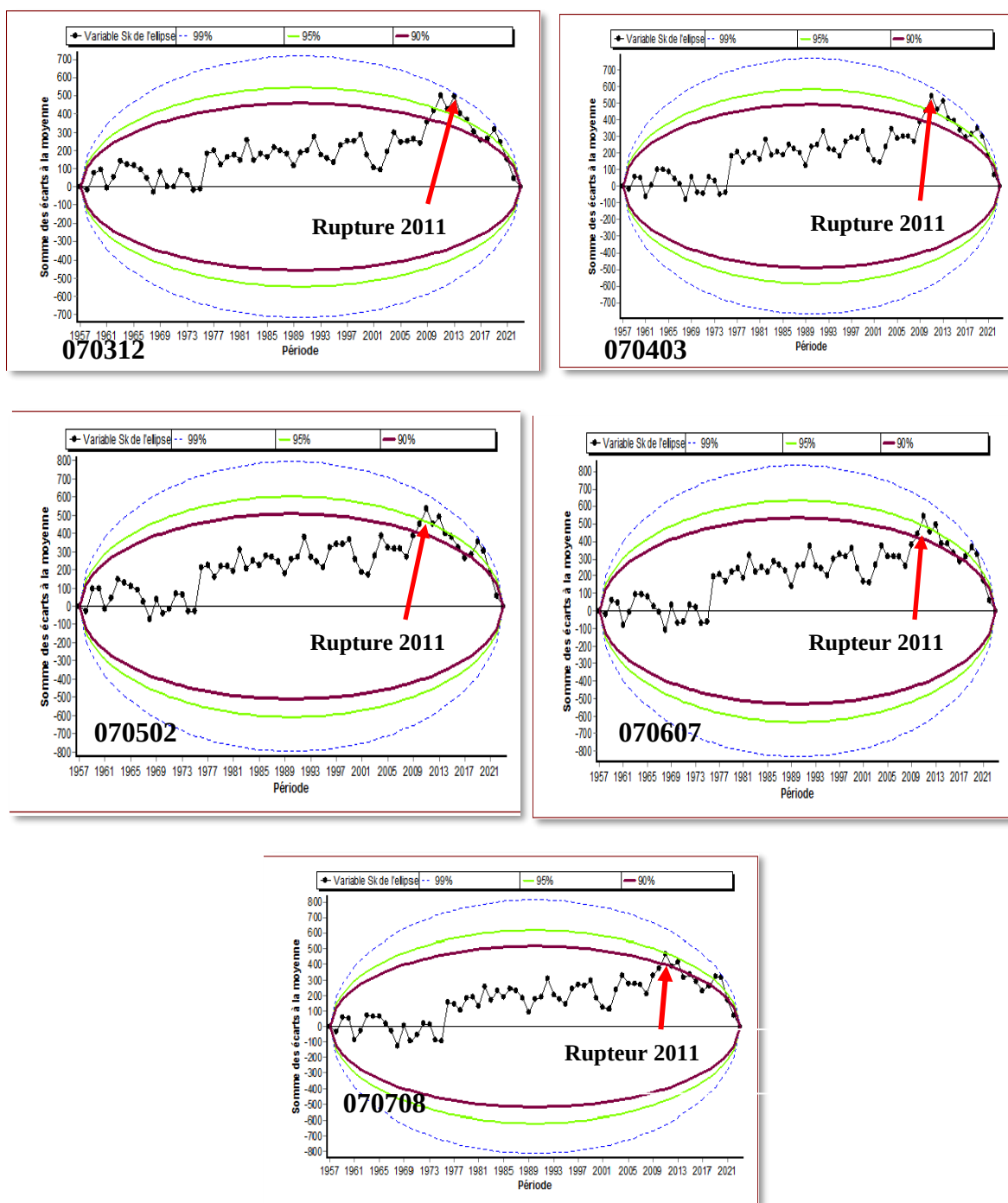


Figure 26 : Ellipse de contrôle associée à l'expérience Buishand, des 7 stations du BV07.

Le test de Buishand a mis en évidence 3 années d'interruptions détectées par les deux tests précédents sur 7 stations du bassin versant du Haut Plateau Constantinois.

- L'année de rupture aux stations 070105, 070201, 070403, 070708 est en **2013**.
- L'année de rupture aux stations 070312, 070502, 070607 est en **2011**.

Tableau 16 : Principaux points de rupture des séries pluviométriques.

Stations	Période	Test de Pettitt		Test de Buishand	Test de corrélation sur le Rang
		P-value	Année de rupture	P-value	Valeur de la variable de calcul
070105	1958-2023	19%	2013	14%	-1.6547
070201	1958-2023	37%	2013	20%	-1.1345
070312	1958-2023	50%	2011	30%	-1.0017
070403	1958-2023	54%	2011	28%	-1.0459
070502	1958-2023	71%	2011	35%	-1.1013
070607	1958-2023	31%	2011	38%	-0.8910
070708	1958-2023	85%	2011	53%	-0.8467

Dans le test de Pettitt, nous observons que toutes les stations BV07 sont homogènes, avec le pourcentage le plus élevé de **85%** enregistré à la station 070708 en **2011** et le pourcentage le plus bas de **19%** à la station 070105 en **2013** (tableau 16).

Dans le test de Buishand, le pourcentage le plus élevé de **53%** a été enregistré à la station 070708 en **2011** et le pourcentage le plus bas de **14%** a été enregistré à la station 070105 en **2013** (tableau 16).

8. La variabilité relative des pluies annuelles : (rapport au coefficient de variation)

a. Méthode Bayésienne de Lee et Heghinian :

La méthode bayésienne de Lee & Heghinian (*Lee & Heghinian, 1977 ; Bruneau & Rassam, 1983*), est une approche paramétrique qui requiert une distribution normale des variables étudiées. Elle fait l'hypothèse d'une rupture en moyenne à un instant inconnu. La distribution a priori de l'instant de la rupture est uniforme, et compte tenu de cette information et des données, la méthode produit la distribution de probabilité a posteriori de l'instant de la rupture.

Figure suivante teste de Lee et Heghinian:

Ce test a confirmé les résultats de la méthode de Lee et Heghinian, avec des discontinuités similaires :

- Année de rupture aux stations **070105** et **070201** (2013).
- Année de rupture aux stations **070312**, **0703012** et **070403**(2019).
- Année de rupture aux stations **070502**, **070607** et **070708**(2020).

Tableau 17 : Résultat de test statistique de Bayésienne de Lee et Heghinianet segmentation d'Hubert appliqué sur les totaux pluviométriques annuels.

