

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE

Departement d'architecture



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : métiers de la ville

Spécialité : Géomatique et Gestion du foncier

Par : CHERIF Billal – ZEGHDI Saif El Islem

Sujet

Impact du confinement du Covid 19 sur l'îlot de chaleur urbain
Cas d'étude wilaya d'Alger

Soutenu publiquement, le 29 /06 /2025, devant le jury composé de :

Mr KHATTABI Lahcen	MCB	Université de Tlemcen	Président
Mme GHAFfour Wafa	MCB	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mr.ALILI Abdessamad	Pr	Université de Tlemcen	Encadrant
Mme SELKA Imene	Architecte	Université de Tlemcen	Co-Encadrant

Année universitaire : 2024/2025

Remerciement

Avant tout, nous remercions DIEU le tout puissant pour nous avoir aidé à réaliser ce travail.

En premier lieu, nous tenons à remercier très chaleureusement notre encadrant et Co-encadrant professeur Pr. ALILI Abdessamad et enseignant Mme SELKA Imene, à la faculté de Technologie, université de Tlemcen, pour son aide fructueuse, de nous avoir aidé, orienter, conseiller et soutenir pendant toute la durée de ce travail.

Nous remercions aussi les membres du jury : Dr KHATTABI Lahcen et Dr GHAFFOUR Wafa d'avoir accepté d'examiner ce travail, et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Et enfin tous les enseignants qui nous ont suivi tout au long nos études.

Dédicaces

À nos très chers parents, leur amour, leur grande tendresse, leur compréhension et leur patience envers nous. Nous ne saurions jamais comment exprimer nos sentiments pour avoir veillé sur notre éducation, pour leur soutien moral et matériel, jamais nous ne pouvons les remercier assez de nous avoir donné le meilleur d'eux-mêmes.

À nos frères et sœurs.

À toute la famille.

À tous nos amis. Que nous remercions du fond du cœur pour sa patience avec nous durant ce mémoire.

À notre encadrant et Co-encadrant professeur Mr. ALILI Abdessamad et Mme SELKA Imene.

Nous vous souhaitons le bonheur.

Résumé

Cette recherche scientifique analyse l'impact de la pandémie de COVID-19 sur l'environnement thermique de la Wilaya d'Alger (2020-2021). Utilisant des données Landsat 8 et Landsat 9 et des indices comme la LST, UHI, UTFVI, NDVI, NDBI et NDBAL, l'étude compare les périodes pré-pandémiques, pandémique et postpandémique. Les résultats montrent une baisse significative de la LST et de l'intensité de l'îlot de chaleur urbain (ICU) durant les confinements, principalement due à la réduction des activités anthropiques. Des interactions réactions réversibles avec les indices de végétation et de bâti ont été observées. Cependant, un "rebond" thermique marqué a suivi la levée des restrictions, soulignant la sensibilité du climat urbain aux activités humaines et la nécessité de stratégies d'urbanisme durable pour une meilleure résilience thermique.

Mots clés : Covid19, wilaya d'Alger, environnement thermique urbain, • Îlot de Chaleur Urbain, confinement.

المخلص

تحلل هذه الدراسة العلمية تأثير جائحة كوفيد-19 على البيئة الحرارية لولاية الجزائر (2020-2021). باستخدام بيانات لاندسات 8 ولاندسات 9 ومؤشرات مثل درجة حرارة السطح (LST) ، الجزر الحرارية الحضرية (UHI) ، مؤشر التباين الحراري الحضري (UTFVI) ، المؤشر النباتي (NDVI) ، مؤشر البناء (NDBI) ومؤشر الأراضي الجرداء (NDBAL)، قارنت الدراسة الفترات ما قبل الجائحة وأثناءها وبعدها. أظهرت النتائج انخفاضًا ملحوظًا في درجة حرارة السطح وشدة الجزر الحرارية الحضرية أثناء فترات الإغلاق، ويعزى ذلك أساسًا إلى انخفاض الأنشطة البشرية. كما لوحظت تفاعلات عكسية مع مؤشرات الغطاء النباتي والمناطق المبنية. ومع ذلك، أعقب رفع القيود "ارتداد حراري" واضح، مما يسלט الضوء على حساسية المناخ الحضري للأنشطة البشرية وضرورة اعتماد استراتيجيات تخطيط حضري مستدام لتعزيز المرونة الحرارية .

الكلمات المفتاحية: كوفيد-19، ولاية الجزائر، البيئة الحرارية الحضرية، الجزر الحرارية الحضرية، الإغلاق.

Abstarct

This scientific study analyzes the impact of the COVID-19 pandemic on the thermal environment of Algiers Province (2020-2021). Using Landsat 8 and Landsat 9 data alongside indices such as Land Surface Temperature (LST), Urban Heat Island (UHI), Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI), and Normalized Difference Bare Land Index (NDBAL), the study compared pre-pandemic, pandemic, and post-pandemic periods. Results showed a significant decrease in land surface temperature and urban heat island intensity during lockdown periods, primarily attributed to reduced human activities. Reversible interactions with vegetation and built-up area indices were observed. However, a marked thermal "rebound" followed the lifting of restrictions, highlighting urban climate sensitivity to human activities and the necessity for sustainable urban planning strategies to enhance thermal resilience.

Keywords: Covid-19, Algiers Province, Urban Thermal Environment, Urban Heat Island, Lockdown.

Liste des abréviations

LST	Land Surface Temperature (Température de Surface Terrestre)
ICU	Îlot de Chaleur Urbain
UHI	Urban Heat Island (équivalent anglophone de ICU)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Indice de Végétation par Différence Normalisée)
NDBI	Normalized Difference Built-up Index (Indice de Bâti par Différence Normalisée)
NDBAL	Normalized Difference Bareness Index (Indice de Nudité par Différence Normalisée)
UTFVI	Urban Thermal Field Variation Index (Indice de Variation du Champ Thermique Urbain)
TIRS	Thermal Infrared Sensor (Capteur Infrarouge Thermique – Landsat)
OLI	Operational Land Imager (Imageur Terrestre Opérationnel – Landsat)
SWIR	Short Wave Infrared (Infrarouge à Ondes Courtes)
NIR	Near Infrared (Proche Infrarouge)
DN	Digital Number (Valeur numérique brute d'un pixel)
BT	Brightness Temperature (Température de Brillance)
PV	Proportion de Végétation
E	Émissivité de surface
ML	Multiplicative coefficient for radiance (Facteur multiplicatif de radiance)
AL	Additive coefficient for radiance (Terme additif de radiance)
MTL	Metadata file (Fichier de métadonnées de Landsat)
USGS	United States Geological Survey
NASA	National Aeronautics and Space Administration
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
GIS/SIG	Geographic Information System / Système d'Information Géographique
COVID-19	Coronavirus Disease 2019

Table des illustrations

Liste des figures

Figure 1 : Variation spatiale de la température de l'air le long d'une coupe transversale d'une zone urbanisée.	9
Figure 2 : Cycle journalier de l'ICU. (A) température de l'air urbaine et rurale. (B) taux de rafraîchissement urbain et rural. (C) l'amplitude de l'ICU.....	11
Figure 3 : Comparaison des composantes du bilan d'énergie (rayonnement net, flux de chaleur sensible et latent, stockage de chaleur) pour un jour d'été moyen à Vancouver (British Columbia), en zone rurale (haut) et en zone péri-urbaine (bas). Dans la colonne de gauche sont tracés les cycles diurnes des flux et à droite leur valeurs agrégées sur les heures de jour	12
Figure 4 : Exemples de facteurs de vue du ciel (Sky View Factor donc SVF en anglais) pris avec un objectif fish-eye à Curitiba au Brésil.	13
Figure 5 : Représentation schématique du phénomène de brise urbaine.	15
Figure 6 : Urban Boundary Layer et U Figure urban Canopy Layer.....	18
Figure 7: Divers albédos de la ville. Compris entre 0 et 1	19
Figure 8 : De gauche à droite : écoulement écrémant, d'interférence et de rugosité.....	20
Figure 9 Interface de logiciel ArcGIS	53
Figure 10 Image satellitaire	54
Figure 11 interface site USGS.com.....	60
Figure 12 interface site USGS.com	61
Figure 13 interface site USGS.com	61
Figure 14 interface site USGS.com	62
Figure 15 interface site USGS.com	62
Figure 16 interface site USGS.com	63
Figure 17 Plan de situation d'Alger	66
Figure 18 Interface Raster Calculator Arc GIS.....	76
Figure 19Interface Extract by Mask	76
Figure 20 :LAND SURFACE TEMPERATURE D'ALGER 2019.06.13	80
Figure 21 LAND SURFACE TEMPERATURE D'ALGER 2018.06.10	80
Figure 22 LAND SURFACE TEMPERATURE D'ALGER 2020.06.16	81
Figure 23 LAND SURFACE TEMPERATURE D'ALGER 2021.06.18	81
Figure 24 LAND SURFACE TEMPERATURE D'ALGER 2021.06.18	82
Figure 25 : LAND SURFACE TEMPERATURE D'ALGER 2023.06.16	82
Figure 26 Carte Graphique de LST.....	83
Figure 27 The urban heat island d'Alger 2018.06.10.....	85
Figure 28 The urban heat island d'Alger 2019.06.13.....	85
Figure 29The urban heat island d'Alger 2021.06.18.....	86
Figure 30 The urban heat island d'Alger 2020.06.15.....	86
Figure 31 The urban heat island d'Alger 2022.06.13.....	87
Figure 32 The urban heat island d'Alger 2023.06.16.....	87
Figure 33 Carte Graphique de UHI.....	87

Figure 34 The urban thermal field variation index d'Alger 2019.06.13	91
Figure 35 The urban thermal field variation index d'Alger 2018.06.10	91
Figure 36 The urban thermal field variation index d'Alger 2020.06.15	92
Figure 37 The urban thermal field variation index d'Alger 2021.06.18	92
Figure 38 The urban thermal field variation index d'Alger 2022.06.13	93
Figure 39 The urban thermal field variation index d'Alger 2023.06.16	93
Figure 40: carte cartographique DE UTFVI	93
Figure 41 Normalized difference bareness index2019	97
Figure 42 Normalized difference bareness index 2018	97
Figure 43 Normalized difference bareness index2020	98
Figure 44 Normalized difference bareness index2021	98
Figure 45 Normalized difference bareness index2023	99
Figure 46 Normalized difference bareness index2022	99
Figure 47 Carte Graphique DE NDBAL	99
Figure 48 Normalized difference built up index(NDBI) 2019	102
Figure 49 Normalized difference built up index(NDBI) 2018	102
Figure 50 Normalized difference built up index (NDBI) 2021	103
Figure 51 Normalized difference built up index (NDBI)2020	103
Figure 52 Normalized difference built up index (NDBI) 2023	104
Figure 53 Normalized difference built up index (NDBI) 2022	104
Figure 54 carte cartographique de NDBAL	104
Figure 55 Normalized difference vegetation index2018.....	107
Figure 56 Normalized difference vegetation index 2019.....	107
Figure 57 Normalized difference vegetation index2020.....	108
Figure 58 Normalized difference vegetation index2021.....	108
Figure 59 Normalized difference vegetation index2022.....	108
Figure 60 Normalized difference vegetation index2023.....	108
Figure 61: Ccart graphique DE NDVI.....	109
Figure 62 : corrélation entre NDBI et NDVI 2018	112
Figure 63 : corrélation entre NDBI et NDVI 2019	113
Figure 64 : corrélation entre NDBI et NDVI 2020	114
Figure 65 : corrélation entre NDBI ET NDVI 2021	114
Figure 66 : corrélation entre NDBI ET NDVI 2022	115
Figure 67 : corrélation entre NDBI ET NDVI 2023	116

