



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
جامعة زيان عاشور-الجلفة
Université Ziane Achour-Djelfa
كلية علوم الطبيعة والحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
قسم علوم الارض والكون
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire de fin d'étude

En Vue De l'obtention Du Diplôme De Master En Géographie et Aménagement
du Territoire
Option : Villes, Dynamique Spatiale et Gestion

Thème

Environnement Urbain et son Impact sur le Changement Climatique (casde la Wilaya de Guelma)

Présenté par :Kireche Djamila

Promoteur: M. HAIED Nadjib.....MCA UNIVERSITE Z.A. DJELFA

Devant le jury composé de :

Président : M. BOUSAID Adel.....MCB UNIVERSITE Z.A. DJELFA

Examineur: M. FOUFOU Atif.....MCB UNIVERSITE Z.A. DJELFA

Année Universitaire 2022/2023

ملخص:

تقع ولاية قالمة في الشمال الشرقي للبلاد، تبلغ مساحتها 3.686.84 كيلومتر مربع، ويبلغ عدد سكانها 482.430 نسمة. تخضع منطقة الدراسة لمناخ شبه جاف، يتميز بارتفاع معدل هطول الأمطار السنوي نسبياً. الهدف من هذه الدراسة هو توضيح تأثير التجمعات الحضرية بولاية قالمة على التغيرات المناخية. يعد الجفاف أحد الآثار المباشرة لتغير المناخ، والذي ينتج عن انخفاض هطول الأمطار ويصبح غير كاف لتلبية احتياجات البيئة والأنشطة البشرية. ولهذا الغرض، ولتحليل وتفسير وتحديد عوامل التأثير، كان استخدام أداة تحليل العناصر الأساسية (ACP) مرضياً، حيث تم التأكيد على أن العوامل المناخية والحضرية ترتبط ارتباطاً وثيقاً بهذه التغيرات وتؤثر عليها بشكل واضح.

الكلمات المفتاحية: ولاية قالمة، الأمطار، الجفاف، التغيرات المناخية، ACP.

Résumé :

La wilaya de Guelma est située au Nord-Est du pays, elle couvre une superficie de 3.686,84 Km², et compte une population de 482 430 habitants. La région d'étude est soumise à un climat semi-aride, caractérisé par des précipitations annuelles relativement élevées. Cette étude a pour objet de démontrer l'impact des agglomérations urbaines de la wilaya de Guelma sur les changements climatiques. La sécheresse est l'un des impacts directs des changements climatiques, qui résulte d'une baisse de précipitations et deviennent insuffisantes pour répondre aux besoins de l'environnement et des activités humaines. A cet effet, et pour analyser, interpréter et déterminer les facteurs d'impact, l'utilisation de l'outil statistique multi-varié (ACP) a été satisfaisant. Il a été confirmé que les facteurs climatiques et urbains sont très bien corrélés avec ces changements et les influencent clairement.

Mot clés : Wilaya de Guelma, Précipitations, Sécheresse, Changements climatiques, ACP.

Abstract:

The wilaya of Guelma is located in the northeastern part of the country, covering an area of 3,686.84 km², and it has a population of 482,430 inhabitants. The studied region is subject to a semi-arid climate, characterized by relatively high annual precipitations. This study aims to demonstrate the impact of Guelma's urban agglomerations on climate change. Drought is one of the direct impacts of climate change, which results from a decrease in precipitation and becomes insufficient to meet the needs of the environment and human activities. For this purpose, and to analyze, interpret and determine the impact factors, the use of the multivariate statistical tool (PCA) was satisfactory. It was confirmed that the climatic and urban factors are very well correlated with these changes and clearly influence them.

Keywords: The wilaya of Guelma, Precipitation, Drought, Climate change, PCA.

Remerciement

Je remercie **ALLAH**le Tout Puissant de m'avoir aidé et donné la volonté d'achever ce modeste travail.

Mes plus vifs remerciements à mon encadrant **M.HAIED Nadjib** qui m'a encouragée et soutenue tout au long de ce travail, pour sa disponibilité, ses précieuses orientations. J'ai eu l'honneur et la chance de bénéficier de ses connaissances et compétences, de ses conseils et de son suivi.

« Je vous réitère toute ma gratitude et mes plus sincères remerciements »

Je remercie spécialement les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers tous ceux qui par leur soutien et leurs conseils ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

C'est avec fierté et respect que je dédie ce travail :

A

La mémoire de mon père

Ma Chère maman

Mon mari et mes filles

Mon Chère frère

Mes sœurs et mes beaux frères

Mes nièces et mon neveu

Sommaire

REMERCIEMENTS	
DEDICACES	
SOMMAIRE	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES ABREVIATIONS ET PARAMETRES	
RESUME	
INTRODUCTION GENERALE	01
CHAPITRE I : Présentation de la Zone d'Etude	
I.1. Introduction	04
I.2. Présentation de la région d'étude	04
I.2.1. Situation Géographique et limites administratives	04
I.2.1.1. Situation Géographique	04
I.2.1.2. Situation Administrative	05
I.3. Géologie régionale de l'Algérie du Nord	05
I.3.1. Le domaine interne	06
I.3.2. Le domaine des flyschs	06
I.3.3. Le domaine externe (domaine des nappes)	06
I.3.3.1. Les unités ultra telliennes	07
I.3.3.1.1. La nappe ultra-tellienne du Djebel Haouara	07
I.3.3.1.2. La nappe ultra-tellienne de Djebel Bou Sbaa	07
I.3.3.2 L'ensemble tellien S.S	07
I.3.3.3. L'avant pays allochtone ou para autochtone	07
A- Les séries néritiques Constantinoises	07
B- Le sillon écaillé des Sellaoua	08
C- L'ensemble stratigraphique post-Priabonien	08
D- Les bassins "post-nappes"	08
E- Le magmatisme néogène	08
I.4. Lithostratigraphie	09
I.4.1. Trias	09
I.4.2. Formation du Néocomien	09
I.4.3. Les formations du Barrémien	09
I.4.4. Les formations de l'Aptien	09
I.4.5. Les formations de l'Albien	10
I.4.6. Les formations du Vraconien	10
I.4.7. Les formations du Cénomanién	10
I.4.8. Les formations du Turonien	10
I.4.9. Les formations du Coniacien	10
I.4.10. Les formations du Santonien	10
I.4.11. Les formations du Sénonien (Campanien et Maestrichtien)	10
I.4.12. Les formations du Paléocène	11
I.4.13. Les formations de l'Eocène inférieur et moyen	11
I.4.14. Les formations du Miocène	11
I.4.15. Les formations du pliocène	11
I.4.16. Les formations du Pléistocène	12

I.5. La tectonique et paléogéographie	12
I.6. Géomorphologie	12
I.7. Couvert Végétal	14
I.8. Aspect socio-économique	15
I.8.1. La population	15
I.8.2. Les activités	15
A- Industrielle	15
B- Agricoles	16
C- Tourisme	16
I.9. Conclusion	17

Chapitre II : Hydroclimatologie

II.1. Introduction	18
II.2. Caractérisation du climat de la région de Guelma	18
II.2.1. Calcul de l'indice d'aridité de De Martonne	18
II.2.2. Calcul de l'indice d'aridité mensuel	19
II.2.3. Indice de Paul Moral	21
II.2.4. Indice d'humidité et classification climatique de l'FAO-UNESCO	21
II.2.5. Récapitulation	22
II.2.6. Diagramme pluviométrique de Gausson ($P = 2T$)	22
II.3. Etude des paramètres climatiques	24
II.3.1. Les précipitations	24
II.3.1.1. Les précipitations moyennes mensuelles	24
II.3.1.2. Répartition saisonnière des précipitations	25
II.3.1.3. Les précipitations moyennes annuelles	26
II.3.2. La Température	28
II.3.2.1. La température moyenne mensuelle	28
II.3.2.2. La température moyenne annuelle	29
II.4. Estimation des paramètres du bilan hydrique	30
II.4.1. Définition de l'évapotranspiration	30
II.4.1.1. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)	32
II.4.2. Interprétation du bilan hydrique	33
II.4.3. Comparaison des résultats des trois méthodes	35
II.5. Conclusion	36

Chapitre III : Matériel et Méthodes

III.1. Approche méthodique	37
III.2. Aperçu sur le changement climatique	38
III.2.1. Définition du changement climatique	38
III.2.2. Effets du changement climatique	38
III.2.3. Impact du changement climatique sur la sécheresse	38
III.3. La sécheresse	39
III.3.1. Classification de la sécheresse	39
III.3.2. Caractéristiques de la sécheresse	40
III.3.3. Les indices de l'évaluation de la sécheresse	40
A- Indice des précipitations standardisées (SPI)	40
B- L'indice de la reconnaissance de la sécheresse (RDI)	41
C- Evaporation potentielle (ETP)	41
III.4. Etablissement de l'Analyse en Composantes Principales (ACP)	42

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV. 1. Introduction	43
IV.2. Evaluation et surveillance de la sécheresse météorologique	43
IV.2.1. La corrélation entre le SPI et le RDI	43
IV.2.2. Evaluation de la Sécheresse Météorologique	45
A- Pour la Sécheresse Météorologique à court terme	45
B- Pour la Sécheresse moyenne et long terme	46
IV.3. Analyse en composantes principales (ACP) des variables favorisant les fluctuations climatiques	48
IV.3.1. Corrélacion de Pearson	48
IV.3.2 Valeurs propres	49
IV.3.3 Etude des variables	49
IV.3.4. Etude des individus	50
IV.3.5. Représentation graphique de l'ACP	50
IV.3.5.1 Cercle F1F2	50
IV.3.5.2 Plan F1F2	51
IV.3.6 Conclusion	52
CONCLUSION GENERALE	53
REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES	55

Liste des Figures

Figure 1 : Situation Géographique de la wilaya de Guelma	04
Figure 2 : Localisation de la wilaya de Guelma	05
Figure 3 : Carte géologique de Guelma	13
Figure 4 : Couverture Végétale du bassin de la moyenne Seybouse de Guelma	15
Figure 5 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne	20
Figure 6 : Abaque de l'Indice d'aridité mensuel De Martonne	20
Figure 7 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien	23
Figure 8 : Diagramme pluviométrique de la station de Guelma pour la période (2012-2022)	23
Figure 9 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma(2012-2022)	25
Figure 10 : Répartition saisonnière des précipitations à la station de Guelma(2012-2022)	26
Figure 11 : Les variations du coefficient pluviométrique pour la station de Guelma (2012-2022)	27
Figure12 : Les variations des précipitations annuelles pour la station de Guelma (2012-2022)	28
Figure 13 : Variation des températures moyennes mensuelles de la station de Guelma (2012-2022)	29
Figure 14 : Variation des températures moyennes annuelles de la station de Guelma (2012-2022)	30
Figure 15 : Représentation schématique du bilan évapotranspiration /alimentation de la nappe/ruissellement	31
Figure 16 : Moyennes pluriannuelles des éléments climatiques pour la station de Guelma (2012-2022)	34
Figure 17 : Diagramme de la variation de la RFU, du déficit agricole et de l'excédent pour la Station de Guelma (2012-2022)	35
Figure 18 : Evolution du climat selon le GIEC 2015	39
Figure 19 : Diagramme de corrélation entre les SPI et les RDI pour la station de Guelma (1982-2022)	44
Figure 20 : Comparaison des SPI 1 et RDI1 pour la station de Guelma (1982-2022) avec une Pas de temps de 1 mois	46
Figure 21 : Comparaison des SPI 3 et RDI 3 pour la station de Guelma (1982-2022) avec une Pas de temps de 3 mois	46
Figure 22 : Comparaison des SPI 6 et RDI 6 pour la station de Guelma (1982-2022) avec une Pas de temps de 6 mois	47
Figure 23 : Comparaison des SPI 9 et RDI 9 pour la station de Guelma (1982-2022) avec une Pas de temps de 9 mois	47
Figure 24 : Comparaison des SPI 12 et RDI 12 pour la station de Guelma (1982-2022) avec une Pas de temps de 12 mois	48
Figure 25 : Cercle F1F2 d'ACP des facteurs urbains et climatiques de la wilaya de Guelma	51
Figure 26 : Plan F1F2 d'ACP des facteurs urbains et climatiques de la wilaya de Guelma	51

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques de la station météorologique de Guelma	18
Tableau 2 : Indices d'aridité mensuels (IDM) à la station de Guelma	21
Tableau 3 : Classification des différentes formes d'aridité (Science et changements planétaires, 2005)	22
Tableau 4 : Comparaison des indices d'aridité utilisés.	22
Tableau 5 : Les précipitations moyennes mensuelles (mm)	24
Tableau 6 : Variation saisonnière des précipitations à la station de Guelma (2012-2022)	25
Tableau 7 : Les précipitations moyennes annuelles et les coefficients pluviométriques (2012-2022)	27
Tableau 8 : Les années déficitaires et excédentaires (2012-2022)	28
Tableau 9 : Températures moyennes mensuelles de la station de Guelma (2012-2022)	29
Tableau 10 : Les températures moyennes annuelles de la station de Guelma (2012-2022)	29
Tableau 11 : ETR annuelle selon la méthode de Turc	32
Tableau 12 : ETR selon la méthode de Coutagne	33
Tableau 13 : Bilan hydrique pour la station de Guelma (2012-2022)	34
Tableau 14 : Résultats des valeurs de l'ETR selon les méthodes	35
Tableau 15 : Classification des indices de sécheresse météorologiques SPI et RDI	41
Tableau 16 : Coefficient de corrélation (R^2) entre les SPI et les RDI à différents pas de temps	45
Tableau 17 : Coefficients de corrélation entre les variables	49
Tableau 18 : Valeurs propres et pourcentages cumulés des axes principaux	49
Tableau 19 : Corrélation des variables aux principaux axes	50

ملخص:

تقع ولاية قالمة في الشمال الشرقي للبلاد، تبلغ مساحتها 3.686.84 كيلومتر مربع، ويبلغ عدد سكانها 482.430 نسمة. تخضع منطقة الدراسة لمناخ شبه جاف، يتميز بارتفاع معدل هطول الأمطار السنوي نسبياً. الهدف من هذه الدراسة هو توضيح تأثير التجمعات الحضرية بولاية قالمة على التغيرات المناخية. يعد الجفاف أحد الآثار المباشرة لتغير المناخ، والذي ينتج عن انخفاض هطول الأمطار ويصبح غير كاف لتلبية احتياجات البيئة والأنشطة البشرية. ولهذا الغرض، ولتحليل وتفسير وتحديد عوامل التأثير، كان استخدام أداة تحليل العناصر الأساسية (ACP) مرضياً، حيث تم التأكيد على أن العوامل المناخية والحضرية ترتبط ارتباطاً وثيقاً بهذه التغيرات وتؤثر عليها بشكل واضح.

الكلمات المفتاحية: ولاية قالمة، الأمطار، الجفاف، التغيرات المناخية، ACP.

Résumé :

La wilaya de Guelma est située au Nord-Est du pays, elle couvre une superficie de 3.686,84 Km², et compte une population de 482 430 habitants. La région d'étude est soumise à un climat semi-aride, caractérisé par des précipitations annuelles relativement élevées. Cette étude a pour objet de démontrer l'impact des agglomérations urbaines de la wilaya de Guelma sur les changements climatiques. La sécheresse est l'un des impacts directs des changements climatiques, qui résulte d'une baisse de précipitations et deviennent insuffisantes pour répondre aux besoins de l'environnement et des activités humaines. A cet effet, et pour analyser, interpréter et déterminer les facteurs d'impact, l'utilisation de l'outil statistique multi-varié (ACP) a été satisfaisant. Il a été confirmé que les facteurs climatiques et urbains sont très bien corrélés avec ces changements et les influencent clairement.

Mot clés : Wilaya de Guelma, Précipitations, Sécheresse, Changements climatiques, ACP.

Abstract:

The wilaya of Guelma is located in the northeastern part of the country, covering an area of 3,686.84 km², and it has a population of 482,430 inhabitants. The studied region is subject to a semi-arid climate, characterized by relatively high annual precipitations. This study aims to demonstrate the impact of Guelma's urban agglomerations on climate change. Drought is one of the direct impacts of climate change, which results from a decrease in precipitation and becomes insufficient to meet the needs of the environment and human activities. For this purpose, and to analyze, interpret and determine the impact factors, the use of the multivariate statistical tool (PCA) was satisfactory. It was confirmed that the climatic and urban factors are very well correlated with these changes and clearly influence them.

Keywords: The wilaya of Guelma, Precipitation, Drought, Climate change, PCA.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

Les variations climatiques sont des éléments clés dans l'histoire de la Terre depuis sa formation. L'être humain est présent sur cette Terre depuis moins de deux millions d'années mais ce n'est que dans les 200 dernières années qu'il a exercé une influence notable et à grande échelle sur le milieu naturel planétaire. L'évolution des espèces et l'extinction de certaines ont été en partie guidées par l'équilibre et les déséquilibres que le système climatique a pu subir. Ce système consiste en un ensemble de composantes interagissant entre elles : l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la biosphère et la lithosphère.

Le rayonnement solaire en est la source d'énergie. À tout moment, la quantité de rayonnement qu'elle reçoit, absorbe et renvoie est contrôlée par plusieurs facteurs perturbant son équilibre énergétique et définissant les changements du climat, comme la composition atmosphérique ou l'état de la surface terrestre.

Depuis maintenant presque deux siècles, l'être humain est entré en jeu dans le déséquilibre énergétique terrestre. La révolution industrielle a restructuré la société dans son ensemble. Depuis, les progrès techniques ne cessent de se poursuivre. En modifiant son mode de vie et avec la pression grandissante de la démographie, l'être humain a fortement modifié la composition de l'atmosphère.

Le rayonnement de la planète dépend directement de sa température. Le premier ordre de la réponse du système climatique aux forçages anthropiques est alors une augmentation de la température globale depuis le début de l'ère industrielle. En la citant, Broecker (1975) a été le premier à parler d'anthropogenic global warming, littéralement « réchauffement global anthropique ».

Les changements climatiques sont bien plus qu'une tendance au réchauffement. Une augmentation des températures mènera à de nombreux changements météorologiques sur les plans, (par exemple), de la configuration des vents, de la quantité et du type de précipitation ainsi que du type et de la fréquence de phénomènes météorologiques extrêmes qu'on pourrait s'attendre à voir frapper une région particulière. Un tel changement climatique pourrait avoir des conséquences imprévisibles et d'une portée considérable sur le plan environnemental, social et économique. (Adj, 2009)

Le climat désigne en général « le temps moyen » ou, plus précisément, c'est la synthèse des variations quotidiennes observées en un lieu précis. Le climat d'une région donnée est obtenu par la collecte de données statistiques sur les conditions météorologiques d'une période donnée variant de quelques mois à des milliers, voire à des millions d'années. Il est effectué à

l'aide de valeurs moyennes établies à partir de mesures statistiques, mensuelles et annuelles, et il inclut généralement les éléments météorologiques suivants : la température, la hauteur de précipitation, l'humidité, l'ensoleillement et la vitesse des vents. (GIEC, 2008 ; Glossaire, 2009)

L'Algérie, premier plus grand pays d'Afrique, situé au Sud de la Méditerranée, se compose d'ensembles géographiques contrastés et subit sur le plan climatique une double influence des systèmes tempérés et tropicaux. Sa situation particulière l'expose à une grande vulnérabilité aux impacts du changement climatique global.

Le climat a varié au cours du 20^{ème} siècle et le signal du changement climatique apparaît dans les ruptures des séries pluviométriques. Les scénarios climatiques pour le siècle actuel indiquent un risque de réduction des pluies pouvant atteindre 20% (MATE, 2001 ; Giorgi et Lionello, 2008). Malgré les incertitudes qui subsistent, ces projections risquent d'affecter des secteurs stratégiques, tel que l'agriculture. Le risque climatique s'ajoute à d'autres facteurs de vulnérabilité liés au mode de développement économique et social dans un environnement naturel fragile et parfois à la limite d'une dégradation avancée.

Depuis 1970, les températures moyennes minimales et maximales sont en hausse sur l'ensemble du pays, et cette tendance se poursuit. Au cours des deux dernières décennies, les températures maximales augmentent plus rapidement que les températures minimales, et l'élévation de la température atteint 2°C environ (Elmeddahi, 2016).

Entre 1923 et 1938, l'Algérie a connu un excès dans les précipitations. Cet excédent est de l'ordre de 17,6% dans l'Est, A partir de 1939, une période sèche a commencé et qui s'est étalée jusqu'en 1946 pour atteindre un déficit de 10,2% dans le Centre et 14,5% dans l'Ouest. Par contre, dans l'Est un excédent de 6,7% a été enregistré. La période 1947-1973 a été caractérisée par une période humide avec un excès de 13,1% au centre. Les périodes les plus sèches ont été observées durant 1949-1956 et 1960. À partir de 1974, l'évolution des précipitations met en exergue une diminution de l'ordre de 13% dans l'Est, 13,6% dans le Centre et 16,1% dans l'Ouest. Depuis 2000, la pluviométrie est restée déficitaire dans toutes les régions. (Elmeddahi, 2016)

L'objectif du présent travail consiste principalement à étudier l'impact des agglomérations urbaines de la wilaya de Guelma sur les changements climatiques.

