

Étude analytique de l'urbanisation et son impact sur la température terrestre (LST), à l'aide de données de télédétection et SIG, cas de Guelma (Algérie)

Analytical Study of Urbanization and its Impact on Land Surface Temperature (LST) using Remote Sensing and GIS Data, Case of Guelma (Algeria)

GUECHI Imen^{*1}, GHERRAZ Halima², Alkama Djamel³

¹ Département d'architecture, laboratoire LEQUAREB, Université Arbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghie. Algérie. E-mail : guechi.imen@univ-oed.dz

² Département d'architecture, laboratoire LEQUAREB, Université Arbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghie. Algérie. E-mail : halima.gherraz@univ-oed.dz

³ Département d'architecture, Laboratoire LEVE, Université 8 Mai 1945, Guelma. E-mail : dj.alkama@gmail.com

Date de réception. : 18 /01/2022

Date d'acceptation: 09/05/2022

Résumé: L'urbanisation est un phénomène dirigé par l'homme et qui a influencé de manière significative la biodiversité, les processus des écosystèmes et le climat régional. A l'instar de toutes les villes moyennes de l'Algérie, Guelma semble être affectée par une croissance urbaine rapide et massive, qui a fortement bousculé l'espace, générant des transformations spatiales et environnementales profondes. L'une des conséquences environnementales importantes de l'urbanisation est la réduction du couvert végétal et la création d'un effet d'îlot de chaleur urbain. Cette étude vise à analyser l'urbanisation et son impact sur les LST, dans la ville de Guelma de 1990 à 2020 ; en utilisant des données de télédétection, une série chronologique d'images Landsat et les SIG. Les techniques de classification à probabilité maximale supervisée (MLC) sont utilisées pour extraire les changements dans la couverture des terres urbaines. L'anneau multi-tampon ; la statistique zonale et la régression multiple linéaire sont utilisés pour évaluer l'impact de l'urbanisation sur la température terrestre LST.

Les résultats indiquent que le groupement intercommunal de Guelma a connu une urbanisation accélérée entre 1990 et 2020, concentrés dans la commune de Guelma, soit une augmentation de 34, 38 Ha contre une régression de la surface des terres agricoles et des forêts. Cet étalement se traduit par une augmentation de la température terrestre LST. Les relations de la LST avec le NDVI et le NDBI sont plus fortes lorsque la surface est recouverte de plus de végétation comme en 1990, ou lorsque le NDVI et le NDBI ont une portée limitée. Par conséquent, le NDVI et le NDBI ne sont pas des indices appropriés pour étudier les LST dans les villes qui sont entourées de sols stériles, qui absorbent une grande quantité de radiations solaires. Donc, les écarts de température entre les zones urbaines/bâties et les zones forestières se sont considérablement élargis. Par conséquent, l'abondance de la végétation était un facteur important influençant le LST. Dans cet article, la technologie de la télédétection et le SIG ont constitué des approches efficaces pour l'étude analytique de l'urbanisation et l'évaluation de leurs impacts sur les climats urbains.

Mots clés : Urbanisation; Télédétection; Température surfacique terrestre (LST); LULC; SIG; Guelma.

Abstract: Urbanization is a phenomenon that is driven by humans and has significantly influenced biodiversity, ecosystem processes and regional climate. Like all medium-sized cities in Algeria, Guelma seems to be affected by rapid and massive urban growth, which has strongly disrupted the space, thus generating profound spatial and environmental transformations. One of the urbanization's significant environmental implications is the reduction of vegetation cover and the

* Auteur correspondant

creation of urban heat island effect. This study aims to analytical study of urbanization and its impact on the LST, in Guelma city over a period of 30 years (1990–2020), based on remote sensing & GIS. A time-series of Landsat images TM, ETM+ and OLI/TIRS data and various geospatial approaches were used to facilitate the analysis. Supervised Maximum Likelihood classification (MLC) techniques is used to extracted the Changes in urban land cover (ULCC). The multi-buffer ring ; zonal statistique and the multiple leniaire regression are using to evaluation the impact of urbanisation on LST. The results indicate that the intermunicipal grouping of Guelma experienced an aceous urbanization between 1990 and 2020, concentrated in the commune of Guelma, an increase of 34, 38 Ha against a regression in the surface of agricultural land and forests. This spread is reflected in an increase in the earth's LST temperature. The relationships of LST with NDVI and NDBI are stronger when the surface is covered with more vegetation as in 1990 year, or when NDVI and NDBI are limited in range. Therefore, NDVI and NDBI are not appropriate indices for studying LST in cities that are surrounded by barren soil, which absorbs a large amount of solar radiations. in this paper, remote sensing technology and GIS was effective approaches for analytical study of urbanization and evaluating their impacts on urban climates.

Keywords: Urbanization; Remote sensing; Land surface temperature (LST); LULC; GIS; Guelma.

Introduction:

L'urbanisation est un phénomène urbain qui a attiré l'attention des chercheurs au XXI^e siècle (Spence et al., 2009). Les zones urbaines, telles que les villes et les villages, représentent plus de la moitié de la population mondiale. Ce nombre devrait passer à environ cinq milliards d'ici 2030, l'UNFPA prévoit également qu'une grande partie de cette urbanisation qui se produirait en Afrique et en Asie apporterait d'énormes problèmes sociaux, économiques et environnementaux (UNFPA., 2017). Avec l'urbanisation rapide, la population et les bâtiments dans les villes ont énormément augmenté, entraînant une réduction radicale de la de la zone de verdure par rapport à l'augmentation de la zone imperméable. Le centre de la ville devient plus chaud que sa périphérie, créant un îlot de chaleur urbain - ICU (Voogt et al., 2003). Cette variation locale de température a un effet négatif sur les personnes et l'environnement car elle affecte la qualité de l'air, augmente la consommation d'énergie, affecte le contrôle biologique et la santé humaine (Kikegawa et al., 2003 ; Grimmond., 2007 ; Meineke et., 2014 ; Plocoste et al., 2014). L'utilisation de données de télédétection par satellites multitudes pour comprendre les changements de la couverture terrestre a commencé au début des années 1970 (Singh., 1989). Plusieurs techniques de télédétection ont été évaluées (Kam., 1995 ; Jensen., 1995 ; Ridd et al., 1998 ; Sohl., 1999 ; Aboelnour et al., 2018). Les méthodes de détection des changements les plus régulièrement utilisées sont soit une méthode spectrale (image à image), soit une méthode de classification (carte à carte) (Green et al., 1994 ; Yang et al., 2002 ; Loveland et al., 2002). Les progrès de la télédétection thermique, les SIG et les méthodes statistiques ont permis à la communauté des chercheurs d'analyser et d'évaluer la relation LST-LULC. Des recherches antérieures ont également montré que les tendances paysagères sous-jacentes ont un impact important sur la LST (Gogoi et al., 2019 ; Das et al., 2020 ; Tan et al., 2020). Un grand nombre de recherches ont été menées sur l'analyse de l'ICU, ce qui fournit aux décideurs et aux chercheurs un apport important (Quattrochi et al., 1999 ; Yuan et al., 2007 ; Rizwan et , 2008 ; Junxiang, et al., 2011 ; Kumar et al., 2012 ; Radhi et al., 2013 ; Zhou et al., 2014). En plus de la température de l'air, la LST provenant de données de télédétection est une source d'information unique pour définir les îlots de chaleur urbains de surface. Elle a souvent été utilisée comme indicateur pour la recherche sur les îlots de chaleur urbains (Weng, 2009 ; Imhoff et al., 2010 ; Weng et al., 2004 ; Guha et al. 2018). par la télédétection thermique, les informations relatives à la LST sont disponibles à partir d'une série de capteurs satellites (tels que Landsat, MODIS et ASTER) couvrant une grande partie de la surface de la terre. À différentes échelles temporelles, l'imagerie thermique génère une couverture spatiale complète par rapport aux températures de l'air provenant des stations météorologiques (Myint et al., 2013) . Les changements dans l'espace urbain et la suppression de la végétation due à l'urbanisation affectent le climat urbain (Mathew., et al 2018). Si

les surfaces de différents matériaux absorbent la même quantité de rayonnement solaire, la température résultante varie en raison des variations de leur capacité thermique (Benenson et al., 2002). La LST est un indicateur important du climat urbain. En milieu urbain, la température est plus élevée que dans les zones couvertes de végétation et d'eau. L'augmentation des surfaces bâties entraîne également des valeurs de température plus élevées. L'étude de l'impact de l'urbanisation sur la LST est importante car elle peut perturber une grande variété de processus naturels (Carleton et al., 2016).