Liste des tableaux

Tableau 1 :Les décrets et décisions prises par l'Algérie pendant la pandémie de Covid-19 ...	30
Tableau 2: Délimitations administratives de la Wilaya d'Alger	65
Tableau 3: Détails des données Landsat-8 OLI et TIRS utilisées pour l'estimation des schémas spatio-temporels spatiotemporelles d'Alger.....	67
Tableau 4: les valeurs de land surface temperaturecette étude d'images de la température de surface du sol à alger fournit des informations importantes sur les variations spatiales et temporelles de la température et met en évidence les défis environnementaux et	84
Tableau 5 : les valeurs de the urban heat island (UHI)	90
Tableau 6: De valeur the urban thermal field variation index	95
Tableau 7: les valeurs de Normalized difference bareness index	100
Tableau 8: de valeur de Normalized difference built up index	105
Tableau 9: les valeur de Normalized difference vegetation index	109

Table des matières

Introduction générale	1
1.L'objet de la recherche	1
2.Problème de recherche ou problématique	2
3.Hypothèses.....	3
4.Objectifs de la recherche.....	3
5.L'intérêt de la recherche.....	4
6.Méthodologie	4
7.Structure du mémoire.....	5
Chapitre I: L'Îlot de Chaleur Urbain : Phénomène, Causes et Enj eux	7
1. Description du phénomène.....	8
1.1 Définition de l'îlot de chaleur urbain.....	8
1.2 Historique d'ICU :	9
1.3 Les différents types d'ICU :.....	10
1.3.1 L'ICU surfacique :.....	10
1.3.2 Les ICU atmosphériques :.....	10
2 Les causes de l'îlot de chaleur urbain	11
3. Conséquences de l'îlot de chaleur urbain	16
4. L'îlot de fraîcheur urbain.....	16
4.1. Définition de l'îlot de fraîcheur urbain	16
5. Les conditions des îlots de chaleur urbains.....	17
5.1 Les facteurs naturels	17
5.1.1 Climatologie.....	17
5.1.2 Météorologie.....	17
5.1.3 Topographie	18
5.2 Les facteurs anthropiques.....	18
5.2.1 Urbanisation.....	18
5.2.2 Albédo	19
5.2.3 Pollution atmosphérique et rues canyons.....	20
5.2.4 Chauffage et climatisation.....	21
6. Les approches de modélisation de l'environnement thermique urbain :.....	21
6.1 les modèles de simulation numérique :	21

6.1.1. Echelle micro et locale :.....	22
7. L'approche d'observation des îlots de chaleur urbains de surface :	24
8. Conclusion de chapitre 01	26
Chapitre II : Impact des Confinements COVID-19 sur l'Îlot de Chaleur Urbain	27
1. Le confinement du COVID-19 en Algérie.....	29
1.2 Procédures légales et organisationnelles mises en œuvre en Algérie durant la pandémie de COVID-19 :	29
1.2.1 Déclaration de quarantaine et couvre-feu :	29
1.2.2. Suspension des activités économiques et sociales :	29
1.2.3. Restrictions des déplacements et voyages (Algérie Presse Service,2020).....	30
1.2.4 Mesures sanitaires préventives (Algérie Presse Service,2020).....	30
Décrets et décisions prises par l'Algérie pendant la pandémie de Covid-19	30
2. L'impact de la COVID-19 sur l'îlot de chaleur urbain :	32
2.1 Réduction de la Chaleur Anthropique (pendant les confinements stricts)	32
2.2 Amélioration de la Qualité de l'Air	33
3. État des recherches précédentes sur l'impact de la COVID-19 sur l'îlot de chaleur urbain :	35
3.1 Études de Cas en Asie du Sud-Est (Bangladesh, Indonésie, Vietnam)	36
Plusieurs études se sont concentrées sur l'Asie du Sud-Est, une région caractérisée par une urbanisation rapide et des climats souvent chauds et humides.	36
3.1.1 Bangladesh (Rahaman, M. et al.2022) :.....	36
Yogyakarta, Indonésie (Arrofiqoh, R. & Setyaningrum, T.2020) :	36
3.1.3 Ho Chi Minh Ville, Vietnam (Veettil, B.K. & Van, D.D.2022) :	37
3.1.4 Da Nang, Hue et Vinh, Vietnam (Veettil, B.K. et al.2022) :	38
3.2 Études de Cas en Inde	39
3.2.1 Kolkata (Sahani et al.2020) :	39
3.4.1 Europe et Amérique du Nord (.....	43
3.4.2 LST Diurne.....	44
3.4.5 Lien LST-Pollution.....	44
3.5 Synthèse Générale des Résultats de Toutes les Études :	44
Conclusion de chapitre 02	48
Chapitre III : : Matériel et Méthodes.....	49
1-Téledétection :	50
1.1-Définition :.....	50
1.2 Objectif de la téledétection	51
1.3 les applications de téledétection :.....	51

2 Matériel et méthode	51
2.1 La configuration de l'ordinateur utilisé	51
2.1.1 Matériel (Hardware).....	51
2.1.2 Matériel (Software).....	52
2.1.3- Logiciel ArcGIS :.....	52
2.2 Données utilisées :	53
2.2.1 Landsat 8 - 9 :	53
Données satellite optiques et thermiques à basse résolution de 30 m, acquises dans le monde entier. La collection comprend des données de 2013 à aujourd'hui. (web site up 42 docs).....	53
2.2.2 Produits de données	54
2.2.3 Caractéristiques.....	55
2.2.4 Données.....	55
2.2.5 Niveaux de traitement	56
2.2.6 Système	56
2.2.7 Données de bande	57
2.2.8 Référence géographique.....	57
2.2.9 Conditions	57
2.2.10 Intégration d'API.....	58
2.2 Les instruments de Landsat 8.....	58
2.2.1 Operational Land Imager (OLI):.....	58
2.2.2 Thermal Infrared Sensor (TIRS):.....	58
2.2.3 Les bandes spectrales	58
2.2.4 Les produits de données.....	59
2.3 Téléchargement des données de Landsat 8 en USGS	60
3. La zone d'étude	63
4 Les différents types d'étude ICU.....	67
5. Les indices de télédétection	68
5.1 Les indices de végétation	68
5.1.1 NDVI.....	68
5.2 Les indices paysagers.....	69
5.2.1 L'indice NDBI :	69
5.2.2 L'indice NDBal :	69
6. Calcul de la Température de Surface Terrestre (LST) :	69
6.1.1 Conversion en Radiance en Haut de l'Atmosphère (TOA)	71
6.1.2 Conversion en Température de Brilliance (BT) TOA	72
6.1.3 Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI)	73

6.1.4 Émissivité de Surface (LSE).....	73
6.1.5 Température de Surface Terrestre (LST).....	74
6.2 Notes Techniques	74
6.3 Synthèse du Flux de Travail.....	74
7 L'indice de variation du champ thermique urbain (UTFVI) :	74
8.The urban heat island (UHI):	75
9.La corrélation entre le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et le NDBI (Normalized Difference Built-up Index)	75
10Utilisation de Raster Calculator	76
11Méthode Via Extract by Mask (Spatial Analyst):.....	76
Conclusion de chapitre 03 :	77
Chapitre VI : Résultats et Discussion	78
1.Analyse et discussion de la température de surface terrestre en Algérie	80
2- The urban heat island (UHI)	84
Analyse Temporelle des Cartes (de 2018 à 2023).....	85
3 The urban thermal field variation index UTFVI	90
4Analyse et discussion des cartes : (NDBAL).....	96
5 Normalized difference built-up index(NDBI).....	101
6 Normalized difference vegetation index.....	106
6 3.Discussion.....	109
6 Analyse de la Relation entre NDBI et NDVI pour 2020 (dans le Contexte 2018-2023) :	111
7 La résultat de l'étude	116
Conclusion de chapitre 04	117
Conclusion générale	118
Bibliographie :	120
Annexes	126

Introduction générale

L'urbanisation croissante et l'artificialisation des sols ont profondément transformé les environnements urbains à l'échelle mondiale, engendrant des déséquilibres thermiques notables. Parmi les manifestations les plus significatives de ces transformations figure le phénomène de l'îlot de chaleur urbain (ICU), caractérisé par des températures plus élevées en ville par rapport à ses périphéries rurales. Ce phénomène, observé depuis plus de deux siècles (Howard, 1818), résulte d'une combinaison complexe de facteurs naturels, anthropiques, climatiques et morphologiques, et a des conséquences majeures sur la consommation énergétique, la qualité de l'air et le confort des citoyens.

La pandémie de COVID-19, qui a débuté fin 2019, a entraîné des mesures de confinement et des restrictions d'activités humaines sans précédent à l'échelle mondiale. Cette période singulière a offert une "expérience naturelle" unique pour observer les interactions entre les activités humaines et l'environnement. La réduction soudaine et massive du trafic routier, des émissions industrielles et de la consommation énergétique des bâtiments commerciaux durant les confinements a suscité un intérêt scientifique majeur quant à son impact potentiel sur l'intensité de l'ICU et la température de surface terrestre (LST). De nombreuses études (Rahaman et al.; Arrofiqoh & Setyaningrum; Veetil & Van; Sahani et al.; Jallu et al.; Kusak & Kucukali; Parida et al., cités dans "L'impact de la COVID-19 sur l'îlot de chaleur urbain OCR") se sont penchées sur cet effet dans diverses régions du monde, utilisant principalement la télédétection pour estimer les variations de LST. Cependant, l'ampleur de cet effet s'est révélée hétérogène, modulée par des facteurs locaux. Si l'impact des confinements sur l'ICU a été étudié globalement, une analyse détaillée et multi-indicielle pour des villes spécifiques comme Alger, avec une perspective temporelle incluant les phases pré-pandémique, pandémique et post-pandémique, reste un champ d'investigation pertinent pour affiner la compréhension de la résilience thermique urbaine.

1. L'objet de la recherche

La présente recherche se concentre sur l'analyse de l'impact de la pandémie de COVID-19 sur l'environnement thermique urbain de la Wilaya d'Alger, capitale de l'Algérie. Alger, en tant que pôle urbain majeur, cœur névralgique économique et démographique, présente des

caractéristiques propices à l'étude des ICU (Document "Chapitre 03 Matériel et méthodes - La zone d'étude"). L'étude porte sur une période s'étalant de 2018 à 2023, permettant d'analyser les conditions thermiques avant la pandémie (2018-2019), pendant les principales phases de confinement et de restrictions (2020-2021), et après la reprise progressive des activités (2022-2023). L'investigation s'appuie sur l'analyse de la température de surface terrestre (LST) et de plusieurs indices dérivés de données de télédétection, notamment l'indice de l'îlot de chaleur urbain (UHI), l'indice de variation du champ thermique urbain (UTFVI), l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), l'indice de bâti par différence normalisée (NDBI) et l'indice de nudité par différence normalisée (NDBAL).

2.Problème de recherche ou problématique

Le constat initial est double : d'une part, les ICU constituent un problème environnemental et sanitaire croissant dans les grandes métropoles comme Alger, exacerbé par l'urbanisation continue. D'autre part, la pandémie de COVID-19 a provoqué une modification drastique et temporaire des activités anthropiques, principales contributrices à la chaleur urbaine. De nombreuses études ont suggéré une baisse de l'ICU pendant les confinements à l'échelle globale ou dans certaines villes. Toutefois, l'ampleur de cette baisse, sa variabilité spatiale au sein d'une même agglomération, et surtout la dynamique de "rebond" thermique après la levée des restrictions, ainsi que la corrélation de ces variations thermiques avec d'autres indicateurs environnementaux (végétation, bâti, nudité du sol) pour une ville comme Alger, nécessitent une investigation approfondie.

