

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

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

UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA
TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT D'ECOLOGIE ET GENEI DE L'ENVIRENNEMENT



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Biodiversité et Environnement

**Thème : Utilisation de la télédétection pour évaluer les
espaces verts en milieu urbain : Cas de la wilaya de
Guelma**

Présenté par : **Messioud choayb seyf el islam**

Membres de jury

Président(e) : Mme. Cherairia M	M.C. A	Université de Guelma
Examineur : Mr. Ramdani K	M.C.A.	Université de Guelma
Encadrent : Mme. Bensakhri Z	M.C. A	Université de Guelma

Année universitaire 2024/2025

Dédicaces

À mes chers parents,

Pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs

encouragements constants tout au long de notre parcours

Académique. Leur foi en nous a été une source inépuisable de

Motivation et de force. Ce mémoire est le fruit de leurs sacrifices et de leur générosité.

Remerciements

Toute notre gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous 'a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

*Nous tenons à adresser nos plus sincères remerciements à Madame **Dr Cherairia M.**, Présidente du jury, pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de présider cette soutenance. Sa présence et ses remarques constructives ont grandement enrichi la qualité de notre travail.*

*Nos remerciements vont également à Monsieur **Dr Ramdani K.**, Examineur, pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire et pour ses observations pertinentes, qui ont contribué à approfondir notre réflexion.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude à Madame **Dr Bensakhri Z.**, notre encadrante, pour sa disponibilité, sa bienveillance et la qualité de son accompagnement tout au long de ce projet. Grâce à ses conseils éclairés, sa rigueur scientifique et son soutien constant, nous avons pu mener à bien ce travail dans les meilleures conditions.*

*Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants, pour l'aide, l'encouragement et les moyens didactiques qu'ils ont mis à notre disposition pour mener à terme notre travail. Sur tout **Dr. Rabah Zebesa** et **Mme. Chorfi Amira** qui nous 'a beaucoup aidé dans son domaine.*

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation.

Résumés

Cette étude analyse l'évolution climatique et environnementale dans les communes de Guelma, Oued Zenati et Tamlouka entre 1984 et 2024. Les résultats révèlent une augmentation significative des températures maximales, une baisse des précipitations, une augmentation de l'évapotranspiration potentielle, et une intensification des épisodes de sécheresse. Parallèlement, une réduction progressive de la couverture végétale est observée, surtout à Guelma, tandis que l'expansion urbaine progresse à des rythmes variables selon les localités. L'indice de stress thermique urbain (UTFVI) montre une légère augmentation, et les zones urbanisées présentent des températures de surface plus élevées que les espaces verts.

Ces résultats soulignent l'impact cumulé du changement climatique et de l'urbanisation sur les conditions environnementales locales, et appellent à intégrer la gestion des espaces verts dans la planification urbaine pour atténuer les effets du réchauffement.

Mots-clés :

Changement climatique, urbanisation, télédétection, espaces verts, Systèmes d'information géographique (SIG).

Abstract

This study analyzes the climatic and environmental evolution in the municipalities of Guelma, Oued Zenati, and Tamlouka between 1984 and 2024. The results reveal a significant increase in maximum temperatures, a decline in precipitation, a rise in potential evapotranspiration, and an intensification of drought episodes. At the same time, a gradual reduction in vegetation cover is observed, particularly in Guelma, while urban expansion progresses at varying rates depending on the locality. The Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI) shows a slight increase, and urbanized areas exhibit higher surface temperatures than green spaces.

These findings highlight the combined impact of climate change and urbanization on local environmental conditions and call for the integration of green space management into urban planning to mitigate the effects of warming.

Keywords:

Climate change, urbanization, remote sensing, green spaces, Geographic Information Systems (GIS).

تُحلل هذه الدراسة التغيرات المناخية والبيئية في بلديات قالمة، وادي زناتي وتاملوكة خلال الفترة ما بين 4891 و2010.

تكشف النتائج عن زيادة ملحوظة في درجات الحرارة القصوى، وانخفاض في معدلات التساقط المطري، وارتفاع في التبخر والنتح المحتمل، بالإضافة إلى تزايد في حدة فترات الجفاف. بالتوازي مع ذلك، لوحظ تراجع تدريجي في الغطاء النباتي، خاصة في قالمة، في حين أن التوسع العمراني يتفاوت في وتيرته حسب كل منطقة. يُظهر مؤشر الإجهاد الحراري الحضري (UTFVI) زيادة طفيفة، كما تسجل المناطق الحضرية درجات حرارة سطحية أعلى من تلك المسجلة في المساحات الخضراء.

تُبرز هذه النتائج التأثير التراكمي للتغير المناخي والتوسع العمراني على الظروف البيئية المحلية، وتدعو إلى دمج إدارة المساحات الخضراء في التخطيط الحضري للتخفيف من آثار الاحتباس الحراري.

الكلمات المفتاحية

التغير المناخي، التوسع العمراني، الاستشعار عن بعد، المساحات الخضراء، نظم المعلومات الجغرافية.

Titre	Page
Introduction générale	01
Chapitre 1 : Matériel et Méthodes	16
1. Matériel et méthodes	16
1.1. Description du site d'études	16
1.1.1. Le relief	17
1.1.2. Climat	17
1.3. Hydrogéologie	19
1.3.1. Méthode de traitement	20
1.4. Méthode d'analyse	20
1.4.1 Calcul surfacique	20
1.4.2 Validation des résultats	20
1.5. Résultats clés et choix des communes	21
1.6. Analyses Statistiques :	23
Chapitre 2 : Résultats	25
1. Tendances spatio-temporelle des variables climatiques	25
2. Changement spatiotemporel de la verdure et de la zone urbaine	29
3. Changement de l'indice UTFVI au fil du temps et de l'espace	34
4. Impact de la végétation et de la classification urbaine sur la température de surface terrestre (TST en °C)	37
Chapitre 3 : Discussion générale	39
Discussion	39
Conclusion et perspectives	43

Liste des figures

Titre	Page
Figure 1. Carte géographique de zone d'étude.	17
Figure 2. Variation de Températures à Guelma entre (1995-2024) (source : infoclimat.fr)	18
Figure 3. Précipitation à Guelma entre (2001-2030) (source : infoclimat.fr)	18
Figure 4. Modèle temporel du T max annuel dans les trois zones d'étude de 1984 à 2024. Les lignes représentent la régression de loess et les rubans l'erreur standard.	26
Figure 5. Schéma temporel des précipitations annuelles (Pr) dans les trois zones d'étude de 1984 à 2024. Les lignes représentent la régression de loess et les rubans l'erreur standard.	27
Figure 6. Schéma temporel de la TEP annuelle dans les trois zones d'étude de 1984 à 2024. Les lignes représentent la régression de loess et les rubans l'erreur standard.	28
Figure 7. Modèle temporel de l'indice PDSI annuel dans les trois zones d'étude de 1984 à 2024. Les lignes sont des régressions de Loess et les rubans sont des erreurs standard.	29
Figure 8. Évolution temporelle de la verdure (dans la zone urbaine) à Guelma entre 1984 et 2024.	31
Figure 9. Évolution temporelle de la verdure (dans la zone urbaine) à Oued Zenati entre 1984 et 2024.	32
Figure 10. Évolution temporelle de la verdure (dans la zone urbaine) à Tamlouka entre 1984 et 2024.	32
Figure 11. Changement temporel de la verdure (à l'intérieur de la zone urbaine) dans les trois sites d'étude entre 1984 et 2024.	34
Figure 12. Changement temporel de l'indice UTFVI dans les trois sites d'étude entre 1984 et 2024. Les lignes représentent des régressions loess et les bandes indiquent les erreurs	36
Figure 13. Proportion des différentes classes d'UTFVI dans les trois sites d'étude.	36
Figure 14. Diagramme en boîte illustrant l'impact de la couverture terrestre sur la température de surface du sol (TSS) durant la période d'étude, en se basant sur les données des trois sites analysés	37

Listes des tableaux

Titre	Page
Tableau 1. Résultats des tests de tendance statistique (Mann-Kendall modifié et pente de Sen) pour les données météorologiques annuelles et les indices de sécheresse sur la période 1984-2024 pour chaque site d'étude.	25
Tableau 2. Résumé du modèle linéaire général évaluant le changement spatiotemporel de la verdure et de la zone urbaine avec une interaction unidirectionnelle (Site × année) sur la période 1984–2024. Guelma est utilisé comme niveau de référence pour les calculs de contraste.	30
Tableau 3. Résumé du test de Tukey comparant l'évolution de la végétation et de l'urbanisation au fil du temps entre différents sites.	33
Tableau 4. Résumé du modèle linéaire général évaluant le changement spatiotemporel de l'UTFVI sur la période 1984–2024. Guelma est utilisé comme niveau de référence pour les calculs de contraste.	35

Listes des symboles et abréviations

*** indique une probabilité significative

*** $p < 0.001$.

** $p < 0.01$.

* $p \leq 0.05$.

CO₂ : dioxyde de carbone.

DAT : la Direction de l'Aménagement du Territoire.

ESA: European Space Agency

ET : l'écart type

GEE : Google Earth Engine.

LST : la température de surface terrestre moyenne.

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

ONS : l'Office National des Statistiques (ONS).

PDSI : indice de sécheresse.

PET : indice d'évaporation potentiel.

SIG : système d'information géographique.

TOA : Top-of-Atmosphère.

TSS : la température de surface du sol.

TST : la température de surface terrestre.

UTFVI : indice de variance du champ thermique urbain.

Introduction générale

Introduction générale

D'ici 2030, la majeure partie de la croissance démographique mondiale devrait se concentrer dans les zones urbaines, notamment dans les pays en développement. Bien que l'expansion urbaine offre de nombreuses opportunités, elle s'accompagne également de conséquences négatives sur les plans social, politique, économique et environnemental, comme le soulignent les prévisions des Nations Unies. Pour de nombreux pays en développement, faire face à ces défis restera une tâche complexe ([Reagan et al., 2015](#)).

L'expansion incontrôlée de l'urbanisation a accru la vulnérabilité de certains territoires face aux risques liés au changement climatique ([Krinner et al., 2023](#)); (OECD, 2013). Également, l'urbanisation contribue fortement aux modifications de l'utilisation et de la couverture des sols, ce qui en fait un facteur clé dans les discussions sur le changement climatique.

En revanche, la région méditerranéenne, en particulier, est extrêmement sensible aux impacts climatiques et a été identifiée comme une zone critique ou « point chaud » en raison de ces effets ([PNUE/PAM, 2009](#)). Parmi les principaux effets du changement climatique figure l'augmentation marquée du CO₂ atmosphérique, passé de 280 ppm en 1880 à 415 ppm. Cette hausse du CO₂ et des autres gaz à effet de serre pourrait entraîner une élévation des températures mondiales de 1 à 4 °C au cours du prochain ([Reagan et al. 2015](#)). De plus, les événements climatiques extrêmes, notamment les sécheresses — définies comme des pénuries d'eau sévères et inhabituelles — devraient devenir plus fréquents et plus intenses ([Delmotte et al., 2021](#)).

Une étude mondiale menée en 1991 par le programme GLASOD (Évaluation mondiale de la dégradation des sols d'origine anthropique) a cartographié l'état de la dégradation des sols causée par les activités humaines. L'un des risques écologiques potentiels liés à ces changements environnementaux rapides est l'incapacité de certaines espèces végétales à s'adapter aux nouvelles conditions de leur écosystème immédiat ([Vennetier et Ripert, 2010](#)), ce qui pourrait entraîner une dégradation voire un recul de la couverture végétale. Cette situation est particulièrement marquée dans les zones urbaines densément peuplées, où les températures plus élevées accentuent la diminution de la végétation ([Fashae et al., 2020](#)). Ces pressions environnementales représentent un défi majeur pour l'aménagement urbain et le développement durable.

Introduction générale

Dans de nombreux pays en développement, les villes sont particulièrement touchées par leur expansion rapide. L'augmentation de la population urbaine s'accompagne d'une hausse des polluants atmosphériques, entraînant une élévation des températures de l'air en milieu urbain et une diminution du confort par rapport aux zones rurales environnantes ([Rushayati, 2012](#)). La hausse des températures et la baisse de l'humidité dans les villes contribuent à une réduction de la qualité de vie. Dans ce contexte, les espaces verts urbains jouent un rôle essentiel pour améliorer le confort thermique et offrir des conditions de vie plus agréables ([Zhang et al., 2014](#)). Ces espaces verts englobent des zones végétalisées en milieu urbain telles que les parcs publics, les espaces verts résidentiels, les arbres d'alignement et d'autres zones naturelles ([Dinda et al., 2021](#)); ([Wang et al., 2018](#)).