Pour une meilleure compréhension, ce mémoire s'articule, après une introduction générale, en quatre chapitres :

Introduction générale.

- Le premier présent une description générale de la zone d'étude à travers une situation géographique et administrative, une description de la géologie, du couvert végétal et de l'aspect socio-économique ;
- Le second s'intéresse à la caractérisation de la variabilité climatique dans la zone d'étude sur une période de dix ans. Cette caractérisation s'appuie sur les connaissances de la variabilité pluviométriques ;
- Le troisième présente la méthodologie de travail ;
- Le Quatrième s'articule autour des discussions et critiques des résultats des approches utilisées.

Une conclusion générale synthétisera les principaux résultats acquis.

CHAPITRE I
PRESENTATION DE LA
ZONE D'ETUDE

I.1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la description de la zone d'étude notamment la géologie de la zone. Après une brève présentation géographique de la wilaya, le contexte physique où seront abordées la géologie, la géomorphologie, le couvert végétal, ainsi que l'aspect socio-économique sera présenté.

I.2. Présentation de la région d'étude :

I.2.1. Situation Géographique et limites administratives :

I.2.2.2. Situation Géographique :

Cette zone d'étude est située au Nord Est Algérien entre les latitudes 36°15' et 37° au Nord et longitudes 7°15' et 7°55' à l'Est, ses limites naturelles sont :

- Au Nord : la mer Méditerranée et la chaîne Numidienne.
- Au Sud : chaîne de Sellaoua.
- A l'Ouest : par djebel El Guettar, Oum Settas (Constantine), le massif de l'Edough (1008m)
- A l'Est : monts de la Medjerdah.

Elle est située à 60 km au Sud-Ouest d'Annaba, à 110 km à l'Est de Constantine, à 60 km de la mer Méditerranée et à 150 km de la frontière Tunisienne. Elle occupe une position médiane entre le Nord du pays, les Hauts plateaux et le Sud.

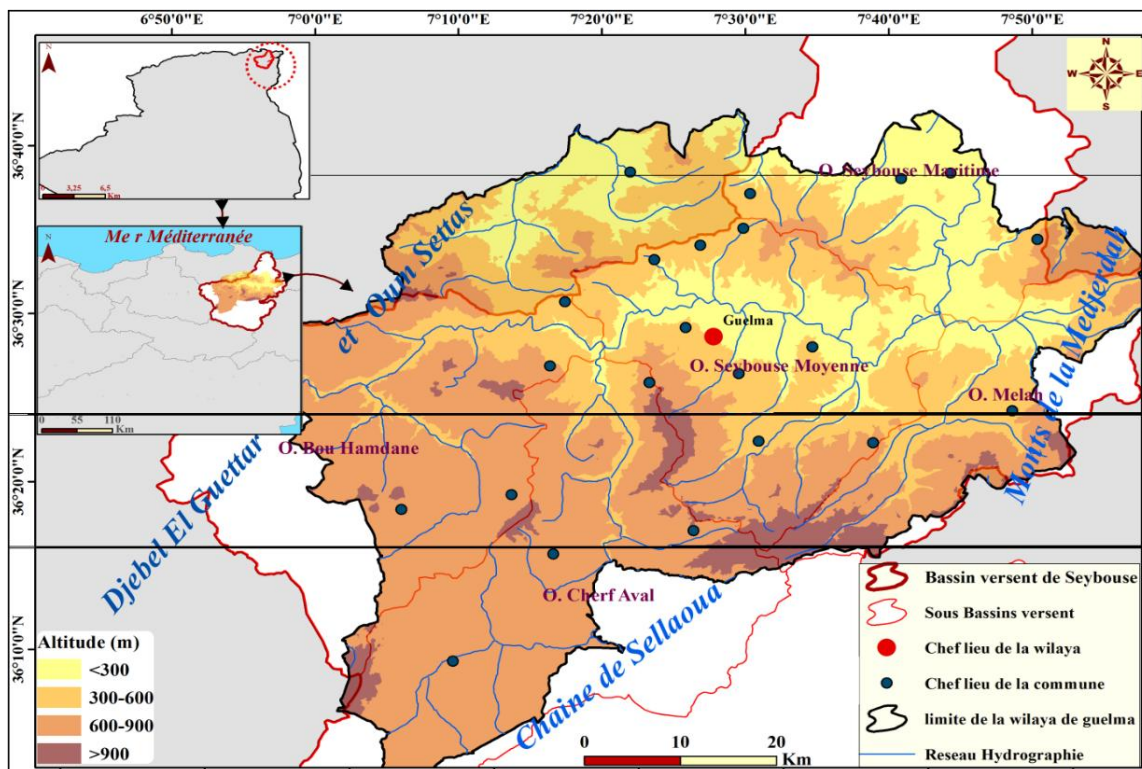


Figure 1 : Situation Géographique de la wilaya de Guelma(BakriaM.,2017).

I.2.2.1. Situation Administrative :

La wilaya de Guelma forme un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum El Bouaghi, Souk Ahras et Tébessa). Elle occupe une position médiane entre le Nord de l'Algérie, les hauts plateaux et le Sud

Elle couvre une superficie de 3.686,84 Km² et est limitée par :

- La wilaya d'Annaba, au Nord ;
- La wilaya de Skikda, au Nord-Ouest ;
- La wilaya de Souk Ahras, à l'Est ;
- La wilaya d'Oum El-Bouaghi, au Sud ;
- La wilaya de Constantine, à l'Ouest.
- La wilaya d'El-Tarf, au Nord-Est;

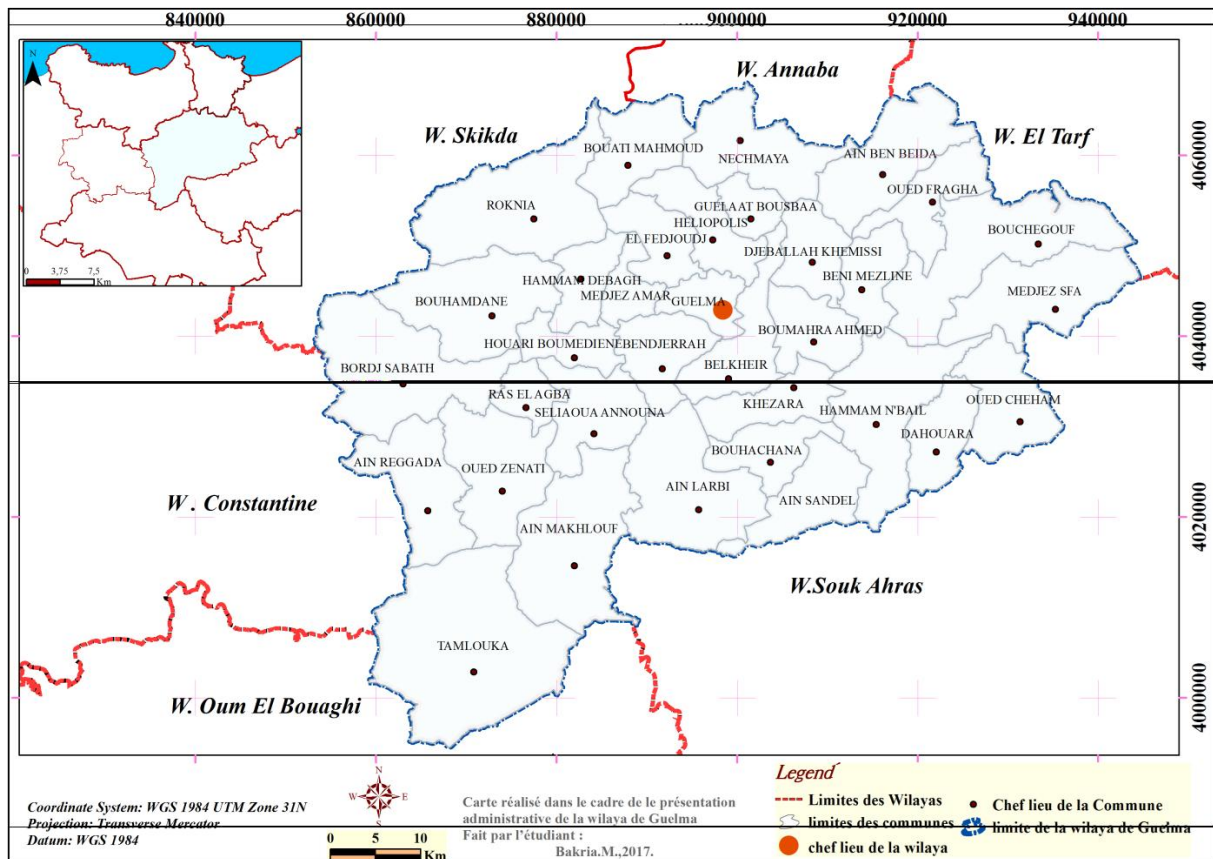


Figure 2 : Localisation de la wilaya de Guelma (BakriaM.,2017).

I.3. Géologie régionale de l'Algérie du Nord :

La géologie générale de l'Algérie du Nord est marquée par deux chaînes sont du Nord vers le Sud : La chaîne alpine dite des Maghrébides et la chaîne atlasique.

Notre zone d'étude fait partie de la chaîne des Maghrébides qui s'étend du Détroit de Gibraltar jusqu'au Nord de la Calabre (Italie) sur plus de 1000 km de long (Chouabi. A.M 1987; Lahondère. J. C. 1987 in Bouaicha F., 2018). Cette chaîne est caractérisée par un empilement tectonique de nappes. Son avant pays est complexe, il comporte : des bassins d'avant chaîne, des zones peu déformées (hauts plateaux), un autre édifice orogénique : le système atlasique (Atlas saharien, Aurès), et plus au Sud, la plate-forme saharienne stable. Du Nord au Sud, elle est constituée de trois ensembles principaux :

I.3.1. Le domaine interne :

Ce domaine est constitué par des terrains cristallophylliens anciens de nature variée (socle kabyle) surmontés par un paléozoïque peu métamorphique. De nombreux auteurs admettent que les différents massifs internes de la chaîne des Maghrébides étaient initialement regroupés en un bloc unique, appelé l'AlKaPeCa (Bouillin. J. P. 1986 in Bouaicha F., 2018). Cet ensemble, probablement émergé pendant une partie du Mésozoïque et jusqu'à l'Oligocène, était bordé au Sud par une marge continentale Jurassique et crétacée dont les tronçons rifains, kabyles et péloritains de la chaîne calcaire maghrébide sont les témoins.

I.3.2. Le domaine des flyschs :

Il est constitué par un ensemble de nappes à matériel détritique, qui ont un caractère externe par rapport à la dorsale (Raoult. J. F., 1974 in Bouaicha F., 2018). Ce sont ces dépôts de type flysch allant du Crétacé inférieur jusqu'à l'Oligo-Miocène. On distingue du Nord au Sud du bassin des flysch : Les flysch mauritaniens et les flysch massyliens. Il comporte la trilogie suivante :

1. Des argiles varicolores à tubotomaculum dites « sous numidiennes ».
2. Des bancs gréseux épais à grains hétérogènes dont certains de taille centimétrique.
3. Des argiles, marnes et silexite « supra-numidiennes » ; localement à Hammam Maskoutine il y a des grés grossiers à dragées de quartz qui terminent la série.

I.3.3. Le domaine externe (domaine des nappes) :

Les unités telliennes forment un empilement complexe de nappes à vergence Sud surmontant au Sud l'autochtone pré-saharien des hautes plaines. L'allochtone tellien est le résultat du décollement et du clivage de la couverture sédimentaire Mésozoïque–Cénozoïque déposée sur la marge Nord de la plaque Afrique. En Algérie orientale et aux confins algéro-tunisiens, on distingue du Nord vers le Sud :

I.3.3.1. Les unités ultra telliennes :

Désigne les séries superposées anormalement au Crétacé néritique constantinois du Djebel Débar et du Douar Bouzitoune dans la région de Guelma. Ces séries sont définies par le critère simple de dominance des faciès clairs durant tout le Crétacé (Bouaicha F., 2018).

I.3.3.1.1. La nappe ultra-tellienne du Djebel Haouara :

Située entre la forêt des Beni Ahmed et celle des Beni Mezline, au Nord du Kef Ras Bardou et du Djebel Haouara. Sont de vastes affleurements, son âge est compris entre le Barrémien supérieur qui contient des *Phyllopachyceras Barodense* Cop, et le Sénonien inférieur (Bouaicha F., 2018).

I.3.3.1.2. La nappe ultra-tellienne de Djebel BouSbaa ;

Elle est développée essentiellement dans la région de Guelmat Bou Sbaa. On trouve aussi des témoins de cette série près de Medjez Amar au Tebiebe Amar, au Sud-Ouest de Guelma et près de la station de Nador à l'Est (Bouaicha F., 2018).

I.3.3.2. L'ensemble tellien S.S :

Un empilement complexe de nappes de nature carbonatée. Ces unités sont probablement déposées dans les parties profondes du sillon tellien. Dans notre zone d'étude on distingue les unités suivantes :

- La nappe tellienne de Hammam Ouled Ali.
- La nappe tellienne de la région de Ras El Agba-Sellaoua Announa.
- L'unité tellienne à Globigérines
- Les unités méridionales (à calcaires à nummulites).

I.3.3.3. L'avant pays allochtone ou para autochtone :**A- Les séries néritiques Constantinoises :**

Les séries néritiques affleurent au niveau de Constantine. Ces formations apparaissent sur plus de 160km E-W et sur 80 km du Nord au Sud, ce domaine aurait émergé à la fin du Crétacé et aurait ultérieurement subi un léger déplacement vers le Sud. Il correspond aux séries carbonatées de la région de Constantine à caractère de plateformessubsidente, et qui sont relayées à l'Ouest aux séries Sud-sétifiennes. On distingue 3 groupes :

➤ Un groupe Nord oriental :

-Autour de Hammam Maskoutine et Guelma ; Le djebel Débar fait partie de la mole néritique constantinois.

-A Hammam Ouled Ali à l'Est de la station thermale, affleure une fenêtre d'une série à faciès carbonatés biodétriques d'âge Sénonien sous les marno-calcaires de la série ultra-tellienne.

-A Douar Bouzitoune-Héliopolis à la piscine romaine d'Héliopolis et à l'ouest de la station ferroviaire de Nador.

- **Un groupe Central** : autour de Constantine, Dj Oum Settas, Dj.Mezla et Dj.Ain El Hajar ;
- **Un groupe méridional**: autour d'Ain Mlila d'Est en Ouest les monts de Dj.Djaffa, Dj.Fortass et Dj.Guerioun.

B- Le sillon écaillé des Sellaoua :

Ces formations se sont déposées dans un large sillon de direction NE-SW, situé entre la plateforme atlasique au Sud et le domaine alpin au Nord. Elles affleurent mal au pied des séries néritiques, on les rencontre dans les régions d'Ain M'lila, Ain Babouche, Ain Fakroun, ChebketSellaoua et elles s'étalent largement de Ksar Sbihi à Souk Ahras (Bouaicha F., 2018).

C- L'ensemble stratigraphique post-Priabonien :

Des formations détritiques syntectoniques, liées à la phase tangentielle priabonienne et postérieure à celle-ci, cet ensemble regroupe la série déritique transgressive de l'Oligo-Miocène kabyle, le Numidien, les séries mixtes, l'Oligo-Miocène tellien et les séries post nappes tel que le Miocène continental (Vila J.M., 1980 in Bouaicha F., 2018).

D- Les bassins "post-nappes" :

Des bassins discordants, postérieurs aux grands chevauchements des zones internes. On trouve de tels bassins sur les zones internes de la Petite et la Grande Kabylie. Ils sont peu déformés mais ont néanmoins enregistré, par la fracturation, une succession d'épisodes tectoniques. D'autres bassins s'étendent sur les zones externes : bassins de Constantine, de la Soummam, du Chélif et de Guelma et de Hammam N'bails.

E- Le magmatisme néogène :

Les phénomènes magmatiques se sont développés tout au long de la côte Algérienne. Ils sont particulièrement développés en Petite Kabylie, où des massifs de granitoïdes se sont mis en place à partir de 16 Ma, mais des épisodes volcaniques d'âges variés affectent l'ensemble de la zone littorale, du Langhien au Pliocène-Pléistocène. Ce magmatisme calco-alcalin (Semroud. B., 1981 in Bouaicha F., 2018) affleure dans les régions suivantes :

Bejaia-Amizour (Diorites, microgranites, granodiorites et complexe volcanique), El Aouana (diorites et microdiorites associées à des roches volcaniques), Kabylie de Collo (granites, microgranites, monzonites, gabbro et rhyolites), Dj Filfila (Granites) et au Cap de Fer et l'Edough (diorites, andésites, rhyolites et microgranites).

I.4. Lithostratigraphie :

La région étudiée est caractérisée par des formations géologiques appartenant aux différents domaines paléogéographiques. L'étude stratigraphique des formations affleurant dans la région de Guelma a démontré des terrains allant du Trias jusqu'au Plio-quadernaire (Figure 3).

I.4.1. Trias :

Les formations Triasiques de la région du Nador N'Bails et de la Mechrouha se présentent comme une association de marges, de dolomies, de calcaires dolomitiques, de schistes et de grès, englobés dans des argiles rouges et des gypses (Chouabi 1987 in Bouaicha F., 2018). Le Trias apparaît souvent en position chevauchante sur les terrains avoisinants.

I.4.2. Formation du Néocomien :

Les formations du Néocomien affleurent au niveau du Douar Bou Zitoun, près du village « Héliopolis ». Elles sont représentées par des calcaires sombres, parfois micritiques, et/ou dolomitiques. Ces calcaires forment des bancs très épais et montrent un alignement Est-Ouest sur plus de 2.5km. Ils sont surmontés en concordance par la série marneuse complète du Crétacé moyen et supérieur (Darest de la Chavane. J.C., 1910 in Bouaicha F., 2018).

I.4.3. Les formations du Barrémien :

Représentées essentiellement par des marnes et marno-calcaires. Ces formations barrémiennes affleurent à environ 4km au Sud-Ouest de la ville de Guelma sur la rive droite de la Seybouse, ainsi que dans le ravin de Châbet El Biade, à proximité de Dra El Krouche et Djebel Bou Sba (Vila, J. M. et al., 1968 in Bouaicha F., 2018).

I.4.4. Les formations de l'Aptien :

Ces formations comportent des calcaires gris bleu parfois oolithiques en banc atteignent parfois 6 mètres d'épaisseur, sur lesquels viennent des calcaires bleus micritiques en banc plus en plus épais et contenant une riche faune. Elles affleurent à Koudiat Enchir, Djebel Djabana et à Bou Zitoune.

I.4.5. Les formations de l'Albien :

Elles sont représentées par des marnes schisteuses noires ou grises. Ces marnes renferment de petits lits de calcaire micritique noirâtre et/ou verdâtre vers le sommet. Elles affleurent sur le versant Sud-Est du Dj Bou Sba (Bouaicha F., 2018).

I.4.6. Les formations du Vraconien :

Représentées par une dizaine de mètres de marnes vertes dans lesquelles sont intercalés des bancs décimétriques de calcaires micritiques de couleur également verte. Les formations du Vraconien affleurent à l'extrémité Est de Dj Debagh (Lahondère. J. C., 1987 in Bouaicha F., 2018).

I.4.7. Les formations du Cénomaniens :

Débutent par une alternance de petits bancs décimétriques de calcaires micritiques verts et de marnes de même couleur. L'importance des niveaux de marnes vertes croît vers le haut de la série. Ce premier ensemble peut dépasser 50 mètres d'épaisseur. Le Cénomaniens affleure à l'Ouest de Djbel Bou Sba (Bouaicha F., 2018).

I.4.8. Les formations du Turonien :

Représenté par des formations calcaires très réduites, renfermant des débris d'oursins, d'inocérames et de melobesiées, ces calcaires Turoniens affleurent à Kef Hahouner (Raoult. J. F., 1974 in Bouaicha F., 2018).

I.4.9. Les formations du Coniacien :

Les formations de cet étage sont difficiles à séparer, il est représenté par des alternances de biomicrites et des marnes qui prennent de l'importance au sommet (Lahondère. J. C., 1987 in Bouaicha F., 2018).

I.4.10. Les formations du Santonien :

Représenté par des marnes feuilletées bleues à la base, surmontée par des marnes argileuses de teinte verdâtre. Le Santonien affleure à Dj. Bou Sba (Lahondère. J. C., 1987 in Bouaicha F., 2018).