Code de stations	Période	Bayésienne de Lee Et Heghinian		Segmentation d'Hubert			
		Année	Pointde ruptur	Début	Fin	Moyenne	Ecart-Type
070105	1958-2023	2013	0.2560	1958	2013	379.70	72.49
				2014	2023	303.85	39.88
070201	1958-2023	2013	0.1911	1958	2013	333.91	66.76
				2014	2023	269.91	39.72
070312	1958-2023	2019	0.1266	1958	2023	330.07	68.55
070403	1958-2023	2019	0.1487	1958	2023	334.62	73.80
070502	1958-2023	2020	0.1484	1958	2023	359.08	75.96
070607	1958-2023	2020	0.1752	1958	2023	358.26	79.55
070708	1958-2023	2020	0.2132	1958	2023	362.11	77.70

b. Test de tendance de Mann-Kendall :

Dans le cas particulier du test de tendance, la première série est un indicateur temporel croissant généré automatiquement et pour lequel les rangs sont naturellement toujours croissants, ce qui simplifie les calculs.

Pour le calcul de la p-value de ce test, XLSTAT permet de calculer, comme dans le cas du taux de Kendall, un test exact s'il n'y a pas d'ex-æquo dans les rangs des séries et si les tailles d'échantillon sont inférieures à 50. Dans le cas un calcul exact n'est pas possible, une approximation normale est utilisée, pour laquelle une correction de continuité est optionnelle mais recommandée.

XLSTAT permet de prendre en compte et de supprimer l'effet éventuel d'auto corrélations dans la série. La pente de Sen est calculée le cas échéant.

L'hypothèse nulle H_0 de ces tests n'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 taux de Kendall mesurant l'association entre deux échantillons et lui-même basé sur les rangs à l'intérieur des échantillons.

Tableau 18 : Caractéristiques statistiques des données pluviométriques annuelles.

Variable	Nombre d'Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Coef de variat%
070105	66	205.90	548.50	368.17	73.60	20%
070201		200.70	504.90	324.21	67.26	21%
070312		215.90	525.90	330.07	68.55	21%
070403		214.60	556.70	334.62	73.80	22%
070502		233.90	597.80	359.08	75.96	21%
070607		208.70	612.20	358.26	79.55	22%
070708		221.70	615.80	362.11	77.70	21%

Pour toutes les stations sélectionnées, le coefficient de variation annuel est compris entre 20 et 22 %. (20 %) à la station 070105, (21 %) aux stations 070201, 070312, 070502, 070708 et (22 %) aux stations 070403, 070607. Quant aux totaux pluviométriques annuels moyens, leurs valeurs varient de 324,21 mm à 368,17 mm aux stations 070105 et 070201, respectivement (tableau 18).

c. Test de la pente de Sen :

Pour identifier la tendance existant dans les ensembles de données d'une série temporelle particulière, un estimateur de la pente (m) est considéré comme étant une série temporelle particulière, un estimateur de pente (m) est considéré ij comme médiane de tous les ensembles de données pour diverses combinaisons. La valeur « +ve » de (m) indique une tendance à la hausse, tandis que la valeur « -ve » indique une tendance à la baisse. La pente (m) est calculée a ij à l'aide de l'équation suivante :

$$m = \frac{(Y_j - Y_i)}{(j - i)}$$

Où « Y » et « Y » sont les valeurs temporelles au moment « j » et « I » j i ,(j>i).

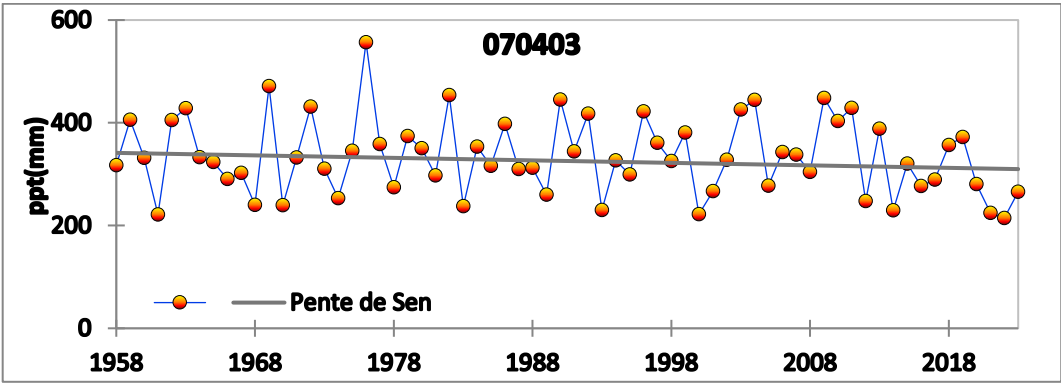
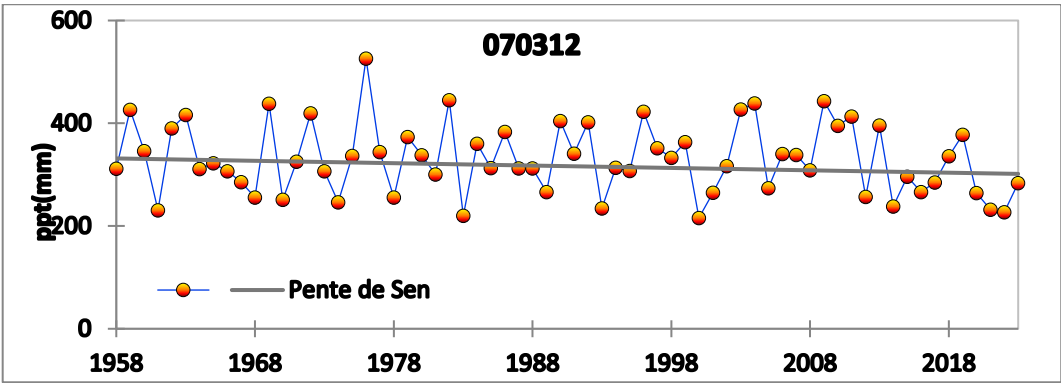
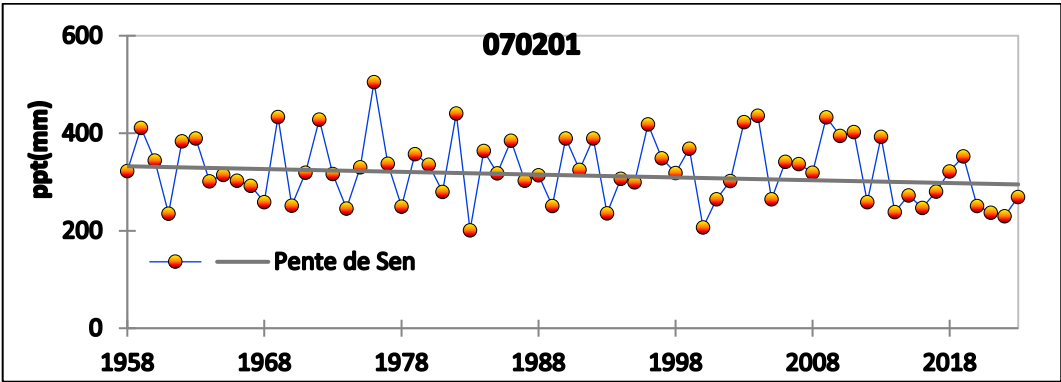
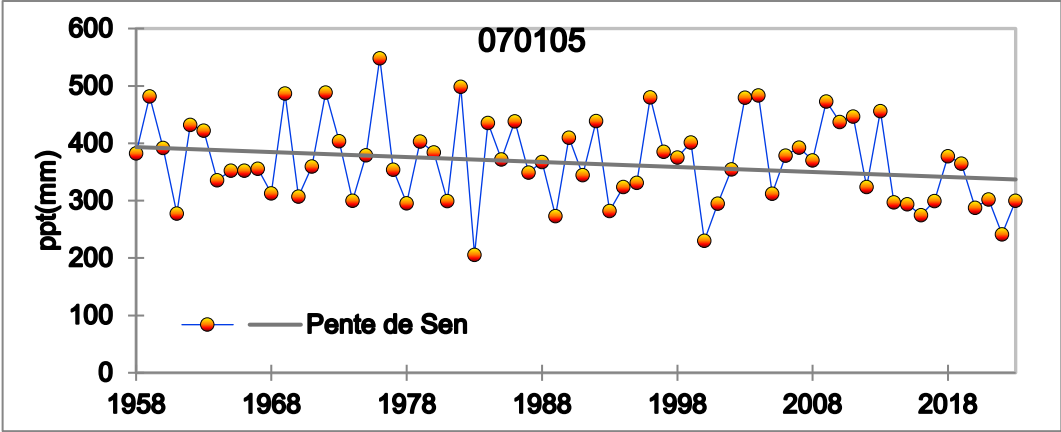
La pente de l'estimateur de Sen est la médiane de ces « N » valeurs de « m ».