Comme toutes les villes moyennes d'Algérie, Guelma est touchée par une croissance urbaine rapide et massive qui a fortement perturbé l'espace, générant ainsi de profondes transformations spatiales et environnementales. Les autorités locales de Guelma ont révisé le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) en 2013 afin d'apporter une solution à la disponibilité des terrains pour l'urbanisation future de la commune de Guelma. Ils ont fait appel à ce qu'on appelle le groupement intercommunal de Guelma dans le cadre du report de la croissance urbaine de la commune de Guelma vers les communes voisines. Il comprenait le chef-lieu de Guelma, et les trois communes voisines telles que : El Fdjouj ; Belkhair et Ben Djarah. La position de Guelma au centre, place ces communes dans son champ d'attraction. Elle souffre du poids des communes de la wilaya en général et des communes voisines en particulier. Les villes satellites de Belkheir ; El Fedjoudj et Bendjerrah, du fait de leur proximité avec le grand centre urbain, n'ont pas connu la croissance souhaitée en raison uniquement de la contrainte de terres à fort potentiel agricole. D'où la possibilité d'exploiter les terres agricoles et les forêts à des fins urbaines. La réduction de la végétation et son remplacement par des surfaces imperméables, comme l'asphalte et le béton, sont directement liés aux facteurs d'urbanisation qui ont des conséquences environnementales et sociales (Mitchell, 2011).

L'objectif principal de cette étude est d'identifier les impacts de l'urbanisation croissante sur le LST et la couverture végétale à l'aide de différentes techniques de télédétection et de SIG. Afin de déterminer la corrélation entre le LST et les principales formes de LULC (végétation, caractéristiques artificielles, terres cultivées), une méthode d'anneau multi-buffer et une étude quantitative du LST sont appliquées.

1. Cas d'étude et données utilisées

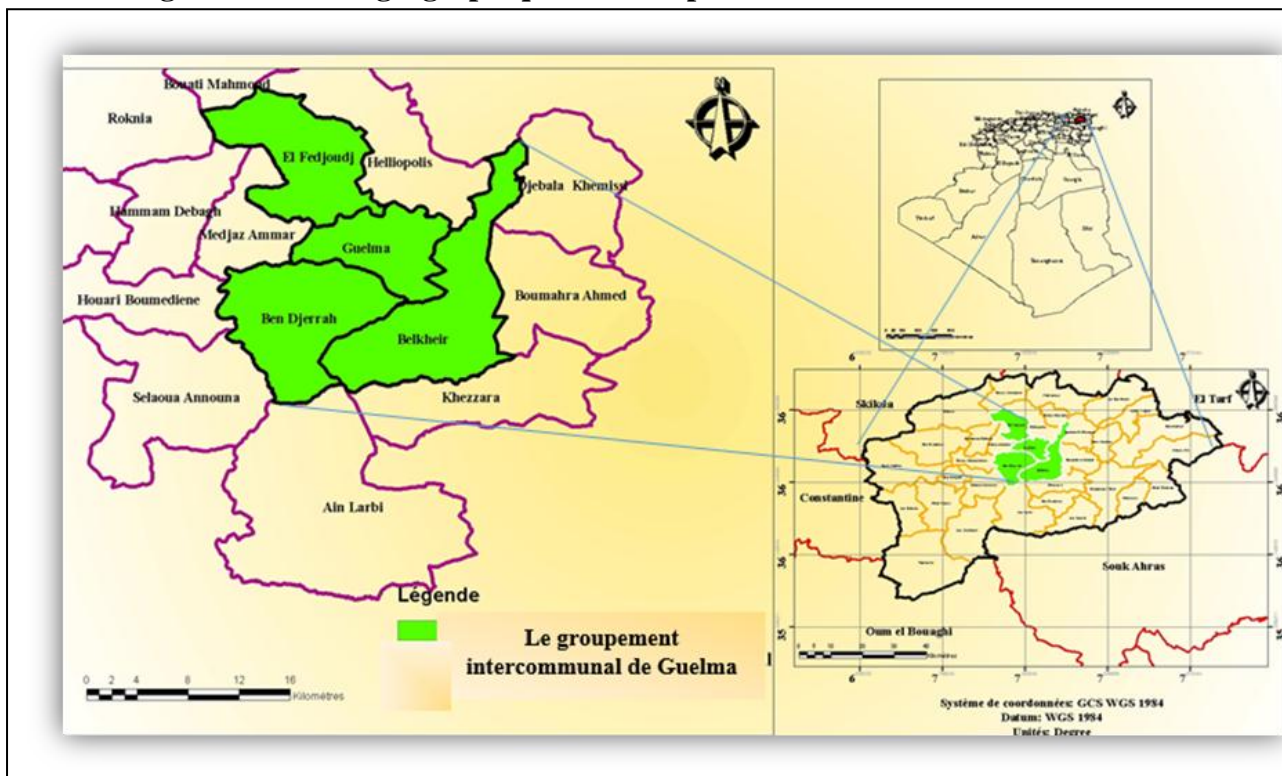
Notre cas d'étude (groupement intercommunal de Guelma) est situé au centre de la wilaya de Guelma, au nord-est de l'Algérie, à environ 60 km au sud de la mer Méditerranée ($36^{\circ} 27' 43''$ N - $7^{\circ} 25' 33''$ E) et à 305 m au-dessus du niveau de la mer (Figure 1). Cette région occupe une superficie totale de 282,11 km² et possède un climat semi-aride avec des hivers frais, une température annuelle moyenne de 21,5 ° C et une pluviométrie annuelle moyenne de 150,3 mm (Aouissi., 2010.). donc on peut distinguer deux périodes dans l'année, huit mois de temps froid et humide d'octobre à mai et quatre mois de temps chaud et sec de juin à septembre. Elle regroupe quatre communes (le chef-lieu de la Wilaya ; la commune de Bendjarah ; la commune de Belkhair et la commune d'el Fdjouj). Elles présentent un contexte à vocation agricole par excellence. (Figure N°1)

2. Données et méthodologie de recherche

Les données utilisés dans cette analyse étaient des séries chronologiques d'images Landsat capturées par les capteurs Landsat TM, Landsat ETM+ et Landsat Operational Land Imager (OLI)/Thermal Infrared Sensor (TIRS). Les données sont présentées dans le tableau 1. Tous les données ont été téléchargés en tant qu'ensemble de données géoréférencées sur le site Web de l'United States Geological Survey (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Les images satellites ont été acquises à un intervalle de 10 ans et pendant la même saison (la saison sèche) pour éviter toute variabilité phénologique. Les logiciels de traitement d'images ArcGIS Spatial Analyst (version 10.5), Environment for Visualizing Images (ENVI) version 5.0, et Excel ont été utilisés pour effectuer les analyses statistiques. Dans cette recherche, après avoir utilisé une calibration radiométrique,

l'analyse atmosphérique rapide de l'hypercube en ligne de visée (FLAASH) a été utilisée pour la correction atmosphérique dans le logiciel ENVI5.1. Certains paramètres sont pris en compte pour l'exécution de FLAASH, notamment l'heure de passage du satellite, l'altitude du capteur, l'emplacement géographique, le modèle atmosphérique spécifique à la région et l'angle zénithal des images satellite acquises par Landsat 5, 7 et 8. L'organigramme suivant (Figure 2). montre la méthodologie adoptée pour notre recherche.