Actuellement, La dynamique urbaine est évaluée à travers l'étalement urbain et les changements spatio-temporels, en utilisant des données de télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG)([Dinda et al., 2021](#)). Les systèmes d'information géographique (SIG) sont cruciaux pour la cartographie et l'analyse des espaces verts urbains. Ils permettent une évaluation intégrée en combinant télédétection et SIG, aidant ainsi les planificateurs à évaluer l'accessibilité, identifier les zones déficitaires et élaborer des stratégies d'aménagement ([Dinda et al., 2021](#)).

Dans le contexte de l'analyse des rôles socio-écologiques des espaces verts urbains, leur impact sur la qualité de vie des habitants, et les moyens de les intégrer dans les politiques d'aménagement urbain de la wilaya de GUELMA, ce travail vise à :

- Analyser la variation des facteurs climatiques (1984-2024) (précipitations, température maximale, indice d'évapotranspiration potentielle PET, indice de sécheresse PDSI) dans trois communes : Guelma, Oued Zenati et Tamlouka.
- Évaluer les changements spatiotemporels de la superficie urbaine ainsi que des espaces verts dans les trois communes.
- Analyser les variations spatiotemporelles de l'indice de variance du champ thermique urbain UTFVI dans les trois communes.
- Étudier l'effet de l'urbanisation et des espaces verts sur la température de surface (LST).

Chapitre 1 :
Matériels et Méthodes

1. Matériel et méthodes

1.1. Description du site d'études

Cette étude a été réalisée dans la wilaya de **Guelma**, en particulier dans les villes de **Guelma**, **Oued Zenati** et **Tamlouka**, sur une période de 40 ans, allant de 1984 à 2024.

1.1.1. Situation et description de la Wilaya de Guelma.

La Wilaya de Guelma, située au Nord-Est de l'Algérie, est un carrefour géographique entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges du Sud (Oum El Bouaghi et Tébessa). S'étendant sur plus de 3 686 km², elle occupe une position stratégique entre le Nord, les Hauts plateaux et le Sud. La Wilaya de Guelma, créée en 1974, comprend 10 Dairate et 34 Communes. La Wilaya de Guelma se distingue par son emplacement géographique stratégique. Elle est entourée par plusieurs Wilayas, chacune offrant des atouts significatifs :

- ✓ **Au Nord**, la Wilaya d'**Annaba** : Située à environ 60 km.
- ✓ **Au Nord-ouest**, la Wilaya de **Skikda** : À moins de 80 km.
- ✓ **À l'Ouest**, la Wilaya de **Constantine** : À environ 100 km.
- ✓ **Au Sud**, la Wilaya d'**Oum El Bouaghi** : À 120 km.
- ✓ **À l'Est**, la Wilaya de **Souk Ahras** : Située à 70 km.
- ✓ **Au Nord-est**, la Wilaya d'**El Tarf** : À proximité de la Tunisie.

Ville	Coordonnée GPS	Superficie (Km ²)	Population 2021	Densité (H/Km ²)
Guelma	36° 27' 27.8676" N, 7° 25' 23.9700" E.	45,00	142 811	3174
Oued Zenati	36° 19' nord, 7° 10' est	135,00	38 844	288
Tamlouka	36° 09' 00" nord, 7° 08' 00" est	303,77	22 328	74

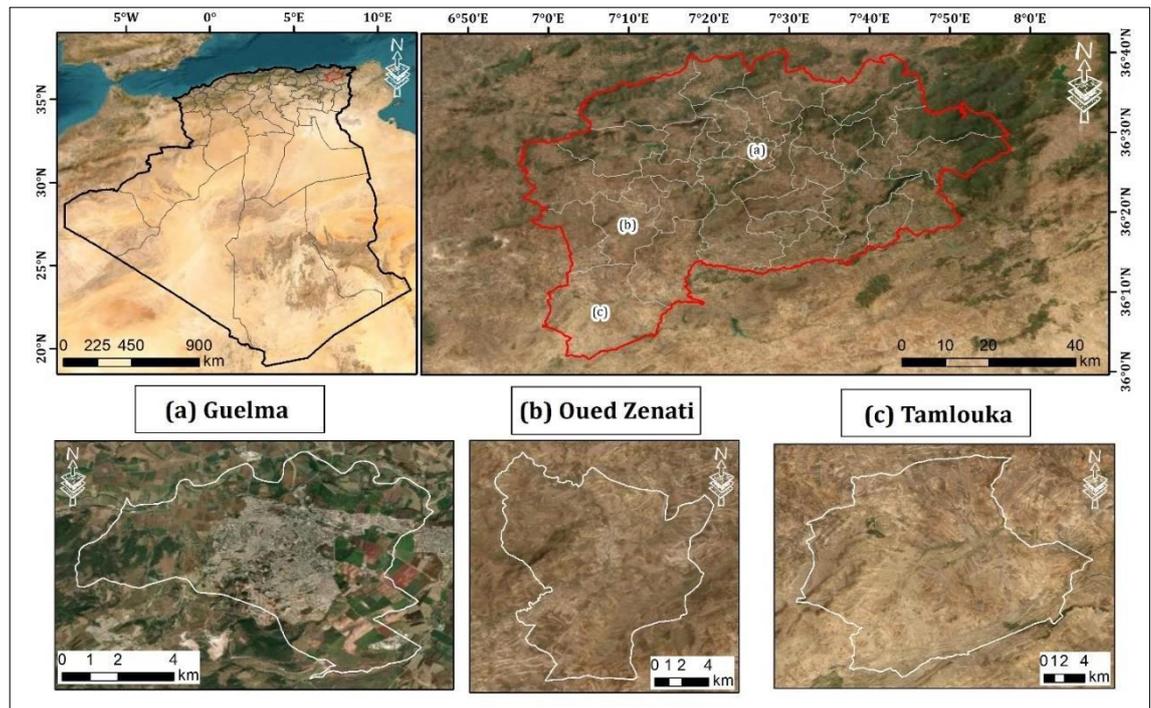


Figure 1. Carte géographique de zone d'étude.

1.1. 1. Le relief

La géographie de la Wilaya présente un relief varié, marqué par une couverture forestière significative et le cours d'eau principal, la Seybouse. Ce relief se décompose comme suit : **Montagnes** : 37,82 % dont les principales sont :

- ✓ Mahouna (Ben Djerrah) : 1.411 M d'Altitude.
- ✓ Houara (Ain Ben Beidha) : 1.292 M d'Altitude.
- ✓ Taya (Bouhamdane) : 1.208 M d'Altitude.
- ✓ D'bagh (Hammam Debagh) : 1.060 M d'Altitude.
- ✓ Plaines et Plateaux : 27,22 %.
- ✓ Collines et Piémonts : 26,29 %.
- ✓ Autres : 8,67 %.

1.1.2. Climat

Le climat de la Wilaya est subhumide au centre et au Nord, et semi-aride au Sud, avec des hivers doux et pluvieux et des étés chauds. Les températures varient de 4°C en hiver à 35,4°C en été, avec une moyenne de 17,3°C. La pluviométrie est de 654 mm/an à Guelma, 627 mm/an à Ain Larbi et 526 mm/an à Medjez Amar, variant de 400 à 500 mm/an au Sud et atteignant près de 1000 mm/an au Nord. Environ 57% des précipitations se produisent entre octobre et mai (OUALID, 2020).

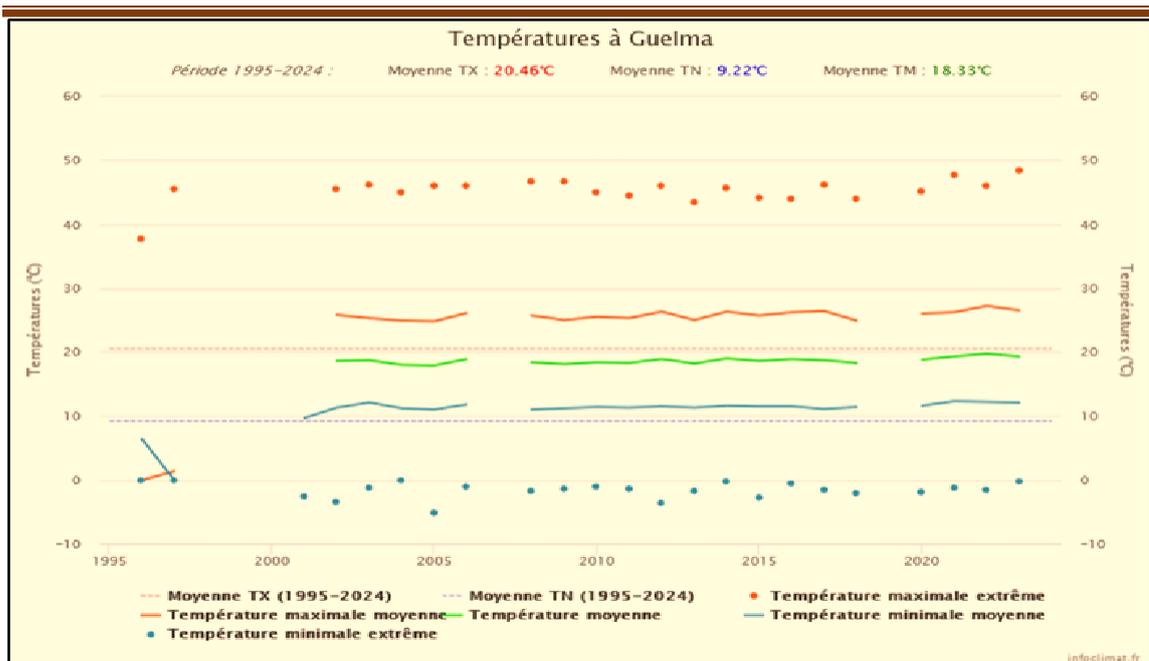


Figure 2. Variation de Températures à Guelma entre (1995-2024) (source : infoclimat.fr)

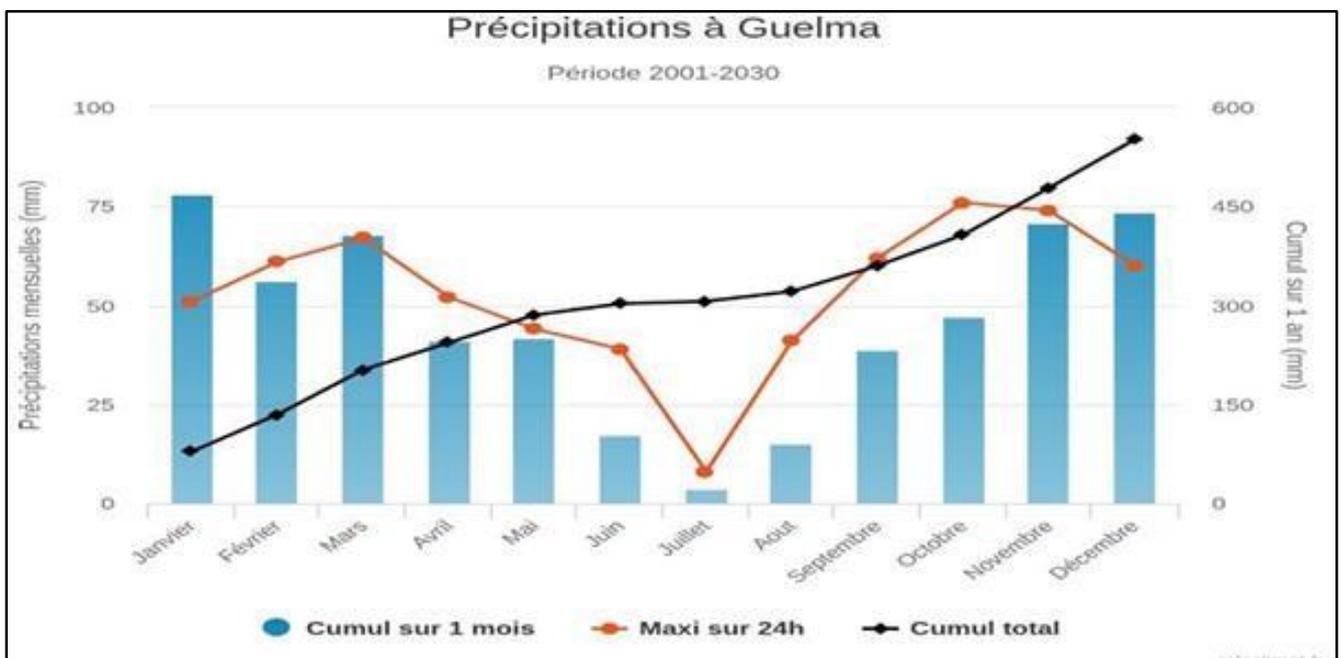


Figure 3. Précipitation à Guelma entre (1995-2024) (source : infoclimat.fr)

1.3. Hydrogéologie

La Wilaya de Guelma est divisée en quatre zones hydrogéologiques :

- ✓ Les plaines de Guelma et Bouchegouf
- ✓ Les Djebels au Nord et Nord-ouest
- ✓ Les plaines et collines de Tamlouka
- ✓ Les Djebels surplombant les Oueds Sedrata et Héliia.