L'absence d'une quantification précise et d'une analyse multi-indicielle de l'évolution de l'environnement thermique d'Alger sur l'ensemble du cycle pandémique (avant, pendant, après) constitue une lacune. Comprendre comment une perturbation majeure comme la pandémie a affecté l'ICU peut fournir des enseignements précieux sur la sensibilité du climat urbain aux activités humaines et sur les leviers potentiels pour des stratégies d'atténuation.

Cela conduit à la **question de recherche principale** suivante :

Dans quelle mesure la pandémie de COVID-19 et les mesures restrictives associées ont-elles modifié de manière quantifiable la température de surface terrestre (LST) et l'intensité de l'îlot de chaleur urbain (ICU) dans la Wilaya d'Alger entre 2018 et 2023, et comment ces variations se manifestent-elles à travers différents indices environnementaux télédétections ?

3.Hypothèses

Sur la base de la revue de littérature (Document "L'impact de la COVID-19 sur l'îlot de chaleur urbain OCR") et des constats généraux sur la relation entre activité humaine et chaleur urbaine, nous formulons les hypothèses suivantes :

1. **H1** : Les périodes de confinement strict liées à la pandémie de COVID-19 ont entraîné une diminution de la température de surface terrestre (LST) moyenne et de l'intensité de l'îlot de chaleur urbain (UHI/UTFVI) dans la Wilaya d'Alger, en raison de la réduction des activités anthropiques (trafic, industries, consommation énergétique commerciale).
2. **H2** : Les variations de LST et d'ICU pendant la période pandémique sont corrélées négativement avec l'indice de végétation (NDVI) et positivement avec les indices de bâti (NDBI) et de nudité du sol (NDBAL), ces derniers pouvant eux-mêmes avoir été affectés par la pause ou la reprise des activités de construction ou d'aménagement.

4.Objectifs de la recherche

Pour répondre à notre problématique et tester nos hypothèses, cette recherche vise les objectifs suivants :

1. Analyser et quantifier l'évolution spatio-temporelle de la température de surface terrestre (LST) dans la Wilaya d'Alger pour les années 2018 à 2023.
2. Calculer et cartographier l'intensité de l'îlot de chaleur urbain (UHI) et l'indice de variation du champ thermique urbain (UTFVI) pour Alger sur la même période, afin d'évaluer l'impact des phases pré-pandémique, pandémique et post-pandémique.
3. Dériver et analyser les indices de végétation (NDVI), de bâti (NDBI) et de nudité du sol (NDBAL) pour la zone d'étude et examiner leurs relations potentielles avec les variations thermiques observées.
4. Comparer les caractéristiques thermiques urbaines et les valeurs des indices entre les différentes périodes (avant, pendant, et après COVID-19) pour évaluer l'ampleur des changements et la dynamique de récupération thermique.

5. Discuter les implications des résultats pour la compréhension de la sensibilité du climat urbain d'Alger aux activités humaines et pour d'éventuelles stratégies d'urbanisme durable.

5.L'intérêt de la recherche

Cette recherche présente un intérêt à plusieurs niveaux :

- **Scientifique** : Elle contribue à l'enrichissement des connaissances sur l'impact des perturbations anthropiques majeures, telles que les confinements pandémiques, sur le microclimat urbain. Elle fournit une étude de cas spécifique pour Alger, une grande métropole nord-africaine, complétant ainsi les études menées dans d'autres contextes géographiques. L'approche multi-indicielle permet une analyse plus fine des facteurs influençant les variations thermiques.
- **Méthodologique** : Elle illustre l'application de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour le suivi environnemental urbain et l'évaluation des ICU, des techniques particulièrement pertinentes pour les zones où les données au sol sont limitées.
- **Sociétal et Pratique** : Les résultats peuvent éclairer les décideurs et les urbanistes sur la sensibilité de l'environnement thermique urbain aux activités humaines. Cette "expérience naturelle" peut souligner l'importance des stratégies d'urbanisme durable (promotion des espaces verts, matériaux de construction adaptés, réduction du trafic) pour atténuer les ICU et améliorer la résilience des villes face aux défis climatiques futurs et aux vagues de chaleur.

6.Méthodologie

Pour atteindre les objectifs fixés, cette étude adoptera une approche quantitative basée sur l'analyse de données de télédétection. La méthodologie s'articulera autour des étapes suivantes (détaillées dans le Document "Chapitre 03 Matériel et méthodes") :

1. **Collecte de données** : Acquisition d'images satellitaires Landsat 8 (OLI/TIRS) pour la Wilaya d'Alger, couvrant la période de juin des années 2018 à 2023, en privilégiant des scènes avec une couverture nuageuse minimale.
2. **Prétraitement des images** : Corrections radiométriques et atmosphériques si nécessaires (bien que l'utilisation de produits de niveau 2 minimise ce besoin).

3. **Calcul de la LST** : Application d'algorithmes reconnus pour l'estimation de la LST à partir des bandes thermiques de Landsat 8, impliquant la conversion en radiance, puis en température de brillance, et enfin la correction par l'émissivité de surface.
4. **Dérivation des indices** :
 - Calcul du NDVI à partir des bandes rouge et proche infrarouge.
 - Calcul du NDBI à partir des bandes proche infrarouge et infrarouge à ondes courtes.
 - Calcul du NDBAL à partir des bandes infrarouge à ondes courtes et thermique.
 - Calcul de l'UHI (en comparant les LST des zones urbaines et rurales ou par normalisation) et de l'UTFVI.
5. **Analyse spatio-temporelle** : Cartographie des paramètres et indices pour chaque date, analyse statistique des variations (moyennes, minimales, maximales), et comparaison entre les différentes périodes (pré-COVID, pendant COVID, post-COVID) à l'aide du logiciel ArcGIS.

7. Structure du mémoire

Ce mémoire sera structuré en plusieurs chapitres afin de présenter de manière claire et logique la démarche et les résultats de la recherche :

- **Chapitre 1 : L'Îlot de Chaleur Urbain : Phénomène, Causes et Enjeux** (le présent chapitre) qui expose le contexte, **Genèse** et Caractérisation, Facteurs, Conséquences et Solutions face aux Îlots de Chaleur Urbains.
- **Chapitre 2 : Impact des Confinements COVID-19 sur l'Îlot de Chaleur Urbain : État des Lieux Mondial** qui présentera les concepts clés relatifs à l'îlot de chaleur urbain, à l'impact des activités humaines sur l'environnement thermique, aux effets des confinements COVID-19 observés ailleurs, et aux principes de la télédétection appliquée à ces études.
- **Chapitre 3 : Matériel et Méthodes** qui décrira en détail la zone d'étude (Wilaya d'Alger), les données satellitaires utilisées, les logiciels, et les étapes méthodologiques suivies pour le traitement des images et le calcul des différents indicateurs thermiques et environnementaux.

- **Chapitre 4 : Résultats et Discussion** qui présentera les cartes, graphiques et analyses statistiques issues des traitements. Cette section analysera les variations spatio-temporelles de la LST, de l'ICU et des autres indices, en discutant leur signification par rapport aux périodes avant, pendant et après la pandémie de COVID-19, et en lien avec les hypothèses de recherche.

Chapitre I:
L'Îlot de Chaleur Urbain : Phénomène, Causes et
Enjeux

L'urbanisation croissante et l'artificialisation des sols ont profondément transformé les environnements urbains, générant des déséquilibres thermiques marqués entre les zones urbaines et rurales. Parmi les manifestations les plus notables de ces changements figure le phénomène des îlots de chaleur urbains (ICU), caractérisé par une élévation significative de la température en ville par rapport à ses périphéries. Ce phénomène, observé depuis plus de deux siècles, résulte d'une combinaison complexe de facteurs naturels, anthropiques, climatiques et morphologiques. À l'inverse, certaines pratiques d'aménagement permettent de créer des îlots de fraîcheur urbains (IFU), jouant un rôle crucial dans l'atténuation des ICU et l'amélioration de la qualité de vie en milieu urbain. Ce document se propose d'examiner en détail les mécanismes de formation des ICU, leurs impacts, ainsi que les solutions durables pour les contrer, notamment à travers l'aménagement urbain et l'usage de matériaux de construction durables.

1. Description du phénomène

1.1 Définition de l'îlot de chaleur urbain

La notion de « climat spécifiquement urbain » a été établie pour la première fois par Luke Howard il y a plus d'un siècle (Howard, 1818), à la suite d'une étude scientifique sur la température de l'air à Londres et dans ses environs. Howard a constaté que les zones urbaines sont soumises à un microclimat particulier, caractérisé par des températures souvent plus élevées que dans les zones rurales. Ce phénomène est aujourd'hui désigné sous le nom d'îlot de chaleur urbain (ICU). Le profil de température présenté dans la figure (1) illustre cette distribution généralisée de la température de l'air près de la surface.

Considéré comme la manifestation climatique la plus connue de l'urbanisation, l'ICU se définit, selon (Voogt, J.A., and ; Oke, T.R., 2003)¹, par l'excès de chaleur de l'atmosphère urbaine par rapport à l'environnement rural. Ces auteurs notent que l'intensité de l'ICU peut varier de 2 °C à 12 °C, en fonction de facteurs tels que la taille de la ville et sa densité de population.

¹ Voogt, J.A., and Oke, T.R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment* 86, 370–384.

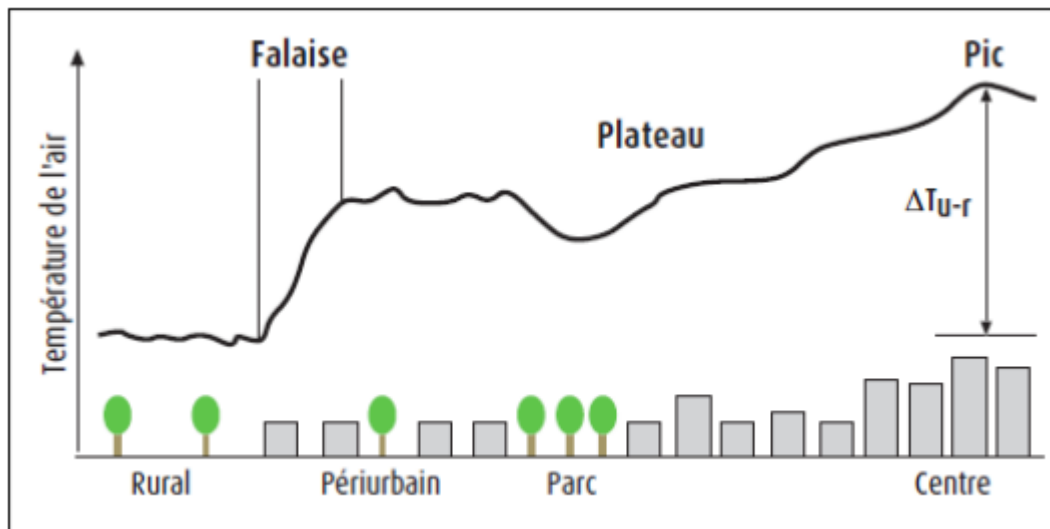


Figure 1 : Variation spatiale de la température de l'air le long d'une coupe transversale d'une zone urbanisée. ²

1.2 Historique d'ICU :

Le phénomène des îlots de chaleur urbains (ICU) est bien antérieur à la prise de conscience moderne des changements climatiques. Dès le XIXe siècle, les fondements de la climatologie urbaine ont été posés à Londres, alors l'une des villes les plus peuplées au monde. C'est dans ce contexte que les premiers outils et procédures de mesure du climat urbain ont été développés.

C'est à Luke Howard que l'on attribue la première observation documentée de ce phénomène. Sans encore le nommer « îlot de chaleur urbain », il a constaté que la ville de Londres, en raison de ses infrastructures, de sa densité de population et de la pollution, retenait davantage de chaleur que la campagne environnante. À cette époque, le concept se limitait à la simple description d'une différence de température.