Fig.1. la situation géographique du Groupement intercommunal de Guelma



Source: Guechi.I, 2020

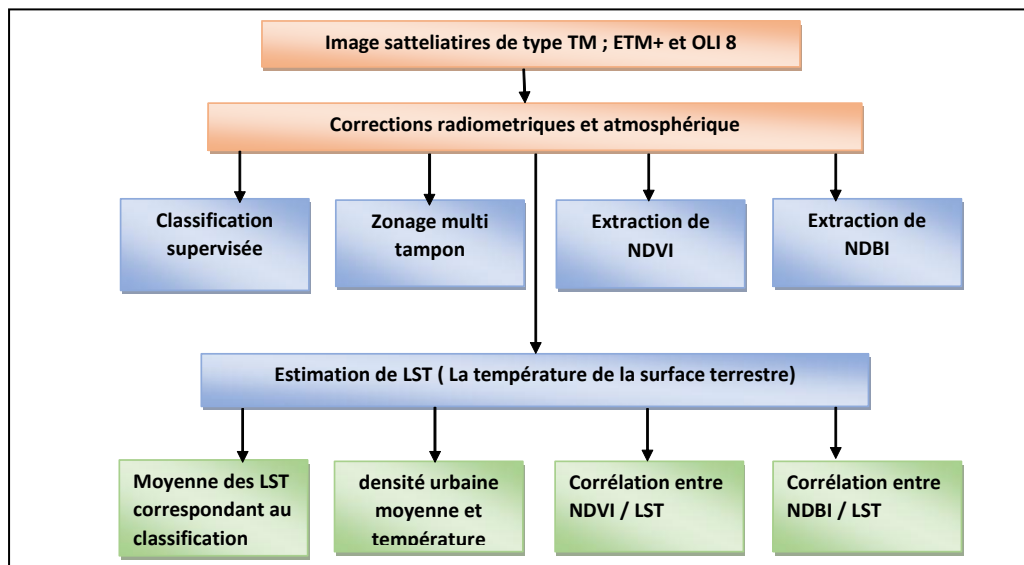
Tableau 1. Les images satellitaires utilisées

Images satellitaires	Les dates d'acquisition	UTM_ZONE	La résolution spatiale
L5_TM	08/06/1990	32	30
L7_ETM	27/06/2000	32	30
L7_ETM	23/06/2010	32	30
LANDSAT_8	19/06/2020	32	30

Source: l'auteur, 2021

L'organigramme suivant (Figure 2), montre la méthodologie adoptée pour notre recherche.

Fig.2. la méthodologie adoptée pour notre recherche



Source: l'auteur, 2021

2.1. La classification supervisée

La technique supervisée de classification du maximum de vraisemblance (MLC) est employée dans cette étude. MLC est utilisée dans une variété d'applications (Pushendra et al., 2014). La MLC n'est pas seulement plus performante que les autres classifications paramétriques définies, mais elle prend également en compte la variance-covariance dans les distributions des classes.

2.2. Température de surface du sol (Land Surface Temperature LST)

La température de surface de sol de notre cas d'étude a été extraite de la bande infrarouge thermique des images Landsat (la bande 6 de Landsat 5TM et 7 ETM+ et les deux bandes 10 et 11 de Landsat 8 OLI/TIRS). L'approche utilisée pour la récupération du LST est un algorithme simple à canal unique qui peut être utilisé pour des images à grande résolution. La méthode intègre les valeurs du profil atmosphérique et l'émissivité obtenues à partir de l'indice NDVI, améliorant ainsi la précision de l'extraction. Étant donné que la période considérée pour l'étude va de 1990 à 2020 et que l'ensemble de données utilisé est de Landsat 5TM, 7ETM+ et 8 OLI / TIRS, une méthode d'extraction LST qui peut être appliquée à des capteurs avec des données à bande thermique unique a été adaptée pour l'étude.

3. Résultats et discussions

3.1. La classification supervisée

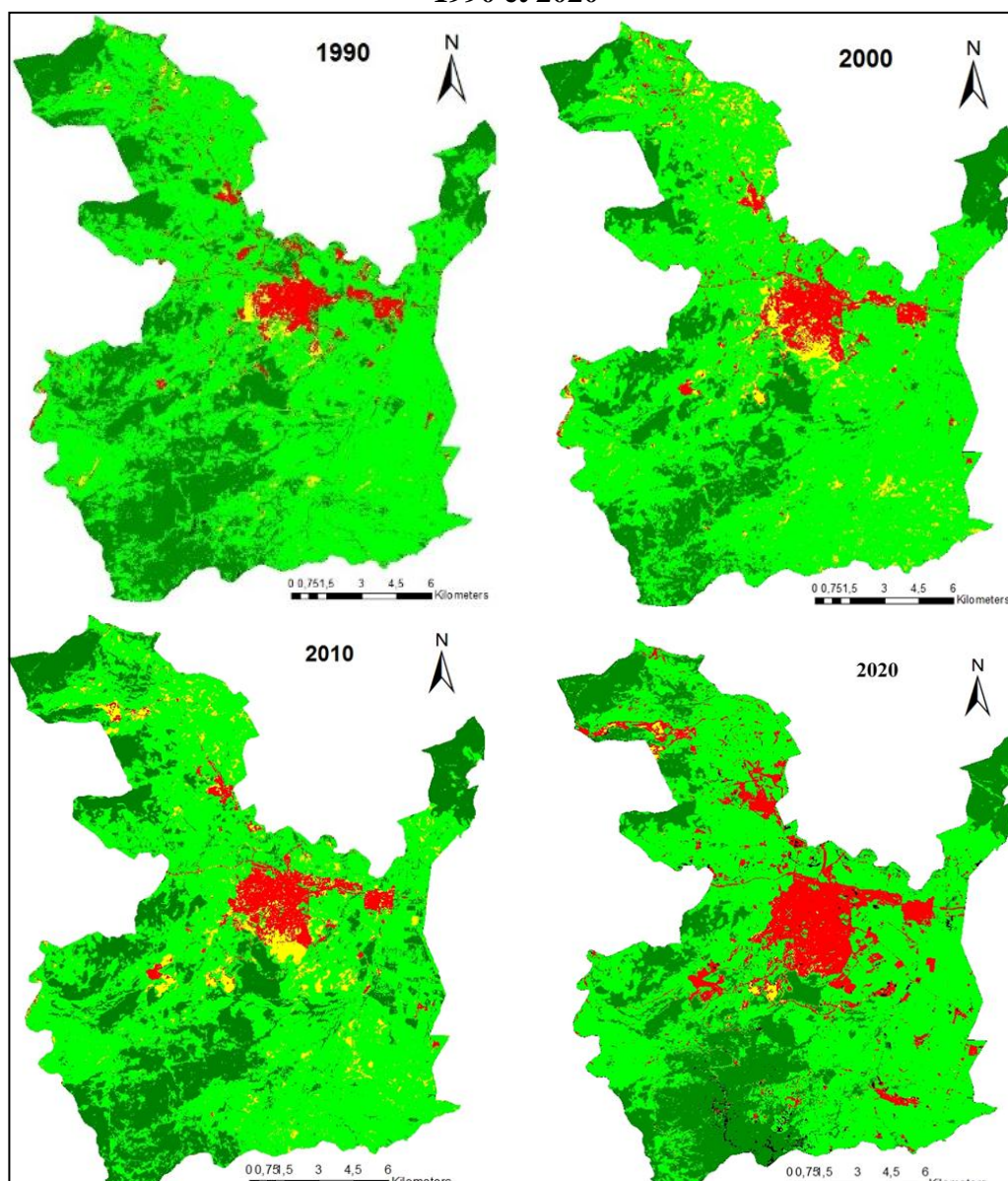
Les résultats de la classification de l'occupation du sol dans le groupement intercommunal de Guelma de 1990 à 2020 sont présentés dans la Figure n°3. Les matrices de confusion de la classification (Maximum de Vraisemblance) ont été obtenues pour évaluer la précision de la classification. Les détails de l'évaluation de la précision sont résumés dans le tableau n°3. De 1990 à 2020, la précision globale est supérieure à 90%. Comme indiqué par (Lea et Curtis., 2010), le rapport d'évaluation de la précision exige que la précision globale soit supérieure à 0,9. Dans cette étude, elle a été atteinte avec succès. Le coefficient de Kappa était également supérieur à 0,77. Comme la précision des classifications était adéquate, elle a été utilisée pour des études analytiques ultérieures.