Parmi les principaux oueds :

- ✚ **Oued Seybouse** : qui s'étend sur 45 km, a un apport de 408 millions m³/an à Boudroua.
- ✚ **Oued Bouhamdane** : provenant de la commune éponyme, apporte 96 millions m³/an à Medjez Amar.
- ✚ **Oued Mellah** : venant du sud-est, enregistre 151 millions m³/an à Bouchegouf ([ROUABHIA, 2020](#)).

1.2. Données utilisées

Cette étude repose sur l'intégration de données spatiales provenant de différentes sources, soigneusement sélectionnées pour leur précision et leur pertinence vis-à-vis des objectifs de l'analyse.

L'occupation du sol a été analysée à partir du produit ESA World Cover 2021, avec une résolution spatiale de 10 mètres. Ce jeu de données offre une classification globale des terres, et la classe 50 "Built-up" a été spécifiquement utilisée pour identifier les zones bâties. Ces données bénéficient d'une validation officielle, avec une précision globale supérieure à 75 %, garantissant ainsi leur fiabilité pour des analyses à l'échelle locale et régionale.

Le découpage administratif a été pris en compte à l'aide des limites communales officielles fournies par l'Office National des Statistiques (ONS) et la Direction de l'Aménagement du Territoire (DAT). Ces données ont permis de spatialiser et d'agrèger les résultats au niveau communal.

L'ensemble des traitements géospatiaux a été réalisé dans le système de coordonnées WGS84, permettant une compatibilité avec les sources de données mondiales et une intégration aisée dans les systèmes d'information géographique (SIG).

1.3.1. Méthode de traitement

L'ensemble des traitements spatiaux a été réalisé sur la plateforme Google Earth Engine (GEE), en raison de sa capacité à manipuler de grands volumes de données satellitaires et de son intégration directe avec les produits de télédétection tels qu'ESA WorldCover et Sentinel-2.

Les étapes principales du traitement incluent :

- Le filtrage de la couche WorldCover 2021 pour isoler la classe 50 "Built-up", correspondant aux zones bâties.
- Le recadrage spatial des données en fonction des limites administratives communales, afin d'adapter l'analyse à l'échelle locale.
- La projection automatique des données dans le système UTM WGS84 / zone 32N, pour permettre un calcul surfacique précis en mètres carrés.

Une correction topographique automatique a également été appliquée à l'aide des outils intégrés dans GEE, permettant d'atténuer les effets liés au relief sur l'interprétation des surfaces bâties.

1.4. Méthode d'analyse

1.4.1 Calcul surfacique

L'estimation des surfaces bâties a été effectuée par comptage des pixels classés "Built-up" et multiplication par la surface au sol d'un pixel :

Surface bâtie (km²) = Nombre de pixels Built-up × 0,0001

Ce facteur de conversion correspond à une superficie de 10 m x 10 m = 100 m², soit 0,0001 km² par pixel, conformément à la résolution du produit WorldCover. La projection en UTM Zone 32N a été utilisée pour garantir une précision métrique dans le calcul des surfaces.

1.4.2 Validation des résultats

La validation des données bâties extraites a été effectuée directement via Google Earth Engine, à travers une vérification visuelle aléatoire à l'aide d'images Sentinel-2 (résolution 10 m). Cette vérification a permis de confirmer la cohérence spatiale des zones

identifiées comme bâties, en s'appuyant sur des scènes récentes à haute résolution optique.

1.5. Résultats clés et choix des communes

L'analyse des surfaces bâties au sein du périmètre d'étude met en évidence une hiérarchie urbaine marquée entre les communes, illustrant la concentration spatiale de l'urbanisation.

La commune de Guelma se distingue nettement avec une surface bâtie de 11,457 km², représentant 23,4 % du total mesuré. Elle constitue ainsi le principal pôle urbain de la zone.

Les communes d'Oued Zenati et Tamlouka suivent avec respectivement 3,895 km² (8,0 %) et 3,656 km² (7,5 %) de surfaces bâties. Leur poids urbain reste significatif, bien qu'inférieur à celui de Guelma, traduisant un réseau secondaire de centralités à l'échelle locale.

Ces résultats confirment la polarisation spatiale de l'urbanisation autour des grands centres administratifs et économiques, avec une nette concentration des dynamiques bâties dans la commune chef-lieu.

Analyse des espaces verts urbains sur quatre décennies (1984-2024) :

L'évolution spatio-temporelle des espaces verts urbains dans les communes de la wilaya de Guelma a été étudiée à travers une approche intégrée mobilisant les outils de la télédétection satellitaire et les capacités de traitement à grande échelle de la plateforme Google Earth Engine (GEE). Cette méthodologie repose sur l'exploitation de l'archive Landsat complète, couvrant les missions Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+), Landsat 8 (OLI) et Landsat 9 (OLI-2), sur une période de 40 ans (1984–2024), avec une résolution spatiale de 30 mètres.

Un algorithme de sélection automatique a permis de filtrer les images selon deux critères stricts :

- **Taux de couverture nuageuse ≤ 5 %**,
- **Correction atmosphérique TOA (Top-of-Atmosphere)**, assurant une comparabilité intercapteurs fiable.

L'analyse de la végétation repose sur le calcul du NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), dérivé des bandes du proche infrarouge (NIR) et du rouge. Un ajustement spectral dynamique a été intégré afin de tenir compte des différences de calibration radiométrique entre générations de capteurs (L5/7 vs L8/9), garantissant une continuité temporelle cohérente des valeurs NDVI.

Cette approche a permis de cartographier l'évolution des espaces végétalisés urbains à l'échelle communale, de détecter les phases de régression ou d'expansion de la couverture végétale, et d'identifier les zones à enjeux environnementaux ou urbanistiques.

Étape 1 : Acquisition et préparation des données

La première étape consiste en l'acquisition harmonisée des collections Landsat pour la période 1984–2024, intégrant les capteurs Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI, et Landsat 9 OLI-2. Un prétraitement rigoureux a été appliqué :

- Filtrage des images en fonction de la couverture nuageuse ($\text{CLOUD_COVER} < 5\%$).
- Correction atmosphérique TOA (Top-of-Atmosphère), afin d'assurer une comparabilité inter-capteurs.
- Découpage spatial aux limites administratives communales (Région d'intérêt – ROI), pour cibler les zones urbaines étudiées.

Étape 2 : Calcul du NDVI adaptatif

Pour chaque image sélectionnée, le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) a été calculé selon la formule classique :

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} + \text{RED}}{\text{NIR} - \text{RED}}$$

Les plages spectrales utilisées ont été adaptées selon la génération du satellite, garantissant une homogénéité temporelle du signal végétatif.

3.3 Seuil automatique par l'algorithme d'Otsu

Afin de distinguer de manière objectivée les surfaces végétalisées, un seuillage automatique a été appliqué sur les cartes NDVI à l'aide de l'algorithme d'Otsu.

Cet algorithme, de nature non paramétrique, vise à maximiser la variance interclasse en séparant les pixels en deux classes : végétation et non-végétation. Son intérêt réside dans sa capacité à s'adapter automatiquement à la distribution spectrale des NDVI, sans recours à des seuils empiriques fixes.

Son implémentation dans le contexte des séries temporelles Landsat permet d'obtenir un seuil optimal NDVI pour chaque période analysée, assurant une classification robuste et reproductible sur l'ensemble de la période 1984–2024.

1.6. Analyses Statistiques :

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R 4.2.2 (Team R Development Core, 2023). La normalité a été vérifiée à l'aide du test de Shapiro-Wilk, les hypothèses d'homogénéité et les profils résiduels des données ont été vérifiés (Zuur, Ieno, & Smith, 2007). Nous estimons la tendance temporelle et mesurons l'ampleur de la tendance à l'aide de la pente de Theil-Sen ((Sen, 1968); (Theil, 1992)) et des statistiques de Mann-Kendall modifiées à l'aide du package `modifiedmk` dans `r` (Patakamuri, Muthiah, & Sridhar, 2020), avec une approche de correction de la variance des variables (Tmax, précipitation, PET, et indice de PDSI) entre 1984 et 2024 dans les trois communes (Guelma, Oued Zenati et Tamlouka). Nous avons analysé l'évolution spatiotemporelle des surfaces urbanisées et espaces verts (dans les espaces urbains) à l'aide d'un modèle de régression linéaire, et suivi par un test de comparaison entre paire Tukey test. Le changement spatiotemporel de l'indice de UFTVI a été analysé en utilisant une régression linéaire. L'effet de la couverture terrestre sur la température de surface (LST) a été analysé à l'aide d'un modèle de régression linéaire. Les données ont été présentées sous forme de moyenne avec l'écart type (ET) correspondant. Le seuil minimal de signification retenu est $p < 0,05$.

Chapitre 2 : Résultats

Résultats

1. Tendence spatio-temporelle des variables climatiques

Le tableau 1 représente les résultats de l'évolution temporelle des variables climatiques sur la base de la pente de Mann-Kendall et de Sen. Nos analyses ont montré qu'à Guelma, la température maximale augmente de manière significative avec une pente de 0,0313 °C par an. De même, à Oued Zenati et Tamlouka, la température maximale augmente respectivement de 0,0308 et 0,329 °C par an (tableau 1, figure 1). Les données suggèrent que les températures maximales augmentent de manière significative dans les trois communes, Tamlouka connaissant la plus forte tendance à la hausse. Ces résultats peuvent indiquer des impacts plus larges du changement climatique dans la région.

Tableau 1. Résultats des tests de tendance statistique (Mann-Kendall modifié et pente de Sen) pour les données météorologiques annuelles et les indices de sécheresse sur la période 1984-2024 pour chaque site d'étude.