Bien que l'origine exacte du terme « ICU » reste incertaine, les climatologues ont, dans la continuité des travaux pionniers de Howard, constamment approfondi l'étude du climat urbain. Leur compréhension du phénomène s'est affinée grâce au perfectionnement des

² Pigeon, G., Lemonsu, A., Masson, V., and Hidalgo, J. (2008). De l'observation du microclimat urbain à la modélisation intégrée de la ville. *Météorologie* page 40

modèles climatiques, à l'évolution des instruments de mesure et à la disponibilité de nouvelles méthodes d'analyse.

Bien que l'existence de l'ICU soit documentée depuis près de deux siècles, le phénomène a bénéficié d'une attention médiatique croissante au cours de la dernière décennie. Cet engouement récent peut être attribué à la multiplication des catastrophes climatiques, telles que les vagues de chaleur extrêmes vécues dans de nombreuses métropoles, et à la prise de conscience que de tels événements sont appelés à se reproduire.

1.3 Les différents types d'ICU :

Il existe différents types d'îlots de chaleur urbains (ICU) qui peuvent être distingués par leurs échelles (spatiales et temporelles), les processus à l'origine de leur formation, ou leurs méthodes d'investigation. La chaleur urbaine est généralement mesurée comme un phénomène de surface ou un phénomène atmosphérique (Fernando, 2012; Stewart, 2011).

1.3.1 L'ICU surfacique :

L'îlot de chaleur urbain de surface (ICUs) correspond au réchauffement des surfaces elles-mêmes. Il est défini par la température de ces surfaces, laquelle est mesurée par télédétection en captant le rayonnement infrarouge thermique qu'elles émettent. L'intensité de cet ICU de surface étant directement liée à l'ensoleillement, son ampleur — qui représente l'écart de température entre les matériaux urbains et ruraux — atteint son maximum pendant la journée.

1.3.2 Les ICU atmosphériques :

L'îlot de chaleur atmosphérique correspond au réchauffement de l'air au-dessus de la surface. Selon Oke (1976)³, on en distingue deux types.

Le premier type se forme au sein de la couche de canopée urbaine et résulte de l'échange de chaleur entre les surfaces et le volume d'air ambiant. Son amplitude, notée $\Delta T(u-r)$, est la plus documentée dans la littérature. Elle se définit comme la différence de température de l'air entre la ville et les zones rurales périphériques. Cette différence est plus marquée la nuit, lorsque la chaleur emmagasinée par les structures urbaines durant la journée est restituée à

³ Oke, T.R. (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere* 14, 268–277

l'atmosphère. Le profil des variations diurnes et nocturnes de l'intensité de cet ICU est illustré à la figure 2.

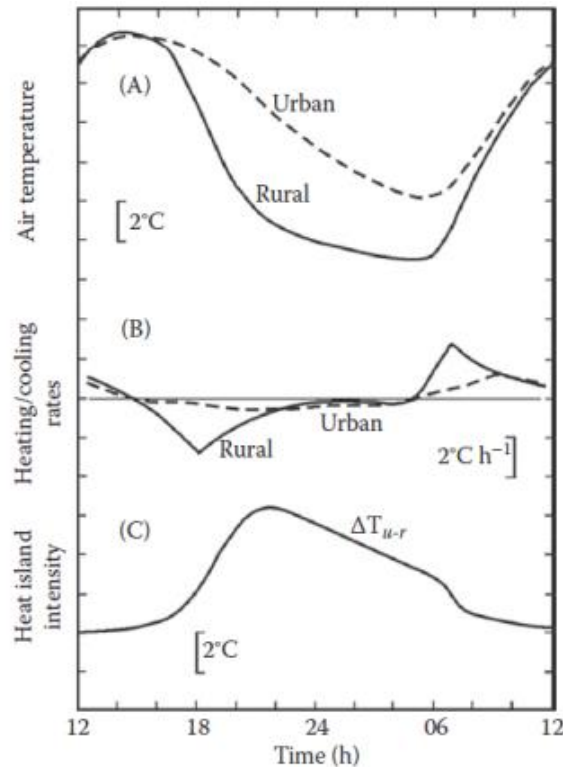


Figure 2 : Cycle journalier de l'ICU. (A) température de l'air urbaine et rurale. (B) taux de rafraîchissement urbain et rural. (C) l'amplitude de l'ICU.⁴

Le deuxième type d'ICU concerne les variations de température à l'échelle de la couche limite urbaine. Dans des conditions de vent régional faible, il peut former un dôme d'air chaud au-dessus de l'agglomération (Leconte, 2014)⁵. Néanmoins, cet ICU de haute altitude a été moins étudié que celui de la canopée, en raison des difficultés techniques inhérentes à la mesure des températures à de grandes hauteurs.

2 Les causes de l'îlot de chaleur urbain

La différence de température entre la ville et la campagne environnante s'explique principalement par le remplacement des sols perméables et végétalisés par des matériaux de

⁴ Fernando, H.J. (2012). Handbook of Environmental Fluid Dynamics, Volume Two: Systems, Pollution, Modeling, and Measurements (Crc Press).

⁵ Leconte, F., Bouyer, J., Claverie, R., and Pétrissans, M. (2015b). Using Local Climate Zone scheme for UHI assessment: Evaluation of the method using mobile measurements. Building and Environment 83, 39–49

construction imperméables. L'analyse comparative des bilans énergétiques des surfaces rurales et urbaines est essentielle pour comprendre la formation de ce phénomène.

Pour une surface rurale, le bilan énergétique se compose du rayonnement net (Q^*), du flux de chaleur sensible (QH), du flux de chaleur latente (QE), du stockage de chaleur dans le sol (QS) et de l'advection (QA).

Oke (1988)⁶ a adapté ce bilan pour le contexte urbain. Le modèle urbain reprend les mêmes composantes et y ajoute un flux de chaleur anthropique (QF), qui représente la chaleur dégagée par les activités humaines telles que le trafic routier, l'industrie ou encore le chauffage et la climatisation des bâtiments.

Ainsi, la formation de l'ICU résulte non seulement de ce flux de chaleur anthropique, mais aussi d'une répartition différente de l'énergie entre les flux de chaleur sensible, latente et de stockage.

La figure.3⁷ donne un exemple de ce phénomène pour un jour moyen d'été à Vancouver.

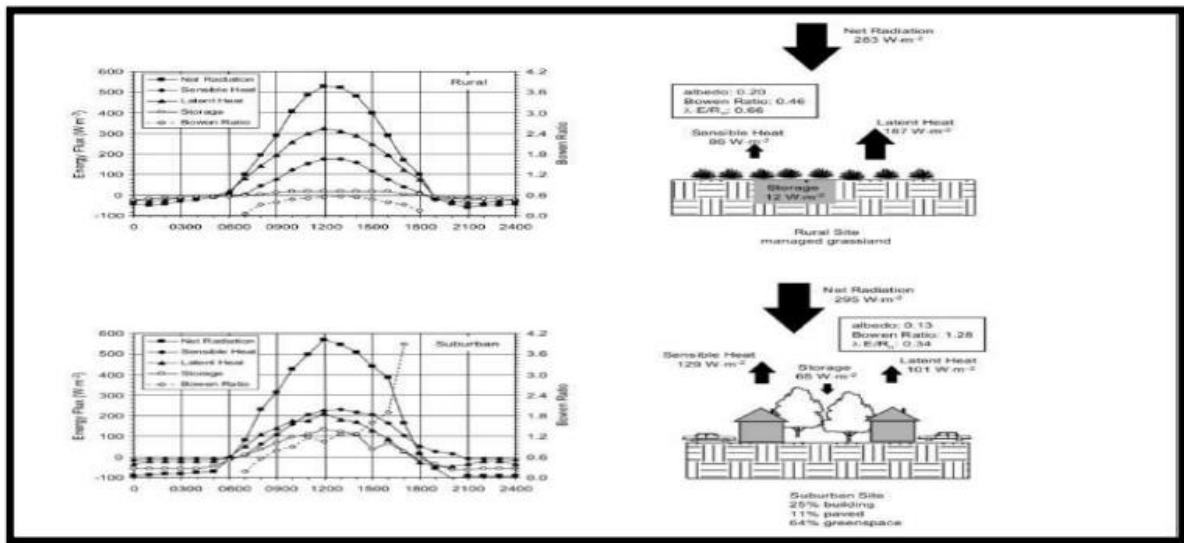


Figure 3 : Comparaison des composantes du bilan d'énergie (rayonnement net, flux de chaleur sensible et latente, stockage de chaleur) pour un jour d'été moyen à Vancouver (British Columbia), en zone rurale (haut) et en zone péri-urbaine (bas). Dans la colonne de gauche sont tracés les cycles diurnes des flux et à droite leur valeurs agrégées sur les heures de jour

Le bilan énergétique d'une zone rurale est dominé par un flux de chaleur latente (QE) élevé dû à l'évapotranspiration, alors que le stockage de chaleur y est faible. En milieu urbain,

⁶ OKE, T.R. (1988). Street design and urban canopy layer climate, Energy and Buildings, Vol. 11, pp. 103- 113

⁷ Bonan (2002) d'après Cleugh et al. (1986).

cette répartition est bouleversée : les matériaux de construction augmentent considérablement le stockage thermique et réduisent l'évaporation.

Le rapport de Bowen (QH/QE) illustre parfaitement ce changement, passant d'environ 0,48 à la campagne à 1,28 en ville. C'est cette énergie accumulée le jour puis libérée la nuit par les surfaces urbaines qui explique pourquoi les températures nocturnes y sont plus élevées.

Les causes de l'ICU peuvent être plus détaillées qu'à travers la lecture de ce cas précis. D'après Stewart et al. (2012), ces causes sont les suivantes.

1. La première cause est une absorption accrue du rayonnement solaire, favorisée par la morphologie urbaine. La structure tridimensionnelle des villes, avec ses surfaces verticales et horizontales, crée un phénomène de "piégeage radiatif" : le rayonnement solaire subit des réflexions multiples entre les bâtiments au lieu d'être renvoyé vers l'espace. En conséquence, la surface effective d'échange thermique est bien plus vaste que celle d'un terrain naturel plat, ce qui entraîne une augmentation du rayonnement net (Q).

2. Deuxièmement, la ville réduit la déperdition de chaleur par rayonnement infrarouge durant la nuit. Ce phénomène est dû à la géométrie urbaine qui réduit le facteur de vue du ciel (FVC). Défini comme la portion de ciel visible depuis un point donné (voir Figure 4), le FVC est proche de 1 en terrain ouvert mais tend vers 0 au fond d'une rue étroite et encaissée.