I.4.11. Les formations du Sénonien (Campanien et Maestrichtien) :

- Le Campanien : il débute par des marnes bleutées avec des niveaux de biomérite, plus fréquents vers le sommet de la série, l'épaisseur est de l'ordre de 100 mètres. Les formations de cet étage affleurent au Sud-Ouest de Guelma au niveau de Koudiat Djebissa,

- Le Maestrichtien : représenté par des marnes pyriteuses grises à bleues surmontées par des calcaires biomicritiques clairs, affleure autour de Dj Bou Sba(Lahondère. J. C., 1987in Bouaicha F., 2018).

I.4.12. Les formations du Paléocène :

Représentées par des marnes noires à globigerina et globorotalia, cette formation affleure au-dessus des formations du Maestrichtien du massif de Bou Zitoune, l'épaisseur est de 20 à 25 mètres(Lahondère. J. C., 1987in Bouaicha F., 2018).

I.4.13. Les formations de l'Eocène inférieur et moyen :

Affleure une assise importante de calcaires et de marno-calcaires de couleur gris bleue à noire au Nord de la vallée de la Seybouse au-dessus des couches du Paléocène inférieur à échinides, avec intercalation de lits à rognons de silex noirs(Lahondère. J. C., 1987in Bouaicha F., 2018).

I.4.14. Les formations du Miocène :

Ces formations occupent les grandes dépressions actuelles, alignées d'Est-Ouest et qui semblent correspondre aux anciens bassins de dépôts de flyschs. Les affleurements les plus importants des marnes gypseuses du Miocène moyen et supérieur s'observent sur les flancs des collines des localités dites Mechta El Acheche et Belkheir se trouvant à environ 3km au Sud-Est de Héliopolis qui domine la rive gauche de la Seybouse. Dans ces régions, les marnes gypseuses du Miocène moyen et supérieur montrent une grande puissance de ces formations(Bouaicha F., 2018).

I.4.15. Les formations du pliocène :

Le Pliocène est représenté Dans le bassin de Guelma, par deux terrasses alluviales en étages(Bouaicha F., 2018) :

- Une terrasse composée par des formations alluvionnaires à stratification horizontale, comportant principalement des galets roulés assez volumineux, noyés par endroits dans des limons rougeâtres.

- Un deuxième niveau, représenté par deux faciès principaux, tous les deux continentaux :

Alluvions et calcaires travertineux, comblent les ravins de la précédente terrasse dans le fond de la vallée de la Seybouse.

I.4.16. Les formations du Pléistocène :

Le pléistocène est représenté dans cette région par des sédiments fluvio-continentaux. Il montre également, deux types de faciès (un faciès alluvionnaire et un faciès travertineux)(Bouaicha F., 2018).

I.5. La tectonique et paléogéographie :

Paléogéographiquement, l'ultra-tellien occupe une position externe du domaine Tellien. Au secondaire, la série néritique s'est sédimentée sur un haut fond appelé domaine néritique constantinois. Au Nord-Ouest, dans le sillon tellien s'est déposée une sédimentation sombre qui témoigne de la profondeur du milieu. Au Burdigalien supérieur, les formations telliennes externes ont été écaillées. Au Laungnien inférieur, les nappes telliennes et leur couverture numidienne ont glissé par gravité dans le sillon des Sellaouas. Au Nord Est, la teinte devient plus claire à matériel crétacé-paléogène (ultra-tellien). A l'Eocène moyen, les unités ultra-telliennes sont mises en place en diverticule sur le domaine tellien. Le début du crétacé se caractérise par une mer peu profonde. Au Barrémien, elle s'approfondit en formant un géosynclinal. Pendant cette période, les formations sont affectées par des failles perpendiculaires et longitudinales. A la fin de l'Eocène moyen se sont produits des mouvements intenses qui ont plissé la région. A la fin de l'Oligocène, une phase orogénique plissera le numidien et le charriera sur les formations précédentes. Au Miocène, la région a subi de nouveau la tectonique d'effondrement qui a donné naissance au bassin de Guelma. Pendant cette période, au Sud il y a écaillage du domaine tellien externe. Au Mio-Pliocène, une phase tectonique post-nappe a raviné les formations antérieures avec une discordance très accentuée. Au Burdigalien terminal, il y a glissement des unités telliennes méridionales vers le Sud accompagnées par les unités à Nummulites telles que les copeaux de Djebel Bardou. Le Numidien qui couvre toutes les nappes, sans être impliqué dans cette tectonique et le glissement par gravité des formations telliennes a permis à la nappe Numidienne de glisser sur les nappes telliennes (Younsi Y., 2016).

I.6. Géomorphologie :

Le bassin de Guelma est drainé par la Seybouse et caractérisée par un ensemble de région très hétérogène. Aux hautes plaines au Sud, à reliefs modérés et aux écoulements lents et parfois nuls. Puis parvient l'atlas tellien à reliefs accidentés et à structures complexes où le réseau hydrographique est tantôt adapté et tantôt inadapté (Ghachi. A., 1982 in Younsi Y., 2016). Les Oueds traversant la région sont en général à caractère torrentiel. Les mouvements

tectoniques du Plio-Quaternaire ont joué un rôle prépondérant dans la morphogenèse donnant naissance à des terrasses et des cônes de déjections au niveau du bassin de Guelma.

D'après Cherrad. S.E., 1992 in Kachi. N., 2015, et du point de vue morphologique, nous distinguons cinq niveaux :

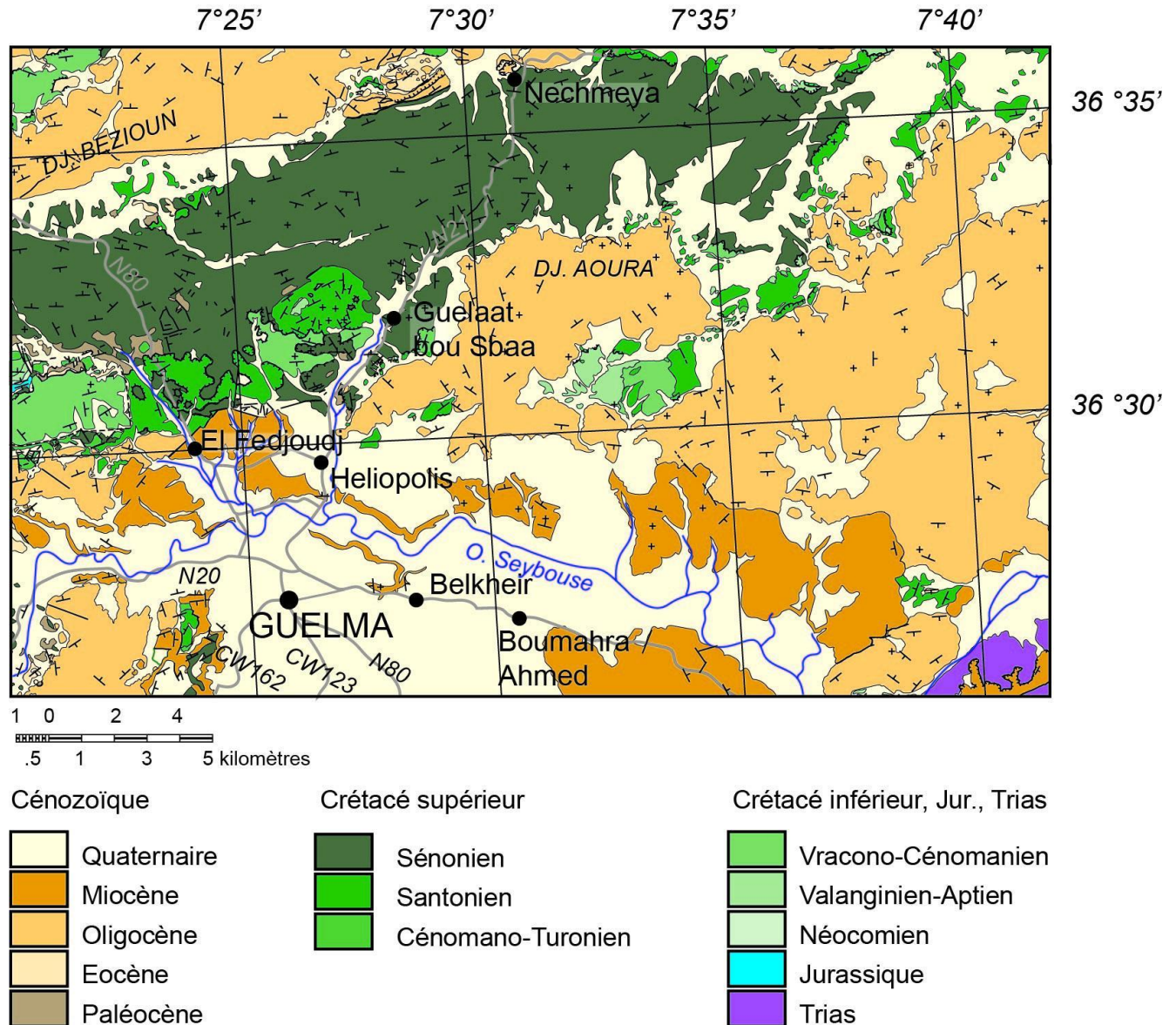


Figure 3 : Carte géologique de Guelma. (Modifiée par Mme Ruault Djerrab)

Niveau 5 : Formé de hautes terrasses et glacis contenant des galets et des blocs de grandes tailles. C'est aussi la zone de dépôt de pente. Elle a 100 m d'altimètre.

Niveau 4 : Constitué de glacis et également de haute terrasse qui contiennent des blocs et galets hétérométriques. Dans ce niveau la couche calcaire est apparente.

Niveau 3 : Niveau de transition caractérisé par la présence de galets et de blocs hétérométriques. La couche calcaire est également apparente. Ce niveau se situe à 30-50 mètres d'altitude.

Niveau 2 : Terrasse et terminaison de glacis se confondent. Le litage des éléments est visible. Ce niveau est très étendu, de 10-20 mètres d'altitude.

Niveau 1 : formé par un mélange d'argile et de sable du Quaternaire. Au Sud, les Oueds Halia, Bousorra et Bouhachana n'ont pas pu alluvionner des terrasses que l'on peut expliquer par l'existence du massif rocheux résistant à l'érosion, d'où un encaissement du lit et absence du champ d'inondation.

La basse Seybouse présente le long de son cours d'eau des terrasses alluviales étagées à des côtes diverses. Les principales unités géomorphologiques que l'on pouvait remarquer sont :

- Hautes terrasses (située à des altitudes allant de 100 à 150 m) : Ce sont des formations argileuses pratiquement imperméables qui ne présentent aucun intérêt hydrogéologique. Elles sont localisées surtout entre Dreaan et Ain Berda.
- Moyennes terrasses (située à des altitudes variantes entre 20 et 50 m) : Ce sont des formations constituées de cailloutis à la base, assez fines au sommet, formées de graviers, de galets et spécialement d'argiles sableuses. Elles présentent un intérêt hydrogéologique peu important.

Le tell Nord-Guelmien présente une allure nettement dissymétrique. Le versant Sud domine, par les fortes pentes, les vallées de l'Oued Bou Hamdane et le bassin de Guelma drainé par l'Oued Seybouse. En revanche, le versant Nord descend plus lentement vers le lac Fetzara. Le Djebel Haouara culminant à 981 m, domine fièrement toute cette région. Plus au Nord, un massif gréseux affleure en allant de Bouati Mahmoud à Ain Berda. Il est relayé à l'Est d'Ain Berda par les Djebels HadjarNahal et Oust.

I.7. Couvert Végétal :

Dans la région d'étude, les aires agricoles sont localisées essentiellement dans la plaine alluviale. Les cultures pratiquées sont dominées par des cultures maraichères et quelques vergers d'agrumes et d'arbres fruitiers. Les forêts, les maquis et les broussailles occupent pratiquement toute la bande des monts. Le couvert végétal a une influence directe sur l'écoulement fluvial ainsi que les facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense (Figure 4).

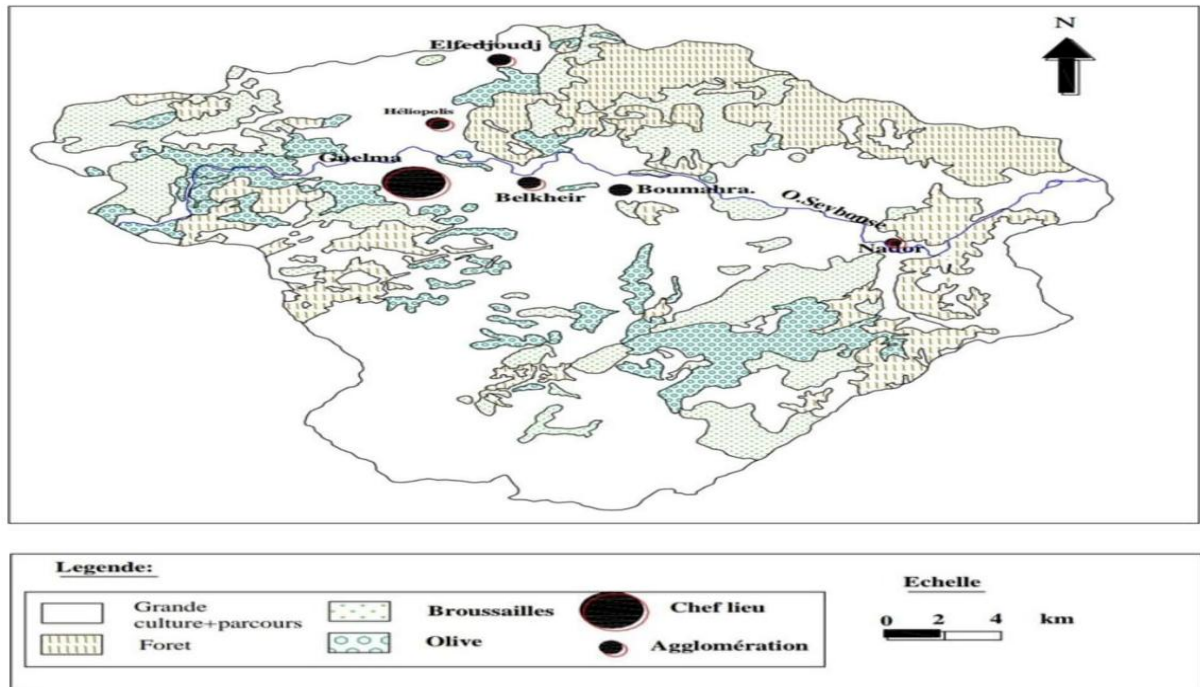


Figure 4 : Couverture Végétale du bassin de la moyenne Seybouse de Guelma (Wikipédia).

I.8. Aspect socio-économique :

I.8.1. La population :

Lawilaya de Guelma s'étend sur une superficie de 3.686,84km² et compte une population de 482 430habitants selon les statistiques de l'année 2008 (RGPH2008), avec une densité de 118hab/km². Cela est dû à la grande concentration des habitants dans le chef-lieu de la wilaya puisqu'elle est considérée comme un croisement entre les deux pôles industriels : du Nord (Annaba/Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum El Bouaghi/Tébessa).

I.8.2. Les activités

La richesse de la région se présente dans les activités suivantes.

A- Industrielle :

L'industrie dans la wilaya de Guelma est à ne pas négliger, c'est une région industrielle qui abrite plusieurs unités industrielles dont les plus importantes sont :

- La Sonacom, complexe de Fabrication des cycles et cyclomoteurs (CYCMA).
- Conserverie de tomate Zimba.
- Limonaderie Fendjel.

L'activité minière, dont les plus importantes sont : le gisement des argiles pour la fabrication des briques et des tuiles, des carrières comme celles de roches pour agrégats, du Kaolin du Djebel Debagh, de marbres de Mahouna.

B- Agricoles :

La wilaya de Guelma est un pôle important pour les opportunités d'investissement dans les différents domaines notamment agricole et pastoral. Elle occupe la plus grande superficie dans toute la wilaya. La récolte des céréales durant la moisson 2015 a enregistré un taux élevé ainsi que la récolte de la pomme de terre avec une production supérieure à 474000 quintaux même moisson. Oued Seybouse qui joue un rôle important dans l'hydrogéologie de la région traverse la plaine Guelma-Bouchegouf sur plus de 45 Km du Sud au Nord. Son apport total est estimé à 408 millions m³/an. Les aires agricoles sont localisées essentiellement dans la plaine alluviale.

C- Tourisme :

La wilaya de Guelma possède un riche patrimoine très varié vu les civilisations qui en succédaient, et participaient à la construction de son actuel patrimoine culturel, elle possède des potentialités touristiques considérables, à même de constituer une source de revenus non négligeables pour la wilaya. Elle dispose, à ce titre, d'un large éventail de potentialités thermales, culturelles, historiques, (vestiges, monuments, ruines, etc...), et d'un patrimoine naturel riche et varié. Plusieurs formes de tourisme peuvent être développées en l'occurrence, le tourisme de montagne, scientifique, l'éco-tourisme, le tourisme climatique et le tourisme sportif.

• Sites historiques, archéologiques et naturels :

La wilaya de Guelma recèle un patrimoine archéologique considérable composé de sites et de monuments d'attrait exceptionnels. Il s'agit :

- ❖ Du cimetière mégalithique ;
- ❖ Du théâtre romain de Guelma ;
- ❖ Du parc archéologique de Kalama ;
- ❖ De la piscine romaine à Hammam Bradaa;
- ❖ De l'ancienne ville Ibilliss située au niveau de la commune de Sellaoua Anouna ;
- ❖ De la haute cascade de la commune de Hammam D'bagh ;
- ❖ De la forêt "Maouna " (à Ben Jarrah) et la réserve de "Beni Saleh";
- ❖ Du lac souterrain « BirOsmane » ;
- ❖ De Ghar-Ladjmaa au niveau de la commune de Bouhamdane ;
- ❖ De la mosquée Al-Masjid Al-Ateeq.

I.9. Conclusion :

La région d'étude est privilégiée par sa situation de carrefour entre le pôle littoral industriel au Nord et les régions intérieures au Sud, elle présente un aspect socio-économique bien développé à vocation particulièrement agricole.

Du point de vue géologique, la région de Guelma appartient à l'ensemble géologique du domaine externe (Tell externe), et on peut distinguer 3 ensembles :

- Domaine Post-nappes (formations récentes) : - les alluvions quaternaires ; - les travertins du bassin de Guelma ; - les travertins du bassin d'Ain Makhlouf et, - les calcaires lacustres (MioPliocène) ;
- Domaine allochtone : les formations numidiennes ; les formations Ultra-telliennes ; les formations telliennes à Globigérines et à Nummulites, calcaires yprésiens ;
- Domaine Para-autochtone : - les formations Sellaoua ; - les formations néritiques.

Stratigraphiquement les formations affleurant dans la région de Guelma datent du Trias jusqu'au Plio-quaternaire.

CHAPITRE II

HYDROCLIMATOLOGIE

II.1.Introduction :

L'étude hydroclimatologique s'intéresse à l'identification du climat d'une région et donc à l'étude des facteurs climatique et l'analyse de différentes composantes du bilan hydrique, à la base d'un ensemble de données climatique mesurées durant une période bien définie (plusieurs années).

Cette étude est basée sur le traitement et l'analyse des paramètres climatiques, principalement la température et les précipitations, ainsi que leur évolution dans le temps et dans l'espace durant une période d'observation comprise entre 2012 et 2022 au niveau de la station météorologique de Guelma, afin de connaître le climat qui règne et de déterminer le bilan hydrique de la région étudiée.

II.2.Caractérisation du climat de la région de Guelma :

Pour étudier le climat de la région, les données pluviométriques et thermiques fournies par la station météorologique de Guelma ont été utilisées, pour une période de mesure s'étalant sur 10 ans (de 2012 jusqu'au 2022), les caractéristiques de la station sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Caractéristiques de la station météorologique de Guelma.

Station	Longitude	Latitude	Altitude(m)	Période d'observation	Appareil
Guelma	07°28'E	36° 27'N	228	2012 à 2022	Pluv. Ass.

DHW de Guelma.

II.2.1. Calcul de l'indice d'aridité de De Martonne :

L'aridité est un phénomène climatique impliquant de faibles précipitations. Les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP) dans les régions arides. Un système de classification des climats a été élaboré par Emmanuel de Martonne en 1926 à l'aide d'une méthode statistique, afin de caractériser le pouvoir évaporatif de l'air à partir de la température et des précipitations (Figure 5). Cet indice est calculé selon la formule suivante :

$$IDM = \frac{p}{(T+10)}$$

- ✚ IDM : Indice d'aridité annuelle.
- ✚ P : précipitation moyenne annuelle en mm
- ✚ T : température moyenne annuelle en °C.

Le type de climat selon la valeur de l'indice de De Martonne :

- $IDM < 5$: climat hyperaride.
- $5 < IDM < 7,5$: climat désertique.
- $7,5 < IDM < 10$: climat steppique.
- $10 < IDM < 20$: climat semi-aride.
- $20 < IDM < 30$: climat tempéré.
- $30 < IDM < 55$: Humide.