Tmax				
Commune	Slope	p value	Tau	Z
Guelma	0.03128592	0.00016745187	336	3.763649
Oued_Zenati	0.03080808	0.00022932471	329	3.684308
Tamlouka	0.03287007	0.00008444337	351	3.931426
Précipitation				
Guelma	-0.2177128	0.09413429	-150	-1.673981
Oued_Zenati	-0.2083333	0.05335763	-173	-1.932015
Tamlouka	-0.2058143	0.04318912	-181	-2.021876
PET				
Guelma	0.2383877	0.000001153693	434	4.863429
Oued_Zenati	0.2061833	0.000001446405	430	4.818501
Tamlouka	0.2176137	0.000001292099	432	4.840965
PDSI				
Guelma	-0.10704013	0.01479615	-218	-2.437331
Oued_Zenati	-0.09399398	0.01622625	-215	-2.403786
Tamlouka	-0.09976854	0.00389419	-258	-2.886608

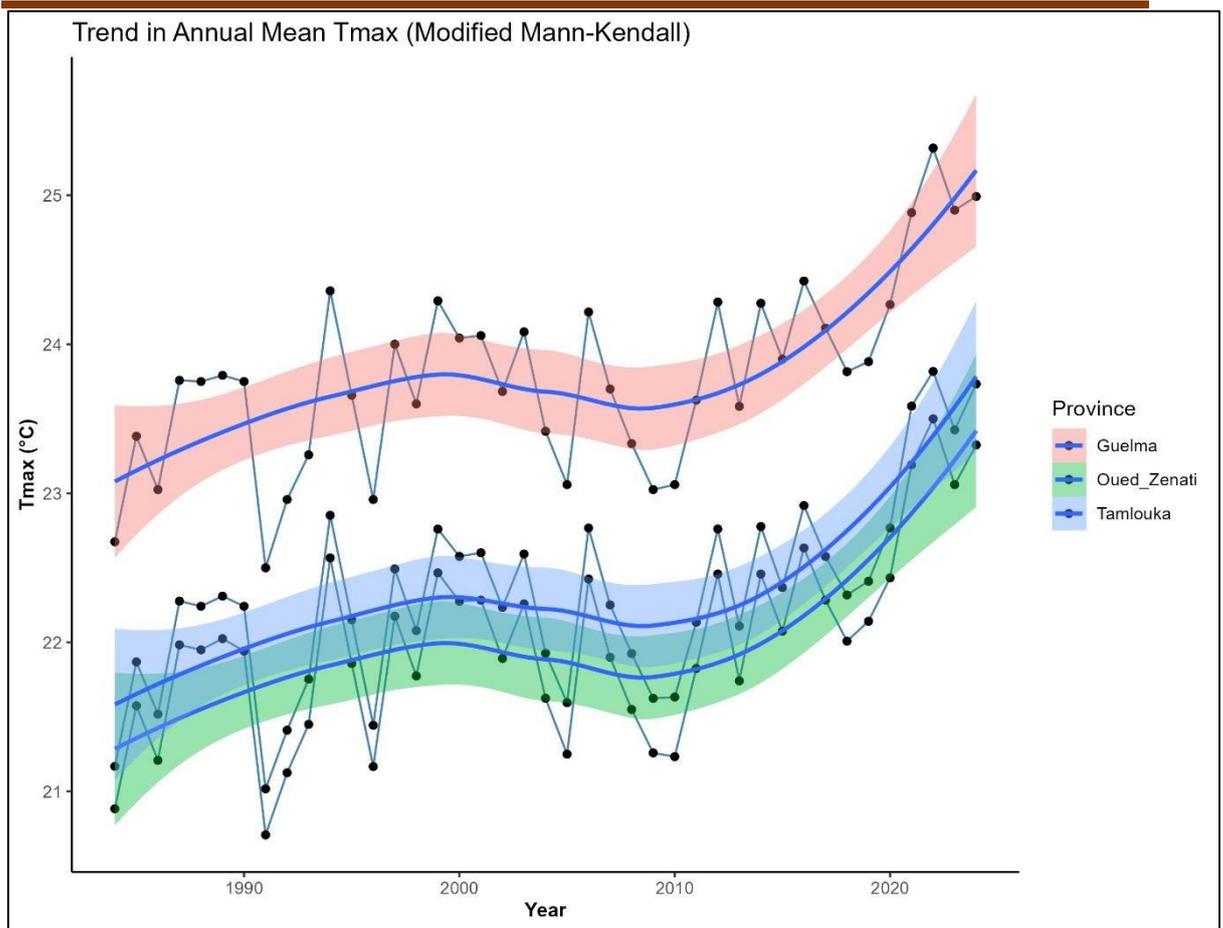


Figure 4. Modèle temporel du T max annuel dans les trois zones d'étude de 1984 à 2024. Les lignes représentent la régression de loess et les rubans l'erreur standard.

Nos analyses des précipitations ont montré que toutes les pentes sont négatives, indiquant une tendance à la baisse des précipitations au fil du temps à Tamlouka ($p < 0,04$), Oued Zenati ($p < 0,05$, marginalement significatif), mais pas de manière significative pour Guelma ($p < 0,09$). Cela signifie que les précipitations annuelles ont diminué régulièrement au cours de votre période de 40 ans. L'ampleur de la pente ($\sim -0,21$ mm/an) est assez similaire d'une commune à l'autre, ce qui suggère un assèchement régional constant. Par exemple, à Guelma, les précipitations diminuent en moyenne d'environ 0,22 mm par an. Toutes les valeurs sont négatives, ce qui confirme la diminution monotone (tableau 1, figure 2). Tamlouka présente la corrélation la plus forte avec le temps (Tau = -181), ce qui suggère une baisse plus régulière des précipitations.

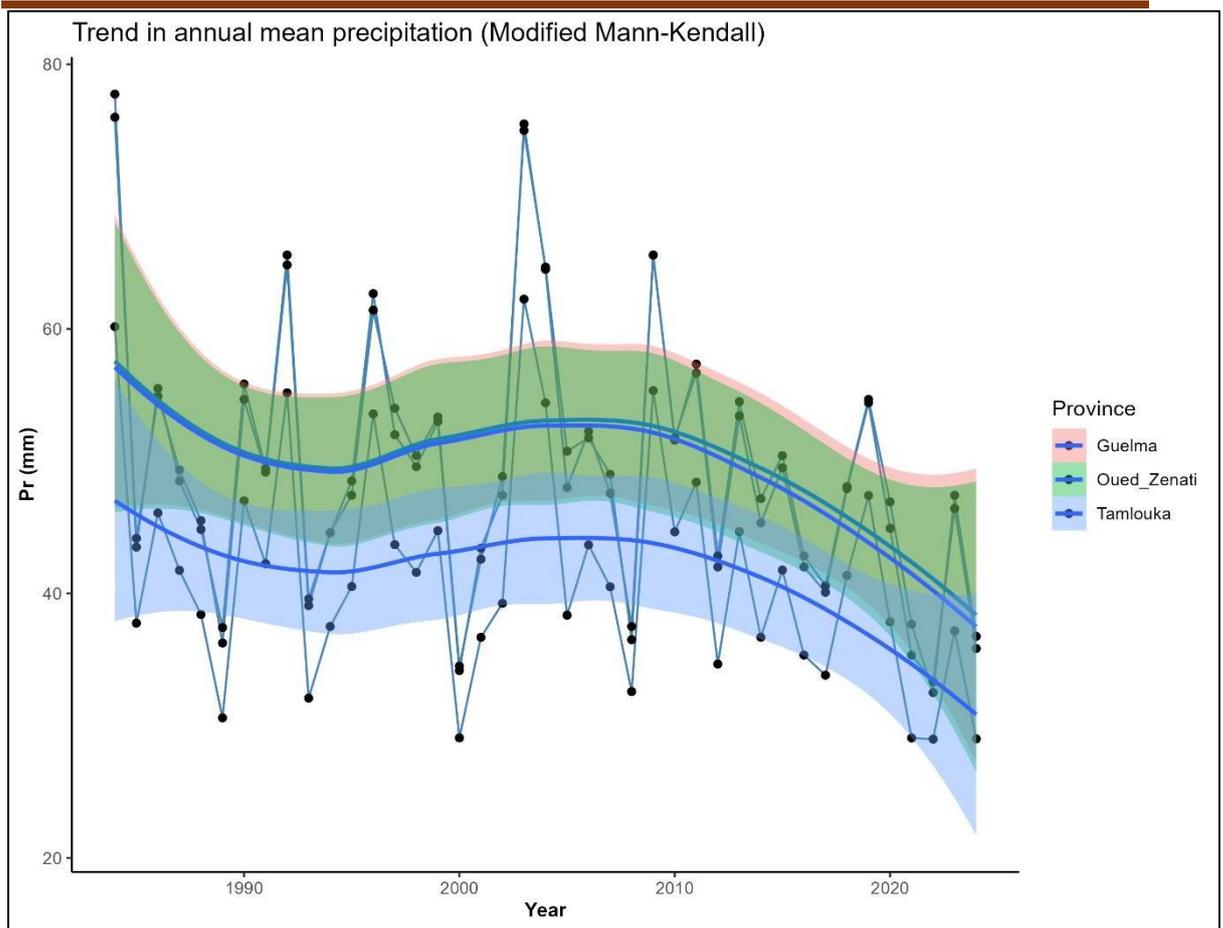


Figure 5. Schéma temporel des précipitations annuelles (Pr) dans les trois zones d'étude de 1984 à 2024. Les lignes représentent la régression de lœss et les rubans l'erreur standard.

Nos résultats concernant la TEP ont montré que toutes les pentes sont positives, ce qui indique une tendance à la hausse de la TEP au cours de la période observée. Cela suggère que l'évapotranspiration potentielle a augmenté de manière significative dans les trois communes. Guelma présente la tendance la plus forte (0,2384), suivie par Tamlouka et Oued Zenati. Ces valeurs de pente signifient qu'en moyenne, l'évapotranspiration potentielle augmente d'environ 0,21-0,24 °C par an. Les valeurs de Tau sont importantes et positives (430-434), ce qui confirme la tendance monotone à la hausse de la TEP (tableau 1, figure 3). Cela signifie qu'il existe une forte corrélation positive entre le temps et la TEP ; la TEP a tendance à augmenter avec le temps.

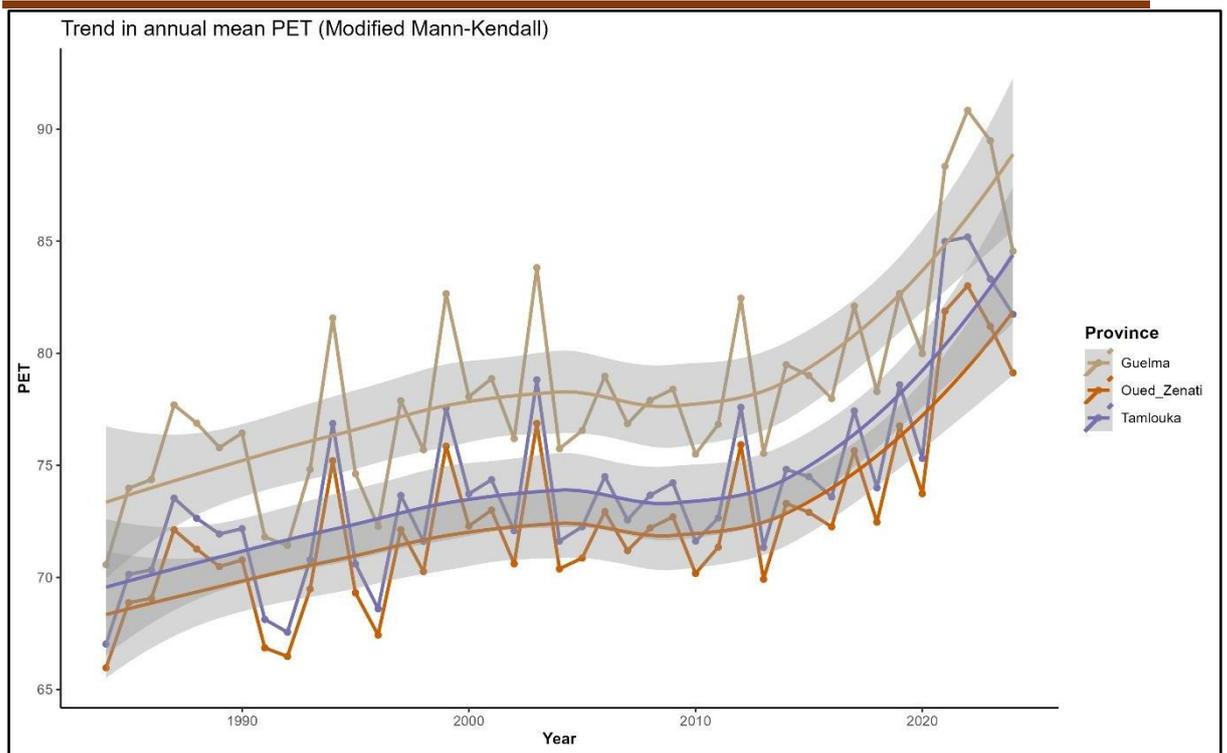


Figure 6. Schéma temporel de la TEP annuelle dans les trois zones d'étude de 1984 à 2024. Les lignes représentent la régression de loess et les rubans l'erreur standard.

Les résultats du PDSI indiquent qu'une pente négative a été trouvée (-0,107), ce qui indique une tendance à la baisse du PDSI dans le temps, ce qui suggère que Guelma a connu une aggravation des conditions de sécheresse, de même que Oued Zenati (-0,094) et Tamlouka (-0,099) (Tableau 1, Figure 4). Les trois communes (Guelma, Oued Zenati et Tamlouka) montrent des tendances significatives à la baisse du PDSI, avec des pentes négatives indiquant un déclin du PDSI (aggravation des conditions de sécheresse ou conditions plus sèches) au cours de la période étudiée. Les tendances sont statistiquement significatives dans chaque commune, comme l'indiquent les valeurs p inférieures à 0,05. Les valeurs Tau et les statistiques Z confirment la robustesse de ces tendances. Cela suggère que dans ces communes, la sécheresse ou l'aridité s'intensifie, les valeurs du PDSI devenant plus négatives, ce qui indique des périodes sèches plus longues et plus sévères.