Valeurs de « m ». La pente de Sen est calculée à l'aide de l'équation ij l'équation suivante :

$$m = m \left[\frac{N+1}{2} \right]$$

$$m = \frac{1}{2} \left[\frac{m_N}{2} + \frac{m_{N+1}}{2} \right]$$

Par conséquent, m est calculé à l'aide d'un test bilatéral avec un intervalle de confiance de 100(1-) ij α % d'intervalle de confiance et, par conséquent, la pente réelle est donnée par le test non paramétrique (SEN P.K., 1968).



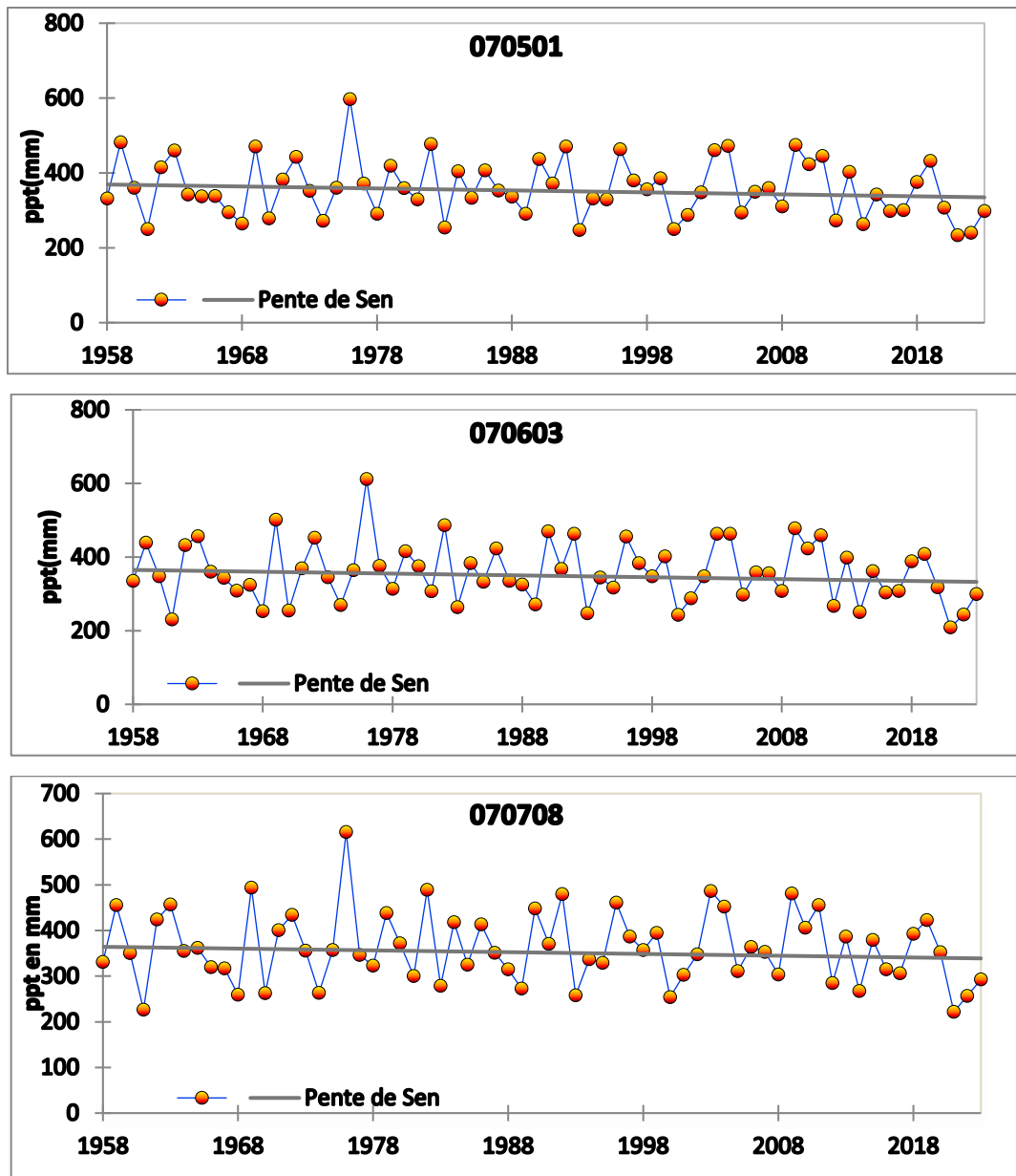


Figure 27 : Tests de tendance de la pente de Sen des sept stations sélectionnées sur le BV07 pour la période (1958-2023).