Tableau 2. Les détails de l'évaluation de la précision de la classification

Année	Overall Accuracy	Kappa Coefficient
08/06/1990	90.88%	0.82
27/06/2000	95.99%	0.91
23/06/2010	90.23%	0,78
19/06/2020	95.12%	0.91

Source: l'auteur, 2021

Les cartes spatiales LU/LC du groupement intercommunal de Guelma sont présentées dans la figure n°3. on peut remarquer qu'il y a eu une expansion urbaine dans l'ensemble intercommunal de Guelma au cours des 30 dernières années. Cette croissance est concentrée dans la commune de Guelma qui est très importante par rapport aux autres communes. Guelma est considérée comme l'une des villes algériennes qui remplit des fonctions urbaines très importantes. Ces fonctions exercent une influence à la fois sur les communes adjacentes et même sur le reste des communes de la province.

Fig.3. Les résultats de la classification dans le groupement intercommunal de Guelma entre 1990 et 2020

Source: l'auteur, 2021

Pour mieux expliquer l'urbanisation au cours de la période d'étude dans la classification intercommunale de Guelma, les zones de différentes couvertures terrestres et leurs changements ont été calculés, et sont présentés dans le tableau n° 3.

Tableau 3. Les résultats surfacique de la classification

	1990	2000	2010	2020
Urban	13,36	17,02	22,75	40,88
Forest	72,04	71,88	68,67	60,34
Agricultural land	173,22	166,06	160,97	130,48
bare lands	28,36	10,6	7,54	1,98

Source: l'auteur, 2021

D'après le tableau N 3 , on peut conclure que de 1990 à 2020, la surface zone urbaine a augmenté, passant respectivement de 13,36 ha à 40,88 ha. Cependant, la superficie des terres nues, des terres agricoles et des forêts a diminué. Pour les terres nues, la superficie diminue de "28,36 ha" en 1990 à "1,98 ha" en 2020. Pour les terres agricoles, la surface est passée de "173,22 ha" en 1990 à "130,48 ha" en 2020. Quant à la forêt, elle est passée de "71,88 ha" en 2000 à "60,34 ha" en 2019. Sur la base de ces résultats, nous concluons que l'augmentation de la couverture urbaine est directement proportionnelle à la réduction de la couverture verte, en particulier au cours de la dernière période. Le résultat de l'analyse est cohérent avec (Guechi et al., 2017).

3.2. L'effet de l'urbanisation sur le LST

3.2.1. Relation entre la classe LC et le LST

Les LST estimées à partir des images Landsat sont présentées dans la figure n°5, qui montre un gradient clair entre les zones urbaines, les terres nues, les terres agricoles et les forêts de 1990 à 2020. Elle illustre l'augmentation de la température en milieu urbain en 1990, principalement en raison des températures radiantes plus élevées des matériaux de surface urbains. En revanche, pour les années 2000 et 2010, les terres agricoles présentent la température la plus élevée en raison de l'absence de végétation. La période du dernier juin à Guelma est connue comme la période de récolte du blé. En 19/06/ 2020, la LST de l'espace urbain présente la valeur la plus importante par rapport à la LST des terres agricoles, de la forêt et des terres nues bien que les terres agricoles présentent des terres sans végétations. Ces résultats confirment que la forte urbanisation qui a marqué les dernières années a exercé une influence sur l'augmentation de la LST.

Les valeurs moyennes de température de LST pour chaque classe sont présentées dans le tableau n° 4.

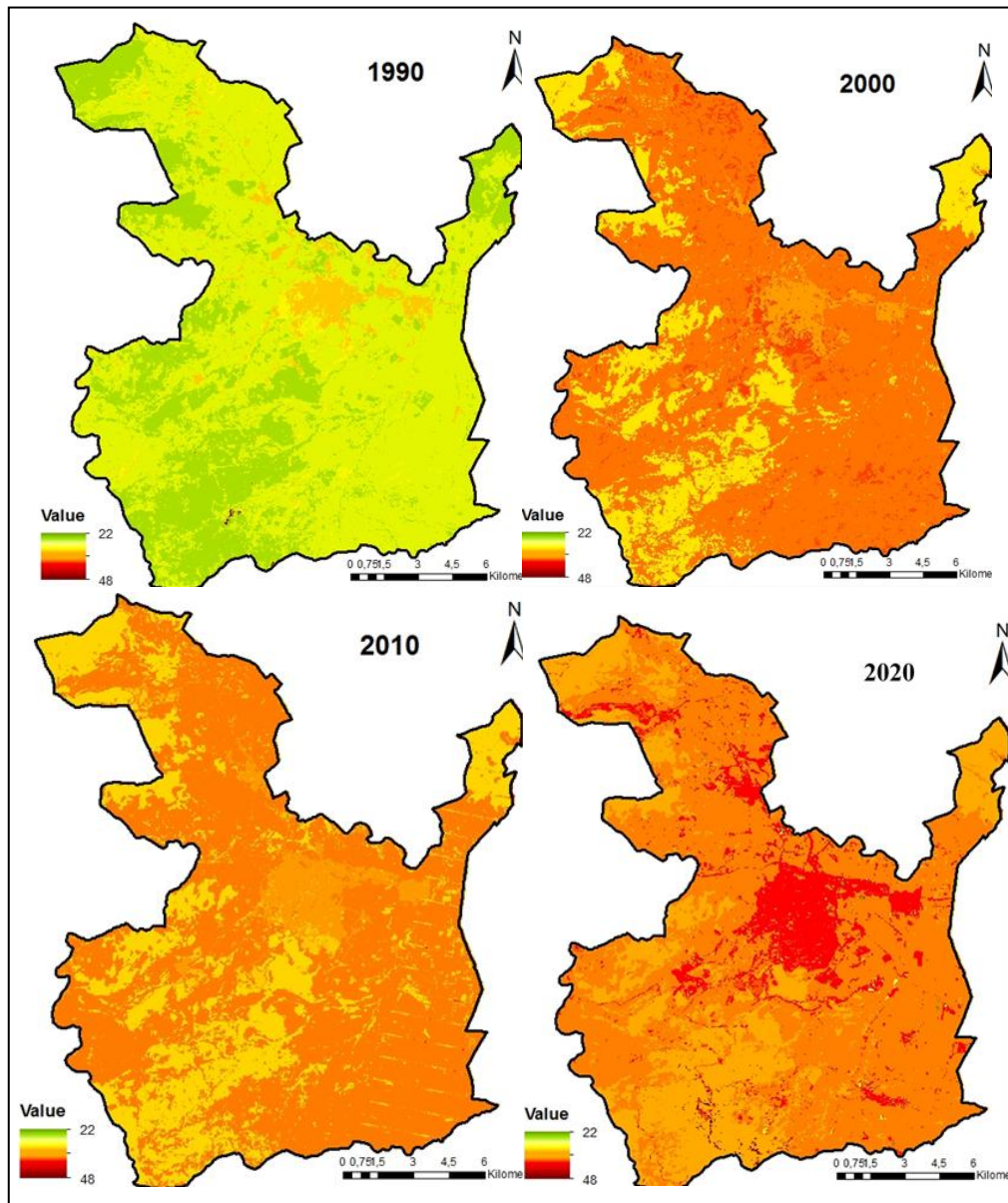
Tableau 4. Les températures correspondant aux classement