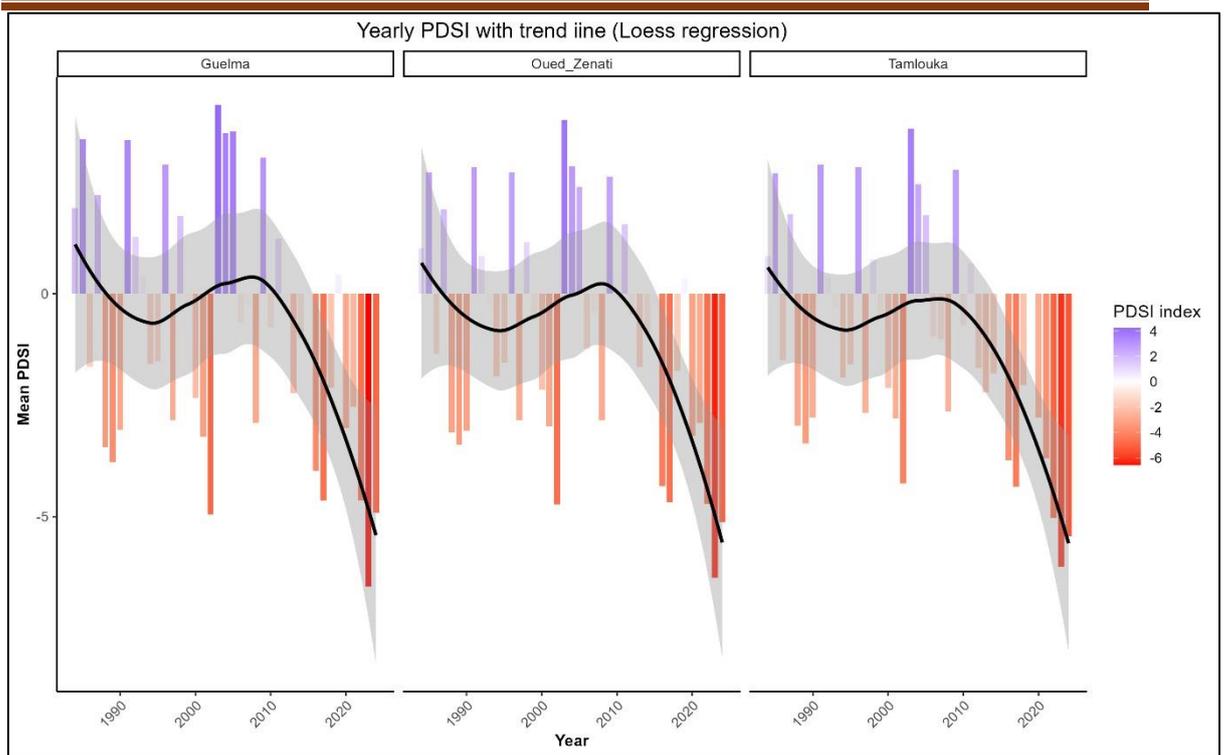


Figure 7. Modèle temporel de l'indice PDSI annuel dans les trois zones d'étude de 1984 à 2024. Les lignes sont des régressions de Løess et les rubans sont des erreurs standard.

2. Changement spatiotemporel de la verdure et de la zone urbaine

Notre modèle de régression linéaire évalue le changement de la superficie de verdure au fil du temps dans trois communes, avec Guelma comme base de référence. Il inclut une interaction entre l'année et la commune pour évaluer comment les tendances temporelles diffèrent selon les localités (Figures 5, 6, 7). L'effet principal de l'année ($-0,068$) indique une diminution statistiquement significative de la superficie de verdure au fil du temps, suggérant que la verdure diminue d'environ $0,068 \text{ km}^2$ par an ($p < 0,001$) (Tableau 2, Figure 8a). Les communes d'Oued Zenati et de Tamlouka présentent des niveaux de verdure de base significativement plus bas par rapport à Guelma, avec des réductions respectives de $113,22$ et $130,95 \text{ km}^2$ (tous deux $p < 0,05$) (Tableau 3). Cependant, les termes d'interaction (Année \times Oued Zenati et Année \times Tamlouka) sont positifs et significatifs, indiquant que le taux de déclin de la verdure est moins prononcé dans ces deux communes. Plus précisément, le changement annuel estimé de la verdure est d'environ $-0,013$ pour Oued Zenati et $-0,005$ pour Tamlouka, suggérant des tendances de verdure relativement stables ou seulement légèrement en déclin dans ces zones par rapport à Guelma. Ces résultats révèlent une hétérogénéité spatiale dans le changement

environnemental à travers les communes, où Guelma connaît une réduction plus marquée de l'espace vert au fil du temps. En revanche, Oued Zenati et Tamlouka, bien qu'ayant des valeurs de verdure initialement plus faibles, montrent des trajectoires plus stables. Cette interaction suggère la nécessité de stratégies de gestion environnementale localisées, en particulier dans des zones comme Guelma où la verdure diminue plus rapidement.

Tableau 2. Résumé du modèle linéaire général évaluant le changement spatiotemporel de la verdure et de la zone urbaine avec une interaction unidirectionnelle (Site × année) sur la période 1984–2024. Guelma est utilisé comme niveau de référence pour les calculs de contraste.

Espaces vert	Estimation	SE	t value	p value
(Intercept)	141.20951	31.40721	4.496	0.0000164 ***
Année	-0.06788	0.01567	-4.331	0.0000315 ***
Oued_Zenati	-113.21842	44.41651	-2.549	0.01210 *
Tamlouka	-130.94999	44.41651	-2.948	0.00386 **
Année : Oued_Zenati	0.05459	0.02216	2.463	0.01524 *
Année : Tamlouka	0.06298	0.02216	2.842	0.00530 **
Zone urbaine				
(Intercept)	-126.09411	31.40721	-4.015	0.000105 ***
Année	0.06788	0.01567	4.331	0.0000315 ***
Oued_Zenati	101.45827	44.41651	2.284	0.024160 *
Tamlouka	117.40028	44.41651	2.643	0.009339 **
Année : Oued_Zenati	-0.05459	0.02216	-2.463	0.015239 *
Année: Tamlouka	-0.06298	0.02216	-2.842	0.005297 **

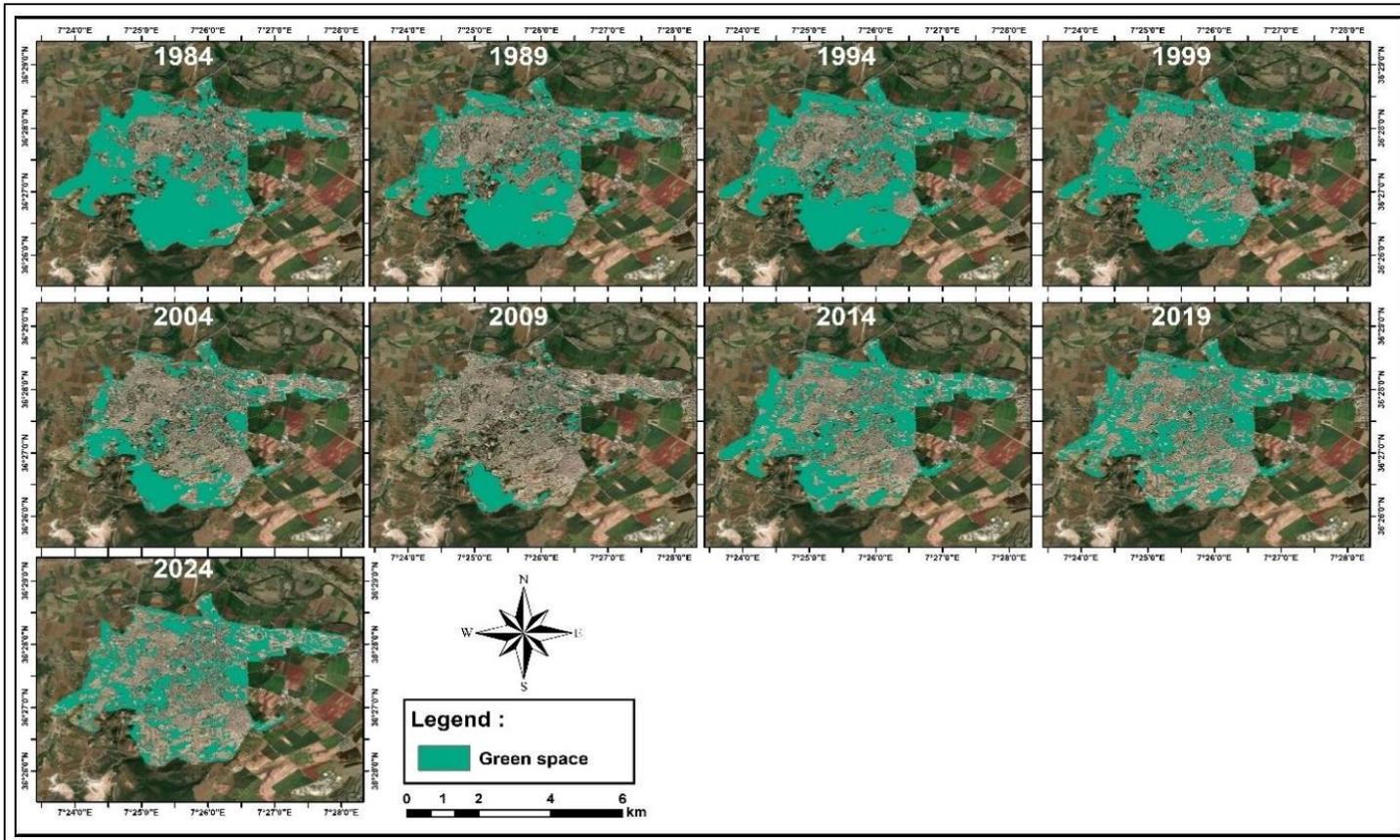


Figure 8. Évolution temporelle de la verdure (dans la zone urbaine) à Guelma entre 1984 et 2024.

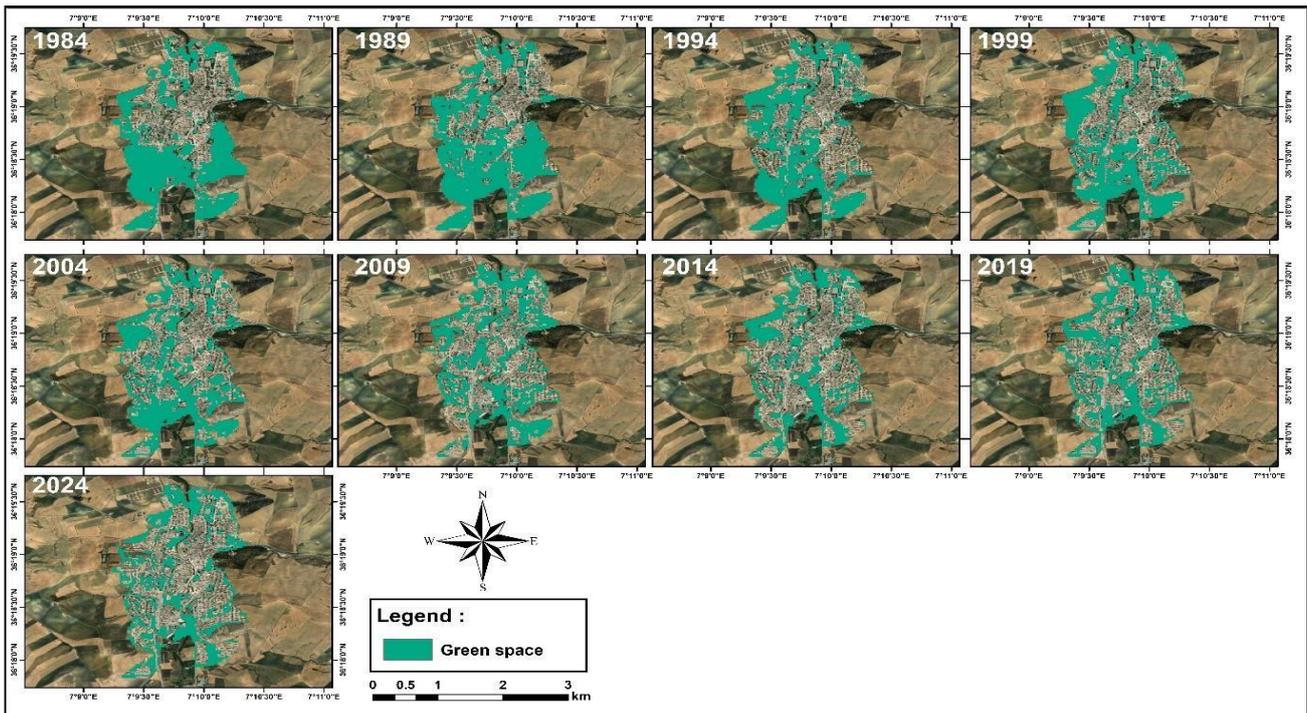


Figure 9. Évolution temporelle de la verdure (dans la zone urbaine) à Oued Zenati entre 1984 et 2024.