L'aridité augmente quand l'indice diminue.

L'interprétation des données météorologiques de la station pour la période 2012-2022, fait ressortir que la température annuelle moyenne est de 20.3°C et la précipitation moyenne annuelle est de 509.8mm à la station de Guelma.

D'après le calcul de l'indice d'aridité de De Martonne $IDM = 16.83$ où $10 < IDM < 20$, pour la station de Guelma. Ceci implique que le climat de la région est un climat semi-aride.

II.2.2. Calcul de l'indice d'aridité mensuel :

Afin de préciser les liens de l'indice d'aridité avec la répartition saisonnière, un indice d'aridité mensuel a été défini par la relation suivante :

$$IDM = \frac{12p}{(T+10)}$$

Où :

IDM : Indice d'aridité mensuel.

P : Précipitation moyenne mensuelle en mm

T° : Température moyenne mensuelle en °C.

Cette équation définit l'évolution des conditions climatiques au cours de l'année d'observation, les résultats obtenus sont représentés dans le Tableau 2.

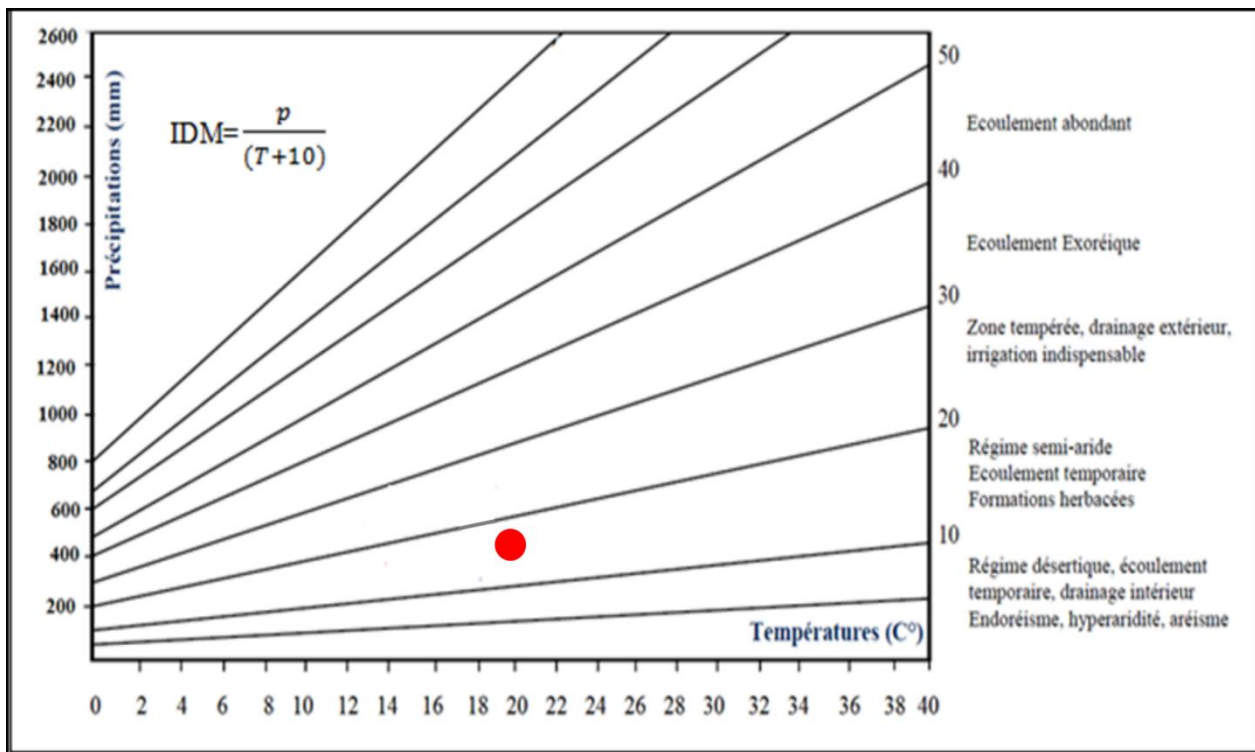


Figure 5 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.

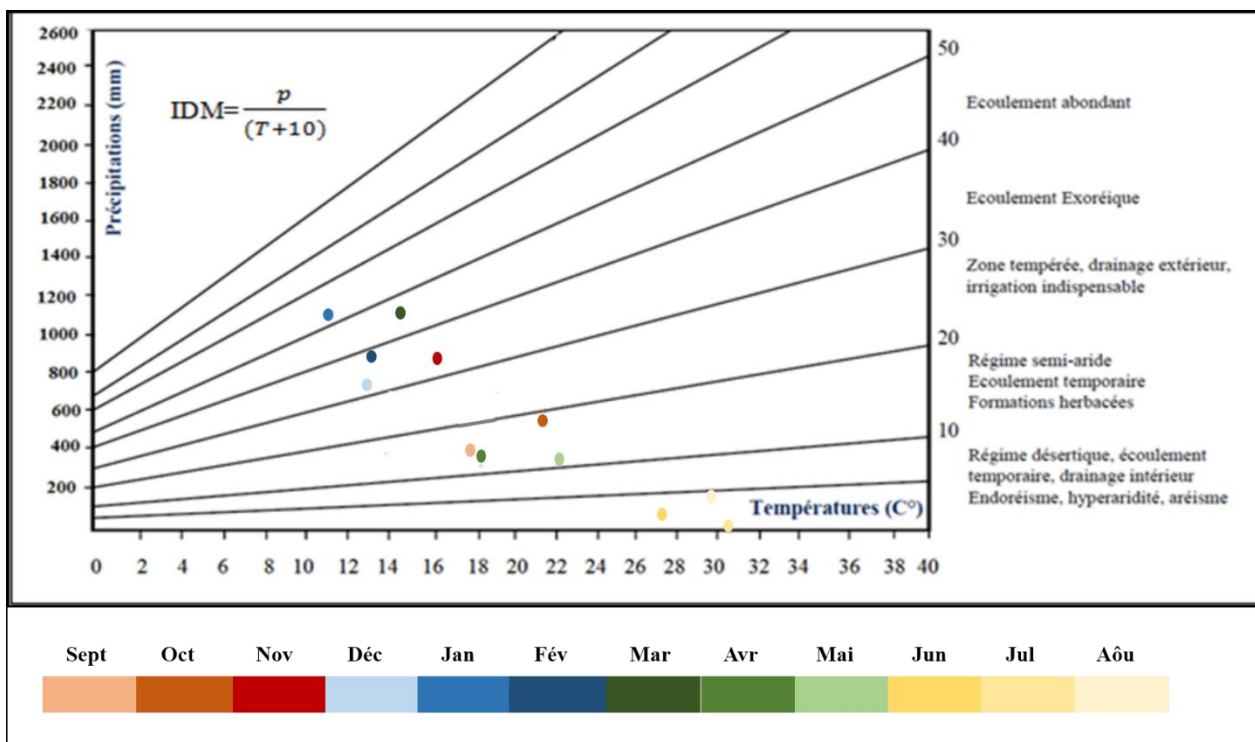


Figure 6 : Abaque de l'Indice d'aridité mensuel De Martonne.

Tableau 2 : Indices d’aridité mensuels (IDM) à la station de Guelma.

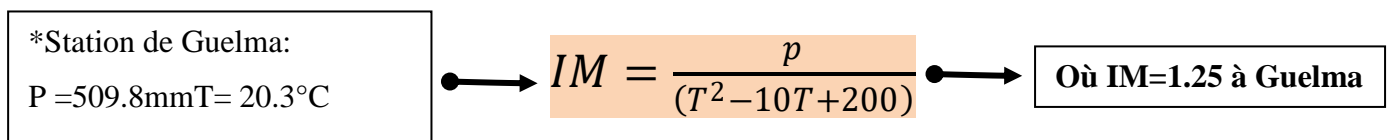
Mois	P (mm) de Guelma	T °C de Guelma	IDM Guelma	Étage bioclimatique de Guelma
Septembre	34.8	26.1	14.97	climat semi-aride
Octobre	49.7	21.7	18.81	climat semi-aride
Novembre	72.8	16.3	33.21	Humide
Décembre	61.5	12.6	32.65	Humide
Janvier	75.8	11.4	42.50	Humide
Février	54.4	12.3	29.27	Climattempéré
Mars	72.2	14.5	35.36	Humide
Avril	31.6	18.1	13.49	climat semi-aride
Mai	30.9	22.1	11.55	climat semi-aride
Juin	7.2	27.5	2.30	climat hyperaride
Juillet	2.7	30.9	0.79	climat hyperaride
Août	16.2	30.1	4.84	climat hyperaride
Totale	509.8	243.6		
Moyenne	42.48	20.3	16.83	climat semi-aride

ANRH de Constantine + travail d’étudiant.

II.2.3. Indice de Paul Moral :

La hauteur annuelle des précipitations (mm) et les températures moyennes annuelles (°C) sont indispensables pour le calcul de cet indice. La valeur de l’indice permet de dire :

- Si $IM < 1$ on a un climat sec.
- Si $IM > 1$ on a un climat humide.



A partir du résultat de l’Indice de Paul Moral (1.25) on peut qualifier le climat de la région d’étude comme un climat humide.

II.2.4. Indice d’humidité et classification climatique de l’FAO-UNESCO :

Selon le critère quantitatif de différenciation des zones sèches, l’indice d’humidité utilisé par la FAO et l’UNESCO (1977), est un critère de délimitation des régions arides et semi-arides, à partir du rapport de la hauteur moyenne des précipitations annuelles et l’évapotranspiration potentielle annuelle d’après la formule de Howard Penman (1948), selon la relation suivante :

$$I_h = P/ETP$$

Ainsi, plusieurs zones ont été délimitées suivant ces catégories (Tableau3).

Tableau 3 : Classification des différentes formes d'aridité (Science et changements planétaires, 2005).

Zone	I_h
Hyperaride	< 0.03
Aride	0.03 - 0.2
Semi-aride	0.2 - 0.5
Sub-humide	0.5 - 0.75

Pour la station de Guelma ($P = 509.8$ mm et $ETP = 1031.6$ mm) l'indice obtenu est :

0.49 ce qui traduit un climat *Semi-Aride*.

II.2.5. Récapitulation :

De ce qui précède, il paraît que la région de Guelma est soumise à un climat **Semi-aride** (Figure 7).

Tableau 4 : Comparaison des indices d'aridité utilisés.

Station	Indice	Valeur de l'indice	Type de climat
Guelma	d'aridité de De Martonne	$IDM = 16.83 < IDM < 20$	Semi-Aride
	d'humidité climatique	$I_h = 0.49 < I_h < 0.5$	Semi-Aride
	de Paul Moral	$IM = 1.25 > 1$	Humide

Travail d'étudiant.

II.2.6. Diagramme pluviométrique de Gausson ($P = 2T$) :

Bagnouls et Gausson, 1953, 1957 ont élaboré le diagramme ombrothermique en combinant les températures et les précipitations moyennes mensuelles (avec : $P=2T$) pour déterminer les périodes sèches et humides.

Si $P < 2T$: mois sec

Si $P > 2T$: mois humide

La Figure 8 montre l'existence de deux saisons bien distinctes :

- Une saison estivale sèche et chaude qui s'étale du mois d'Avril (18.1°C), jusqu'à octobre (21.7°C).
- Une saison hivernale humide qui dure environ six mois débutant d'Octobre jusqu'au mois de d'Avril.

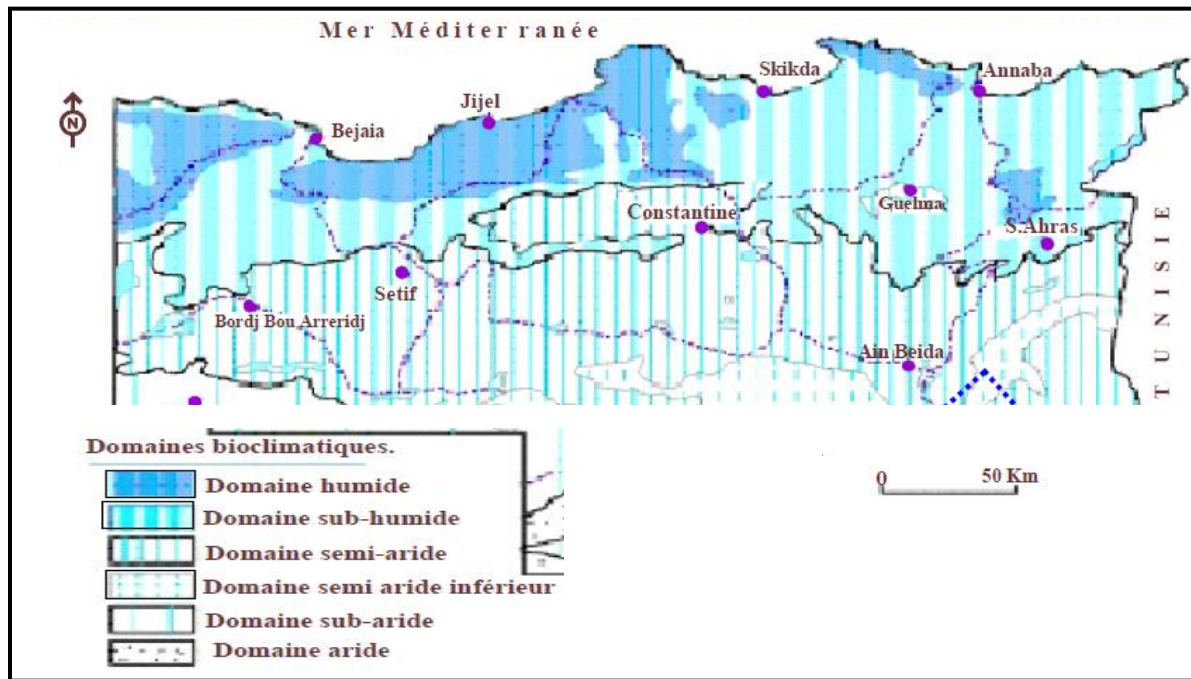


Figure 7 :Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l’Est algérien(Côte M., 1998 in Gouaidia L., 2008).

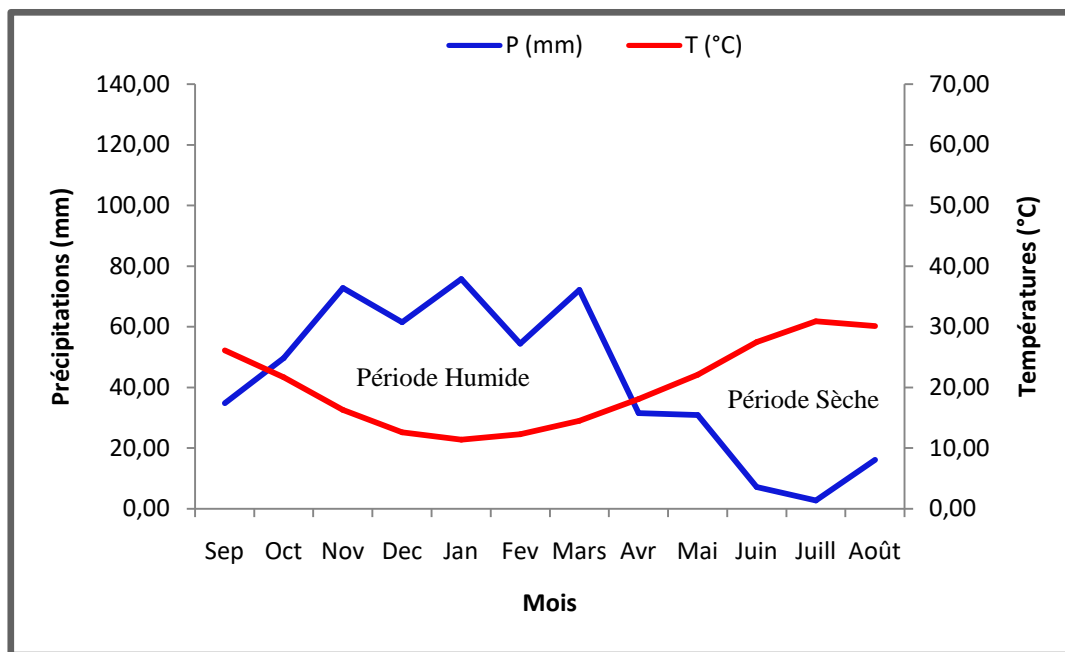


Figure 8 : Diagramme pluviométrique de la station de Guelma pour la période (2012-2022).

II.3. Etude des paramètres climatiques :

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 de l'écoulement (AffounS., 2005).

II.3.1. Les précipitations :

Les précipitations sont considérées commel'un des facteurs les plus essentielsqui caractérisent le climat d'une région et un élément principal du bilan hydrique. Elles jouent un rôle essentiel dans le comportement hydraulique des cours d'eaux et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines pour constituer à moyen terme des ressources mobilisables non négligeables.

II.3.1.1. Les précipitations moyennes mensuelles :

Les précipitations moyennes mensuelles sont calculées à partir des données des hauteurs des précipitations de chaque mois sur une période de 10 ans (2012-2022) pour la station de Guelma. Leur variation mensuelle et pluriannuelle est résumée dans le tableau 5.

Tableau 5 : Les précipitations moyennes mensuelles (mm).

Mois Station	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Totale
Guelma	34.8	49.7	72.8	61.5	75.8	54.4	72.2	31.6	30.9	7.2	2.7	16.2	509.8

ANRH de Constantine et ONM de Guelma2016.

L'histogramme de la Figure9démontre une hétérogénéité importante des précipitations d'un mois à l'autre avec un maximum de l'ordre de **75.8** mm au mois de Janvier, et avec un minimum de **2.7** mm pendant le mois de Juillet.

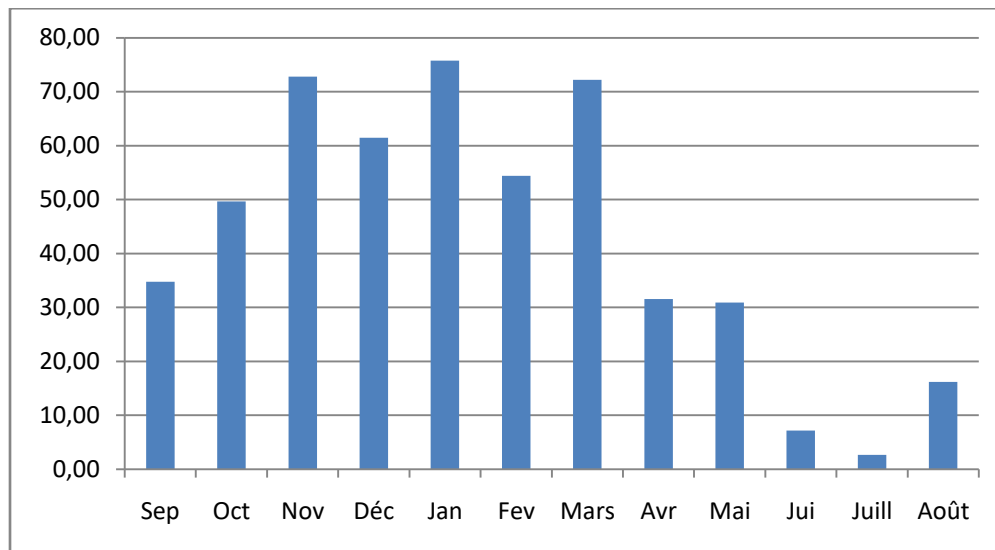


Figure 9 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma (2012-2022).

II.3.1.2. Répartition saisonnière des précipitations :

Les précipitations diffèrent d'une saison à l'autre, dans l'objectif de déterminer leur quantités on s'est intéressé aux précipitations saisonnières (**Automne** : Septembre, Octobre, Novembre. **Hiver** : Décembre, Janvier, Février. **Printemps** : Mars, Avril, Mai. **Été** : Juin, Juillet et Août). Ce choix nous amène aux constatations suivantes :

Tableau 6 : Variation saisonnière des précipitations à la station de Guelma (2012-2022).

Saisons Station	Automne		Hiver		Printemps		Été		Totale	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Guelma	157.30	30.86	191.70	37.60	134.70	26.42	26.10	5.12	509.80	100

Travail d'étudiant

D'après le Tableau 6, il est clair que la saison hivernale est la plus pluvieuse avec 191.70 mm, soit 37.60% du total annuel. En automne les précipitations sont de l'ordre de 157.30 mm soit 30.86 %. Durant le printemps le totale des précipitations est de l'ordre de 134.70 mm, soit 26.42% du total annuel. La saison estivale est la plus sèche, la pluviométrie enregistrée est la plus faible par rapport aux autres saisons elle est de l'ordre de 26.10 mm, soit 5.12% de la totalité des pluies.