	1990	2000	2010	2020
Urban	31,43	35,61	33,33	41,90
Forest	26,55	31,17	27,46	37,78
Agricultural land	29,75	36,53	33,46	40,80
bare lands	30,79	37,53	32,83	40,07

Source: l'auteur, 2021

En 1990, la température moyenne des milieux urbains était de "31,43 C°", alors qu'en 2020 elle atteindra "41,90 C°". Le calcul de la moyenne des valeurs de température pour chaque classe a révélé que les valeurs de température les plus basses ont été observées dans les corps forestiers avec "26,55 C°" en 1990 et "37,78 C°" en 2020.

Fig.4. Température moyenne à la surface du sol dans le groupement intercommunal de Guelma pour années correspondant à la classification de l'occupation du sol entre 1990 et 2020

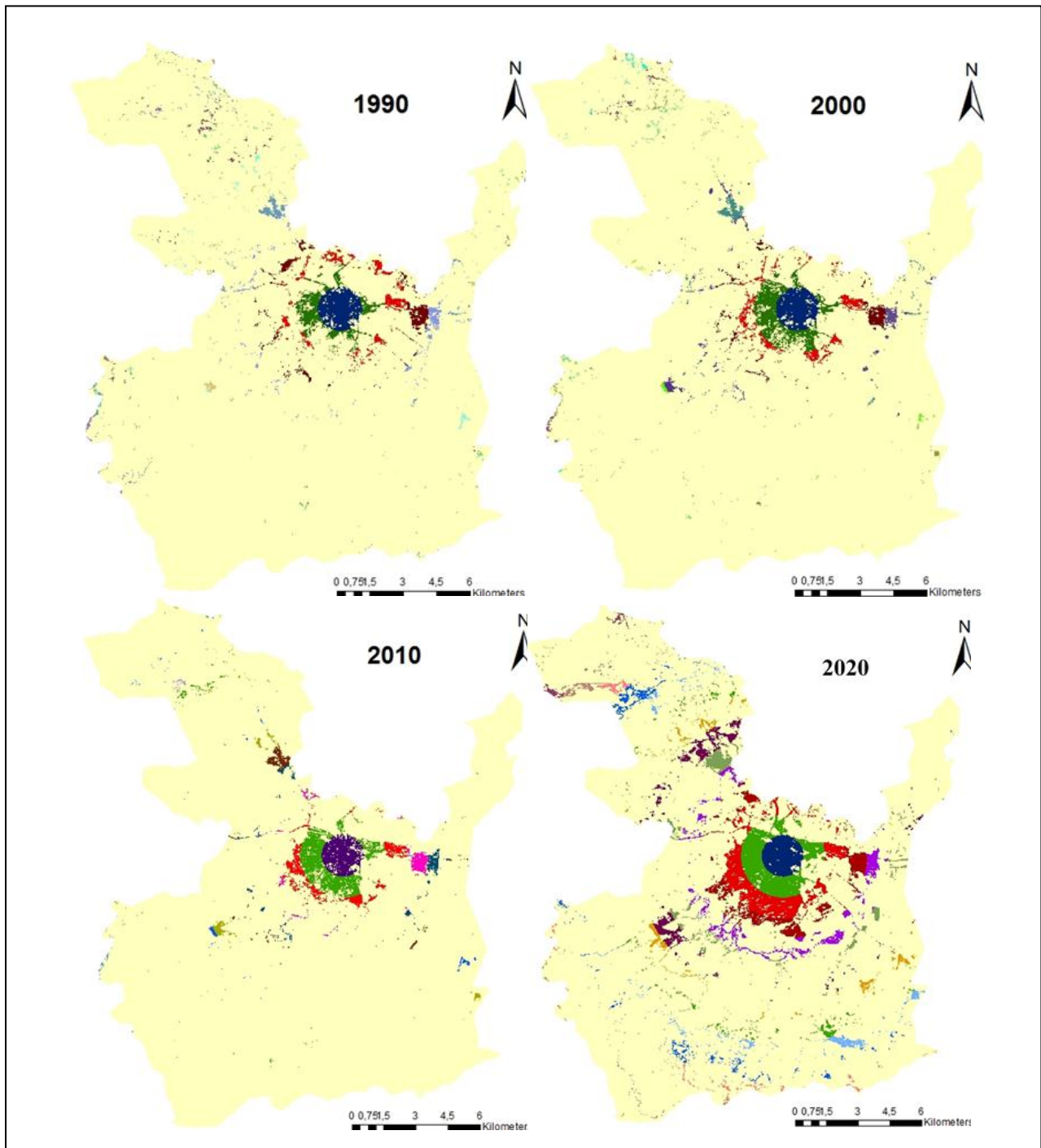


Source: l'auteur, 2021

3.2.2. Relation entre la densité urbaine et LST

Après la classification, des anneaux multi-tampons sont créés pour chaque distance de 1 km de 1 à 16 km du centre de Guelma vers l'extérieur. L'objectif principal de l'application de la méthode des anneaux multi-tampons est de déterminer les relations spatiales et temporelles. Certains modèles intéressants dans la distribution des terrains urbains à travers une variété de zones tampons peuvent être observés dans la figure n°5. Les différentes zones/anneaux ont incorporé diverses densités.