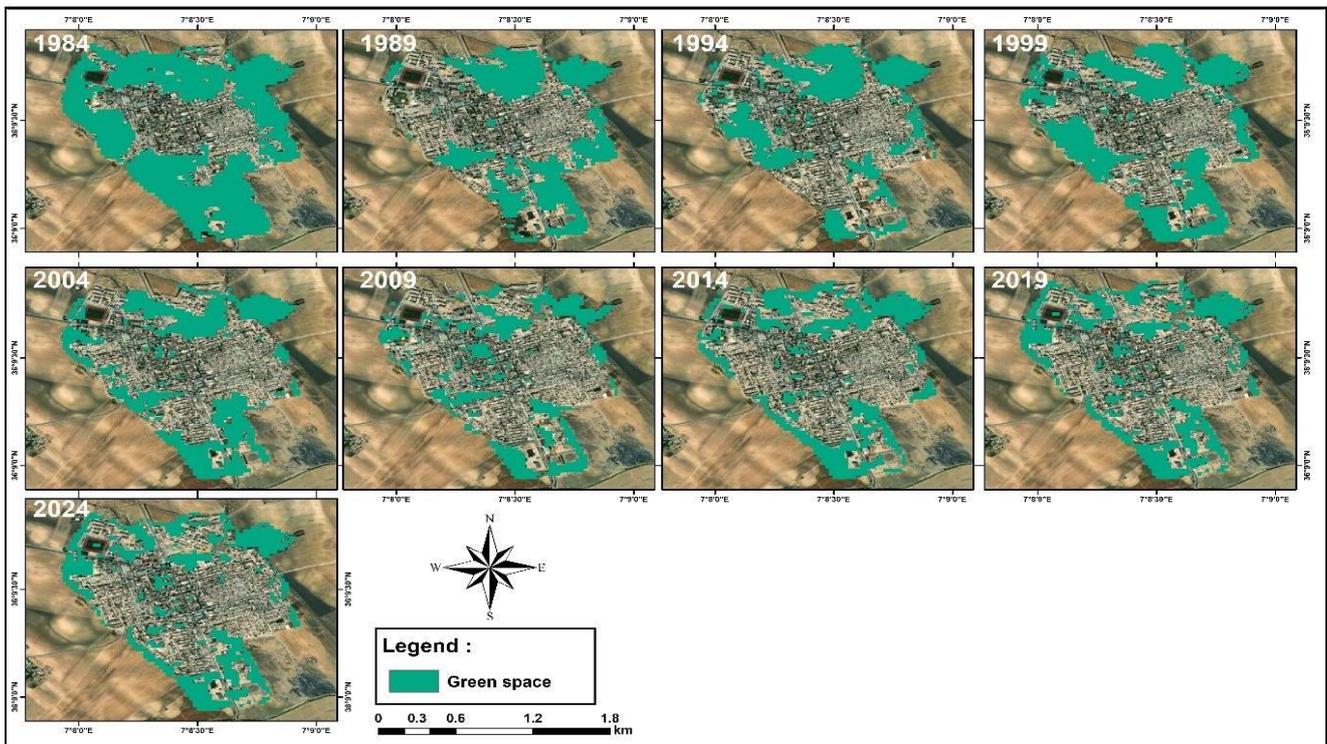


Figure 10. Évolution temporelle de la verdure (dans la zone urbaine) à Tamlouka entre 1984 et 2024.

En ce qui concerne la zone urbaine, l'effet principal observé cette année est à la fois statistiquement significatif et positif (Estimation = 0,0679, $p < 0,001$) (voir Tableau 2, Figure 8b). Cela indique que la zone urbaine a connu une augmentation d'environ 0,068 par an au fil du temps. Les localités d'Oued Zenati et de Tamlouka affichent des zones urbaines de départ significativement plus étendues, avec des augmentations respectives de 101,46 et 117,40. Cependant, il est important de noter que le terme d'interaction entre l'année et Oued Zenati est négatif et significatif (Estimation = -0,0546, $p = 0,0152$). Cela suggère que la croissance de la zone urbaine à Oued Zenati est plus lente que celle de Guelma (voir Tableau 3). En d'autres termes, bien qu'Oued Zenati commence avec une zone urbaine plus vaste que Guelma, son taux d'augmentation est nettement inférieur. En revanche, l'absence d'un terme d'interaction significatif pour Tamlouka indique que sa zone urbaine se développe à un rythme comparable à celui de Guelma. Dans l'ensemble, ces résultats mettent en lumière des dynamiques d'urbanisation distinctes à travers les communes : Guelma et Tamlouka connaissent une expansion urbaine plus rapide, tandis qu'Oued Zenati présente une tendance plus modeste, malgré une empreinte urbaine initialement plus importante.

Tableau 3. Résumé du test de Tukey comparant l'évolution de la végétation et de l'urbanisation au fil du temps entre différents sites.

Espace vert	Estimation	SE	df	t.ratio	P value
Guelma - Oued_Zenati	7.932	0.262	117	30.247	<.0001
Guelma - Tamlouka	8.811	0.262	117	33.599	<.0001
Oued_Zenati - Tamlouka	0.879	0.262	117	3.352	0.0031
Zone urbaine					
Guelma - Oued_Zenati	7.932	0.262	117	30.247	<.0001
Guelma - Tamlouka	8.811	0.262	117	33.599	<.0001
Oued_Zenati - Tamlouka	0.879	0.262	117	3.352	0.0031

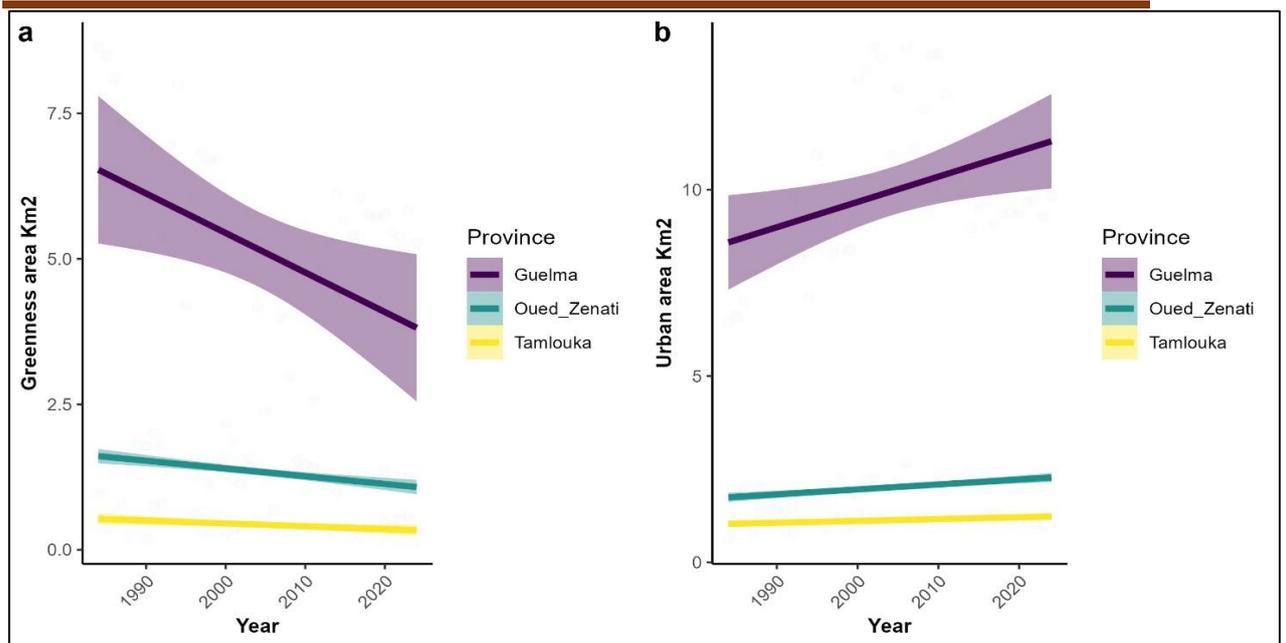


Figure 11. Changement temporel de la verdure (à l'intérieur de la zone urbaine) dans les trois sites d'étude entre 1984 et 2024.

3. Changement de l'indice UTFVI au fil du temps et de l'espace

Les résultats de l'analyse révèlent une légère tendance à la hausse du facteur d'indice de stress thermique urbain (UTFVI) au fil du temps, avec un coefficient positif de 0,0010 (voir Tableau 4, Figure 9). Toutefois, cette tendance n'est que marginalement significative ($p = 0,052$), ce qui indique une possible augmentation du stress thermique urbain au cours des années, sans pour autant qu'elle soit confirmée.

Les coefficients pour Oued Zenati et Tamlouka affichent également des valeurs positives, avec des estimations respectives de 0,0071 et 0,0067. Cependant, ces résultats ne sont pas statistiquement significatifs ($p > 0,6$). Cela signifie qu'en moyenne, Oued Zenati et Tamlouka présentent des valeurs d'UTFVI légèrement supérieures à celles de Guelma, mais les différences observées sont faibles et ne revêtent pas de signification statistique.

De plus, notre modèle n'inclut pas de termes d'interaction entre l'année et la commune, ce qui implique que la tendance temporelle de l'UTFVI est supposée être homogène à travers les trois communes étudiées. Les valeurs moyennes d'UTFVI s'établissent à $0,0211 \pm 0,25$ pour Tamlouka, suivies de $0,0210 \pm 0,20$ pour Oued Zenati, et de $0,013 \pm 0,07$ pour Guelma (voir Figure 10). En résumé, l'analyse suggère une

augmentation lente mais potentielle du stress thermique au fil du temps dans la zone d'étude, sans différences substantielles entre les communes elles-mêmes.

Tableau 4. Résumé du modèle linéaire général évaluant le changement spatiotemporel de l'UTFVI sur la période 1984–2024. Guelma est utilisé comme niveau de référence pour les calculs de contraste.