Afin d'évaluer les variations temporelles des précipitations annuelles pour le BV07, pour les sept stations sélectionnées, nous avons réalisé une analyse de tendance en utilisant une série de 66 ans. L'estimation de la pente de Sen a révélé une légère tendance à la baisse des précipitations annuelles, et les résultats sont présentés dans les courbes de la (figure 29 et tab 19), ce qui s'explique par l'irrégularité du régime pluviométrique dans cette région qui est soumise à des périodes de sécheresse entrecoupées de périodes humides.

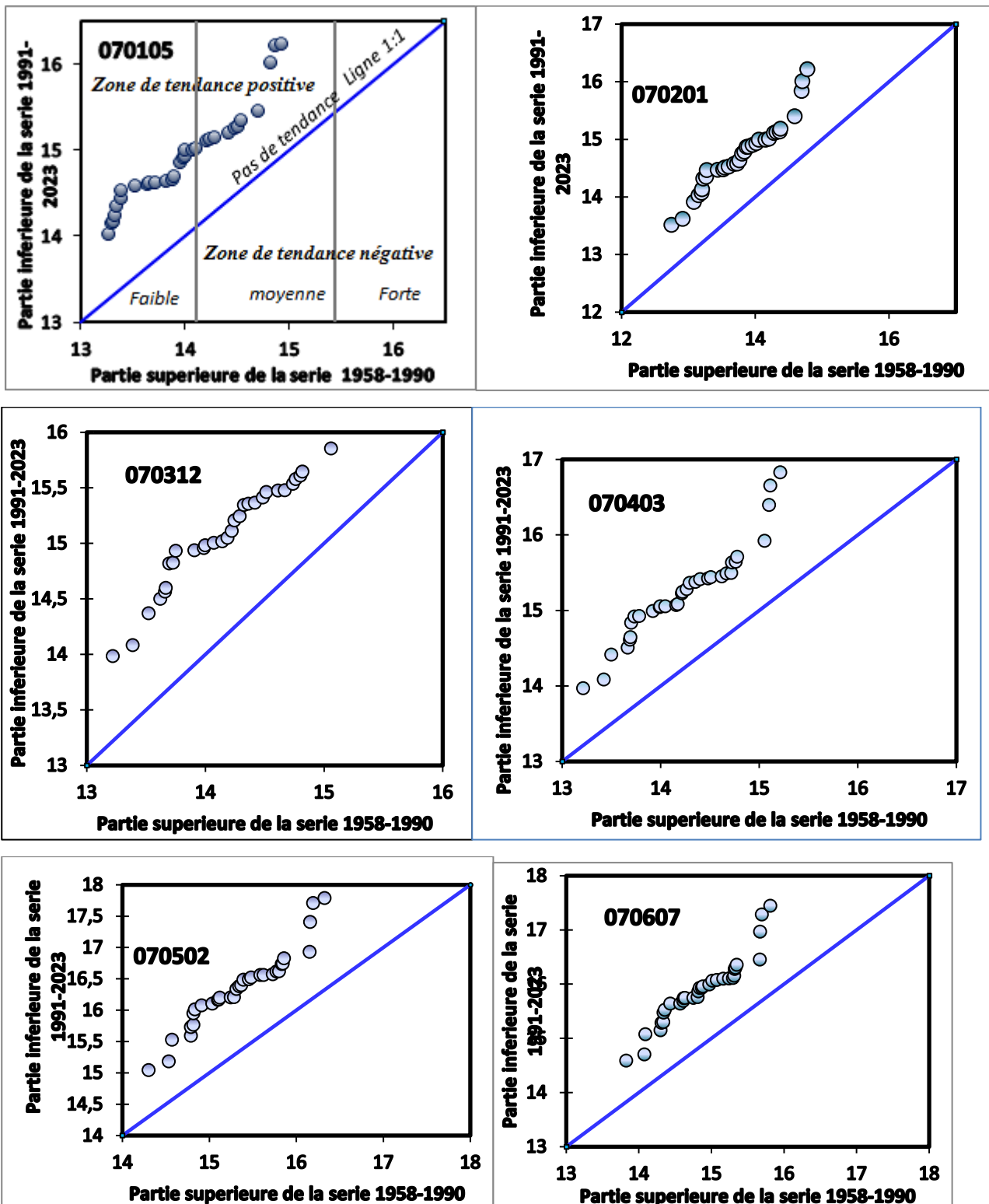
Tableau 19 : Tableau récapitulatif des différents tests statistiques appliqués aux sept stations sélectionnées du BV07, série 1958-2023.

Sous-bassin versant		SBV1	SBV2	SBV3	SBV4	SBV5	SBV6	SBV7
Code de la station		070105	070201	070312	070403	070502	070607	070708
Test de Mann Kendall	Taux de Kendall $Z < 1,96$	-0.139	-0.096	-0.085	-0.088	-0.093	-0.075	-0.071
	$S > 0$ (Augmentation)	-299	-206	-182	-189	-199	-161	-153
	Var (S)	32651.66 67	32650.6 77	32651.6 67	32651.6 67	32651.6 77	32651.6 67	32651.6 67
	Valeur p (bilatérale)	0.099	0.257	0.316	0.298	0.273	0.376	0.400
	Alpha : α	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Pente de Sen ($^{\circ}\text{C}$)		-0.869	-0.573	-0.463	-0.486	-0.525	-0.500	-0.390
Test Buishand (Q)		14%	20%	30%	28%	35%	38%	53%
Hypothèse nulle ($p < \alpha$)		Rejeté	Rejeté	Rejeté	Rejeté	Rejeté	Rejeté	Rejeté
Segmentation Hubert	Point de Rupture (PR)	2011	2013	2019	2019	2020	2020	2020
	Test de Scheffé	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Teste de Pettitt	Début et fin de l'année	1958-2013	1958-2013	1958-2011	1958-2011	1958-2011	1958-2011	1958-2011
		2014-2023	2014-2023	2012-2023	2012-2023	2012-2023	2012-2023	2012-2023
	Moy avant BP	379.66	333.91	339.36	344.79	369.01	368.33	370.75
	Moy après BP	303.85	281.06	288.29	288.84	314.36	312.98	323.21
Taux de réduction	En (%)	19.97	15.83	15.05	16.23	14.81	15.03	12.82
	En (mm)	-75.81	-52.85	-51.07	-55.95	-54.65	-55.35	-47.54