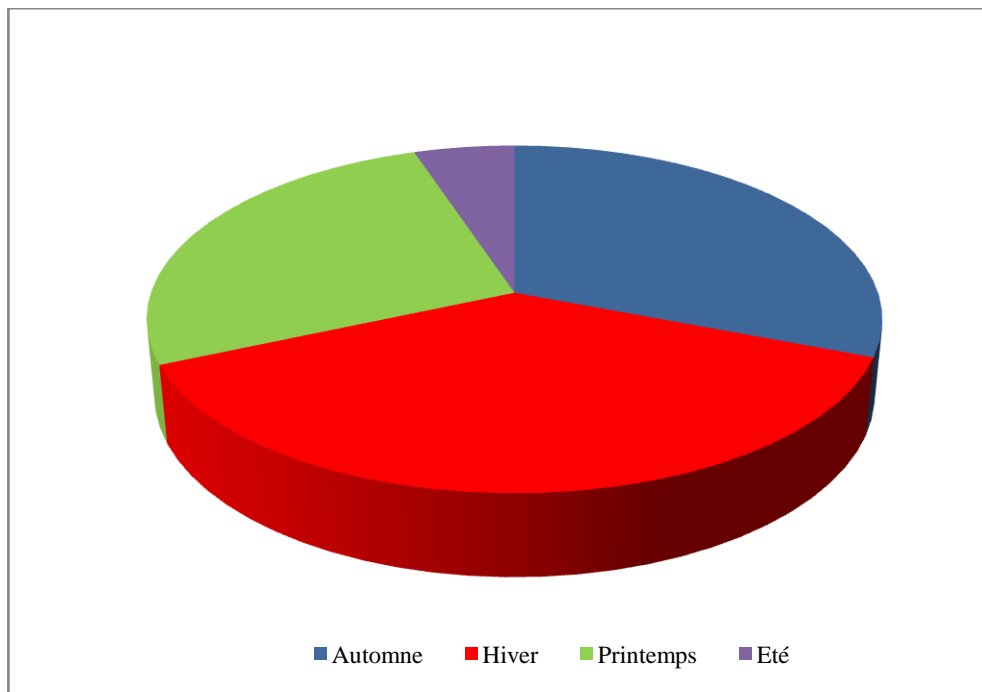


Figure 10 : Répartition saisonnière des précipitations à la station de Guelma (2012-2022).

II.3.1.3. Les précipitations moyennes annuelles :

Les précipitations moyennes annuelles sont de 509.8 mm, la variation interannuelle sont reportées dans le Tableau 7.

La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le coefficient pluviométrique (CP). Ce paramètre est très important dans la détermination des années excédentaires et déficitaires. Il est calculé à l'aide du rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne d'une série à une station donnée.

$$CP = \frac{p}{\bar{p}}$$

Le coefficient pluviométrique est en relation proportionnelle avec la pluviométrie Nous avons deux cas :

- CP >1 : année excédentaire.
- CP <1 : année déficitaire.

Remarque : la pluviométrie annuelle moyenne (\bar{p}) est :

Station de Guelma : $\bar{P} = 509.8\text{mm}$

Tableau 7 : Les précipitations moyennes annuelles et les coefficients pluviométriques (2012-2022).

Année	Hauteur annuelle Des précipitations P (mm) de Guelma	Coefficient Pluviométrique De Guelma
2012-2013	553,4	1.09
2013-2014	529,6	1.04
2014-2015	556,0	1.09
2015-2016	437,9	0.86
2016-2017	413,3	0.81
2017-2018	648,9	1.27
2018-2019	669,3	1.31
2019-2020	387,3	0.76
2020-2021	549,2	1.08
2021-2022	337,3	0.66

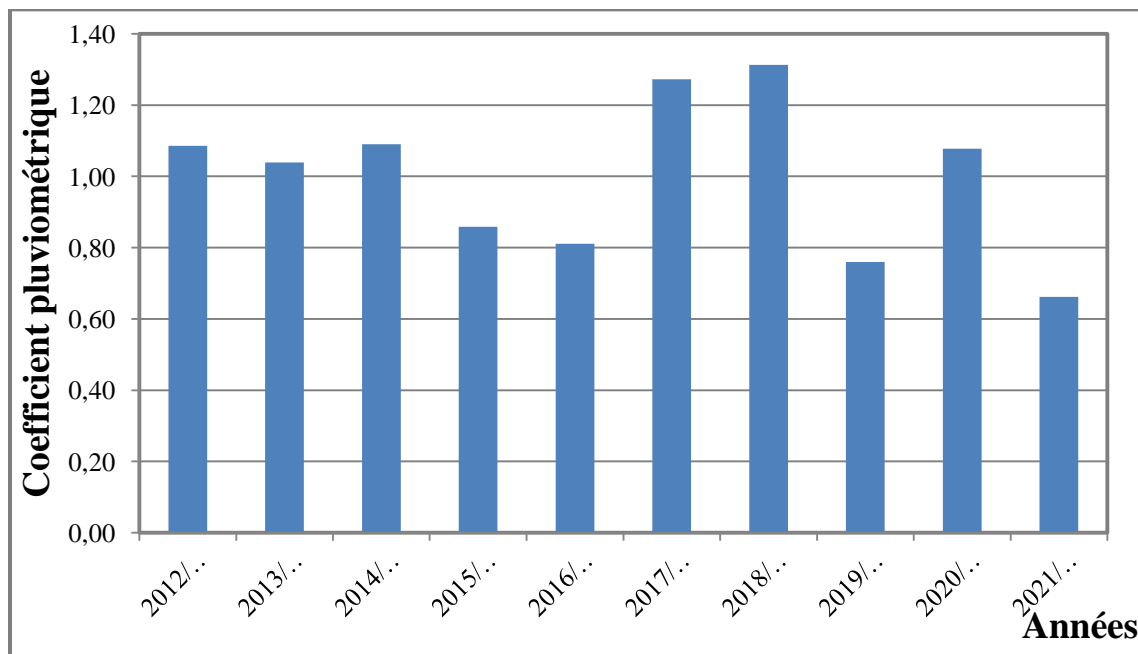


Figure 11 : Les variations du coefficient pluviométrique pour la station de Guelma (2012-2022).

D'après cet histogramme, nous déduisons que les années excédentaires sont plus nombreuses que les années déficitaires.

Tableau 8 : Les années déficitaires et excédentaires (2012-2022).

Stations Type d'années	Station de Guelma
Années déficitaires	2015/2016 _ 2016/2017 _ 2019/2020 _ 2021/2022
Années excédentaires	2012/2013 _ 2013/2014 _ 2014/2015 _ 2017/2018 _ 2018/2019 _ 2020/2021

Travail d'étudiant

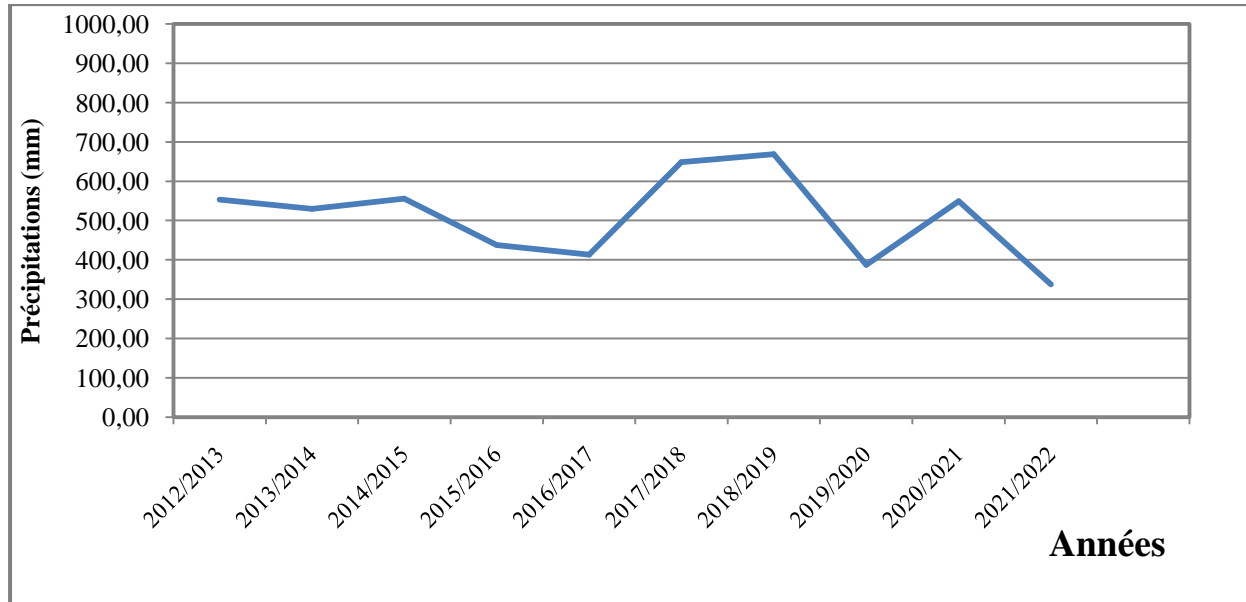


Figure 12 : Les variations des précipitations annuelles pour la station de Guelma (2012-2022).

II.3.2. Les Températures :

Parmi les facteurs caractérisant le climat d'une région, les températures sont importantes pour l'estimation de l'évapotranspiration. Elles sont dépendantes de plusieurs facteurs telle que l'altitude, où elles diminuent, en Algérie selon SELTZER (1946), de -0,5 °C chaque 100 m d'altitude.

II.3.2.1. Les températures moyennes mensuelles :

Les températures moyennes mensuelles entre la période 2012-2022, sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Températures moyennes mensuelles de la station de Guelma (2012-2022).

Mois Station	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
Guelma	26.1	21.7	16.3	12.6	11.4	12.3	14.5	18.1	22.1	27.5	30.9	30.1

ANRH Constantine et ONM Guelma 2016.

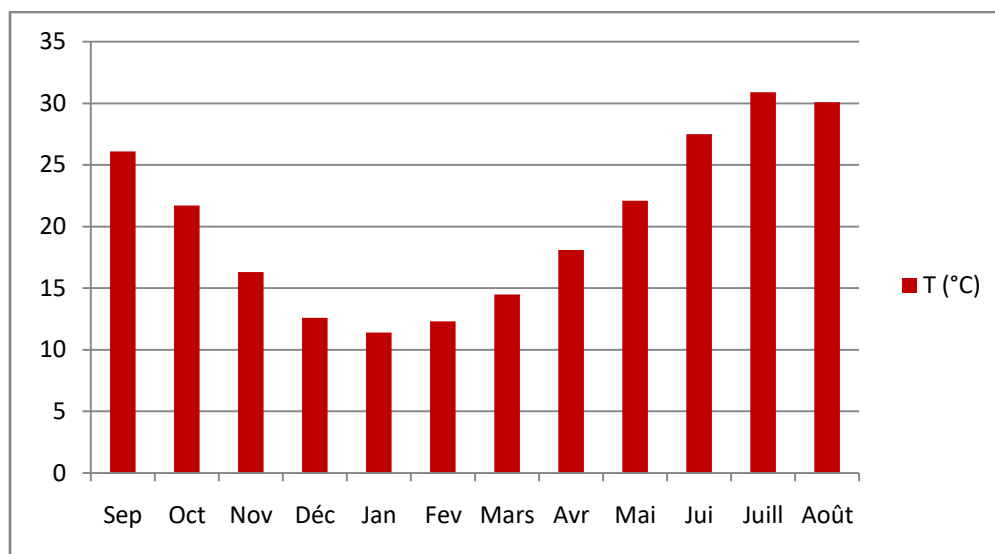


Figure 13 : Variation des températures moyennes mensuelles de la station de Guelma (2012-2022).

A partir de la Figure 13 il est clair que le mois le plus chaud est le mois de Juillet (avec une température de l'ordre de 30.9 °C) et le mois le plus froid est le mois de Janvier avec 11.4 °C.

II.3.2.2. Les températures moyennes annuelles :

Les températures moyennes annuelles pour la période 2012-2022 sont reportées dans le Tableau 10.

Tableau10 : Les températures moyennes annuelles de la station de Guelma (2012-2022).

Année	T (°C) Station de Guelma
2012-2013	19.8
2013-2014	20.2
2014-2015	20.8
2015-2016	20.4
2016-2017	21.2
2017-2018	19.6
2018-2019	18.6
2019-2020	20.4
2020-2021	20.5
2021-2022	20.6

Il ressort du Tableau 10 que les valeurs des variations interannuelles des températures observées sur une période de 10 ans pour la station de Guelma montre que l'année la plus chaude est l'année 2016-2017, avec une moyenne de 21.2°C, et l'année la plus froide est l'année 2018-2019 avec une moyenne de 18.6°C.

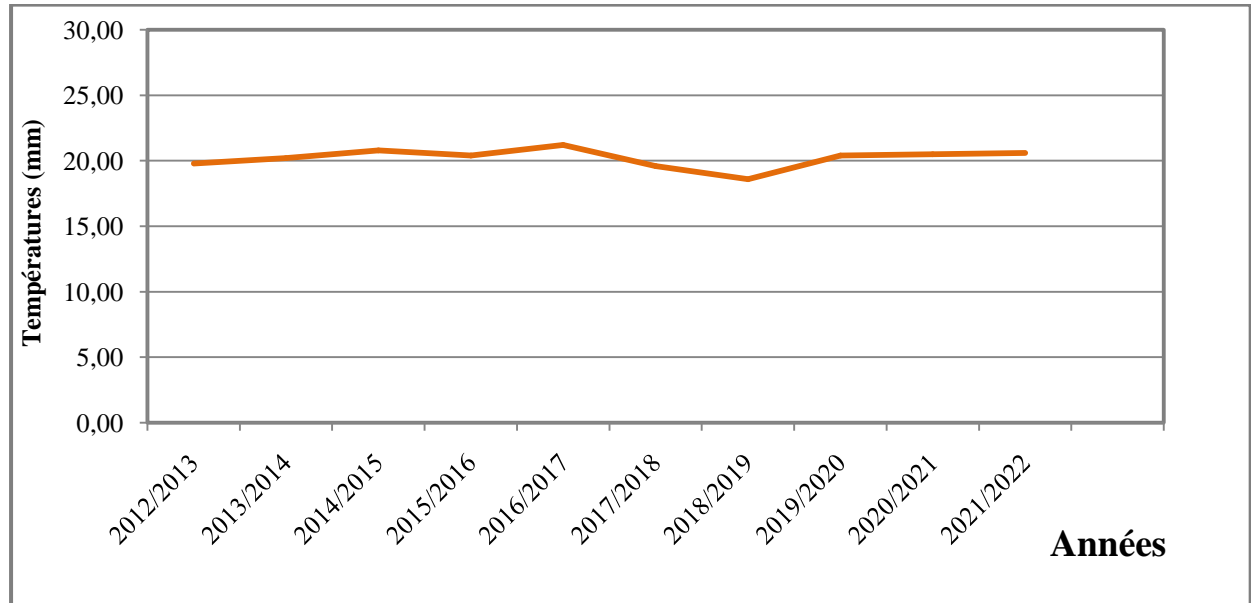


Figure 14 : Variation des températures moyennes annuelles de la station de Guelma (2012-2022).

II.4. Estimation des paramètres du bilan hydrique :

Le bilan hydrique est établi pour un lieu et une période donnée par comparaison entre les apports et les pertes en eau dans ce lieu et pour cette période. Les apports d'eau sont effectués par les précipitations. Les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de l'évaporation et la transpiration, que l'on désigne sous le terme d'évapotranspiration. Le bilan hydrique englobe l'étude des paramètres suivants :

- ✚ L'évapotranspiration.
- ✚ Les écoulements de surface ou ruissellement.
- ✚ L'infiltration.

II.4.1. Définition de l'évapotranspiration :

L'évapotranspiration constitue un élément important du bilan hydrologique. Elle représente la quantité d'eau qui s'évapore et retourne vers l'atmosphère sous forme de vapeur.

Elle résulte de la combinaison de deux phénomènes l'un physique (évaporation) et l'autre biologique qui est lié au couvert végétal (transpiration).

Le phénomène d'évapotranspiration réelle et potentielle peut être mesuré directement sur le terrain à partir d'un bac d'évaporation ou d'un évaporomètre, grâce également à des lysimètres ou calculé par des formules empiriques telles que celles de Turc ou de Thornthwaite.

Pour qu'il y ait évaporation, il faut :

- 1- L'existence d'eau à vaporiser (Alimentation en eau de la surface évaporant)
 - 2- L'existence de chaleur pour la vaporisation.
 - 3- Des conditions favorables à l'évacuation de la vapeur d'eau produite.
- } Production de vapeur d'eau

Parmi les facteurs influençant l'évaporation et son intensité, on peut citer : (d'après Marc Morell 1999)

➤ Les facteurs climatiques :

- La température de l'air ;
- L'humidité de l'air ;
- La vitesse du vent ;
- La pression atmosphérique

➤ Les facteurs du milieu :

- La température de l'eau ;
- Les caractéristiques du bassin ;
- La qualité de l'eau etc.

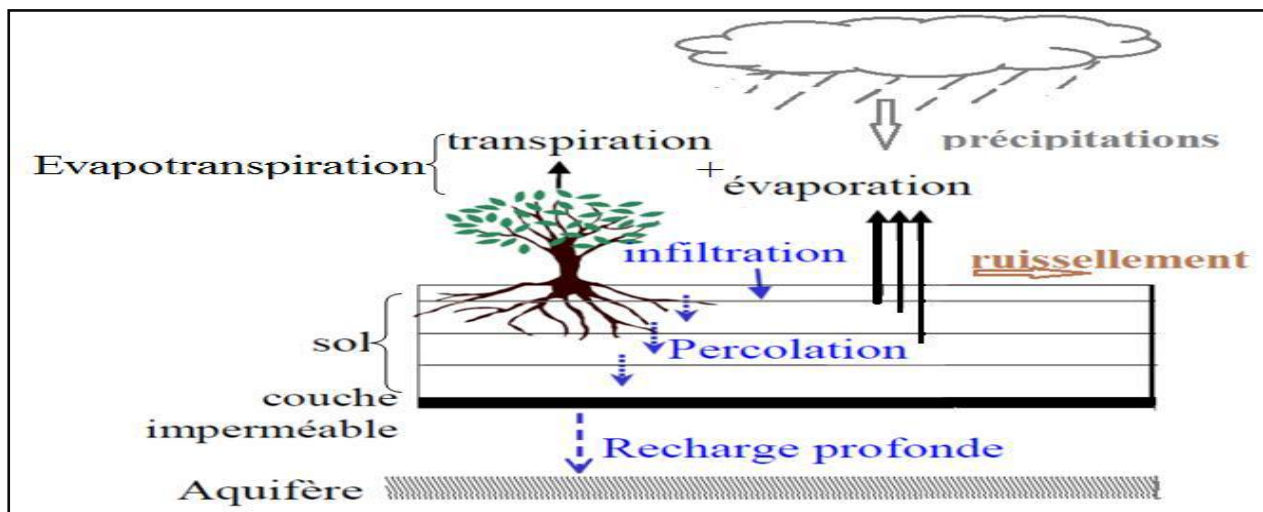


Figure 15 : Représentation schématique du bilan évapotranspiration /alimentation de la nappe/ruissellement (Bakria M., 2017).

II.4.1.1. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

L'ETR est une quantité d'eau évaporée ou transpirée par : le sol, les végétaux et les surfaces libres d'un bassin versant (mer, lac, cours d'eau...) généralement estimée en mm et se manifeste de fait en conditions naturelles dans un site donné, compte tenu de la demande climatique de l'air et de la disponibilité en eau du sol(Bakria M., 2017). Pour le calcul de L'ETR trois formules sont utilisées :

- ✚ Formule de Turc.
- ✚ Formule de Coutagne.
- ✚ Formule de Thornthwaite.

A- Formule de Turc :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad L=300+25t+0.05t^3$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm

P : Précipitation annuelle en mm

T : Température moyenne annuelle en °C.

L : Pouvoir évaporant.

Les résultats sont portés dans le tableau suivant :

Tableau 11 : ETR annuelle selon la méthode de Turc.

Paramètres Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm/an)
Guelma	509.8	20.3	1255.77	495.43

B- Formule de Coutagne :

$$ETR = P - \lambda P^2$$

Cette formule n'est valable que si la quantité des précipitations répond à la condition Suivante :

$$\lambda = \frac{1}{8\lambda} < p < \frac{1}{2\lambda} \quad \text{pour} \quad \lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$$

Avec :

ETR : L'évapotranspiration réelle en m

P : Précipitation moyenne annuelle en mm

T : Température moyenne annuelle en °C.

- Ces valeurs permettent de déterminer les valeurs de L'ETR pour la station pour

Le quelle on a mis le tableau suivant.

Tableau 12 : ETR selon la méthode de Coutagne.