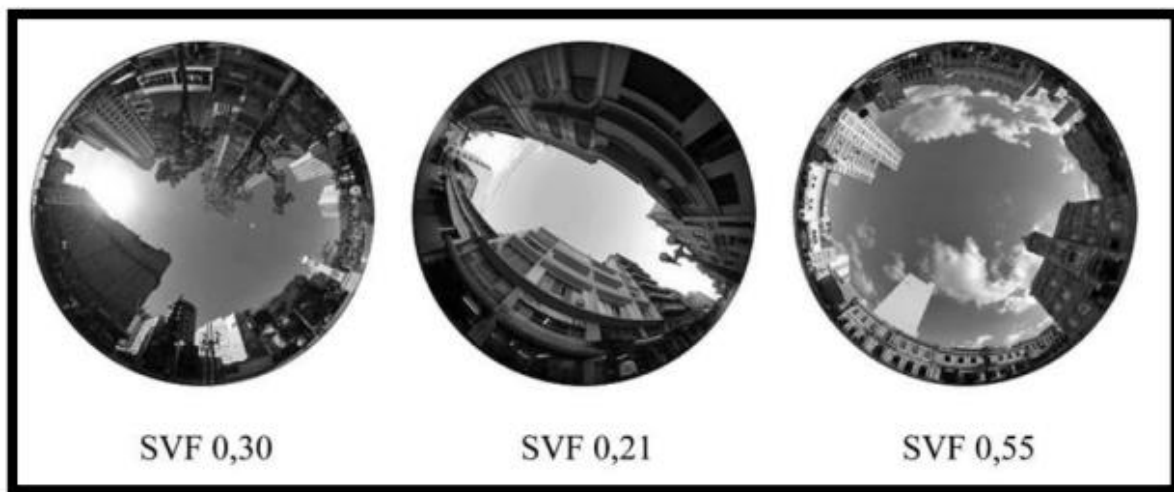


Figure 4 : Exemples de facteurs de vue du ciel (Sky View Factor donc SVF en anglais) pris avec un objectif fish-eye à Curitiba au Brésil.⁸

3. La capacité accrue des villes à stocker la chaleur (augmentation de ΔQS) s'explique non seulement par les propriétés thermiques des matériaux, mais aussi par une moindre

⁸ Krüger et al. (2011)

déperdition de chaleur par convection. En effet, la rugosité du paysage urbain freine considérablement les vents. Selon Gartland (2010)⁹, cette atténuation peut atteindre 50 % par rapport à la campagne, ce qui limite l'effet refroidissant de la convection et favorise la rétention de la chaleur.

4. En milieu urbain, le remplacement des surfaces végétalisées et perméables par des matériaux imperméables (asphalte, béton) limite drastiquement l'évapotranspiration. Par conséquent, une part majeure de l'énergie solaire, qui serait autrement dissipée par l'évaporation (chaleur latente, QE), est convertie en chaleur sensible (QH), réchauffant directement l'air ambiant. Ce basculement fondamental dans le bilan énergétique est quantifié par le rapport de Bowen (QH/QE), qui se trouve ainsi inversé ou fortement augmenté en ville par rapport à la campagne.

5. Les rejets de chaleur d'origine anthropique (le facteur QF) constituent une cause directe de l'îlot de chaleur urbain. Ces émissions proviennent de sources variées telles que le trafic routier, les activités industrielles et les systèmes de chauffage et de climatisation des bâtiments. À ce titre, De Munck et al. (2013)¹⁰ ont démontré que l'usage intensif de la climatisation à Paris lors d'une canicule pouvait à lui seul augmenter la température de l'air nocturne d'environ 1 °C.

L'intensité de l'îlot de chaleur urbain (ICU) est fortement contrôlée par les conditions météorologiques. Elle diminue en présence de nuages (Alonso et al., 2007; Morris et al., 2001)¹¹ et lorsque la vitesse du vent augmente (Alonso et al., 2007¹²; Memon et al., 2010¹³), ce qui explique pourquoi les villes côtières ont des ICU souvent plus faibles.

De plus, l'amplitude de l'ICU dépend aussi des propriétés du site rural de comparaison (Arnfield, 1990)¹⁴. Un sol rural humide sera plus frais en journée grâce à

⁹ Gartland, L. M. (2010). Heat islands: Understanding and mitigating heat in urban areas. Earthscan.

¹⁰ De Munck, C., Lemonsu, A., Masson, V., Le Bras, J., & Chassagneux, A. (2013). Impact of the waste heat of air conditioning systems on the urban climate of Paris. *International Journal of Climatology*, 33(12), 2601-2617.

¹¹ Morris, C. J. G., et al. (2001). Quantification of the urban heat island in Melbourne, Australia. *Journal of Applied Meteorology*, 40(2), 189-205

¹² Alonso, M. S., Fidalgo, M. R., & Labajo, J. L. (2007). Relationship between land surface temperature and NDVI in a heterogeneous city: A case study of Madrid, Spain. *International Journal of Remote Sensing*, 28(22), 5061-5080

¹³ Memon, R. A., & Leung, D. Y. C. (2010). Impacts of urban LULC changes on the UHI effects at a mega-city, Karachi, Pakistan. *Theoretical and Applied Climatology*, 102(3-4), 397-409

¹⁴ Arnfield, A. J. (2003). *Urban heat islands: Causes and consequences.*, la maison d'édition, ville d'édition

l'évaporation. En conséquence, la différence de température avec la ville sera plus grande, ce qui se traduit par une mesure plus élevée de l'ICU.

Enfin, l'îlot de chaleur urbain (ICU) peut générer son propre système de ventilation, un phénomène de rétroaction connu sous le nom de "brise urbaine" (Hidalgo et al., 2010)¹⁵ Lo et al., 1997¹⁶). Cette circulation thermique est directement induite par le gradient de température entre le centre-ville plus chaud et la campagne environnante plus fraîche. Comme l'illustre la figure 6, l'air plus frais et plus dense de la campagne converge au niveau du sol vers la ville. En arrivant au-dessus du centre-ville, cet air se réchauffe et s'élève (flux ascensionnel), puis diverge en altitude pour retourner vers la campagne, complétant ainsi une cellule de convection qui contribue à ventiler la ville.

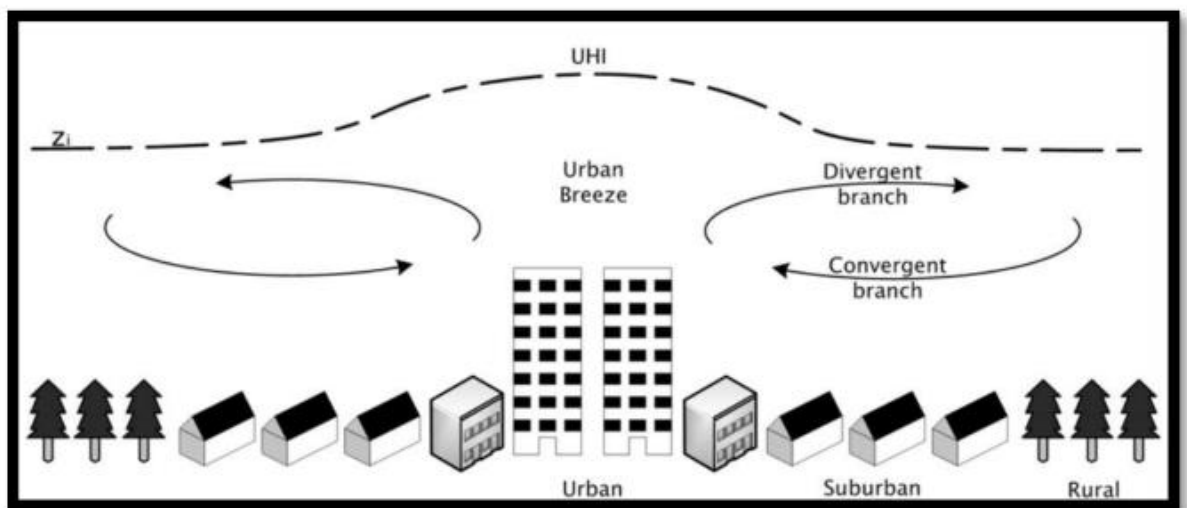


Figure 5 : Représentation schématique du phénomène de brise urbaine.¹⁷

L'ICU est donc un phénomène complexe, directement induit par l'environnement bâti et les rejets de chaleur anthropique. Son amplitude finale, cependant, est fortement dépendante des conditions météorologiques synoptiques qui peuvent soit l'amplifier, soit l'atténuer.

¹⁵ Hidalgo, J., et al. (2010). Advances in urban climate modeling. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1146(1), 354–374

¹⁶ Lo, C. P., et al. (1997). Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect. *International Journal of Remote Sensing*, 18(2), 287–304.

¹⁷ Hidalgo Rodriguez (2008)

3. Conséquences de l'îlot de chaleur urbain

L'îlot de chaleur urbain (ICU) a des conséquences multiples et significatives sur l'environnement urbain et la qualité de vie de ses habitants. Sur le plan environnemental, l'ICU aggrave la pollution de l'air. En effet, des températures plus élevées favorisent les réactions photochimiques responsables de la formation d'ozone troposphérique, un polluant nocif (Gartland, 2010) ¹⁸.

Les impacts sur la santé publique sont particulièrement critiques. Le confort thermique des citoyens est mis à rude épreuve, et les vagues de chaleur peuvent avoir des conséquences dramatiques. La canicule d'août 2003 en France en est une illustration tragique : la persistance de températures nocturnes très élevées (dépassant 25 °C) a provoqué un stress thermique intense, entraînant une surmortalité estimée à plus de 15 000 décès (Fouillet et al., 2006¹⁹; Laaidi et al., 2012²⁰).

Enfin, l'ICU a un impact ambivalent sur la consommation énergétique. En été, il augmente significativement la demande en climatisation. Lors de la canicule de 2003, par exemple, la surconsommation électrique a atteint près de 10 % de la consommation totale. Inversement, durant l'hiver aux latitudes moyennes, l'ICU peut représenter un avantage en réduisant les besoins en chauffage, ce qui entraîne des économies d'énergie (Taha, 1997) ²¹.

4. L'îlot de fraîcheur urbain

4.1. Définition de l'îlot de fraîcheur urbain

Un îlot de fraîcheur urbain (IFU) se définit comme une zone au sein de la ville qui, grâce à ses aménagements spécifiques, présente des températures significativement plus basses

¹⁸ Gartland, L. M. (2010). Heat islands: Understanding and mitigating heat in urban areas. Earthscan

¹⁹ Fouillet, A., et al. (2006). Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 80(1), 16–24

²⁰ Laaidi, K., et al. (2012). The impact of heat islands on mortality during the 2003 heat wave in France. *Environmental Health Perspectives*, 120(1), 254–259

²¹ Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25(2), 99–103.

que son environnement immédiat, permettant ainsi de contrer localement les effets de l'îlot de chaleur.

La création d'un tel îlot repose principalement sur deux stratégies complémentaires. La première est la présence de végétation, qui rafraîchit l'air ambiant par l'ombre qu'elle procure et par le processus d'évapotranspiration. La seconde est l'utilisation de matériaux à albédo élevé, tels que des revêtements de couleur pâle, qui réfléchissent une part importante du rayonnement solaire au lieu de l'absorber et de le convertir en chaleur (Fernandez & Deshaies, 2013)²².

5. Les conditions des îlots de chaleur urbains

5.1 Les facteurs naturels

Les facteurs naturels qui contribuent à la formation des ICU relèvent de trois catégories principales : la climatologie, la météorologie et la topographie

5.1.1 Climatologie

Bien que l'intensité du rayonnement solaire atteigne son apogée au solstice d'été, les températures maximales sont observées plus tard dans la saison. Ce décalage s'explique par l'inertie thermique de la Terre. Au printemps et en été, les continents et les océans absorbent et stockent progressivement l'énergie solaire, ce qui ralentit la hausse des températures. Inversement, en automne et en hiver, ils restituent lentement cette chaleur emmagasinée, ce qui modère et retarde le refroidissement.

5.1.2 Météorologie

L'écoulement du vent est profondément modifié lorsqu'il passe d'un milieu rural à un milieu urbain. Alors qu'il est typiquement laminaire et stable en campagne, la rugosité du paysage bâti et la chaleur dégagée par la ville le rendent turbulent et chaotique (Ricciardelli, 2006)²³, cette transformation de l'écoulement, illustrée dans le schéma ci-dessous, conduit à la formation de deux couches atmosphériques spécifiques : la couche de canopée urbaine (UCL),

²² Fernandez, J., & Deshaies, M. (2013). Les îlots de fraîcheur urbains : un concept aux contours flous, une caractérisation spatiale complexe. Le cas de l'agglomération de Québec. *Cybergeo : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, document 642.