9. Impact du changement climatique sur la tendance de la température

La méthode innovante d'analyse des tendances a été proposée par Şen (2011) pour la détection des tendances dans les séries temporelles. Dans cette méthode, les données sont également divisées en deux segments entre les premières dates et la dernière date. Les deux segments sont classés par ordre croissant et présentés sur les axes X et Y. Le premier segment est présenté sur l'axe horizontal (axe des x) tandis que le second segment est présenté sur l'axe, vertical (axes-y) dans le système de coordonnées cartésiennes. Une bissectrice à 1:1 divise le diagramme en deux triangles égaux. Si les points de données se trouvent sur la ligne 1:1, il n'y a pas de tendance dans les données. Si les points de données se trouvent dans le triangle supérieur, cela indique une tendance positive (tendance à la hausse). Tendance croissante). Si les données se trouvent dans le triangle inférieur,

cela indique une tendance négative (tendance à la baisse) dans les données (Zhang et al. 2008 ; Şen 2011).



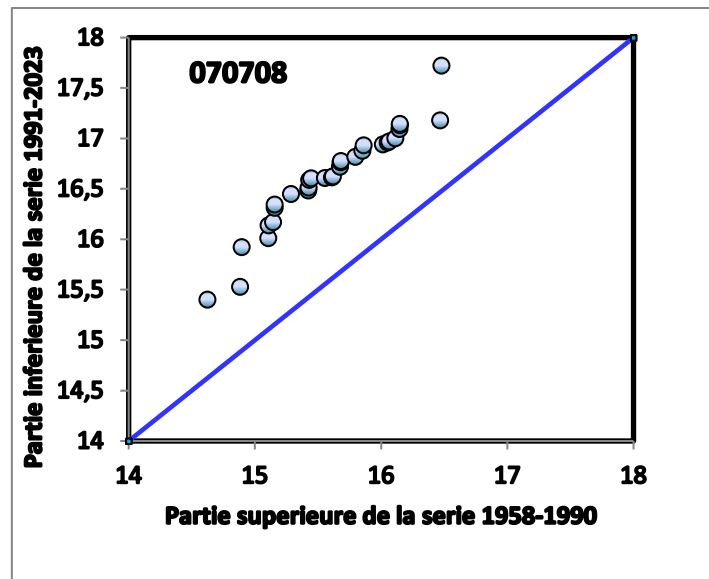


Figure 28 :Graphiques de l’application de la TIA sur sept stations sélectionnées pour la période (1958-2023), du BV07.

Le résultat de l’application de la TIA est présenté dans la figure 30, Oudon a analysé les températures moyennes de 1958 à 2023 pour les sept stations situées dans le bassin versant 07. On observe que tous les points des données se situent dans le triangle supérieur, ce qui indique une tendance positive monotone, avec un changement de tendance de faible à moyenne intensité dans toutes les stations.

10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons caractérisé la variabilité des précipitations. En calculant l'indice pluviométrique normalisé, nous avons pu identifier des phases déficitaires (1964-1962 ; 1987-1989; 1993-1995; 2000-2002; 2014-2023)et des phases normales ou excédentaires (1958-1960; 1972-1977; 1990-1992; 2003-2011).Comme l'a montré l'étude de l'indice de sécheresse, le nombre d'années sèches et humides est équilibré, avec une légère tendance à la sécheresse, une succession d'années sèches dans les années 1980 et 1990 a fait la différence avec les années de pluie. Mais depuis, les signes de sécheresse sont rares.

Nous avons tenté de caractériser les fluctuations du régime pluviométrique au BV du haut plateau Constantinois en appliquant une série de méthodes statistiques, ces tests, nous ont permis de déterminer de tendance à la baisse des précipitations, et à la hausse des températures, ainsi que la détection de ruptures dans les séries de données de précipitations, avec dates d'occurrence. Les tests utilisés sont les tests de Pettit, Lee et Higginian, le hachage d'Hubert, le test de Biushand.



CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

L'analyse du changement climatique dans une région repose sur un certain nombre d'étapes, certes longues et fastidieuses, mais nécessaires à une analyse sérieuse.

L'objectif principal de ce travail était de proposer une approche systématique pour déterminer l'influence du changement climatique sur la réponse hydrologique et d'analyser les principaux paramètres climatiques (précipitation et température) à l'échelle mensuelle et annuelle, du bassin versant des haut plateaux constantinois, BV07, pour la série 1958 à 2023, à travers une analyse statistique ciblée, par l'utilisation des outils appropriés à cet effet, tel que les tests de Mann-Kendall et le test de Pettitt, l'analyse des tendancesetc.

Cette manipulation nous a permis de déterminer les effets du changement climatique sur le régime climatique de la région d'étude, BV07, ou on a remarqué :

La caractérisation des tendances d'un ensemble de relevés pluviométriques des 7 stations sélectionnées du BV07, en fonction d'une analyse des tendances pluviométriques, en fonction des classifications. Chaque information fournit la classe exacte de la période sèche et humide, les catégories sont identifiées par des indices précis.

La première série a permis de classer Les indices de sécheresse estimés indiquent que notre zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride qui a connu une longue période sèche d'intensité modérée suivie d'une période d'humidité.

Par ailleurs, l'interpolation des indices de précipitations standardisés (SPI) sur l'ensemble de la zone concernée grâce à la présentation graphique a permis de visualiser et d'évaluer la relation temporelle évolutive de la sécheresse.

La deuxième série de tests de lissage de Pettit et Biushand au niveau de signification de 95%, pour ces déviations positives (intervalles) et montrant la date de discontinuité (Année de rupture) dans la stabilité des séries de températures moyennes, que nous avons appliquées nous a permis d'identifier le type de tendance et de détecter des intervalles dans les séries de données de précipitations.

En ce qui concerne les précipitations annuelles moyennes, toutes les stations affichent une tendance négative, la moyenne avant l'année de rupture étant plus élevée que la moyenne après l'année de rupture.