Paramètres	P (m)	T (°C)	λ	ETR (mm/an)
Station				
Guelma	0.5098	20.3	0.27	439.7

II.4.2. Interprétation du bilan hydrique :

D'après le bilan hydrique pour la station de Guelma et selon la méthode de Thornthwaite, la RFU (réserve facilement utilisable) commence à se reconstitue et atteint son maximum (26 mm) à partir du mois de Novembre jusqu'au mois de Mars. Le surplus d'eau alimente le ruissellement et l'infiltration. La RFU s'épuise partir du mois d'Avril jusqu'au mois d'Octobre, caractérisant le déficit agricole (DA).

L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (209,0 mm) et son minimum au mois de Janvier (16.8mm), l'épuisement du stock commence au mois d'Avril et se termine au mois d'Octobre avec un déficit agricole maximum au mois de Juillet où l'irrigation devient nécessaire.

Tableau 13 : Bilan hydrique pour la station de Guelma (2012-2022).

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	26,1	12,2	1,03	120,3	34,8	-85,5	-0,7	0,0	0,0	34,8	85,5	0,0
O	21,7	9,2	0,97	76,0	49,7	-26,3	-0,3	0,0	0,0	49,7	26,3	0,0
N	16,3	6,0	0,86	36,1	72,8	36,7	1,0	26,0	26,0	36,1	0,0	0,0
D	12,6	4,1	0,81	19,5	61,5	42,0	2,2	0,0	26,0	19,5	0,0	0,0
J	11,4	3,5	0,87	16,8	75,8	59,0	3,5	0,0	26,0	16,8	0,0	0,0
F	12,3	3,9	0,85	19,4	54,4	35,0	1,8	0,0	26,0	19,4	0,0	0,0
M	14,5	5,0	1,03	33,6	72,2	38,6	1,2	0,0	26,0	33,6	0,0	0,0
A	18,1	7,0	1,10	58,0	31,6	-26,4	-0,5	-26,0	0,0	57,6	0,4	0,0
M	22,1	9,5	1,21	98,5	30,9	-67,6	-0,7	0,0	0,0	30,9	67,6	0,0
J	27,5	13,2	1,22	159,7	7,2	-152,5	-1,0	0,0	0,0	7,2	152,5	0,0
J	30,9	15,8	1,24	209,0	2,7	-206,3	-1,0	0,0	0,0	2,7	206,3	0,0
A	30,1	15,1	1,16	184,7	16,2	-168,5	-0,9	0,0	0,0	16,2	168,5	0,0
Annuel	20,3	104,5		1031,6	509,8	-521,8				324,4	707,2	0,0

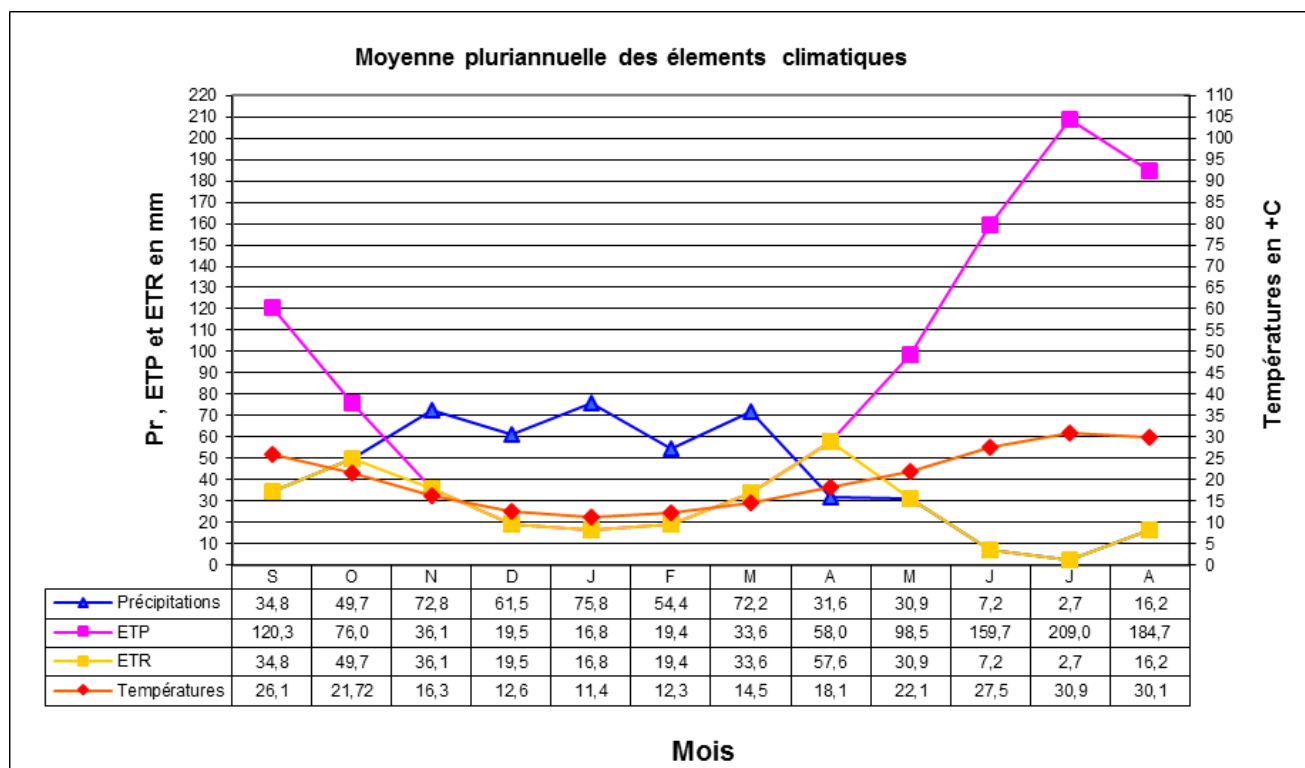


Figure16 : Moyennes pluriannuelles des éléments climatiques pour la station de Guelma (2012-2022).

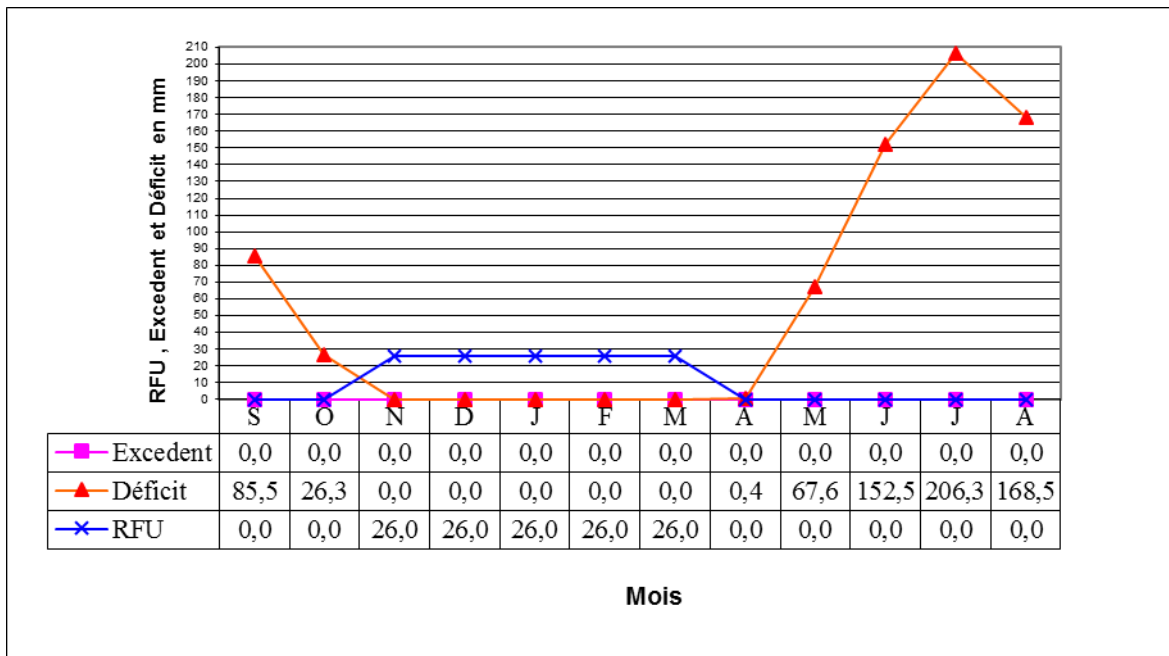


Figure 17: Diagramme de la variation de la RFU, du déficit agricole et de l'excédent pour la Station de Guelma (2012-2022).

II.4.3. Comparaison des résultats des trois méthodes :

L'utilité de la comparaison réside dans les écarts décelés lors de l'application des trois méthodes (Tableau n°14) pour aboutir à une meilleure approche de L'ETR ce qui par la suite fera ressortir la formule la mieux appropriée à la région d'étude.

La formule de Thornthwaite convient bien à tous les types de climat, contrairement à celle de Turc qui présente un caractère universel. L'ETR est surestimée pour tous les mois de l'année par ailleurs, la méthode de Thornthwaite s'avère plus adaptée, puisqu'il y a similitude des conditions dans lesquelles a été émise avec celles qui règnent dans notre région d'étude, un coefficient de correction K permet de mieux l'ajuster.

Tableau 14: Résultats des valeurs de l'ETR selon les méthodes.

Méthodes / Station	Indice	Thornthwaite	Coutagne	Turc
Guelma	ETR	324,4	439.7	495.43

II.5. Conclusion :

Au terme de cette étude, on retiendra que la région d'étude est soumise à un climat semi-aride, caractérisé par des précipitations annuelles relativement élevées de 509.8 mm/an au niveau de la station de Guelma, ainsi que par deux saisons bien distinctes, une estivale sèche et chaude et l'autre hivernale humide.

Le bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite a démontré que la RFU caractérise les mois allant de Novembre jusqu'au mois de Mars. L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (209,0 mm) et son minimum au mois de Janvier (16.8mm), l'épuisement du stock commence au mois d'Avril et se termine au mois d'Octobre avec un déficit agricole maximum au mois de Juillet où l'irrigation devient nécessaire.

CHAPITRE III
MATERIEL ET
METHODES

III.1. Approche méthodique :

L'approche méthodique suivie dans le cadre de la réalisation de cette étude afin de déterminer l'impact de l'environnement urbain sur le changement climatique passe par :

- Un aperçu sur le changement climatique ;
- Une évaluation de la sécheresse météorologique ;
- Un établissement d'une Analyse en Composante Principale (ACP) pour ressortir une relation de causalité entre l'urbanisation et la sécheresse comme effet induit du changement climatique.

Les étapes suivies sont les suivantes :

✓ **La recherche biobibliographie :**

Plusieurs documents, rapports et revues ayant traité le thème ont été consultés au niveau de :

- La bibliothèque centrale de l'université Ziane Achour à Djelfa.
- La bibliothèque de la Faculté des Science de la Nature et de la Vie et du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.
- Les mémoires et les thèses et les articles scientifiques sur internet.

✓ **Collecte des informations :**

Durant cette phase, nous avons essayé de recueillir toutes les données statistiques et cartographiques auprès des différents organismes. Parmi nos sources d'informations, nous citons :

- **ONM** : Office National de la météorologie.
- **ONS** : Office national de statistique.
- **DPAT** : Direction de la Planification et de l'Aménagement du territoire.
- **RGPH** : Recensement Général de la Population et de l'Habitat.
- **PDAU** : Le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme.

➤ **Dépouillement et analyse des informations collectées :**

Les données recueillies auprès des différents organismes ont été exploitées, traitées et analysées, afin de les représenter sous forme de tableaux et des graphes pour nous faciliter le travail.

III.2. Aperçu sur le changement climatique :**III.2.1. Définition du changement climatique :**

La Nasa définit le changement climatique comme "un large éventail de phénomènes planétaires créés principalement par la combustion de combustibles fossiles, qui ajoutent des gaz qui retiennent la chaleur dans l'atmosphère terrestre.

Les gaz à effet de serre sont supposés être à l'origine de la majeure partie du changement climatique actuel, et la concentration de CO₂ atmosphérique dans le monde est le principal indicateur des gaz à effet de serre, ainsi qu'un régulateur principal du climat mondial (Petit et al., 1999).

III.2.2. Effets du changement climatique :

Les effets des changements climatiques anthropiques - causés par l'homme - vont de **sécheresses plus fréquentes et plus graves** aux tempêtes de neige et aux conditions hivernales extrêmes dans les régions tempérées, en raison du réchauffement des fronts météorologiques de l'Arctique.

Ce ne sont pas seulement les humains qui sont touchés. Le réchauffement des températures des océans augmente la fréquence du blanchissement des récifs coralliens ; Un temps plus chaud et plus sec signifie que les forêts de certaines régions ne se remettent plus des incendies de forêt et que les habitats fauniques du monde entier deviennent moins accueillants pour les animaux.

Le changement climatique a également des effets économiques et sociopolitiques. La sécurité alimentaire est déjà affectée dans un certain nombre de pays africains et les chercheurs étudient des liens suggestifs entre le changement climatique et la probabilité accrue d'un conflit militaire.

Dans cette étude nous nous concentrerons sur l'évaluation de la sécheresse météorologique.

III.2.3. Impact du changement climatique sur la sécheresse :

Selon le rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (GIEC, 2015), des observations instrumentales au cours des 157 dernières années montrent que les températures à la surface ont augmenté globalement, avec d'importantes variations régionales. Pour la moyenne mondiale, le réchauffement au cours du dernier (20ème) siècle s'est déroulé en deux phases, des années 1910 aux années 1940 (0,25 ° C) et plus fortement des années 1970 à nos jours (1,30 ° C).

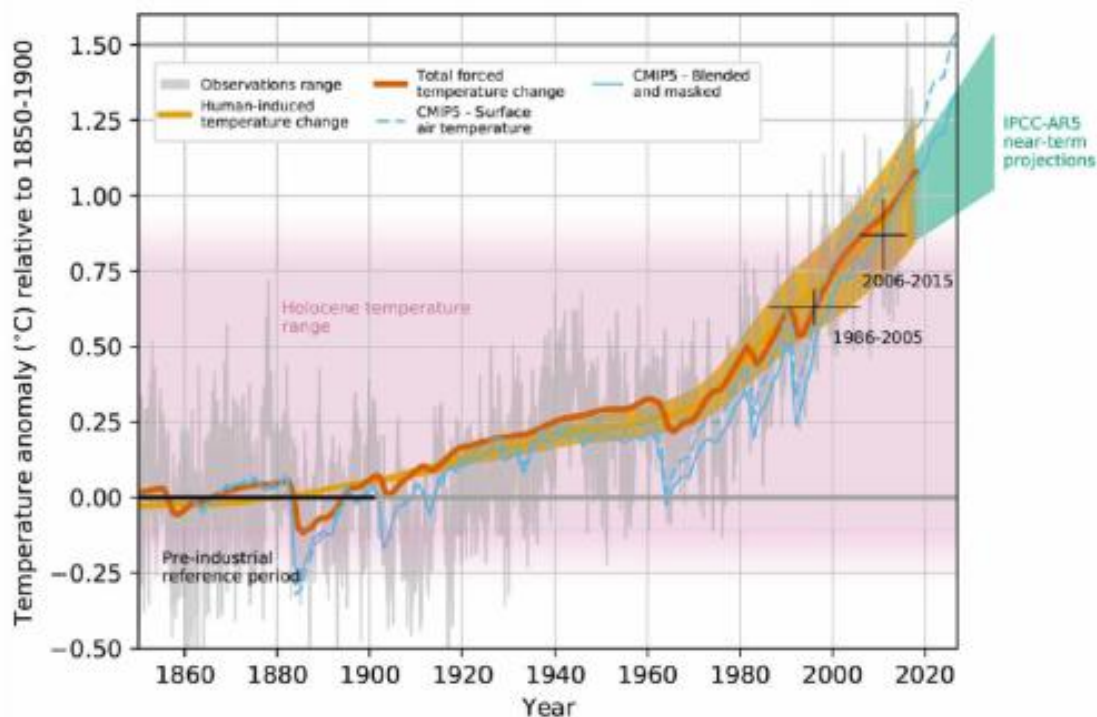


Figure 18 : Evolution du climat selon le GIEC 2015.

III.3. La sécheresse :

La sécheresse est considérée comme un danger naturel (Savari M., et al., 2022) et peut être confondue avec l'aridité, qui peut être causée par de faibles précipitations dans une région. La sécheresse peut être définie comme la persistance excessive d'un déficit de précipitations dans une zone particulière pendant un certain laps de temps (Kamruzzaman M., et al., 2022). La sécheresse peut survenir dans pratiquement toutes les différentes zones climatiques (Niaz R., et al., 2022).

III.3.1. Classification de la sécheresse :

Peut être classée en plusieurs catégories (Du E., et al., 2023) :

- Sécheresse météorologique, caractérisée par une insuffisance prolongée des précipitations dans une région pendant une période de temps;
- Sécheresse hydrologique, qui survient lorsque la recharge des eaux de surface et souterraines s'épuise;
- Sécheresse agricole, qui est causée par une carence en humidité du sol entraînant une mauvaise récolte ;
- Sécheresse socio-économique, qui est liée à une pénurie d'eau nécessaire pour répondre à la demande de biens économiques.

III.3.2. Caractéristiques de la sécheresse :

En plus des types, les sécheresses sont fondamentalement caractérisées en trois dimensions : sévérité, durée et distribution spatiale (voir ce qui suit). Les caractéristiques supplémentaires incluent : fréquence, ampleur (déficit cumulé), prévisibilité, taux d'apparition et le moment. Nous utilisons ici la terminologie largement adoptée de Salas (1993) :

- **La durée** : selon la région, la durée de la sécheresse peut varier d'une semaine à quelques années. En raison de la nature dynamique de la sécheresse, une région peut subir des sorts humides et secs simultanément en tenant compte des différents pas de temps (Zargar A. et al. 2011).
- **La magnitude** : déficit accumulé en eau (précipitations, humidité du sol ou ruissellement, par exemple) en dessous d'un certain seuil en période de sécheresse (Zargar A. et al. 2011).
- **L'intensité** : c'est le rapport de la magnitude de la sécheresse par sa durée (Zargar A. et al. 2011).
- **La sévérité** : deux usages sont prévus pour la sévérité de la sécheresse : le degré du déficit de précipitation, ou le degré d'impact résultant du déficit (Wilhite 2004).
- **L'étendue géographique** : la superficie que couvre la sécheresse qui est variable au cours de l'événement. Cette zone peut couvrir un ou plusieurs pixels (cellules), bassins versants ou régions (Zargar A. 2011).
- **La fréquence ou la période de retour** : la fréquence ou la période de retour d'une sécheresse est définie comme le temps moyen entre les événements de sécheresse qui ont une gravité égale ou supérieure à un seuil (Zargar A. 2011).

III.3.3. Les indices de l'évaluation de la sécheresse :

Plusieurs indices dédiés à l'évaluation de la sécheresse existe, parmi eux les indices de la sécheresse météorologique. Dans notre étude on va utiliser le SPI et le RDI qui sont les indices parmi les plus utilisés, le premier indice se base sur les précipitations moyennes mensuelles seulement et le second en plus des précipitations moyennes mensuelles, il se base aussi sur l'évapotranspiration potentielle déterminée à l'aide des températures moyennes mensuelles.

A-Indice des précipitations standardisées (SPI) :

McKee, Doesken et Kleist ont développé l'Indice de précipitation standardisé (SPI), qui est un indice puissant, flexible à utiliser et facile à calculer. Les données pluviométriques sont en fait le seul paramètre requis. L'IPS est statistiquement basé sur la probabilité totale d'une quantité particulière de précipitations enregistrée à une station d'observation. Des

données mensuelles sur les précipitations couvrant au moins 20 à 30 ans, mais idéalement 50 à 60 ans ou plus, sont nécessaires pour le calcul de cet indice.

Il est exprimé mathématiquement comme suit :

$$SPI = (pi - pm) / \sigma$$

Sachant que :

Pi : est la Précipitation de l'année i ;

Pm : la Précipitation moyenne ;

σ : la Déviation standard ou écart type.

B- L'indice de la reconnaissance de la sécheresse (RDI) :

Développé par Tsakiris et Vangelis en 2005, le calcul de l'indice de reconnaissance de la sécheresse (RDI) est similaire au SPI. Cependant, alors que le RDI se base uniquement sur les données de précipitations, le calcul de cet indice est basé à la fois sur les précipitations et sur l'évapotranspiration potentielle (ETP). La formulation du RDI est comme suit:

$$RDI_{st}^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\hat{\sigma}_{yk}}$$

Où : $y_k^{(i)}$ est le $\ln(\alpha_k^{(i)})$, $(\alpha_k^{(i)})$ est la moyenne arithmétique, et $\hat{\sigma}_{yk}$ est la déviation standard.

Tableau 15 : Classification des indices de sécheresse métrologiques SPI et RDI.