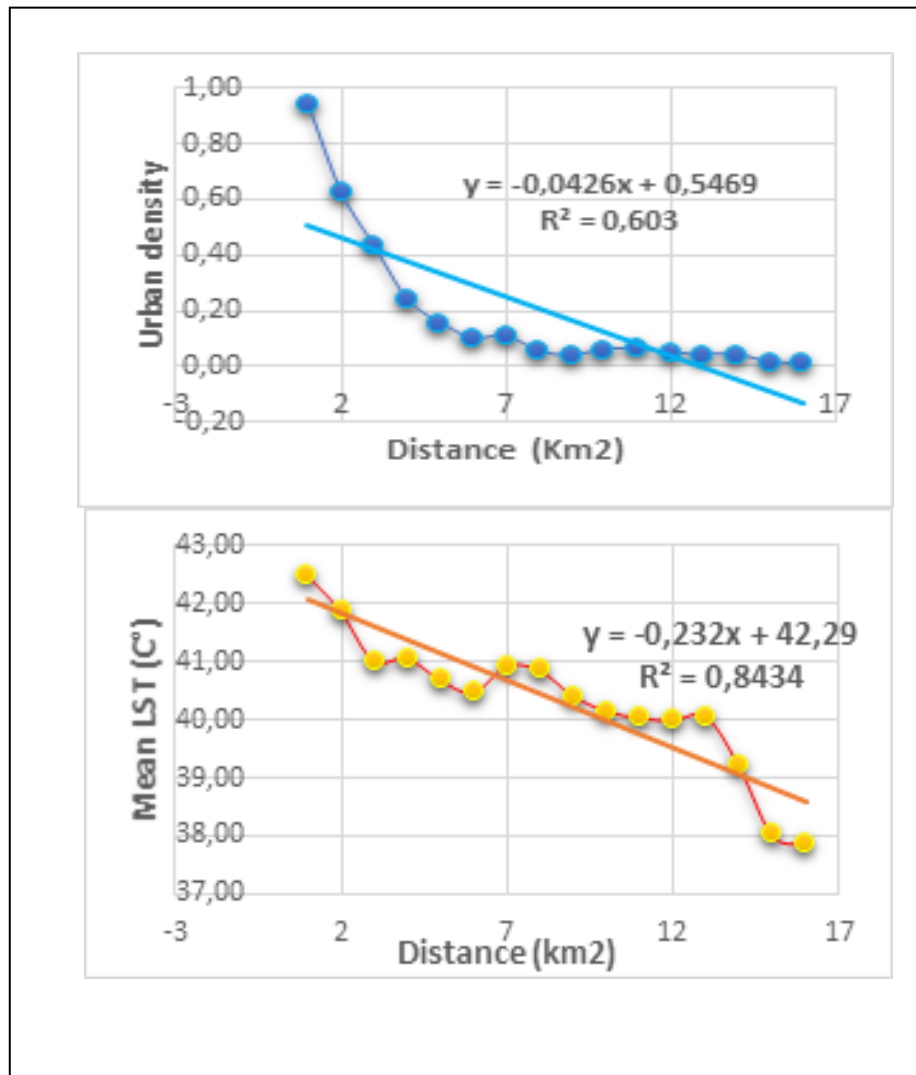
Fig.5. Analyse en anneau multi-tampon du groupement intercommunal de Guelma de 1990 à 2020



Source: l'auteur, 2021

Une analyse de modèle a été appliquée pour obtenir la relation entre le déplacement de la densité urbaine et la LST moyenne dans le groupement intercommunal de Guelma. Les résultats sont présentés dans la figure N° 6.

Fig.6. Analyse des tendances de (A) la densité urbaine moyenne, (B) la température moyenne en fonction de la distance par rapport au centre-ville de Guelma.



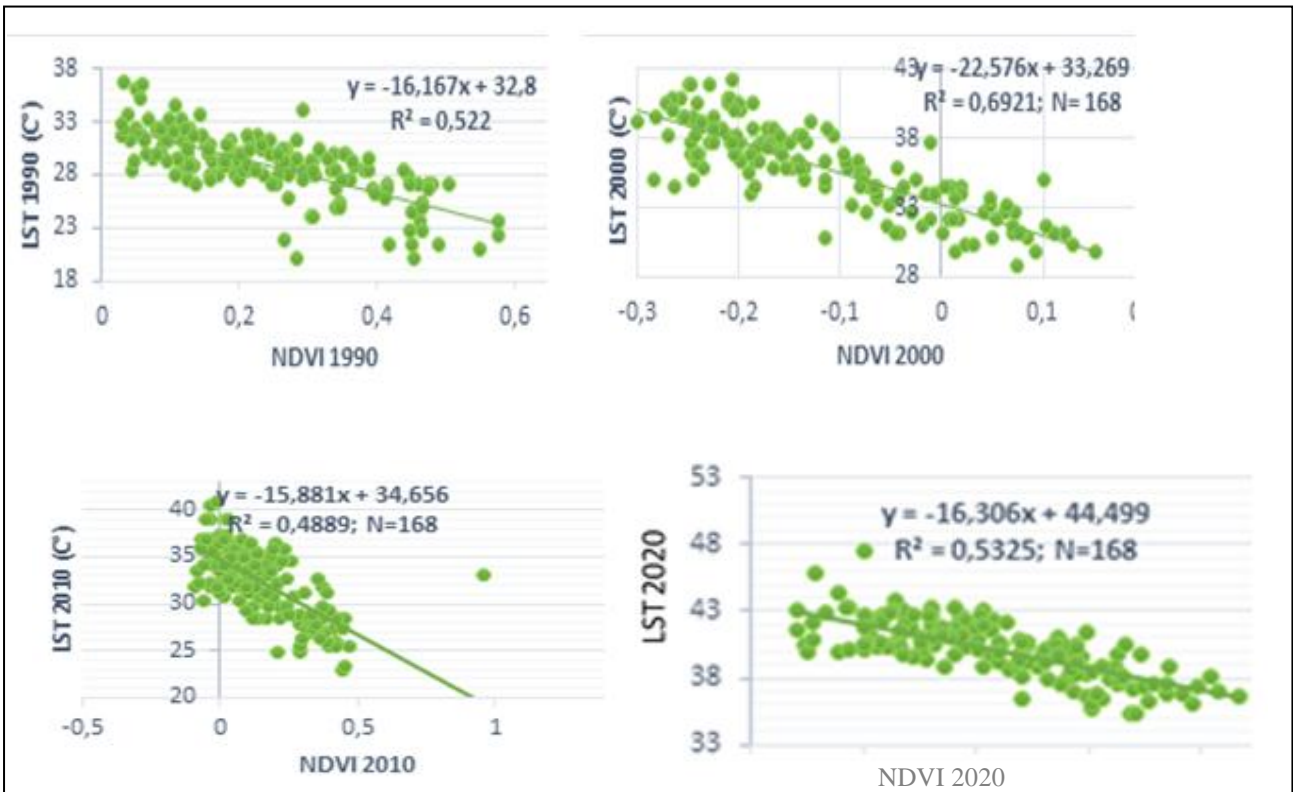
Source: l'auteur, 2021

Il est clair que dans les deux diagrammes, comme prévu, la densité dans le groupement intercommunal de Guelma en 2020 a tendance à diminuer vers l'extérieur à partir du centre. Il en est de même pour la LST moyenne. Cependant, il est difficile de valider la relation précise entre la densité urbaine et la LST par des mesures effectuées sur place, car l'émissivité peut être affectée par un certain nombre de facteurs tels que la composition de toutes les classes de couverture terrestre dans chaque pixel (Fonseka et al., 2019).

3.2.3. Relation entre NDVI ; NDBI et LST

Pour étudier la relation entre le NDBI, le NDVI et la température de la surface terrestre, 168 points d'échantillonnage collectés au hasard à partir des images LST, NDBI et NDVI ont été utilisés pour effectuer l'ajustement par régression, et les coefficients de corrélation de Pearson ont été calculés (Figure 07 et Figure 08).