L'analyse statistique des températures des moyennes annuelles par la TIA, pour toutes les stations traitées, a montré que la région a connu de nettes tendances à la hausse au cours des périodes étudiées.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

Références bibliographiques

- [1].**ABDEDDAIM H., 2018** ; contribution a l'étude de l'influence de la structure du reseau hydrographique sur le risque hydrologique « cas des bassins de l'est de l'algerie . thèse de doctorat en sciences hydrauliques», Université Mohamed Khider Biskra. , Algérie, pp.79 – 103.
- [2].**Acquet JJ. et Jacquet J., 1964** ; Les méthodes statistiques dans les calculs de prédétermination des crues. Revue de statistique appliquée. Tome 12, n°1, pp. 49–61.
- [3].**Aissani B. et Laborde J P ., 1983** ; Les pluies extrêmes et leur cartographie automatique dans la région algéroise. Document préliminaire. Conférence sur le climat méditerranéen et les ressources en eau, Eau verte – Eau bleue, Marseille, 8 p.
- [4].**ALI A. et LEBEL T., 2009**; The Sahelian standardized rainfall index revisited. International Journal of Climatology. Vol. 29. No. 12 p. 1705–1714.
- [5].**Aliouche Y., 2016** ; Impact du changement climatique sur la fluctuation Piézométrique de la nappe de Mitidja. Mémoire de Master en Hydraulique. Appl. Statist, 28(2), 126-135.
- [6].**ANRH** ; D'après l'agence nationale des ressources hydriques(A.N.R.H).
- [7].**ANRH ., 1993** ; Carte pluviométrique de l'Algérie à l'échelle du 1/500.00 + notice explicative, Alger.
- [8].**ANRH ., 2001** ; Inventaire des ressources en sols d'Algérie 1963 - 2001, Atlas cartographique, Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Alger.
- [9].**Anser A., 1998** ;La pluviométrie en Algérie du Nord : évolution et variabilité (1931-1995). Thèse de doctorat d'état, Université de Constantine, Institut des Sciences de la terre, 260 p.
- [10].**ARDOIN-BARDIN S.et DEZETTER A.et SERVAT E.et MAHE G.et PATUREL J.E.et DIEULIN C. et BOYERJ F., 2003** ; Analyse de la variabilité des ressources en eau en Afrique de l'Ouest sahélienne par modélisation hydrologique à grand pas de temps et d'espace. Journal de l'Eau et de l'Environnement. Vol. 3 p. 5–13.
- [11].**ARDOIN-BARDIN S., 2004** ; Variabilité hydro climatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Doctoral dissertation. Paris. UNESCO.
- [12].**ARFA A M T., 2008** ; Les incendies de forêt en Algérie : Stratégies de prévention et plans de gestion. Mémoire de Magistère en Ecologie et Environnement, option Ecologie végétale, université Mentouri Constantine, 115 p.
- [13].**Azzi A., 2011** ; Mémoire de master La tendance générale des pluies dans le nord centre de bassin versant de la Tafna (nord-ouest de l'Algérie), Revue "Eau et climat au Maghreb", 2 : 66-77.
- [14].**Baazi H., 2002** ; Etude de la faisabilité d'un ouvrage de substitution dans la vallée de l'oued El ABiod. Thèse de magister. Université de Batna113p.
- [15].**BANHOLZER S.et KOSSIN J. et DONNER S., 2014** ; The Impact of Climat Change on Natural Disasters. In: SINGH, A. & ZOMMERS, Z. (eds.) *Reducing Disaster: Early Warning Systems For Climate Change*. Dordrecht: Springer Netherlands
- [16].**Belagoune F.,2012**; Etude des crues dans le milieu semi-aride en Algérie. Thèse de magister. Université KasdiMerbah de Ouargla.
- [17]. **Bella N., 2005** ; Aptitude aux écoulements dans l'impluvium de la ville de Batna et les problèmes d'inondations. Thèse de Magister. Inst science de la terre, université de Batna. Bellezma. Algérie orientale.
- [18].**BELTRANDO Gérard. et CAMBERLIN Pierre ., 1995** ; Les sécheresses en Ethiopie et dans l'Est de l'Afrique. Science et changements planétaires/Sécheresse.vol. 6. No 1 p. 87-94.

- [19].**Benazzouz M-T., 1986** ; « Recherches géomorphologiques dans les Hautes plaines de l'Est Algérien : La Sebkat Taref (Algérie) », Thèse doctorat 3ème cycle, Université de Paris I Sorbonne, 262p.
- [20]. **Bendjamaa F., 2000** ; Etude géomorphologique de la terminaison occidentale des amonts de Bellezma. Algérie orientale.
- [21].**Bensaadallah M. et TAIBA S., 2020** ; Etude de variabilité spatio-temporelle des précipitations moyennes annuelles dans le bassin versant de chott El Hodna B.B.A . Mémoire de Master Sciences de la Nature et de la Vie, Université Ibrahimi El Bachir El Mohamed, p04.
- [22].**Benyatou M. et Bouklikha A., 2017** ; Variation et tendance des températures et des précipitations journalière en Algérie 2017.
- [23].**BERGAOUI M. et ALOUINIA.W.S., 2002** ; Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : Cas du bassin versant de Siliana en Tunisie. Science et changements planétaires/Sécheresse. Vol. 12. No 4 p. 205–213.
- [24].**BOKO Michel., 1988** ; Climats et communautés rurales du Bénin : rythmes climatiques et rythmes de développement. Thèse de doctorates. Dijon.
- [25].**Bouchama A., 2004**; The 2003 European heat wave. *Intensive Care Medicine*, 30, 1-3.
- [Bouchedja, 2012 ; Les bassins hydrographiques de l'Algérie .
- [26].**Boudiaf B., 2021**; Contribution to the study of variability and climate change in the North-East of Algeria. Thesis of Doctorate in Hydraulics, Badji Mokhtar Annaba University , Algeria , pp 91-92.
- [27].**Buishand T.A., 1982**; some methods for testing the homogeneity of rainfall records *Journal of Hydrology*. vol. 58 p. 11-27.
- [28]**Cote M, et Benkartoussa A., 1974** ; « Un aménagement pastoral : Les garâtes constantinoises » Séminaire international sur le pastoralisme, Alger, 22-28 Avril 1974 ,15p.
- [29].**D'ALEO, J. S. & KHANDEKAR, M., 2016**; Chapter 6 - Weather Extremes. In: EASTERBROOK, D. J. (ed.) *Evidence-Based Climate Science (Second Edition)*. Elsevier.
- [30].**Davtian G 1998** ;Analyse des données et cartographie automatique : application aux principales variables climatiques du versant méditerranée du Maghreb, Thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, 328 p.
- [31].**DEMARÉE G.R., 1990**; Evidence of abrupt climate change from the rainfall data of a Mauritanian station. *IRM. Série A*. N° 124.68-74.
- [32].**Desbordes, M., Masson, J.M., 1995** ; Précipitations extrêmes dans le sud de l'Europe.
- [33].**Djoudi A. et Zerrouki A., 2020** ; Variabilité et tendances pluviométriques dans les Hauts Plateaux constantinois. Mémoire de master Sciences et Technologie, Université Amar Thelidji-Laghout, pp 4-12.
- [34].**Drobinsky, P., Ducrocq, V., 2008**; HYMEX: white book.
- [35].**Elmeddahi ., 2016**; Les changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau, cas du bassin du Cheliff. These de doctorat. Université Hassiba Ben Bouli-Chlef 199p.
- [36].**Gaagai. A., 2009** ; étude hydrologique et hydro chimique du bassin versant du barrage de babar sur oued el araberégion est de l'Algérie. Thèse de magister. Universités de Batna, 113p.
- [37].**Ghenim A.N., Megnounif A., Djelloul Smir S.M., 2014**; Evaluation des changements dans la pluviométrie du bassin versant de la Tafna (nord-ouest de l'Algérie), *Revue "Eau et climat au Maghreb"*, 2 : 66-77.