Catégories	Intervalle
Extrêmement sec	≤ -2
Sévèrement sec	[-1,5 ; -1,99]
Modérément sèche	[-1 ; -1,49]
Ordinaire	[-0,99 ; 0,99]
Modérément humide	[1 ; 1,49]
Très humide	[1,5 ; 1,99]
Extrêmement humide	$\geq +2$

C- Evaporation potentielle (ETP) :

Développée en 1948 par Thornthwaite, cette méthode permet des calculs basés sur la température moyenne de l'air et le nombre d'heures de clarté [90]. Il est calculé comme suit :

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_{moy}}{5} \right)^{1,514}$$

Où : I est l'indice de chaleur annuel et T_{moy} est la température moyenne mensuelle (°C).

III.4. Etablissement de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) :

Une variété d'approches statistiques multivariées, telles que l'analyse en grappes (CA), l'analyse factorielle (FA), l'analyse en composantes principales (ACP) et l'analyse discriminante (DA), sont maintenant utilisées pour une analyse, une interprétation et une détermination fiables des facteurs d'impact des données (Taşan M., et al., 2022).

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode factorielle et descriptive qui schématise graphiquement le maximum d'information dans l'espace et dans le temps. Elle permet donc de réduire un système complexe de corrélation en un plus petit nombre de dimensions. Le but étant de transformer des données quantitatives initiales, toutes plus ou moins corrélées, en données quantitatives non corrélées appelées variables synthétiques ou composantes principales (Ben Zahia I. & Ben Zahia K., 2016).

Une analyse en composantes principales (ACP) a été entreprise pour étudier les corrélations entre les variables analysées (précipitations moyennes, indicateurs de sécheresse et tout facteur explicatif supplémentaire).

L'analyse en composantes principales (ACP) a aidé à la réduction des données en évaluant le regroupement/les similitudes dans les ensembles de données, la cohérence/le chevauchement des clusters et les causes de variation entre les paramètres (El-Rawy M., et al., 2023).

CHAPITRE IV
RESULTATS ET
DISCUSSIONS

IV.1. Introduction

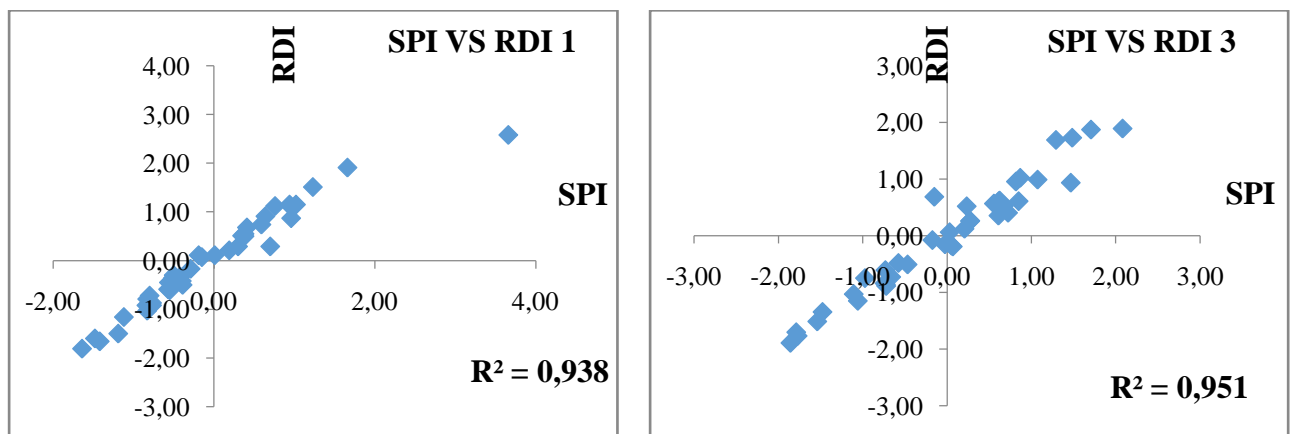
Parmi les impacts directs des changements climatiques le phénomène de la sécheresse qui est un phénomène complexe et mal compris qui découle d'une baisse des précipitations par rapport à des niveaux considérés comme normaux. Quand le phénomène se prolonge toute une saison, ou au cours d'une période plus longue encore, les précipitations sont insuffisantes pour répondre aux besoins de l'environnement et des activités humaines. C'est un phénomène d'échelle régionale et chaque région possède ses propres caractéristiques climatiques. La température, le vent et l'humidité relative sont aussi des facteurs déterminants pour caractériser la sécheresse.

L'objectif de ce chapitre réside dans la surveillance ou le suivi de la sécheresse à l'aide des indices de sécheresse météorologique ainsi que la détermination des relations de causalités entre les changements climatiques et quelques facteurs sélectionnés à l'aide de l'outil statistique multi-varié (ACP).

IV.2. Evaluation et surveillance de la sécheresse météorologique :

IV.2.1. La corrélation entre le SPI et le RDI :

La Figure 19 montre la corrélation entre les indices de la sécheresse (SPI et RDI), selon les pas de temps (1, 3, 6, 9, 12). Cette corrélation varie d'un pas de temps à un autre, le Tableau 16 illustre le coefficient de corrélation pour les différents pas de temps.



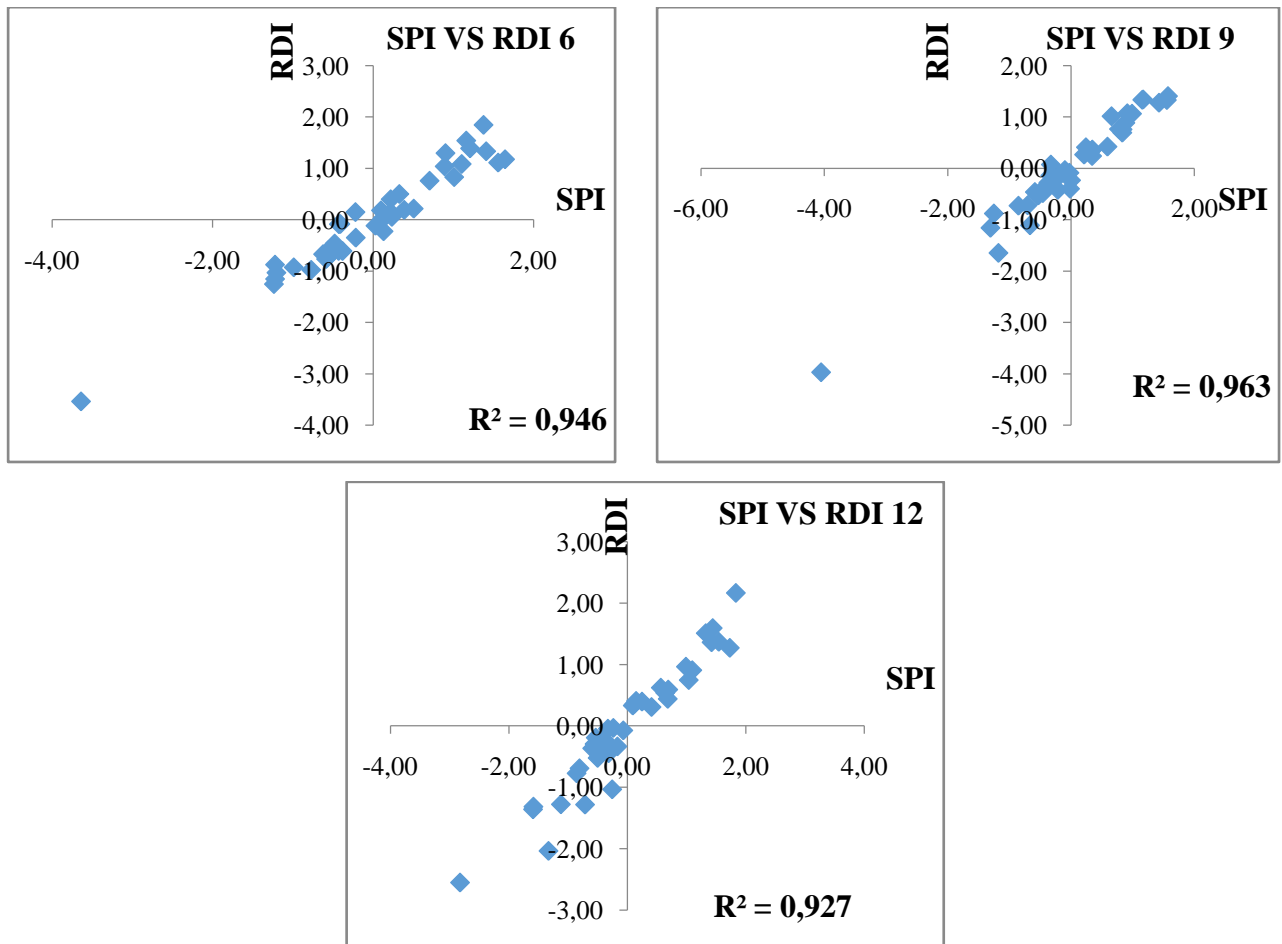


Figure 19 : Diagramme de corrélation entre les SPI et les RDI pour la station de Guelma (1982-2022).

La valeur maximale de (R^2) entre SPI et RDI a été obtenue pour un pas de temps de 9 mois ($R^2=0.963$), et la valeur minimale pour le pas de temps de 12 mois ($R^2=0.927$) dans la wilaya de Guelma (Tableau 16). Dans un pas de temps de 1, 3 et 6 mois, le coefficient de corrélation (R) est supérieur à 0.938.

Il est évident que les deux indices sont bien corrélés dans tous les pas de temps, ce qui signifie que ces deux indices sont très bien adaptés à étudier la sécheresse dans notre zone d'étude. Cette bonne corrélation va nous aider à évaluer la sécheresse agricole par les courts pas de temps ainsi que la sécheresse hydrologique par les longs pas de temps.

Tableau 16 : Coefficient de corrélation (R^2) entre les SPI et les RDI à différents pas de temps.

Pas de temps	Coefficient de corrélation (R^2)
SPI 1 vs RDI 1	0.938
SPI 3 vs RDI 3	0.951
SPI 6 vs RDI 6	0.946
SPI 9 vs RDI 9	0.963
SPI 12 vs RDI 12	0.927

IV.2.2. Evaluation de la Sécheresse Météorologique :

Deux indices de sécheresse Météorologique ont été utilisés, le SPI et le RDI pour la détermination de la durée et la sévérité de la Sécheresse dans notre région d'étude.

A- Pour la Sécheresse Météorologique à court terme :

Le court terme de la Sécheresse adapte un pas de temps d'un (1) mois et trois (3) mois. Les Figures 20 et 21 montrent la comparaison entre les SPI et les RDI pour la station de Guelma (1982-2022) avec un pas de temps de 1 et 3 mois. Les SPI et RDI 1 et 3 montrent cinq (06) périodes sèches.

Les durées maximales de la sécheresse sont observées entre 1987-1990, 1995-1997, 2006-2007 et 2020-2021 selon le SPI1 et RDI1 ; et entre 1982-1984, 1985-1986, 1987-1989 et 1991-1992, 1995-1997 et 2013 selon le SPI3 et RDI3, ces périodes ont une sévérité modérée à extrême.

La sévérité maximale de la sécheresse s'observe durant l'année 1987-1990 pour SPI1 et RDI1 (SPI = -1,80 et RDI = -2) c'est une sécheresse sévère à extrême, qui répétée tous les 10 ans, et durant l'année 1995-1997 pour SPI3 et RDI3 (SPI = -1.98 et RDI = -2.01) c'est une sécheresse extrême.

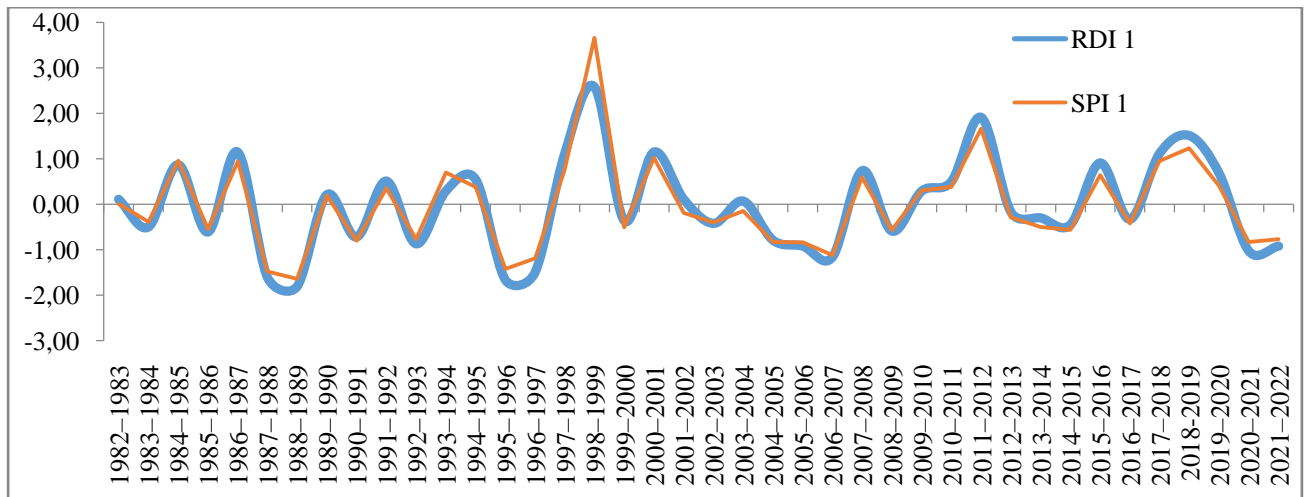


Figure 20 : Comparaison des SPI 1 et RDI1 pour la station de Guelma (1982-2022) avec un Pas de temps de 1 mois.

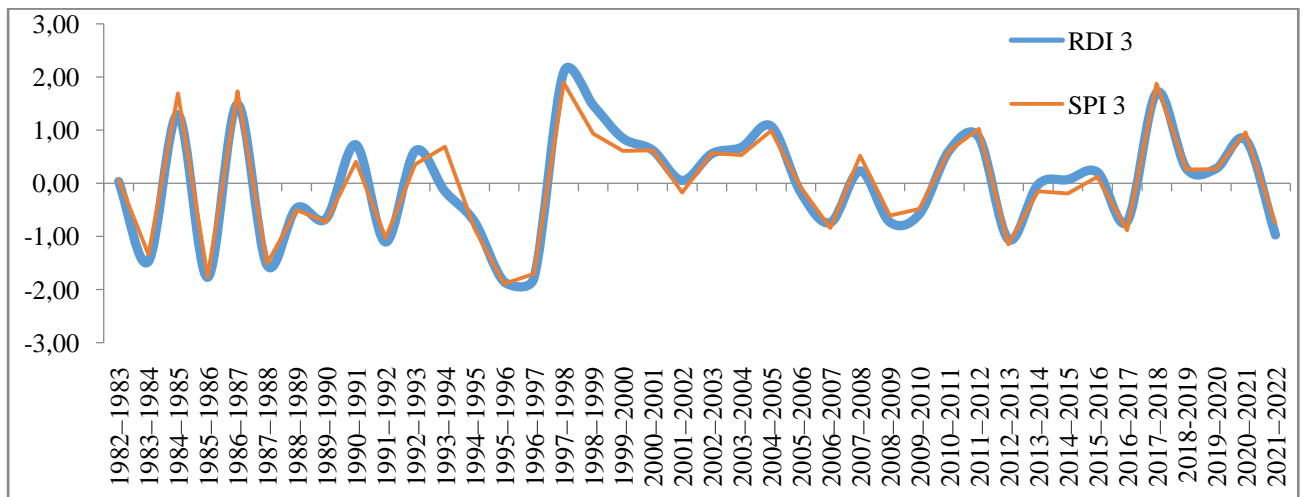


Figure 21 : Comparaison des SPI 3 et RDI 3 pour la station de Guelma (1982-2022) avec un Pas de temps de 3 mois.

B- Pour la Sécheresse moyenne et long terme :

Le pas de temps de 6 mois représente le moyen terme, et les pas de temps 9 et 12 mois représentent le long terme. Les SPI 6, SPI 9, SPI 12 et les RDI 6 ; RDI 9 ; RDI 12montrent les mêmes durées au cours des années : 1985-1986, 1987-1988, 1995-1997, pour les pas de temps 9 et 12 en plus de la périodes 1991-1992 pour le pas de temps 6 mois, toutes ces durées sèches ont une sévérité modérée a extrême.

Les valeurs maximales des SPI et RDI pour le moyen et long terme sont observées durant l'année 1995-1997 :

SPI 6 = -2.60 et RDI 6 = -3.82 où la sécheresse et extrême.

SPI 9= -4.00 et RDI 9 = -4.10 où la sécheresse et extrême.

SPI 12 = -2.50 et RDI 12 = -3.00 où la sécheresse et extrême.

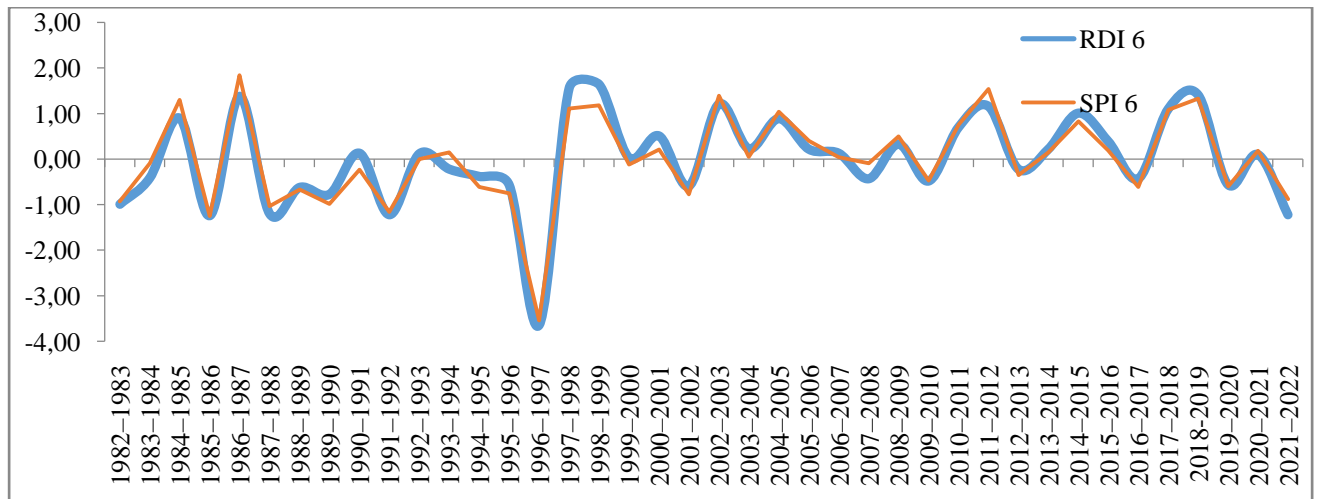


Figure 22 : Comparaison des SPI 6 et RDI 6 pour la station de Guelma (1982-2022) avec un Pas de temps de 6 mois.

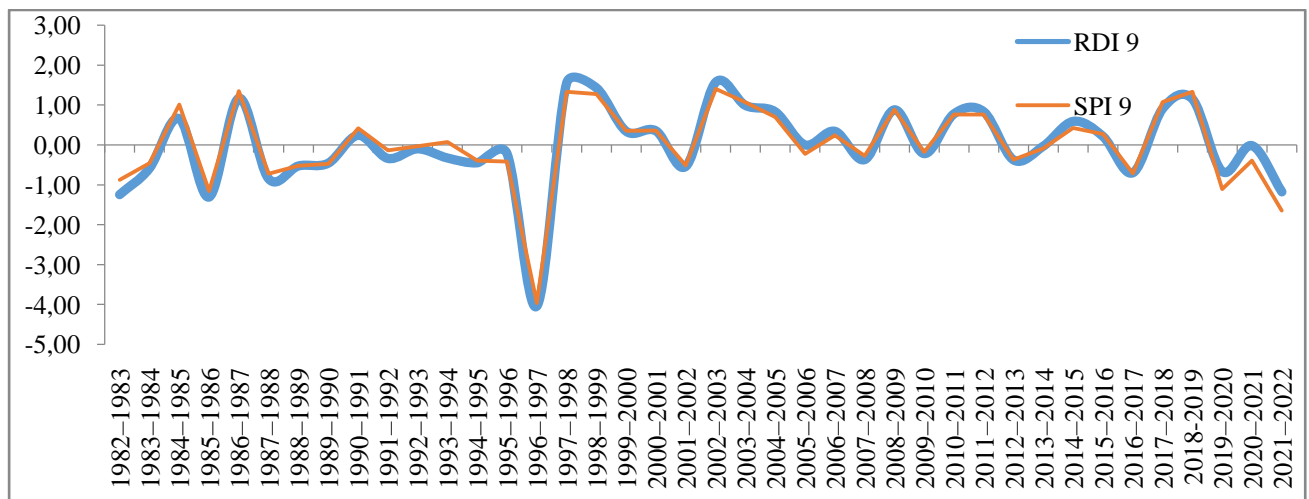


Figure 23 : Comparaison des SPI 9 et RDI 9 pour la station de Guelma (1982-2022) avec un Pas de temps de 9 mois.