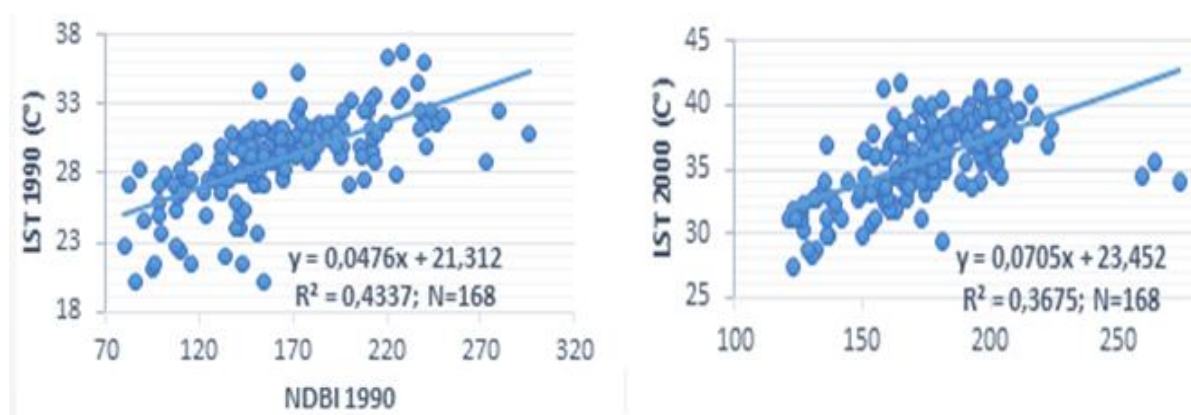
Fig.7. Diagrammes de 2D scatterplots des relations LST- NDVI de 1990 à 2020

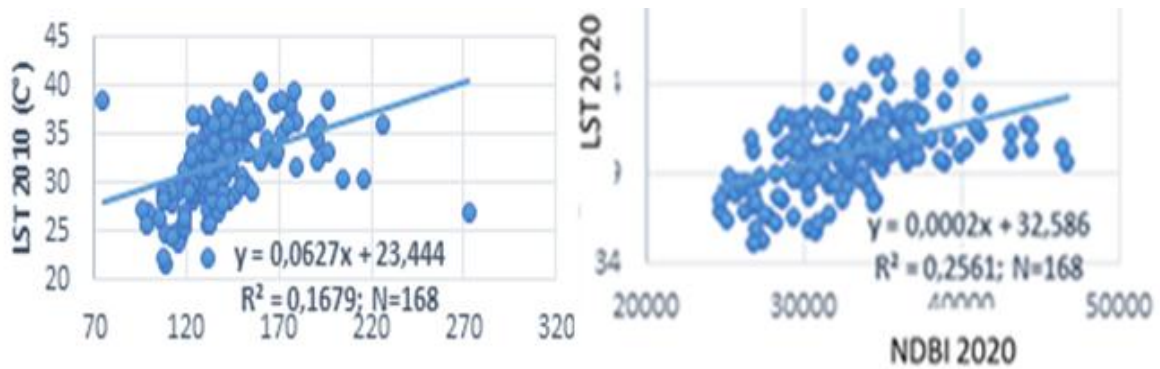


Source: l'auteur, 2021

Dans la figure 7, le NDVI est corrélé négativement avec la LST. Par conséquent, les coefficients de corrélation de Pearson sont obtenus comme (-0,722 ; -0,831 ; -0,698 ; et -0,729) respectivement avec (1990 ; 2000 ; 2010 ; et 2020). Cela indique clairement que la température de la surface terrestre est fortement et négativement corrélée avec le NDVI. Par conséquent, les zones les moins végétalisées connaissent des températures de surface plus élevées. D'autre part, il existe une forte corrélation positive entre le NDBI et la LST (Figure 8).

Fig.8. Diagrammes de 2D scatterplots des relations LST- NDBI de 1990 à 2020





Source: l'auteur, 2021

Les coefficients de corrélation de Pearson obtenus sont (0,652 ; 0,605 ; 0,408 et 0,505) respectivement avec (1990 ; 2000 ; 2010 et 2020). La corrélation moyenne et faible entre le LST et le NDBI en 2000 ; 2010 et 2019 peut être liée au LST plus élevé. D'un autre point de vue, cela montre que les relations entre la LST et les NDVI et NDBI sont plus fortes lorsque la surface est couverte d'une végétation plus importante comme en 1990, ou lorsque les NDVI et NDBI sont limités. Par conséquent, NDVI et NDBI ne sont pas des indices appropriés pour étudier la LST dans les villes qui sont entourées d'un sol stérile, qui absorbe une grande quantité de radiations solaires. Mathew et al. 2018, ont également démontré l'inefficacité de NDBI dans les études sur l'intensité de l'îlot de chaleur urbain de surface, car les sols nus et les couvertures végétales sèches présentent une réflexion spectrale élevée dans la bande SWIR, ce qui entraîne des valeurs NDBI positives pour les plantes sèches et des valeurs NDBI faibles pour les sols stériles par rapport aux zones bâties.

Conclusion

L'étude met en évidence le changement de LULC au cours des trois dernières décennies dans le groupement intercommunal de Guelma. Une approche intégrée de télédétection et de SIG a été utilisée avec succès pour déterminer les relations entre LCLU et LST et entre LST, NDVI et NDBI en utilisant des images satellites.

Les résultats indiquent que les zones urbaines/construites de la ville de Guelma se sont étendues de manière spectaculaire, tandis que les terres agricoles et les forêts ont diminué. Cette diminution était également évidente entre 2010 et 2020, lorsque la zone végétalisée a encore diminué d'environ (15 % pour les terres agricoles et 3 % pour la forêt) de la superficie totale, a été convertie à d'autres utilisations des terres. Les changements de l'occupation des sols s'accompagnent de changements de la LST. Dans les années 1990 et 2020, avec la présence de végétation sur les terres agricoles, la température de la surface urbaine ou bâtie était la plus importante. Alors que les années 2000 et 2010 avec l'absence de végétation, les terres agricoles ; les terres nues et les zones bâties avaient presque la même température, ceci confirme le rôle de la végétation dans la diminution de la température de la surface terrestre. En outre, les différences de température entre les zones urbaines/bâties et les zones forestières se sont considérablement accrues. Par conséquent, l'abondance de la végétation était un facteur important influençant la température de surface terrestre.

Dans les SIG, l'approche de l'anneau multi-tampon est reconnue comme une méthode simple d'analyse spatiale mais nos résultats montrent qu'elle peut être utilisée efficacement pour analyser des relations complexes telles que celles entre la densité urbaine et la température. Par conséquent, l'application de la télédétection et du SIG s'est avérée être un moyen efficace de détecter l'occupation des sols et de déterminer son effet sur la TCL.

Dans cette étude, il existe une forte corrélation négative entre NDVI et LST. La comparaison de la température de la surface terrestre avec le NDVI montre que les sommets de la LST sont généralement les zones sans couverture végétale. Plus la valeur du NDVI est élevée, plus la LST est faible. De plus, l'indice NDBI peut décrire efficacement la LST. Ils étaient positivement corrélés

pour toutes les années.

Finalement, nous pouvons conclure, la solution du regroupement intercommunal et le choix de la commune voisine de Guelma de reporter la croissance de la ville mère, ont prouvé que ce choix était discutable et ne pouvait pas répondre aux exigences de l'urbanisation à long terme. Sachant que le processus actuel d'urbanisation conduit à une conurbation dont la principale conséquence est le rétrécissement de l'espace agricole. Une solution alternative à l'urbanisation de la commune de Guelma doit être recherchée en dehors du regroupement vers les autres communes.