- [38].GIEC ., 2007 ; Résumé à l'intention des décideurs. In changements climatiques 2007 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
- [39].GIEC ., 2008 ;Résumé a l'intention des décideurs. In: Bilan 2007 des changements climatiques : Les bases scientifiques physiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. [Solomon, S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. et Miller H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom et New York, NY, USA
- [40].GIEC ., 2013 ; Stratégie méditerranéenne pour le développement durable 2016-2025, mai 2016, p. 52.
- [41].Gordon A. McKay., 1968 ; Mesure de la précipitation ,29-64p.
- [42].Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé, OMM-N° 1090 © Organisation météorologique mondiale, 2012, p 25
- [43]. GUIDOUM.A., 2017 ; Etude de cas dans la Seybouse, les hautes plaines constantinoises et Chott Melghir(Coupe Nord-sud). Doctorat en sciences en Hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra, Algérie, pp 7-15.
- [44].HIRSCH R.M. & SLACK J.R., 1984; "*A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence*", *Water Resources Research*, 20, pp. 727-732. DOI : [10.1029/WR020i006p00727](https://doi.org/10.1029/WR020i006p00727)
- [45].HOUARI H. et BENZARTIHA F., 2019 ; Etude du climat passé et des changements climatiques futurs dans la région de Sétif .Mémoire de Master Sciences de la Nature et de la Vie, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.pp17-18
<https://doi.org/10.1007/978-94-015-9612-1>.[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(88\)90191-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(88)90191-6).
- [46].Hubert P., Carbonnel JP., Chaouche A., 1989 ; Segmentation des séries hydrométéorologiques : application à des séries de précipitations et de débits en Afrique de l'Ouest. *Journal of hydrology* .110 :349-367.
- [47].Ineglizs., 2002 ;Contribution à l'étude de la répartition spatiale de la précipitation dans la région centre de l'Algérie du Nord. Thèse de maîtrise en aménagement hydraulique. École Nationale Supérieure de l'Hydraulique. Blida, Algérie. 120 p.
- [48].KENDALL M. G., 1975; *Rank correlation methods*, Griffin, London, 202 p. DOI : [10.2307/2333282](https://doi.org/10.2307/2333282)
- [49].Khaldi R ;Etude de la Variabilité Hydro-Climatique et la relation pluie-débit par Réseau de Neurone dans Certains Bassins Versants des Hauts Plateaux Constantinois (Nord Est de l'Algérie).Mémoire Hydraulique, Doctorat Université de Biskra - Mohamed Khider .
- [50].KHEZAZNA A ., 2017 ; *Les changements climatiques au Nord-est algérien Evolution récente et projections futures*.Thèse de doctorat, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA.
- [51].Laborde J P, Assaba M, Belhouli L., 2003 ;Les chroniques mensuelles de pluies de bassin : un préalable à l'étude des écoulements en Algérie. Colloque SHF, Gestion du risque en eau en pays semi-arides, Tunis, 10 p.
- [52].Laffitte R., 1939 ; Etude géologique de l'Aurès, Thèse Sci, Paris, Bull. Serv. Géol. Alg. 484 p.

- [53]. **Lazzouzi s**, 2015 ; PROJET DE FIN D'ETUDES En du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique Contribution à l'étude de la variabilité et de l'évolution de la pluviométrie sur le littoral Algérien, Ecole Nationale Polytechniques Département Hydraulique, Algérie, pp73-74.
- [54]. **Lee AFS., S M. Heghinian., 1977**; A shift of the mean level in sequence of independent normal random variables a Bayesian approach, *Technometrics*, Volume 19(4), pp. 503-506.
- [55]. **Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R., Alpert, P., Artale, V., Li, L., Luterbacher, J., May, W., Trigo, R., Tsimplis, M., 2006**; The Mediterranean climate: an overview of the main characteristics and issues. Elsevier.
http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_976_fr.html.
- [56]. **Lubes H., Masson J-M., Servat E. et Paturel J-E., et Boyer J-F ., 1994** ;Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques. Etude bibliographique, rapport 3, Programme ICCARE.OSTROM, Montpellier, France.
- [57]. **MANN H. B., 1945**; “Non parametric tests against trend”, *Econometrical*, 13, pp. 245 - 259.
- [58]. **Mckee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist J., 1993**, *La relation entre la fréquence des sécheresses et la durée des échelles de temps*. 8ème Conférence sur la climatologie appliqué, 17-23 Janvier 1993, Anaheim CA, pp. 179-186.
- [59]. **MCKEE T.B., DOESKEN N.J., KLEIST J., 1995**; Drought monitoring, with multiple time scales. In: *Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology*, AMS, Dallas, TX p. 233–236.
- [60]. **Mebarki A., 1984** ; Ressources en eau aménagement en Algérie, le bassin versant de Kébir.
- [61]. **Mebarki A., 2000** ; Etiages, rejets et protection des ressources en eau des bassins méditerranéens de l'Algérie Orientale. Géo carrefour, 75/4, l'interface nature-sociétés dans les hydro systèmes fluviaux : 399-416.).
- [62]. **Mebarki A ., 2005** ; Hydrologie des bassins de l'est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de Doctorat d'Etat, Université. Mentouri, Constantine, Algérie, 360 p.
- [63]. **Meddi M, Humbert J ., 2000** ; Variabilité pluviométrique dans l'Ouest algérien durant les cinq dernières décennies. *Association Internationale de Climatologie*, 13 : 266- 274.
- [64]. **MEDDI M. ET HUBERT P., 2003** ; Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. *Hydrology of the Mediterranean and semiarid Regions*. IAHS publication N° 278.
- [65]. **Menani M-R ., 1991** ; Etude hydrogéologique de la plaine d'El-Madher (Algérie orientale) : Géologie, climatologie, hydrogéologie et modélisation des écoulements souterrains de l'aquifère Moi-Plio-Quaternaire :Thèse de doctorat, université de Nancy I G.E.S, 409 p.
- [66]. **Moisselin, J.-M., Schneider, M., Canellas, C., 2002** ; Les changements climatiques en France au XXè siècle. Etude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. *La météorologie*.
- [67]. **Mouhous N., 1997** ; Etude des précipitations extrêmes journalières en Algérie du Nord. Mémoire de D.E.A. « Milieux physiques méditerranéens », Université de Nice-Sophia Antipolis, 100 p.
- [68]. **Nadji R., 2011** ; Impact du changement climatique sur les courbes IDF et les périodes de retour .Mémoire de projet de fin d'études Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique, Ecole Nationale Polytechnique .pp18-23.
- [69]. **Nassopoulos H., 2012** ; Les impacts du changement climatique sur les ressources en eaux en Méditerranée. Normal random variables—a Bayesian approach. *Technometrics*, 19, 503–506.