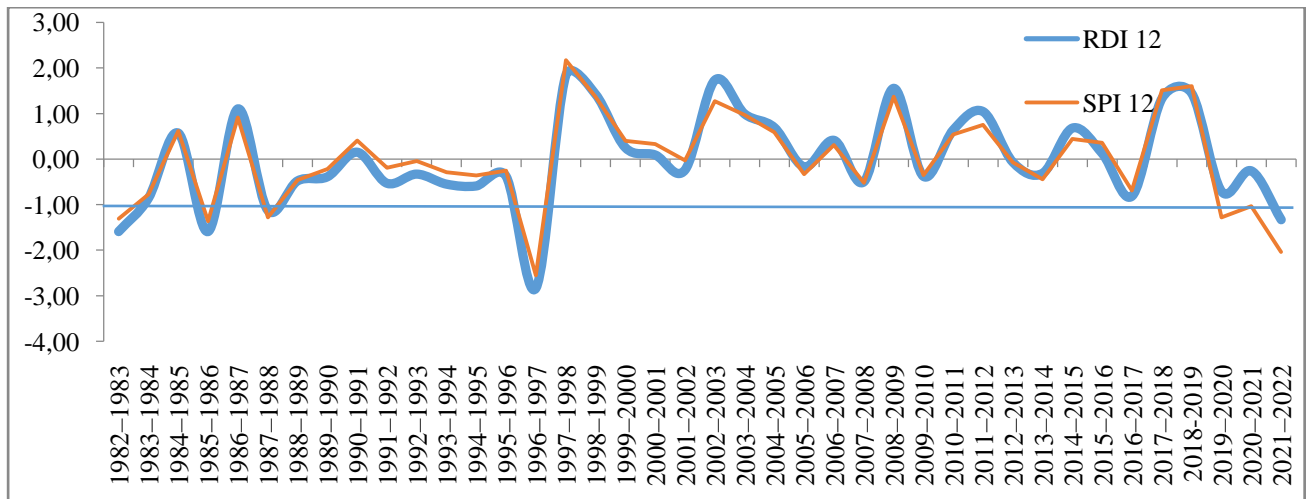


Figure 24 : Comparaison des SPI 12 et RDI 12 pour la station de Guelma (1982-2022) avec un Pas de temps de 12 mois.

On peut conclure de ce qui précède que les périodes sèches caractérisaient les deux premières décennies (1982-2002) de la période d'observation pour les pas de temps 3, 6, 9 et 12. On ce qui concerne le pas de temps 1 mois la sécheresse a touchée les trois décennies 1982-2012.

IV.3. Analyse en composantes principales (ACP) des variables favorisant les fluctuations climatiques :

IV.3.1. Corrélation de Pearson :

Cette corrélation permet d'avoir une idée sur les liaisons existantes entre les variables prises deux à deux (Tableau 17), il en ressort ce qui suit :

Les fortes corrélations s'observent entre les couples : (Population/Population urbaine), (Population/Densité), (Population urbaine/Densité), (Précipitation/Température), (Précipitation/Altitude), (Température/Altitude), (Précipitation/Vitesse de vent), (Température/Vitesse de vent), (Altitude/Vitesse de vent), (Superficie/Superficie des zones urbanisables), (Taux d'imperméabilisation/Superficie des zones urbanisables), (Population/Taux d'imperméabilisation), (Population/ Superficie du tissu urbain), (Altitude/Vitesse de vent), (Superficie du tissu urbain/Vitesse de vent), (Vitesse de vent/Superficie des zones industrielles).

Tableau 17 : Coefficients de corrélation entre les variables.

Variables	Population	Population Urbaine	Précipitations (mm)	Température (°C)	Altitude (m)	Superficie (km ²)	Taux d'imperméabilisation (%)	Vitesse de Vent (m/s)	Superficie des zones urbanisables (km ²)	Superficie des zones industrielles (km ²)	Densité (hab/km ²)
Population	1										
Population Urbaine	0,97	1									
Précipitations (mm)	-0,21	-0,21	1								
Température (°C)	0,21	0,21	-1,00	1							
Altitude (m)	-0,21	-0,21	1,00	-1,00	1						
Superficie (km ²)	-0,26	-0,37	0,42	-0,42	0,42	1					
Taux d'imperméabilisation (%)	0,32	0,32	0,46	-0,47	0,46	-0,21	1				
Vitesse de Vent (m/s)	-0,20	-0,19	0,99	-0,99	0,99	0,37	0,44	1			
Superficie des zones urbanisables (km ²)	-0,28	-0,35	-0,10	0,10	-0,10	0,77	-0,74	-0,12	1		
Superficie des zones industrielles (km ²)	0,13	0,01	-0,11	0,11	-0,11	0,39	0,13	-0,14	0,19	1	
Densité (hab/km ²)	0,92	0,95	-0,24	0,24	-0,24	-0,55	0,37	-0,23	-0,51	-0,15	1

IV.3.2. Valeurs propres :

Une valeur propre représente la variation des individus sur l'axe correspondant. Dans un but de faciliter leur interprétation, ces valeurs sont exprimées en pourcentage des valeurs propres totales (Benzahia I & Benzahia K., 2016).

Tableau 18 : Valeurs propres et pourcentages cumulés des axes principaux.

Facteur	Valeurs propres	Pourcentage total des variances	Valeurs propres Cumulées	Pourcentage cumulé
1	4.76	43.32	4.76	43.32
2	3.51	31.99	8.27	75.32
3	1.53	13.99	9.80	89.30

Le premier axe principal à une valeur propre égal à 4.76, il explique 43.32 % de la variation totale, la seconde composante égale à 3.51 explique 31.99 % de la variance totale. Les Pourcentages de variation sont assez élevés pour les deux premiers axes avec un cumule de 75.31 %. Pour nos interprétations, nous allons se limiter aux deux premiers axes.

IV.3.3. Etude des variables :

La contribution de chaque variable dans la formation de la composante principale est donnée par le coefficient de corrélation entre la variable et l'axe considéré, autant que ce coefficient est important, autant que la variable contribue à la formation de l'axe.

Le tableau 19 de la corrélation des variables aux principaux axes, montre que les variables sont mieux représentées avec l'axe 1.

Tableau 19 : Corrélation des variables aux principaux axes.

	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3
Population	0,52	0,65	0,49
Population Urbaine	0,54	0,70	0,37
Précipitations (mm)	-0,92	0,35	0,04
Température (°C)	0,92	-0,35	-0,04
Altitude (m)	-0,92	0,35	0,04
Superficie (km ²)	-0,59	-0,43	0,64
Taux d'imperméabilisation (%)	-0,24	0,81	0,01
Vitesse de Vent (m/s)	-0,91	0,37	0,01
Superficie des zones urbanisables (km ²)	-0,13	-0,78	0,47
Superficie des zones industrielles (km ²)	0,03	-0,16	0,70
Densité (hab/km ²)	0,58	0,75	0,14

Le tableau 19 montre clairement que les précipitations, les températures ainsi que l'Altitude sont bien représentées sur l'axe 1. Cette représentation diminue d'un axe à l'autre. L'étude du cercle de corrélation permet de ressortir les variables corrélées entre elles, et par conséquent les dissemblances et les ressemblances entre ces dernières.

IV.3.4. Etude des individus :

On notera que chaque individu représente 1 élément sur 10, d'où un poids (une pondération) de $1/10 = 0.10$, la représentation des individus (les agglomérations) sur les deux premiers axes (les facteurs) nous a permis de réaliser le graphique des individus. Ce dernier permet de préciser la signification des axes, donc des facteurs. On recherche donc les individus opposés sur un axe, dont on peut observer d'éventuels regroupements d'individus.

IV.3.5. Représentation graphique de l'ACP :

IV.3.5.1. Cercle F1F2 :

Le traitement a donné une inertie de 75.32 % pour les deux axes F1 et F2 : L'observation du cercle F1-F2 Figure 25, montre que l'axe F1 dans son sens positif et négatif présente les points représentant la température, la précipitation, l'altitude et la vitesse de vent comme facteurs responsables aux changements climatiques.

On peut considérer l'axe F1 comme axe des facteurs climatiques.

L'axe F2 regroupe la population, la population urbaine, le taux d'imperméabilisation, la superficie des zones urbanisables et la densité. Donc l'axe F2 représente les facteurs urbains.

IV.3.5.2. Plan F1F2 :

Les Daïra de Ain Makhlouf, Oued Zenati, Khezaras, Ain Hessainia, Guelaât Bou Sbaâ et Heliopolis appartenant à l'axe F1 sont les Daïra dont les changements climatiques sont influencés par les facteurs climatiques beaucoup plus (cercle F1F2).

Tandis que l'axe F2 a révélé que les changements climatiques dans les Daïra de Bouchegouf, Hammam Debagh, Hammam N'Bails et Guelma sont dues aux facteurs urbains surtout.

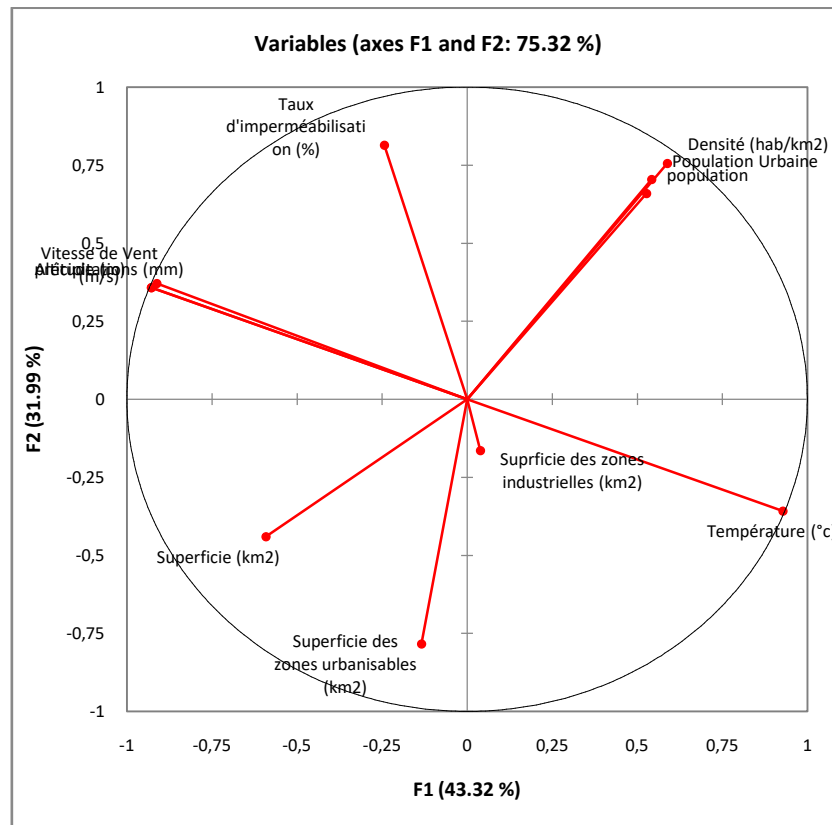


Figure 25 : Cercle F1F2 d'ACP des facteurs urbains et climatiques de la wilaya de Guelma.

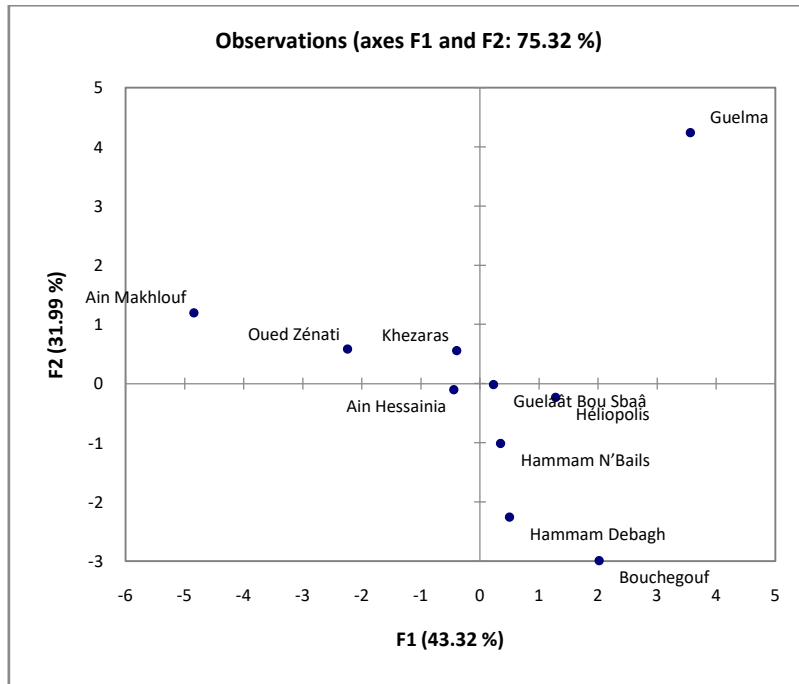


Figure 26 : Plan F1F2 d’ACP des facteurs urbains et climatiques de la wilaya de Guelma.

IV.3.6.Conclusion :

L’utilisation d’indices de sécheresse est un moyen pragmatique d’assimiler de grandes quantités de données en informations quantitatives pouvant être utilisée dans des applications telles que la prévision de la sécheresse et la déclaration des niveaux de sécheresse.

Au terme de ce travail on constate que la région de Guelma était affectée par plusieurs séquences sèches. Les périodes sèches caractérisaient les deux premières décennies (1982-2002) de la période d’observation pour les pas de temps 3, 6, 9 et 12. On ce qui concerne le pas de temps 1 mois la sécheresse a touché les trois décennies 1982-2012.

Dans l’objectif d’évaluer les changements climatiques et chercher les relations de causalités entre ces derniers et quelque facteurs sélectionné, l’utilisation de l’outil statistique multi-varié (ACP) a été satisfaisant. Il a été conclu que les facteurs climatiques et urbains sont très bien corrélés avec ces changements et les influencent clairement.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

A travers ce mémoire de fin d'études de master, nous avons abordé la problématique de ce mémoire qui traite l'impact des agglomérations urbaines de la wilaya de Guelma sur les changements climatiques. Les conclusions que nous avons pu tirer sont:

La région d'étude est privilégiée par sa situation de carrefour entre le pôle littoral industriel au Nord et les régions intérieures au Sud, elle présente un aspect socio-économique bien développé à vocation particulièrement agricole.

Du point de vue géologique, la région de Guelma appartient à l'ensemble géologique du domaine externe (Tell externe), et on peut distinguer 3ensembles :

- Domaine Post-nappes (formations récentes) : - les alluvions quaternaires ; - les travertins du bassin de Guelma ; - les travertins du bassin d'Ain Makhlouf et, - les calcaires lacustres (Moi-pliocène) ;
- Domaine allochtone : les formations numidiennes ; les formations Ultra-telliennes ; les formations telliennes à Globigérines et à Nummulites, calcaires yprésiens ;
- Domaine Para-autochtone : - les formations Sellaoua ; - les formations néritiques.

Stratigraphiquement les formations affleurant dans la région de Guelma datent du Trias jusqu'au Plio-quaternaire.

Au terme de cette étude, on retiendra que la région d'étude est soumise à un climat semi-aride, caractérisé par des précipitations annuelles relativement élevées de 509.80 mm/an au niveau de la station de Guelma, ainsi que par deux saisons bien distinctes, une estivale sèche et chaude et l'autre hivernale humide.

Le bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite a démontré que la RFU caractérise les mois allant de Novembre jusqu'au mois de Mars. L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (209,0 mm) et son minimum au mois de Janvier (16.8mm), l'épuisement du stock commence au mois d'Avril et se termine au mois d'Octobre avec un déficit agricole maximum au mois de Juillet où l'irrigation devient nécessaire.

L'utilisation d'indices de sécheresse est un moyen pragmatique d'assimiler de grandes quantités de données en informations quantitatives pouvant être utilisée dans des applications telles que la prévision de la sécheresse et la déclaration des niveaux de sécheresse.

On peut constater que la région de Guelma était affectée par plusieurs séquences sèches. Les périodes sèches caractérisaient les deux premières décennies (1982-2002) de la

période d'observation pour les pas de temps 3, 6, 9 et 12. On ce qui concerne le pas de temps 1 mois la sécheresse a touché les trois décennies 1982-2012.

Le cercle F1-F2, montre que l'axe F1 dans son sens positif et négatif présente les points représentant la température, la précipitation, l'altitude et la vitesse de vent comme facteurs responsable aux changements climatiques.

L'axe F2 regroupe la population, la population urbaine, le taux d'imperméabilisation, la superficie des zones urbanisables et la densité. Donc l'axe F2 représente les facteurs urbains.

L'utilisation de l'outil statistique multi-varié (ACP) afin d'évaluer les changements climatiques et chercher les relations de causalités entre ces derniers et quelque facteurs sélectionné a été satisfaisant. Cet outil a permis de conclure que les facteurs climatiques et urbains sont très bien corrélés avec ces changements et les influencent clairement.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **Bakria M. 2017.** Essai de gestion intégrée des ressources en eau dans la wilaya de Guelma.
- **Ben Zahia I., Ben Zahia K. 2016.** Etude comparative de l'impact des agglomérations urbaines de la wilaya de Djelfa sur les fluctuations climatiques. Mémoire de Master en Aménagement du Territoire, Univ. Ziane Achour-Djelfa, 60p.
- **Bou aicha F. 2018.** Le Geothermalisme De La Region De Guelma.
- **Bouillin. J. P. 1986.** Le bassin Maghrébin : une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'Ouest des Alpes.
- **Chavaillaz Y. 2016.** La vitesse du changement climatique et ses implications sur la perception des générations futures.
- **Chouabi A.M. 1987,** Etude géologique de la région de Hammam N'bails Sud-Est de Guelma-Constantine, Algérie, un secteur des Maghrébines, pp (35- 49).
- **Du E., Chen F., Jia H., Wang L., Yang A. 2023.** Spatiotemporal evolution and hysteresis analysis of drought based on rainfed-irrigated arable land. Remote Sens., 15, 1689.
- **El Meddahi Y. 2016.** Les changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau, cas du bassin du Cheliff. Thèse de doctorat, Univ. Hassiba Benbouali de Chlef, Algérie.
- **El-Rawy M., Fathi H., Abdalla F., Alshehri F., Eldeeb H. 2023.** An Integrated Principal Component and Hierarchical Cluster Analysis Approach for Groundwater Quality Assessment in Jazan, Saudi Arabia. Water, 15, 1466.
- **Kamruzzaman M., Almazroui M., Salam M.A., Mondol Md.A.H., Rahman Md.M., Deb L., Kundu, P.K., Uz Zaman Md.A., Islam A.R.Md.T. 2022.** Spatiotemporal drought analysis in Bangladesh using the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI). Sci. Rep., 12, 20694.
- **Lahondère J.C. 1987.** La série ultra tellienne d'Algérie Nord-orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural.
- **Monographie de la Wilaya De Guelma.**
- **McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J. 1993.** The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, United States, 17-22 January 1993.

Références bibliographiques.

- **Niaz R., Almazah M.M.A., Al-Duais F.S., Iqbal N., Khan D.M., Hussain I. 2022.** Spatiotemporal analysis of meteorological drought variability in a homogeneous region using standardized drought indices, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13(1), 1457–1481.
- **Raoult. J.F. 1974.** Géologie du centre de la chaîne numidique (nord du constantinois, Algérie). (France.).
- **Salas J. 1993.** Analysis and modeling of hydrologic time series. *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill, New York, USA, pp. 1–72.
- **Savari M., Damaneh H.E., Damaneh H.E. 2022.** Drought vulnerability assessment: solution for risk alleviation and drought management among Iranian farmers. *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 67,102654.
- **Taşan M., Demir Y., Taşan, S. 2022.** Groundwater quality assessment using principal component analysis and hierarchical cluster analysis in Alaçam, Turkey. *Water Supply*, 22, 3431–3447.
- **Thornthwaite C.W. 1948.** An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55–94.
- **Tsakiris G., Vangelis H. 2005.** Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, 9/10, 3–11.
- **Vila, J.M. 1980.** La chaîne alpine d’Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens.
- **Wilhite D.A. 2004.** Drought as a natural hazard, In *International Perspectives on Natural Disasters: Occurrence, Mitigation, and Consequences*. Edited by J.P. Stoltman, J. Lidstone, and L.M. Dechano. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands; 147–162.
- **Zargar A., Sadiq R., Naser B., Khan F.I. 2011.** A review of drought indices. *Environ Rev*;19, 333–349.