²³ Ricciardelli, F. (2006). Aerodynamic effects of wind on structures. In F. Ricciardelli & G. Solari (Eds.), *Wind Effects on Buildings and Design of Wind-Sensitive Structures (CISM Courses and Lectures, No. 483, pp. 1-40)*.

au contact direct des bâtiments, et la couche limite urbaine (UBL), un dôme d'air chaud qui la recouvre et s'élève bien au-delà des toits.

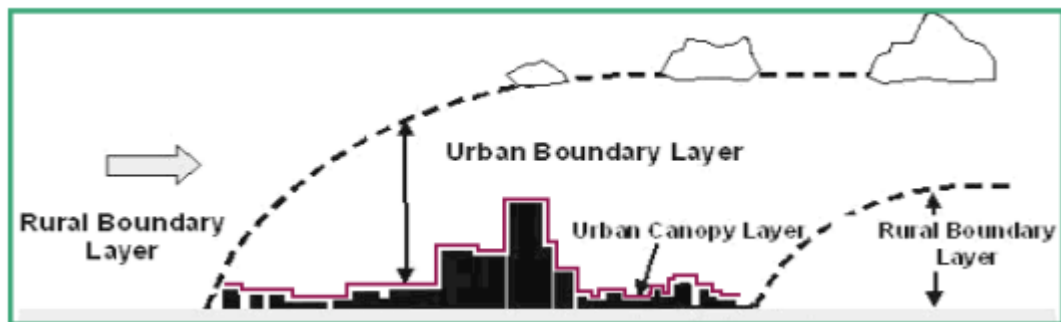


Figure 6 : Urban Boundary Layer et U Figure urban Canopy Layer.

La ventilation naturelle joue un rôle crucial dans la régulation du climat urbain, apportant deux bénéfices majeurs : elle rafraîchit l'air ambiant et disperse les polluants atmosphériques. L'importance du vent est telle qu'une vitesse supérieure à 11 m/s peut empêcher la formation de l'îlot de chaleur urbain (ICU).

Inversement, les conditions anticycloniques, souvent caractérisées par des vents faibles et un air stagnant, sont les plus propices au développement d'ICU intenses, permettant aux écarts de température entre le centre-ville et la campagne d'atteindre plusieurs degrés Celsius.

5.1.3 Topographie

Le relief sur lequel une ville est construite influence directement son climat local. En particulier, les villes situées dans des cuvettes, comme Los Angeles, sont plus vulnérables à la formation d'îlots de chaleur intenses, car cette topographie freine la dispersion de l'air chaud et des polluants.

5.2 Les facteurs anthropiques

5.2.1 Urbanisation

D'un point de vue physique, l'urbanisation modifie radicalement le bilan énergétique de surface. Elle se caractérise par la substitution du couvert végétal par des matériaux minéraux (bitume, pierre, etc.), ce qui a une double conséquence. D'une part, la réduction de la végétation diminue le refroidissement par évapotranspiration, ce qui assèche l'air. D'autre part, les matériaux de construction possèdent une inertie thermique élevée : ils absorbent efficacement la chaleur durant le jour et la restituent lentement la nuit. C'est cette restitution nocturne de la chaleur diurne qui explique pourquoi l'ICU est généralement plus marqué après le coucher du soleil.

Loin d'être l'apanage des grandes métropoles, l'ICU est un phénomène observable même dans les très petites agglomérations. Dès 1973, Oke a démontré que des villes de moins de mille habitants pouvaient déjà présenter un îlot de chaleur avec des écarts de 2 à 2,5 °C par rapport à leur environnement rural (Oke, 1973)²⁴. Cette observation a été corroborée par des études ultérieures. Par exemple, une recherche comparant Melbourne à de petites villes australiennes a non seulement confirmé l'existence d'un ICU dans les villages, mais a également établi que son intensité augmente de manière logarithmique avec la taille de la population

5.2.2 Albédo

Conformément aux lois de Stephan-Boltzmann et de Wien, la couleur des matériaux de construction détermine le rapport de l'énergie solaire réfléchi sur l'énergie solaire incidente. Appelé albédo, cet indicateur est mesuré grâce à une échelle graduée de 0 à 1. 0 correspond au noir pour un corps sans aucune réflexion, et 1 au miroir parfait pour un corps n'absorbant pas le rayonnement électromagnétique visible et diffusant dans toutes les directions. Un matériau sombre emmagasine de la chaleur et revoie peu d'énergie solaire dans l'espace.

L'albédo sera donc différent entre un immeuble de type haussmannien à couverture mansardée grise à Paris, un édifice à couverture rose à Toulouse ou une maison peinte au blanc de chaux en Grèce ou au Maghreb. Chacune ville possède ainsi sa propre identité thermique (CANTAT O., 2004)²⁵.

26

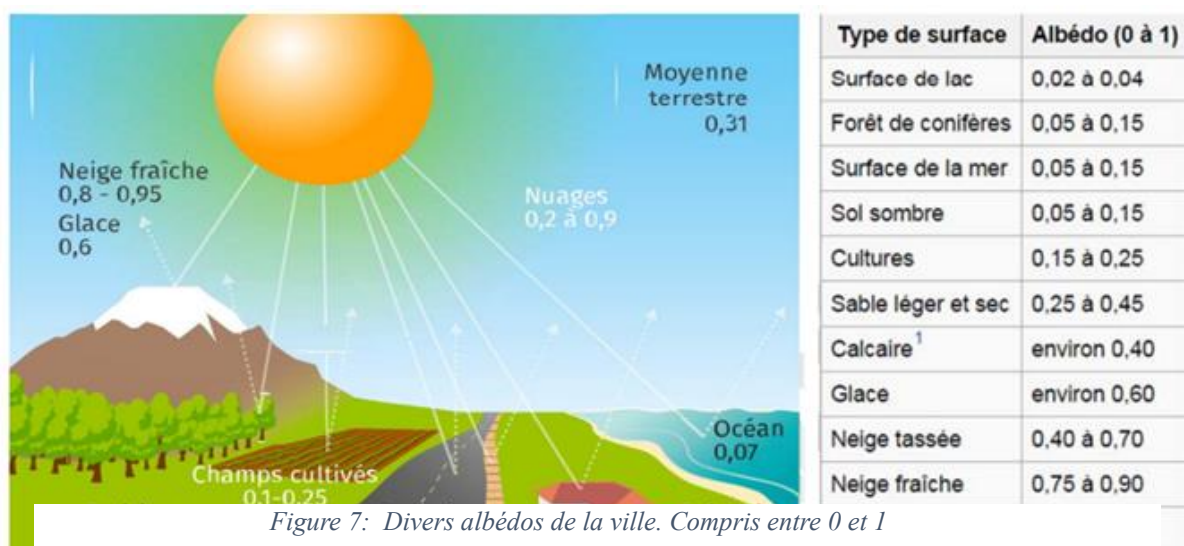


Figure 7: Divers albédos de la ville. Compris entre 0 et 1

²⁴ Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7(8), 769–779.

²⁵ Cantat, O. (2004). L'îlot de chaleur urbain. *Mappemonde*, 75(3), 17-21

²⁶ Divers albédos de la ville. Compris entre 0 et 1: (Source : <https://fondation-lamap.org/sites/default/files/pdf/Defi-albedo.pdf>)

5.2.3 Pollution atmosphérique et rues canyons

La structure tridimensionnelle de la ville modifie les conditions atmosphériques locales à la fois chimiquement et physiquement. Sur le plan physique, la disposition des bâtiments crée des zones de turbulence et des accélérations de vent (effet Venturi), un phénomène dont les principes sont décrits par les équations de Navier-Stokes (Maignant, 2007). Ces dynamiques d'écoulement interagissent avec la pollution atmosphérique, qui peut former une couche distincte altérant la composition de l'air sur plusieurs centaines de mètres de hauteur. La figure 6 illustre schématiquement ces interactions complexes.

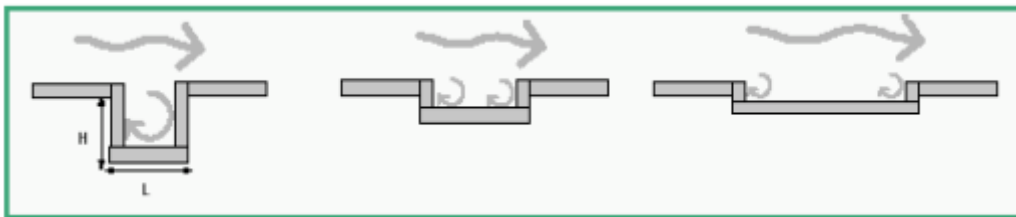


Figure 8 : De gauche à droite : écoulement écrémant, d'interférence et de rugosité.

Pour analyser l'impact de la morphologie urbaine au niveau du sol, les architectes et climatologues se réfèrent à des indicateurs comme l'indice de Landsberg. Cet indice, défini comme le rapport entre la hauteur moyenne des bâtiments (H) et la largeur de la voie (L), permet d'identifier les rues canyons (celles où le rapport H/L est supérieur à 1).

La principale conséquence de cette configuration en canyon est de limiter la dispersion de l'air, ce qui piège les polluants à proximité de leurs sources. Sont notamment concernés des gaz comme le monoxyde de carbone (CO) et les oxydes d'azote (NO_x), ainsi que les particules en suspension (notées PM_{10} et $PM_{2.5}$, pour Particulate Matter).

Ce piégeage local est souvent exacerbé par un phénomène météorologique à plus grande échelle : l'inversion thermique nocturne. Par nuit claire, le sol se refroidit plus vite que l'air en altitude, créant une couche d'air chaud qui surplombe une couche d'air froid. Cette inversion, située entre 100 et 200 mètres d'altitude, agit comme un couvercle stable qui emprisonne la pollution au-dessus de la ville. Ce couvercle ne se dissipe généralement qu'en fin de matinée, lorsque le réchauffement solaire rétablit la convection atmosphérique.

5.2.4 Chauffage et climatisation

La contribution des systèmes de chauffage et de climatisation à l'îlot de chaleur urbain (ICU) est un facteur clé, bien que son impact varie. En hiver, les rejets de chaleur des systèmes de chauffage accentuent nettement l'ICU. En été, la climatisation participe également au réchauffement via un mécanisme paradoxal : en abaissant la température d'un appartement, elle expulse la chaleur extraite dans l'atmosphère, contribuant ainsi à réchauffer l'air de la ville pour tous.

6. Les approches de modélisation de l'environnement thermique urbain :

Afin de mieux comprendre le climat urbain et de maîtriser les conséquences des perturbations climatiques — en particulier les îlots de chaleur urbains (ICU) —, la communauté scientifique a développé de nombreux modèles de simulation des phénomènes physiques à l'œuvre en ville. Ces modèles sont des outils précieux pour évaluer et tester différentes hypothèses d'aménagement et divers scénarios architecturaux ou urbanistiques, actuels comme futurs. Ils constituent ainsi un véritable « un outil d'aide à la décision, pour la prise en compte de l'environnement dans les politiques d'aménagement urbain ».²⁷

6.1 les modèles de simulation numérique :

Pour analyser les processus de formation des ICU et leurs variations spatio-temporelles, il est nécessaire de quantifier la contribution des différents facteurs au climat urbain. Les interactions entre ces facteurs étant complexes et difficilement isolables, les climatologues ont recours à des modèles de simulation numérique. Comme le souligne Leconte (2014)²⁸, ces modèles visent à « reproduire tout ou partie du fonctionnement du climat urbain »²⁹ et permettent de décrire avec une précision croissante les phénomènes physiques en jeu aux différentes échelles (mésos, locale et micro).

²⁷ Modélisation Urbaine: De La Représentation Au Projet - Ministère de L'environnement, de L'énergie et de La Mer, p 16. <https://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/document.html?id=Temis-0077060&requestId=0&number=9>

²⁸ Leconte, F. (2014). Caractérisation des îlots de chaleur urbains par zonage climatique et mesures mobiles: Cas de Nancy. Thèse de doctorat, Université de Lorraine.