- [70].Niasse, M., Afouda A. et Amani A., 2004 ; Réduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'Ouest aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la désertification : Eléments de stratégie régionale de préparation et d'adaptation, UICN, Gland (Suisse) et Cambridge (Royaume Uni), 71 p.
- [71].Ouhamdouch, S., Bahir, M., &Carreira, P, 2018 ; Impact du changement climatique sur la ressource en eau en milieu semi-aride : exemple du bassin d'Essaouira (Maroc). Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science, 31(1), 13-27.
- [72].Peterson, T. C., Easterling, D. R., Karl, T. R., Groisman, P., Nicholls, N., Plummer, N.,Torok, S., Auer, I., Boehm, R., Gullett, D., Vincent, L., Heino, R., Tuomenvirta, H., Mestre, O., Szentimrey, T., Salinger, J., Forland, E. J., Hanssen-Bauer, I., Alexandersson, H., Jones, P. & Parker, D., (1998); Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. Int. J. Climatol. 18, 1493–1517.
- [73].PETTITT A.N., 1979; A non-parametric approach to the change-point problem. Appl. Statist, 28(2), 126-135.
- [77].PINAULT, J.-L. 2012; Global warming and rainfall oscillation in the 5–10 yr band in Western Europe and Eastern North America. Climatic Change, 114, 621-650.
- [74].RHISSA AG. B., 2018 ; Etude de changement climatique au Nord-Est algérien.memoire de master sciences et technique, Université badjimokhtarannaba.pp 27-34.
- [75].Sala, J.Q., Olcina, A.G., Cuevas, A.P., Cantos, J.O., Amoros, A.R., Chiva, E.M., 2000; Climatic warming in the Spanish Mediterranean: natural trend or urban effect. Climatic Change 46, 473–483.
- [76].Seltzer P ., 1946 ; Le climat de l'Algérie, Alger, Inst.de Météorologie et de Physique du Globe, Carbonnel, 219 p.
- [77].SEN P.K., 1968;“Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall’s Tau”, *Journal of the American Statistical Association*, 63, pp. 1379-1389.DOI : [10.1080/01621459.1968.10480934](https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934).
- [78]Şen Z ., 2011 ; Innovative trend analysis methodology. J HydrolEng 17:1042– 1046.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000556)
- [79].Solomon, S., Manning, M., Marquis, M., Qin, D., 2007; Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge universitypress.
- [80].Sow et Bathiery., 2022 ; Vulnérabilité de la commune de Djilor (Fatick, Sénégal) aux changements climatiques et stratégies d'adaptation des communautés.
- [81].SUTHERLAND R.A., BRYAN R.B., OOSTWOUD WIJENDES D., 1991; Analysis of the monthly and annual rainfall climate in a semi-arid environment, Kenya. Journal of AridEnvironments., 20,257-275.
- [82].Tabet-Aoul, M., 2008 ; Impacts du changement climatique sur les agricultures et les ressources hydriques au Maghreb, Les notes d'alerte du CIHIM n 48, juin 2008.
- [83].TATAR1 H.et REGAD N ; variabilité climatique et ressources en eau en milieu semi-aride : cas des bassins versants des oueds chemora, reboa et gueiss (hauts plateaux constantinois, algérie .pp 23-24.
- [84].Touaïbia B, Inegliz S.et Ould A ., 2006 ;Couplage d'une analyse en composantes principales et d'une approche géostatistique pour l'élaboration de cartes pluviométriques du Centre de l'Algérie du Nord », Revue des Sciences de l'Eau, 19/3 : 213-219.

- [85].**Touazi M., 2001** ; Evaluation des ressources en eau et acquisition de bases de données à références spatiale et temporelle en Algérie du Nord". Thèse doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, 300 p.
- [86].**Touitou M, AbulQuasem A A., 2018**; Climat change and water resources in Algeria : vulnerability ,impact and adaptation strategy. University of Algiers3.Pp 419.
- [87].**UNFCCC ., 1992** ; Convention Cadre des Nations unies sur les changements climatiques,p33.
- [88].**VAN AALST, M. K., 2006**; The impacts of climate change on the risk of natural disasters. Disasters, 30, 5-18.
- [89].**VANNITSEM S., DEMARÉE G., 1991** ; Détection et modélisation des sécheresses au Sahel. Hydrologie Continentale. Vol. 6, n° 2,155-171.
- [90].**Xoplaki, E., González-Rouco J.F., Luterbacher J., Wanner H., 2003**; Mediterranean summer air temperature variability and its connection to the large-scale atmospheric circulation and SSTs. Climate dynamics 20, pp. 723–739.
- [91].**Zhang Q, Xu C-Y, Zhang Z, Chen YD, Liu C-I, Lin H ., 2008**; Spatial and temporal variability of precipitation maxima during 1960–2005 in the Yangtze River basin and possible association with large-scale circulation. J Hydrol.353:215–227.

Site:

Data Source: Data Downloads Tools in the Climate Toolbox (<https://climatetoolbox.org/tool/data-download>) Download Date: 03/22/2024

Product: Historical Climate (Monthly) Terra Climate
(<http://www.climatologylab.org/terraclimate.html>)

Location (Lat/Lon of 4-km Grid Cell Center): 35,6875 North 5,9375 East

<https://ideascale.com/fr/blogues/quest-ce-que-lanalyse-des-tendances/>.

<https://www.xlstat.com/fr/solutions/fonctionnalites/tests-d-homogeneite>.

<https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/2411/effet-de-serre>.