UTFVI	<i>Estimate</i>	<i>SE</i>	<i>t value</i>	<i>p value</i>
(Intercept)	-1.9918309	1.0303116	-1.933	0.0535
Année	0.0010008	0.0005142	1.946	0.0520
Oued_Zenati	0.0071255	0.0156487	0.455	0.6490
Tamlouka	0.0067412	0.0156818	0.430	0.6674

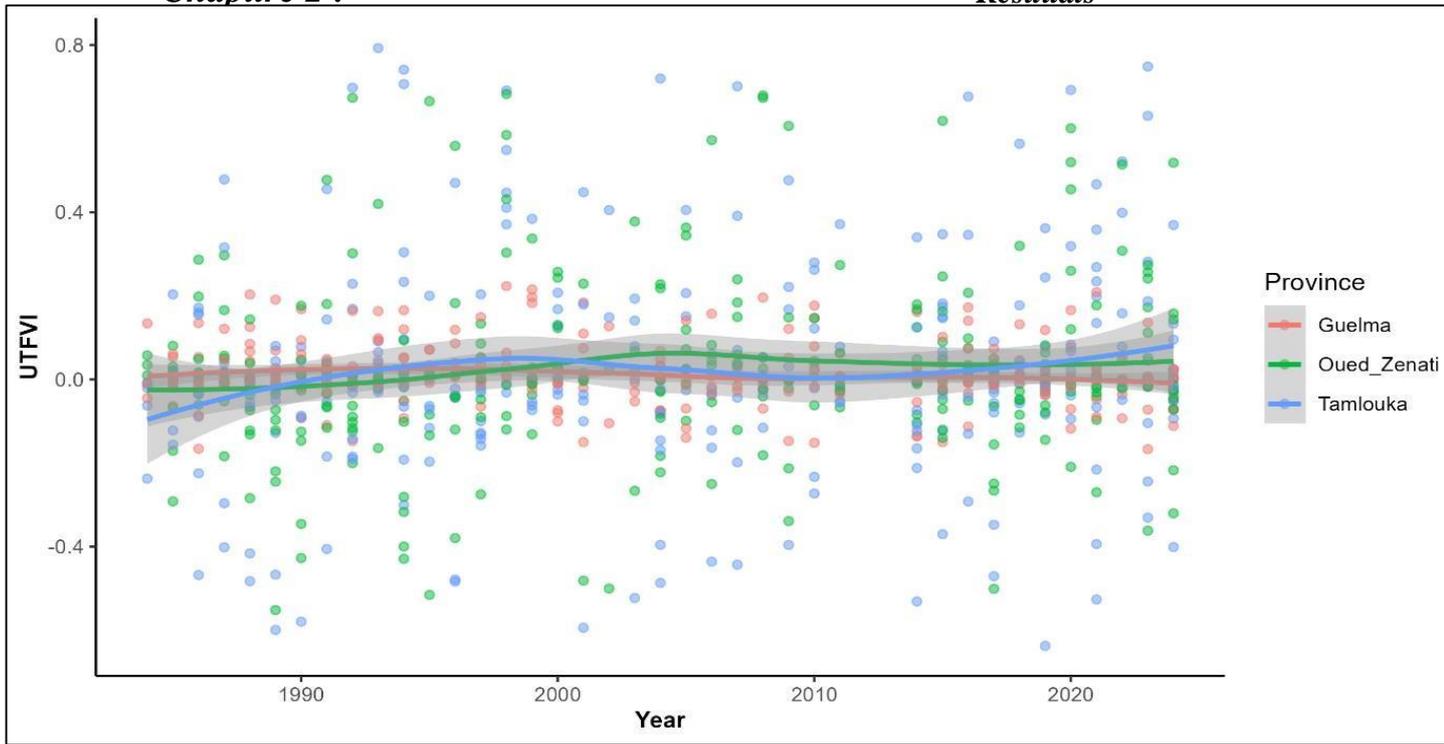


Figure 12. Changement temporel de l'indice UTFVI dans les trois sites d'étude entre 1984 et 2024. Les lignes représentent des régressions loess et les bandes indiquent les erreurs standards.

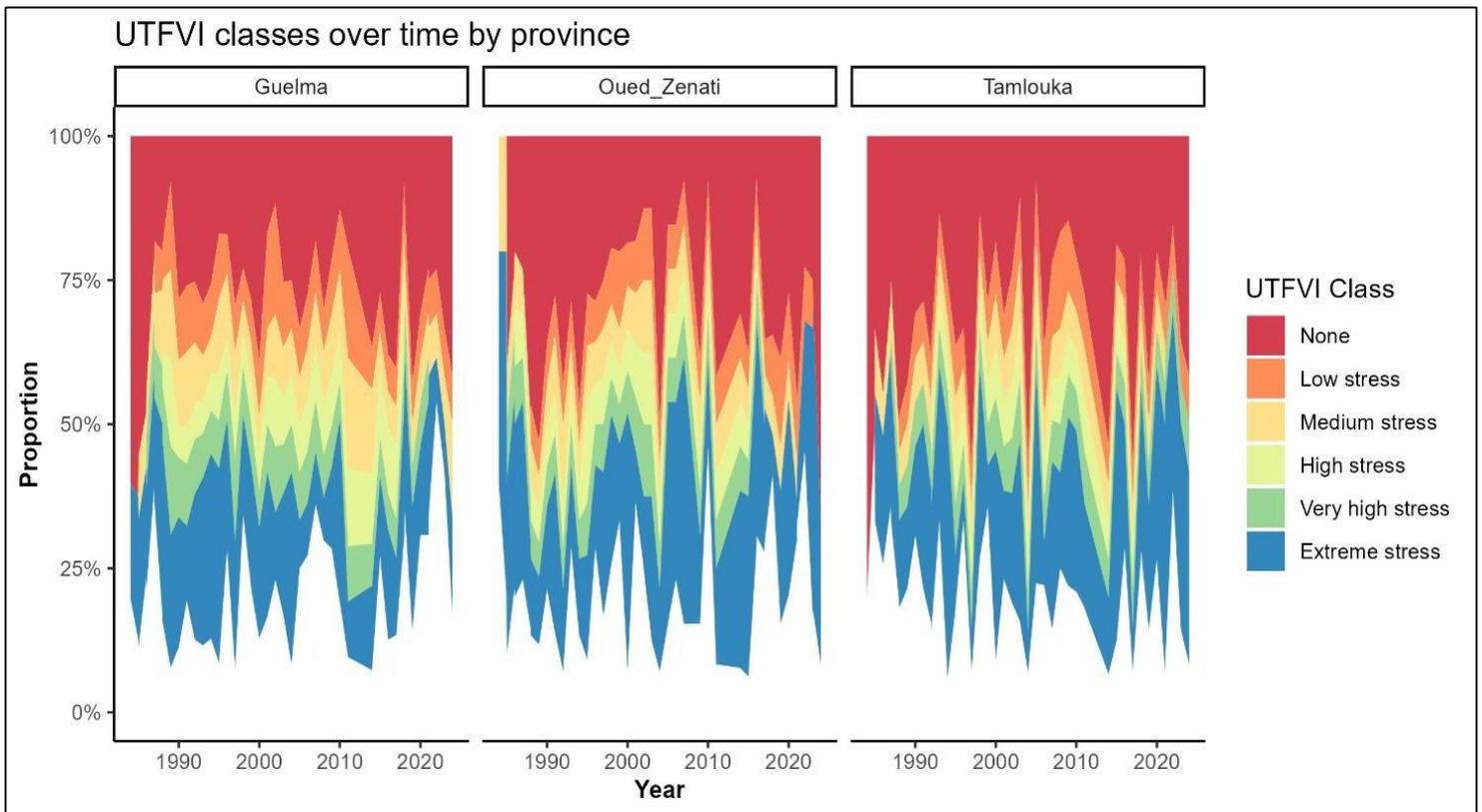


Figure 13. Proportion des différentes classes d'UTFVI dans les trois sites d'étude.

4. Impact de la végétation et de la classification urbaine sur la température de surface terrestre (TST en °C)

Selon les données, il est clairement établi que les zones urbaines présentent des températures significativement plus élevées que celles des espaces verts. En effet, la température de surface terrestre moyenne (LST) dans les zones urbaines dépasse de 1,55 °C celle observée dans les zones de verdure (LM : $t = 3,99$, $p < 0,0001$) (voir Figure 11)

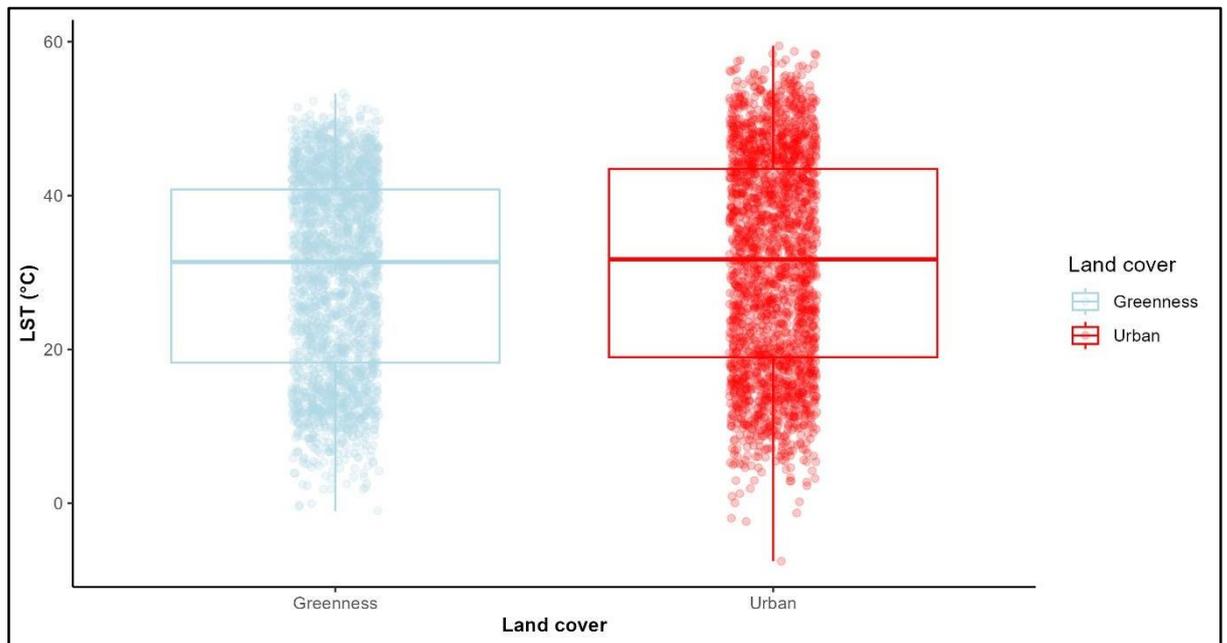


Figure 14. Diagramme en boîte illustrant l'impact de la couverture terrestre sur la température de surface du sol (TSS) durant la période d'étude, en se basant sur les données des trois sites analysés

Chapitre 3 : Discussion générale

Discussion

Les espaces verts urbains et périurbains sont en danger en raison de l'expansion urbaine et du changement climatique, particulièrement dans les pays où la planification urbaine est déficiente et où la volonté politique de protéger le patrimoine naturel est souvent insuffisante ([Banon et al.,2021](#)).

L'analyse des tendances climatiques sur 40 ans révèle des informations intéressantes concernant les températures et les précipitations dans les régions de Guelma, Oued Zenati et Tamlouka. On observe une augmentation des températures maximales, avec des hausses annuelles variant entre 0,0308 °C et 0,329 °C selon les localités. Concernant les précipitations, Tamlouka et Oued Zenati montrent une diminution significative, tandis que Guelma ne présente pas de réduction significative. Cette élévation des températures (TC°) peut engendrer diverses conséquences sur les espaces verts. Elle risque de provoquer un stress hydrique pour les plantes, ce qui pourrait nuire à leur croissance, à leur floraison et à leur résistance face aux maladies comme indique l'étude de(Gray & Brady, 2016). La thermo tolérance des plantes est bien comprise sur le plan biochimique et moléculaire, mais des recherches supplémentaires sont nécessaires sur la flexibilité phénotypique, le partage des assimilés en cas de stress thermique et les facteurs influençant la tolérance à la chaleur ([Wahid et al.,2007](#)).

La diminution des précipitations s'établit à environ 0,21 mm par an, avec Guelma enregistrant une baisse légèrement plus prononcée de -0,22 mm/an. Tamlouka, quant à elle, présente une forte corrélation avec les variations climatiques, révélant une tendance régulière à la baisse des précipitations. Cette situation est particulièrement préoccupante pour Tamlouka et Oued Zenati, où la réduction des précipitations compromet l'eau disponible pour la végétation, entraînant une dégradation des espaces verts et nuisant à la biodiversité. Ces résultats sont en accord avec l'étude de ([Philippon et al.,2008](#)) qui montre qu'il ya un lien entre les précipitations et l'activité photosynthétique de la végétation mesurée par l'indice NDV. À Guelma, bien que la diminution soit moins marquée, elle reste significative, car même de légères variations peuvent avoir des répercussions cumulatives sur la végétation. L'augmentation de l'évapotranspiration potentielle (TEP) à Guelma particulièrement est importante, car elle entraîne une perte d'eau accrue chez les plantes, provoquant un stress hydrique. Ce phénomène affecte leur croissance, santé et développement, pouvant mener à une déshydratation et à une diminution de leur rendement et vitalité. L'indice de PDSI indique une augmentation des

sécheresses fréquentes et sévères, rendant la survie des plantes, en particulier celles moins adaptées à l'aridité, de plus en plus difficile. Ces sécheresses entraînent une faible humidité du sol et un potentiel hydrique réduit, ce qui provoque une perte d'eau par évapotranspiration et nuit à la croissance des plantes, rendant leurs feuilles moins rigides, tombantes ou enroulées ([Millan,2024](#)). En effet, le changement climatique affectera le développement des plantes, impactant les cultures et les écosystèmes. Les conditions de croissance futures seront marquées par des températures plus élevées, des événements extrêmes tels que des vagues de chaleur et des sécheresses, ainsi que des changements dans la composition atmosphérique([Gray et Brady, 2016](#); [Quénol et al.,2010](#)).