²⁹ M, Colombert. (2008). Contribution À L'analyse de La Prise En Compte Du Climat Urbain Dans Les Différents Moyens D'intervention Sur La Ville. Thèse de doctorat, Université Paris-Est.

Ces modèles peuvent être classés en fonction de l'échelle d'analyse des phénomènes.

6.1.1. Echelle micro et locale :

À ces échelles, les modèles de simulation visent à représenter explicitement les interactions climatiques entre l'atmosphère et les éléments de surface (bâtiment, rue, quartier).

L'un des modèles les plus utilisés est ENVI-met. Développé par Bruse et Fleer (1998)³⁰, il s'appuie sur une modélisation tridimensionnelle des volumes construits et intègre à la fois la mécanique des fluides et les processus thermodynamiques. Le logiciel peut simuler les flux radiatifs (ombres, réflexions), l'évaporation, la dispersion des polluants, les écoulements d'air (Rosheidat et al., 2008)³¹ et le confort thermique extérieur (Ali-Toudert & Mayer, 2006)³².

Ce modèle se distingue par sa très haute résolution spatiale (0,5 à 10 m) et temporelle (10 s), permettant de prendre en compte des détails complexes. Sa principale limitation est la taille du domaine simulé, qui ne peut excéder quelques kilomètres carrés, rendant impossible la modélisation d'une ville entière (Fernando, 2012³³; Leconte, 2014³⁴).

Les modèles de mécanique des fluides numérique (CFD) sont également employés à ces échelles. Initialement développés pour analyser l'influence de la forme urbaine sur le vent et la dispersion des polluants, « obtenir des informations plus précises sur la distribution des ICUs dans et au-dessus la canopée des bâtiments »³⁵. Cependant, les modèles CFD sont très exigeants en calcul. Prendre en considération des détails complexes, en plus des interactions atmosphériques compliquées est néanmoins informatiquement et théoriquement un problème difficile)³⁶,

Aux échelles micro et locales, les modèles de simulation ont la vocation à représenter explicitement les qualités climatiques entre l'atmosphère et les différents éléments de surface,

³⁰ Bruse, M., and Fleer, H. (1998). Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three-dimensional numerical model. *Environmental Modelling & Software* 13, 373–384.

³¹ Rosheidat, A., Bryan, H., and Hoffman, D. (2008). Using Envi-met Simulation as a Tool to Optimize Downtown Phoenix's Urban Form for Pedestrian Comfort. In *SOLAR 2008: Catch the Clean Energy Wave, Including 37th ASES Annual Conference, 33rd National Passive Solar Conference and 3rd Renewable*

³² Ali-Toudert, F., and Mayer, H. (2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment* 41, 94–108

³³ Fernando, H.J. (2012). *Handbook of Environmental Fluid Dynamics, Volume Two: Systems, Pollution, Modeling, and Measurements* (Crc Press).

³⁴ Leconte, F. (2014). *Caractérisation des îlots de chaleur urbains par zonage climatique et mesures mobiles: Cas de Nancy*. Thèse de doctorat, Université de Lorraine.

³⁵ P.A, Mirzaei., F, Haghighat. (2010). Approaches to study urban heat island–abilities and limitations. *Building and Environment* 45, 2192–2201.

³⁶ V, Masson. (2006). Urban Surface Modeling and the Meso-Scale Impact of Cities. *Theoretical and Applied Climatology* 84, no. 1–3 35–45.

à l'échelle d'un bâtiment, d'une rue ou d'un quartier. Une des approches largement utilisée pour illustrer cette échelle est le modèle ENVI-met.

6..1.1.2. Echelle locale et méso-climatique :

À ces échelles, les modèles numériques sont généralement couplés à des modèles atmosphériques plus globaux. . En reproduisant les principaux processus physiques intervenant à plus grande échelle, (ils sont capables de simuler, non seulement, l'intensité d'ICU mais aussi sa structure spatiale et ses dynamiques temporelles)³⁷. Cette approche permet non seulement de simuler l'intensité de l'ICU, mais aussi sa structure spatiale et ses dynamiques temporelles, et peut être utilisée pour la prévision météorologique en zone urbaine. Masson (2006)³⁸ classe ces modèles en trois grandes catégories :

1. **Modèles basés sur les observations :** Ils reproduisent le bilan énergétique de surface en utilisant des relations statistiques dérivées d'observations.
2. **Modèles d'espaces végétalisés modifiés :** Ils adaptent les modèles conçus pour la végétation afin d'y inclure les caractéristiques physiques de la canopée urbaine.
3. **Modèles de canopée urbaine (UCM) :** Spécifiquement développés pour simuler les échanges surface-atmosphère au sein d'une rue canyon, Les modèles de canopée urbaine, développés pour simuler les échanges surface-atmosphère au sein d'une rue canyon. Ils visent à résoudre le bilan énergétique desurface pour la canopée urbaine 3D réel³⁹. ils résolvent le bilan énergétique pour une géométrie 3D. Selon Masson (2006), ces modèles considèrent explicitement les interactions radiatives et thermiques entre les différentes facettes (toits, murs, sol).

Un exemple notable de modèle de canopée urbaine est le Town Energy Balance (TEB), développé par Masson (2000). Il utilise la rue canyon comme unité de base pour représenter le paysage urbain. Bien qu'efficace pour les zones très denses, le modèle TEB initial ne prenait pas en compte la végétation ou les surfaces hydriques. Pour cela, il peut être utilisé en parallèle avec d'autres modèles, comme ISBA pour les surfaces naturelles (Noilhan & Mahfouf, 1996).

³⁷ Ibid. p 36

³⁸ V, Masson. (2006). Urban Surface Modeling and the Meso-Scale Impact of Cities. Theoretical and Applied Climatology 84, no. 1–3 35–45.

³⁹ Ibid. p 38

7. L'approche d'observation des îlots de chaleur urbains de surface :

L'étude des îlots de chaleur de **surface** (et non atmosphériques) repose sur l'analyse des anomalies de température des surfaces elles-mêmes. Cette investigation s'effectue principalement par **télédéttection thermique**, une approche qui utilise des capteurs embarqués sur des satellites ou des plateformes aéroportées pour « La télédection regroupe à la fois les techniques qui permettent d'acquérir à distance les informations sur un élément de surface »⁴⁰,

La télédection est un outil puissant pour la cartographie et la modélisation de l'espace urbain. « répondre à des objectifs divers, allant de la représentation de l'espace urbaine à sa modélisation »⁴¹. Dans une revue de la littérature, Voogt et Oke (2003) ont identifié trois applications majeures de cette technologie pour l'étude du climat thermique urbain :

1. **Analyser la relation entre l'ICU et les caractéristiques de surface** : De nombreuses études ont utilisé des images satellitaires pour corréliser la température de surface (LST) avec l'indice de végétation (NDVI) (Kumar et al., 2012; Lo et al., 1997), l'indice de bâti (NDBI) (Li & Liu, 2008), l'occupation du sol (Chen et al., 2006) ou la géométrie urbaine (Kuşçu & Şengezer, 2011).
2. **Étudier la relation entre l'ICU de surface et l'ICU atmosphérique** : Des recherches comparent les mesures satellitaires avec des données in-situ. Par exemple, une étude à Delhi (Mohan et al., 2012) a montré que la corrélation entre les points chauds de surface et atmosphériques était bonne la nuit, mais moins satisfaisante le jour.
3. **Contribuer à l'étude du bilan énergétique de surface** : Troisièmement, pour étudier le bilan énergétique de surface urbaine, où Les applications s'appuient sur un couplage des modèles climatiques de l'atmosphère urbaine avec les observations de la télédection⁴².

⁴⁰ (Oke T.R., 1995; Voogt J.A., Oke T.R., 1997) IN J.A, Voogt., T.R, Oke. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. Remote Sensing of Environment 86, 370–384.

⁴¹ Ibid. p, 7.

⁴² J.A, Voogt., T.R, Oke. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. Remote Sensing of Environment 86, 370–384

Malgré ses avantages, la télédétection thermique présente des **limitations importantes** qui doivent être prises en compte :

- **Différence fondamentale entre surface et atmosphère** : La température de surface mesurée par un capteur n'est pas équivalente à la température de l'air. De nombreux chercheurs rappellent qu'un phénomène surfacique ne doit pas être confondu avec un phénomène atmosphérique, influencé par une multitude d'autres facteurs (Arnfield, 2003; Fernando, 2012; Leconte, 2014; Mirzaei & Haghighat, 2010; Stone & Rodgers, 2001; Voogt & Oke, 2003).
- **Vision 2D d'un environnement 3D** : La télédétection ne capture que le rayonnement des surfaces horizontales (toits, routes) et ignore largement les surfaces verticales (murs), qui constituent pourtant une part majeure de la « qui constitue la véritable surface active de la ville »⁴³ Obtenir une température de surface réellement représentative, qui intègre toutes les facettes de l'environnement urbain, reste donc un défi complexe (Fernando, 2012; Oke, 2004).
- **Contraintes pratiques** : D'autres limitations incluent le coût, la complexité du traitement des données et la nécessité de compétences spécialisées (**Weber, 1995**).

⁴³ O (Roth M., 1989) IN J.A, Arnfield. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology* 23, 1–26.

8. Conclusion de chapitre 01

Face aux défis climatiques actuels, la compréhension et la gestion des îlots de chaleur urbains sont devenues des priorités majeures pour l'urbanisme durable. Les ICU, exacerbés par les matériaux imperméables, les formes urbaines denses et les activités humaines, représentent un risque accru pour la santé publique, l'environnement et la consommation énergétique. Cependant, des solutions existent : le développement des îlots de fraîcheur urbains, le recours à des matériaux à fort albédo, la végétalisation des espaces, ou encore l'intégration de modèles de simulation climatique dans la planification urbaine. Ces approches, combinées à une meilleure connaissance des facteurs naturels et anthropiques à l'origine des ICU, offrent des leviers efficaces pour construire des villes plus résilientes, confortables et respectueuses de l'environnement.

Chapitre II :
Impact des Confinements COVID-19 sur l'Îlot de Chaleur
Urbain

La pandémie de COVID-19, qui a débuté en décembre 2019 dans la région du Hubei en Chine (Wuhan) avec le virus nommé SARS-CoV-2, s'est propagée rapidement dès janvier 2020, touchant plusieurs pays d'Europe, d'Amérique du Nord et d'Asie-Pacifique. Le 11 mars 2020, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a déclaré une pandémie mondiale, l'Europe étant peu après désignée comme l'épicentre de la crise. Se propageant par voie aérienne lorsque l'homme respire des gouttelettes et des petites particules en suspension contenant le virus, cette crise sanitaire mondiale sans précédent – qui, au 12 avril 2023, avait entraîné 762 791 152 cas confirmés et 6 897 025 décès (OMS, 2023) – a contraint les gouvernements à travers le globe, y compris l'Algérie, à instaurer des mesures restrictives drastiques pour freiner la propagation du virus et réduire la mobilité humaine, en particulier dans les zones très peuplées.⁴⁴

Ces mesures, allant des confinements partiels ou totaux aux couvre-feux et à la suspension des activités économiques et sociales, ont eu des répercussions profondes sur les modes de vie et l'organisation sociétale. Parallèlement à ces bouleversements socio-économiques, cette période singulière a offert une "expérience naturelle" unique pour observer les interactions entre les activités humaines et l'environnement. L'un des phénomènes environnementaux urbains majeurs, l'îlot de chaleur urbain (ICU) – caractérisé par des températures plus élevées en ville qu'en périphérie rurale – est fortement influencé par les activités anthropiques. La réduction soudaine et massive de ces activités (trafic routier, émissions industrielles, consommation énergétique des bâtiments commerciaux) durant les confinements a suscité un intérêt scientifique majeur quant à son impact potentiel sur l'intensité de l'ICU et la température de surface terrestre (LST). Cette recherche se propose de synthétiser les connaissances actuelles sur l'effet des mesures de confinement liées à la COVID-19 sur l'ICU, en examinant les études menées dans diverses régions du monde, de l'Asie du Sud-Est à l'Europe et l'Amérique du Nord, tout en considérant les facteurs d'influence, les méthodologies employées et les limites inhérentes à ce type d'analyse.