Bibliographie :

1. Aboelnour M, Engel BA, (2018). Application of remote sensing techniques and geographic information systems to analyze land surface temperature in response to land use/land cover change in Greater Cairo Region, Egypt. *Journal of Geographic Information System* 10(01): 57.
2. AOUISSI, A. (2010). Microbiologie et physico-chimie de l'eau des puits et des sources de la région de Guelma (Nord-est de l'Algérie). Thèse de Magistère, Université 8 Mai 1945. Guelma, Algerie.
3. Benenson, W.; Harris, J.W.; Stöcker, H.; Lutz, H., (2002). *Handbook of Physics*; Springer: New York, NY, USA.
4. Carleton, T.A.; Hsiang, S.M., (2016). Social and economic impacts of climate. *Science* , 353.
5. Chander, G., Markham, B., (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41 (11), 2674-2677.
6. Chander, G., Markham, B.L., Helder, D.L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), pp. 893-903.
7. Das, N., Mondal, P., Sutradhar, S., & Ghosh, R. (2020). Assessment of variation of land use/land cover and its impact on land surface temperature of Asansol subdivision. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*.
8. Ferrelli, F., Huamantincó Cisneros, M. A., Delgado, A. L., & Piccolo, M. C. (2018). Spatial and temporal analysis of the LST-NDVI relationship for the study of land cover changes and their contribution to urban planning in Monte Hermoso, Argentina.
9. Fonseka, H., Zhang, H., Sun, Y., Su, H., & Lin., H. L. (2019). Urbanization and Its Impacts on Land Surface Temperature in Colombo Metropolitan Area, Sri Lanka, from 1988 to 2016. *Remote sensing*.
10. Gogoi, P. P., Vinoj, V., Swain, D., Roberts, G., Dash, J., & Tripathy, S. (2019). Land use and land cover change effect on surface temperature over Eastern India. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.
11. Gogoi, P. P., Vinoj, V., Swain, D., Roberts, G., Dash, J., & Tripathy, S. (2019). Land use and land cover change effect on surface temperature over Eastern India. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.

12. Gong, A.D.; Chen, Y.H.; Li, J.; Gong, H.L.; Li, X.J., (2006). Spatial distribution patterns of the urban heat island based on remote sensing images: A case study in Beijing, China. In Proceedings of the 2006 IEEE International Geoscience Remote Sensing Symposium, Denver, CO, USA, 31 July–4 August.
13. Green, K., D. Kempka, and L. Lackey, (1994). Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 60:331–337.
14. Grimmond, S., (2007). Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *Geogr. J.* 173 (1), 83–88.
15. Guechi I., Alkama Dj . (2017). Apport de la télédétection pour la cartographie diachronique de l'étalement urbain et l'analyse morphologique de l'agglomération de Guelma. *Courrier du Savoir – N°24*, pp.73-80
16. Guha, S., Govil, H., Dey, A., & Gill, N. (2018). Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 667-678.
17. Imhoff, M.L., Zhang, P., Wolfe, R.E., Bounoua, L., (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sens. Environ.* 114 (3), 504–513.
18. Jensen, J.R., (1995). *Introductory Digital Image Processing a Remote Sensing Perspective*, Second Edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 316 p.
19. Junxiang, L., Conghe, S., Lu, C., Feige, Z., Xianlei, M., Jianguo, W., (2011). Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: a case study of Shanghai, China. *Remote Sens. Environ.* 115, 3249–3263.
20. Kam, T.S., (1995). Integrating GIS and remote sensing techniques for urban land-cover and land-use analysis, *Geocarto International*, 10:39–49.
21. Kikegawa, Y., Genchi, Y., Yoshikado, H., Kondo, H., (2003). Development of a numerical simulation system toward comprehensive assessments of urban warming countermeasures including their impacts upon the urban buildings' energy-demands. *Appl. Energy* 76 (4), 449–466.
22. Kumar, K.S., Bhaskar, P.U., Padmakumari, K., (2012). Estimation of land surface temperature to study urban heat island effect using LANDSAT ETM+ image. *Int. J. Eng. Sci. Technol.* 4 (2), 771–778.
23. Landsat, N.A.S.A. (7). *Science Data Users Handbook*. 2011-03-11. http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/inst_cal/prog_sect8_2.html . Accessed 18 October 2015.
24. Landsat, N.A.S.A. (8). *Science Data Users Handbook*. 2015-june. <http://landsat.usgs.gov/l8handbook.php> . Accessed 23 September 2015.
25. Loveland, T.R., T.L. Sohl, S.V. Stehman, A.L. Gallant, K.L. Saylor, and D.E. Napton, (2002). A strategy for estimating the rates of recent United States land-cover changes, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68(10):1091–1099.

26. Mathew, A.; Khandelwal, S.; Kaul, N., (2018). Spatio-temporal variations of surface temperatures of Ahmedabad city and its relationship with vegetation and urbanization parameters as indicators of surface temperatures. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.*
27. Meineke, E.K., Dunn, R.R., Frank, S.D., (2014). Early pest development and loss of biological control are associated with urban warming. *Biol. Lett.* 10 (11), 20140586.
28. Mitchell, Bruce Coffyn., (2011). Urbanization and Land Surface Temperature in Pinellas County, Florida. Graduate Theses and Dissertations. <http://scholarcommons.usf.edu/etd/3250>
29. Myint, S.W., Wentz, E.A., Brazel, A.J., Quattrochi, D.A., (2013). The impact of distinct anthropogenic and vegetation features on urban warming. *Landscape Ecol.* 28 (5), 959–978.
30. Plocoste, T., Jacoby-Koaly, S., Molinié, J., Petit, R.H., (2014). Evidence of the effect of an urban heat island on air quality near a landfill. *Urban Clim.* 10, 745–757.
31. Quattrochi, D.A., Luvall, J.C., (1999). Thermal infrared remote sensing for analysis of landscape ecological processes: methods and applications. *Landscape Ecol.* 14 (6), 577–598.
32. Radhi, H., Fikry, F., Sharples, S., (2013). Impacts of urbanization on the thermal behavior of new built up environments: a scoping study of the urban heat island in Bahrain. *Landscape Urban Planning* 113, 47–61.
33. Rahman, M.T., (2016). Detection of land use/land cover changes and urban sprawl in al-khobar, Saudi Arabia: An analysis of multi-temporal remote sensing data. *Int. J. Geo Inf.*
34. Ridd, M.K., and J.J. Liu, (1998). A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment, *Remote Sensing of Environment*, 63:95–100.
35. Rizwan, A.M., Dennis, L.Y., Chunho, L.I.U., (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *J. Environ. Sci.* 20 (1), 120– 128.
36. Singh, A., (1989). Review article—Digital change detection techniques using remotely-sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, 10:989–1003.
37. Sohl, T.L., (1999). Change analysis in the United Arab Emirates: An investigation of techniques, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65(4):475–484.
38. Spence, M.; Annez, P.; Buckley, R. (2009). *Urbanization and Growth*; World Bank: Washington, DC, USA.
39. Tan, J., Yu, D., Li, Q., Tan, X., & Zhou, W. (2020). Spatial relationship between land-use/land-cover change and land surface temperature in the Dongting Lake area, China. *Scientific Reports*, 10(1), 1-9.
40. UNFPA (United Nations Population Fund), (2017). Urbanization. Retrieved February 12, 2017, from <http://www.unfpa.org/urbanization> .
41. USGS, 2014. Using the USGS Landsat 8 product. Retrieved December 11, 2014 from <https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>

42. Weng, Q., (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: methods, applications, and trends. *ISPRS J. Photogrammetry Remote Sens.* 64 (4), 335–344.
43. Weng, Q., Lu, D., Schubring, J., (2004). Estimation of land surface temperature vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sens. Environ.* 89 (4), 467–483.
44. Yang, X., and C.P. Lo, (2002). Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in Atlanta, Georgia metropolitan area, *International Journal of Remote Sensing*, 9:1775–1798.
45. Yuan, F., Bauer, M.E., (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sens. Environ.* 106 (3), 375–386.
46. Zhou, W., Qian, Y., Li, X., Li, W., Han, L., (2014). Relationships between land cover and the surface urban heat island: seasonal variability and effects of spatial and thematic resolution of land cover data on predicting land surface temperatures. *Landscape Ecol.* 29 (1), 153–167.