Les résultats concernant le changement spatiotemporel de la verdure et des zones urbaines révèlent une relation significative entre l'essor de l'urbanisme et la diminution des espaces verts. Cela souligne l'impact de l'urbanisation sur l'évolution des espaces verts dans les villes, dans un cadre spatiotemporel ce qui en accord avec l'étude de ([KHELIFA, 2024](#)) qui mentionne que l'urbanisme agit sur le climat régional entraîne des différences dans la couverture nuageuse, les précipitations, le rayonnement solaire, la température de l'air et la vitesse du vent entre la ville et les zones rurales voisines. En effet, cette dynamique influence non seulement le confort des citoyens, mais également leur qualité de vie

L'indice de stress thermique urbain (UTFVI) montre une légère augmentation avec un coefficient positif de 0,0010, marginalement significatif ($p = 0,052$). Les coefficients pour Oued Zenati et Tamlouka sont également positifs (0,0071 et 0,0067), mais non significatifs ($p > 0,6$), indiquant des valeurs d'UTFVI légèrement supérieures à celles de Guelma. Cette augmentation pourrait affecter les structures cellulaires des plantes et favoriser la production de métabolites secondaires protecteurs, tels que les composés phénoliques stimulés par l'enzyme PAL et les caroténoïdes, comme la zéaxanthine, qui protègent les lipides de l'oxydation ([Roka et al.,2022](#)). ce qui réduisent les surfaces des espaces verts ainsi leurs bienfaits sur l'environnement et la santé humaine d'autre étude confirme cette hypothèse ([Devi et al.,2023](#)) et([Ervin, 2023](#)).

Les espaces verts urbains améliorent la santé et l'environnement en purifiant l'air en absorbant du dioxyde de carbone (CO₂), rejetant de l'oxygène grâce à la photosynthèse et captant aussi des polluants atmosphériques (particules fines, ozone, dioxyde d'azote), ce qui améliore la qualité de l'air que les habitants respirent. Egalement, ils réduisent les

îlots de chaleur en limitant l'accumulation de chaleur et en libérant de l'humidité, ce qui rafraîchit naturellement l'air ambiant. En outre, les espaces verts atténuent les inondations en réduisant le ruissellement en surface, diminuent le bruit par l'absorption ou la dispersion des ondes sonores, ce qui réduit la pollution sonore en milieu urbain. Enfin, ils favorisent l'approvisionnement alimentaire en cultivant des fruits, légumes et plantes aromatiques, renforçant ainsi la sécurité alimentaire locale et la résilience urbaine face aux crises.

De plus, ces espaces peuvent abaisser la température locale de 1 °C par rapport aux zones non végétalisées ([Bowler et al.,2010](#)). En résumé, La combinaison du changement climatique et de l'urbanisation perturbe les villes en réduisant la verdure et modifie le climat régional, entraînant des variations dans la couverture nuageuse, les précipitations, le rayonnement solaire, la température de l'air et la vitesse du vent par rapport aux zones rurales environnantes([KHELIFA,2024](#)).

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Les espaces urbains jouent un rôle vital pour la santé publique, les interactions sociales, la culture, l'esthétique, les besoins des citoyens, l'économie et l'environnement, contribuant ainsi à la durabilité et à la qualité de vie. Toutefois, des températures élevées peuvent restreindre le temps passé à l'extérieur, en particulier lors de journées chaudes sans abris ou centres de rafraîchissement (Benmechiche, Bennacer, & Kassah Laouar, 2021).

Cette étude a pour objectif d'explorer les variations des facteurs climatiques, tels que les précipitations, la température maximale, l'indice d'évapotranspiration potentielle et l'indice de sécheresse. Elle vise également à évaluer les changements spatiotemporels de la superficie urbaine et des espaces verts, ainsi qu'à analyser les fluctuations de l'indice de variance du champ thermique urbain. Enfin, cette recherche examine l'impact de l'urbanisation et des espaces verts sur la température de surface, en lien avec le bien-être humain, dans les trois communes de Guelma, Oued Zenati et Tamlouk.

L'analyse climatique des communes de Guelma, Oued Zenati et Tamlouka révèle une augmentation des températures maximales, Tamlouka enregistrant la hausse la plus élevée à 0,329 °C par an. Les précipitations diminuent, surtout à Tamlouka, avec une baisse d'environ 0,22 mm par an à Guelma, indiquant un assèchement régional. L'évapotranspiration potentielle augmente dans toutes les communes, Guelma ayant la plus forte hausse, ce qui pourrait aggraver la sécheresse. Le PDSI montre une tendance négative dans les trois communes, confirmant l'aggravation des conditions de sécheresse. En somme, ces tendances soulignent des préoccupations liées au changement climatique et à l'assèchement progressif de la région.

L'analyse des changements de verdure et d'urbanisation dans trois communes, avec Guelma comme référence, montre une perte significative de verdure d'environ 0,068 km² par an, tandis que la zone urbaine augmente également au même rythme. Oued Zenati et Tamlouka présentent des taux de déclin et de croissance moins marqués. Ces résultats soulignent la nécessité de stratégies de gestion environnementale, surtout à Guelma, où la verdure diminue rapidement. L'urbanisation croissante peut nuire à la qualité de vie, d'où l'importance de trouver un équilibre entre développement urbain et préservation des espaces verts.

En conclusion, Cette étude met en lumière l'importance des espaces urbains pour la santé publique, le bien-être social et la durabilité environnementale. Elle constate une hausse des températures et une baisse des précipitations dans les communes de Guelma, Oued Zenati et Tamlouka, entraînant un assèchement de la région. La perte de verdure et l'urbanisation croissante

Conclusion et perspective

représentent des défis pour la qualité de vie, soulignant la nécessité d'une gestion environnementale proactive.

Pour l'avenir, il est crucial de développer des stratégies intégrées qui équilibrent le développement urbain et la préservation des espaces verts. Cela inclut la création de zones de rafraîchissement, l'augmentation des espaces verts urbains et l'adoption de politiques de planification durable.

Egalement, il est crucial d'établir des initiatives de sensibilisation sur l'importance des espaces verts pour la santé des communautés doivent également être encouragées. Une approche holistique permettra de relever les défis du changement climatique tout en améliorant la qualité de vie des habitants.

Bibliographies

Bibliographies :

- Banon, F., Danvidé, B., & Baye, A. Y. (2021). Problématique de la gestion des espaces verts en milieu urbain: projet de conservation et de valorisation de la ceinture verte de Niamey au Niger. *Managing green spaces in urban areas: Conservation and valorization of the Niamey green belt in Niger. Rev. Écosystèmes Paysages*, 1, 85-93.
- Benmechiche, M., Bennacer, L., & Kassah Laouar, I. (2021). Les espaces verts urbains: une nécessité pour la santé et le bien être des habitants, le cas de Biskra. *Revue Des Sciences Humaines*, 32(3), 651-661.
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and urban planning*, 97(3), 147-155.
- Devi, J., Sagar, V., Mishra, G. P., Jha, P. K., Gupta, N., Dubey, R. K., . . . Prasad, P. V. (2023). Heat stress tolerance in peas (*Pisum sativum* L.): Current status and way forward. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1108276.
- Dinda, S., Chatterjee, N. D., & Ghosh, S. (2021). An integrated simulation approach to the assessment of urban growth pattern and loss in urban green space in Kolkata, India: A GIS-based analysis. *Ecological Indicators*, 121, 107178.
- Ervin, G. N. (2023). *The biology of aquatic and wetland plants*: CRC Press.
- Fashae, O. A., Adagbasa, E. G., Olusola, A. O., & Obateru, R. O. (2020). Land use/land cover change and land surface temperature of Ibadan and environs, Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 1-18.
- Gray, S. B., & Brady, S. M. (2016). Plant developmental responses to climate change. *Developmental biology*, 419(1), 64-77.
- KHELIFA, F. (2024). *Paramétrage de microclimat urbain par la végétation et les plans d'eau. Cas de la ville Souk Ahras*.
- Krinner, G., Guivarch, C., Hourcade, J.-C., Masson-Delmotte, V., Szopa, S., & Saheb, Y. (2023). Publication du 6e rapport de synthèse du Giec.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., . . . Gomis, M. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, 2(1), 2391.
- Millan, M. (2024). *Analyse et modélisation de la variabilité environnementale et génotypique de l'architecture de la vigne: conséquences sur les échanges gazeux et la température foliaire*. Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l . . .
- OECD. (2013). Études de l'OCDE sur l'innovation environnementale Politique énergétique et climatique Infléchir la trajectoire technologique: Infléchir la trajectoire technologique. *OECD Publishing*.
- OUALID, T. (2020). renouvellement urbain de centre ville de Guelma cas (cité bon accueil-cité des allemands).

Référence

- Patakamuri, S. K., Muthiah, K., & Sridhar, V. (2020). Long-term homogeneity, trend, and change-point analysis of rainfall in the arid district of Ananthapuramu, Andhra Pradesh State, India. *Water*, 12(1), 211.
- Philippon, N., Martiny, N., Camberlin, P., & Richard, Y. (2008). Impact des précipitations sur l'activité photosynthétique de la végétation en Afrique semi-aride subsaharienne. *Journées de Climatologie*, 77-90.
- PNUE/PAM. (2009). PNUE/PAM-Plan Bleu: Etat de l'environnement et du développement en Méditerranée. PNUE/PAM-Plan Bleu, Athènes, 2009., https://planbleu.org/wp-content/uploads/2020/2004/SoED2009-FR_compressed-2021.pdf.
- Quénol, H., Dubreuil, V., Mimet, A., Pellissier, V., Aguejdad, R., Clergeau, P., & Bridier, S. (2010). Climat urbain et impact sur la phénologie végétale printanière. *La Météorologie*, 2010(68), 50-57.
- Reagan, M. T., Moridis, G. J., Keen, N. D., & Johnson, J. N. (2015). Numerical simulation of the environmental impact of hydraulic fracturing of tight/shale gas reservoirs on near-surface groundwater: Background, base cases, shallow reservoirs, short-term gas, and water transport. *Water Resources Research*, 51(4), 2543-2573.
- Roka, M. B., Barsha, K., Biddhya, P., Preeti, K., Pawan, L., Janak, B., . . . Prakash, B. (2022). Heat stress effects and tolerance mechanism in wheat: A Review. *Agriways*, 10(2).
- ROUABHIA, N. (2020). REQUALIFICATION URBAINE DU POS NORD CAS D'ETUDE CITE AMIR ABD EL KADER.
- Rushayati, S. B. (2012). Hubungan antara indeks luas daun dengan iklim mikro dan indeks kenyamanan. *Media Konservasi*, 17(3), 231284.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379-1389.
- Theil, H. (1992). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis *Henri Theil's contributions to economics and econometrics: Econometric theory and methodology* (pp. 345-381): Springer.
- Vennetier, M., & Ripert, C. (2010). Impact du changement climatique sur la flore méditerranéenne: théorie et pratique. *Changement climatique et biodiversité*, p. 75-p. 87.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and experimental botany*, 61(3), 199-223.
- Wang, J., Zhou, W., Qian, Y., Li, W., & Han, L. (2018). Quantifying and characterizing the dynamics of urban greenspace at the patch level: A new approach using object-based image analysis. *Remote Sensing of Environment*, 204, 94-108.
- Zhang, B., Xie, G.-d., Gao, J.-x., & Yang, Y. (2014). The cooling effect of urban green spaces as a contribution to energy-saving and emission-reduction: A case study in Beijing, China. *Building and environment*, 76, 37-43.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Smith, G. M. (2007). *Analysing ecological data* (Vol. 680): Springer.

Référence

Webographie

[1] <https://www.weedingtech.com/fr/blog/quels-sont-les-effets-des-espaces-verts-urbains-sur-la-pollution-de-lair/>

[2] <https://wilaya-guelma.dz/fr/situation-geographique-et-population/>

[3] <https://www.infoclimat.fr/>

[3] <https://www.infoclimat.fr/>