⁴⁴ Lutfy Kusak. Ufuk Fatih Kucukali) 2024) Investigating the relationship between COVID-19 shutdown and land surface temperature on the Anatolian side of Istanbul using large architectural impermeable surfaces Environment, Development and Sustainability.

1. Le confinement du COVID-19 en Algérie

Face à la pandémie de COVID-19, l'Algérie a instauré, dès mars 2020, une série de mesures restrictives pour endiguer la propagation du virus. Celles-ci comprenaient des quarantaines partielles évoluant vers un confinement total dans les zones les plus touchées, des couvre-feux nocturnes, la suspension des activités économiques et sociales incluant la fermeture des établissements scolaires et des lieux publics, ainsi que des restrictions sévères sur les déplacements et les voyages, notamment la fermeture des frontières et l'arrêt des transports. Des mesures sanitaires préventives, telles que le port du masque obligatoire, ont complété ce dispositif, ajusté au fil de l'évolution épidémiologique.

1.2 Procédures légales et organisationnelles mises en œuvre en Algérie durant la pandémie de COVID-19 :

1.2.1 Déclaration de quarantaine et couvre-feu :⁴⁵

À partir de mars 2020, les autorités algériennes ont imposé une **quarantaine partielle** dans plusieurs wilayas, évoluant vers un **confinement total** dans les zones fortement touchées (ex: Blida). Les périodes et modalités ont été ajustées en fonction de l'évolution épidémiologique.

Un **couvre-feu nocturne** (généralement de 19h à 5h) a également été décrété par phases, puis assoupli sur recommandation du Comité scientifique. (Algérie Presse Service,2020)⁴⁶

1.2.2. Suspension des activités économiques et sociales :

Face à la hausse des cas, l'Algérie a suspendu :

- **L'enseignement** dans tous les établissements scolaires et universitaires (à partir du 12 mars 2020).
- **L'accès aux lieux publics** : mosquées, cafés, restaurants, salles de fêtes et cinémas.
- **Les transports urbains et inter-wilayas**, limitant les déplacements pour réduire les contacts humains.

⁴⁵ Décret exécutif n° 20-69 (21 mars 2020) Source : <https://www.joradp.dz>

⁴⁶ Algérie Presse Service,2020 Source <https://www.aps.dz/ar/>

1.2.3. Restrictions des déplacements et voyages (Algérie Presse Service,2020)

- **Suspension des vols aériens et maritimes** (Décret exécutif n° 20-70 (24 mars 2020)) et **fermeture des frontières terrestres**.
- **Quarantaine obligatoire** pour les arrivants de l'étranger.
- **Interdiction des déplacements inter-wilayas** durant les fêtes (Aïd el-Fitr, Aïd el-Adha) pour éviter les rassemblements.

1.2.4 Mesures sanitaires préventives (Algérie Presse Service,2020)

- **Port du masque obligatoire** (Décret exécutif n° 20-70 (24 mars 2020))⁴⁷, avec amendes en cas de non-respect.
- **Protocoles de distanciation sociale** dans les espaces publics.
- **Distribution de masques et désinfectants** via les pharmacies et points de vente.
- **Soutien à la production locale** de matériel médical.

Décrets et décisions prises par l'Algérie pendant la pandémie de Covid-19

Tableau 1 :Les décrets et décisions prises par l'Algérie pendant la pandémie de Covid-19

N°	Décret / Décision (Date)	Contenu principal
1	Décret exécutif n° 20-69 (21 mars 2020)	Mise en place initiale du confinement et des mesures de distanciation sociale pour 14 jours, renouvelables sur l'ensemble du territoire national.
2	Décret exécutif n° 20-70 (24 mars 2020)	Mesures complémentaires : suspension des activités économiques et commerciales non essentielles.
3	Décret exécutif n° 20-127 (20 mai 2020) ⁴⁸	Modification du décret 20-70 : port obligatoire du masque dans les lieux publics.

⁴⁷ Décret exécutif n° 20-70 (24 mars 2020) Source : <https://www.joradp.dz>

⁴⁸ Décret exécutif n° 20-127 (20 mai 2020) Source : <https://www.joradp.dz/>

4	Décret exécutif n° 20-159 (15 juillet 2020) ⁴⁹	Prolongation du confinement partiel dans certaines wilayas, selon l'évolution de la situation sanitaire.
5	Décision gouvernementale (mars 2020) ⁵⁰	Quarantaine imposée aux ressortissants algériens rapatriés de France.
6	Décision du comité scientifique (décembre 2020) ⁵¹	Instauration du confinement nocturne (de 20h à 5h) dans 34 wilayas.
7	Décision du comité scientifique (janvier 2021) ⁵²	Confinement dans 29 wilayas, reprise progressive du transport public avec application stricte des mesures sanitaires.
8	Décision du comité scientifique (janvier 2022)	Prolongation des mesures, interdiction des rassemblements et suspension temporaire des cours.
9	Décision du comité scientifique (janvier 2021))	Cadre juridique national permettant d'imposer des mesures de confinement sanitaire.

⁴⁹ Décret exécutif n° 20-159 (15 juillet 2020) Source : <https://www.joradp.dz>

⁵⁰ Décision gouvernementale (mars 2020) Source : <https://www.joradp.dz>

⁵¹ Décision du comité scientifique (décembre 2020) Source : <https://www.joradp.dz>

⁵² Décision du comité scientifique (janvier 2021) Source : <https://www.joradp.dz>

2. L'impact de la COVID-19 sur l'îlot de chaleur urbain :

L'urbanisation croissante à l'échelle mondiale s'accompagne de modifications environnementales significatives, parmi lesquelles l'îlot de chaleur urbain (ICU) constitue une préoccupation majeure. Caractérisé par des températures plus élevées dans les zones urbaines par rapport à leurs périphéries rurales, l'ICU exacerbe les vagues de chaleur, augmente la consommation énergétique liée à la climatisation et peut dégrader la qualité de l'air ainsi que le confort des citoyens. Les principales causes de ce phénomène incluent l'absorption et la rétention de chaleur par les matériaux de construction, le manque de végétation, et la chaleur dégagée par les activités humaines (chaleur anthropique).

La pandémie de COVID-19, survenue début 2020, a entraîné des bouleversements socio-économiques sans précédent à l'échelle mondiale. Les mesures de confinement et les restrictions de mobilité mises en place pour freiner la propagation du virus ont radicalement modifié les activités humaines dans les centres urbains : réduction drastique du trafic routier, fermeture de commerces et d'industries, généralisation du télétravail. Cette situation a offert une "expérience naturelle" unique pour observer et analyser les liens entre les activités anthropiques et l'intensité de l'ICU.

2.1 Réduction de la Chaleur Anthropique (pendant les confinements stricts)

Les mesures de confinement ont induit une modification significative des activités humaines, impactant directement les sources de chaleur anthropique.

- **Baisse du trafic routier :** La diminution drastique de la circulation automobile, des bus et des camions a entraîné une réduction des rejets de chaleur par les moteurs (Chakraborty et al., 2020)⁵³ et une moindre absorption de chaleur par l'asphalte, bien

⁵³ Chakraborty, T. C., Sarangi, C., & Tripathy, S. (2020). Understanding the impacts of the COVID-19 lockdown on urban land surface temperatures in India. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 12921–12939

que l'impact sur l'absorption par l'asphalte soit influencé par d'autres facteurs comme l'ensoleillement direct (Oke et al., 2017)⁵⁴.

- **Ralentissement de l'activité industrielle et commerciale :** La fermeture ou la réduction d'activité des usines, bureaux, et commerces a diminué les rejets de chaleur liés à leurs processus et à la climatisation/chauffage de grands bâtiments (Gao et al., 2021).
- **Conséquence :** Plusieurs études ont observé une baisse temporaire et localisée de l'intensité de l'ICU dans certaines villes pendant les périodes de confinement strict, notamment la nuit (Liu et al., 2020; Chakraborty et al., 2021). La température de surface terrestre (LST) a montré des baisses dans les zones urbaines par rapport aux zones rurales environnantes

2.2 Amélioration de la Qualité de l'Air

- La réduction du trafic et de l'activité industrielle a entraîné une baisse notable des polluants atmosphériques, notamment le dioxyde d'azote (NO₂) et les particules fines (PM_{2.5}) (Bauwens et al., 2020⁵⁵; Venter et al., 2020⁵⁶).
- **Impact sur l'ICU :** L'effet de la réduction de la pollution sur l'ICU est complexe. Une atmosphère plus transparente peut permettre à plus de rayonnement solaire d'atteindre le sol, augmentant potentiellement le réchauffement diurne. Cependant, certains aérosols contribuent au piégeage de la chaleur (effet de serre localisé), et leur réduction pourrait favoriser un refroidissement, notamment nocturne par une meilleure

⁵⁴ Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). Urban climates. Cambridge University Press.

⁵⁵ Bauwens, M., Compennolle, S., Verhoelst, T., Müller, J. F., Van Gent, J., Eskes, H., ... & Veeffkind, J. P. (2020). Impact of coronavirus outbreak on NO₂ pollution assessed using TROPOMI and OMI observations. *Geophysical Research Letters*, 47(11),

⁵⁶ Venter, Z. S., Aunan, K., Chowdhury, S., & Lelieveld, J. (2020). Air pollution declines during COVID-19 lockdowns mitigate the global health burden. *Environmental Research Volume 192*, Janvier 2021, 110403

déperdition thermique radiative . La réduction de "l'effet de dôme" de pollution au-dessus des villes a pu jouer un rôle dans cette dynamique (Oke et al., 2017).

2.3 Changements dans la Consommation Énergétique Résidentielle

- **Augmentation :** Avec le télétravail généralisé et les populations passant plus de temps à domicile, la consommation d'énergie domestique (chauffage, climatisation, appareils électroniques) a connu une augmentation dans de nombreuses régions (Krarti & Aldubyan, 2021⁵⁷; Rouleau & Gosselin, 2021⁵⁸).
- **Impact sur l'ICU :** Cette augmentation de la consommation énergétique résidentielle a pu localement contrebalancer une partie des baisses de chaleur anthropique provenant des secteurs commerciaux et des transports, particulièrement dans les zones résidentielles denses . L'utilisation accrue de la climatisation en été, par exemple, libère de la chaleur directement dans l'environnement extérieur, exacerbant potentiellement l'ICU localement (Santamouris, 2020)⁵⁹.

⁵⁷ Krarti, M., & Aldubyan, M. (2021). Review analysis of COVID-19 impact on electricity demand for residential buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 143, June 2021, 110888

⁵⁸ Rouleau, J., & Gosselin, L. (2021). Impacts of the COVID-19 lockdown on energy consumption in a Canadian social housing building. *Applied Energy*, 287, 116565

⁵⁹ Santamouris, M. (2020). Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy and Buildings*, 207, 109482.

3.État des recherches précédentes sur l'impact de la COVID-19 sur l'îlot de chaleur urbain :

La pandémie de COVID-19, apparue fin 2019, a entraîné des mesures de confinement et des restrictions d'activités humaines sans précédent à l'échelle mondiale. Ces changements drastiques dans les modes de vie urbains, notamment la réduction du trafic, la fermeture des industries et la diminution de la mobilité humaine, ont offert une opportunité unique aux scientifiques d'étudier l'impact anthropique sur l'environnement. L'un des domaines d'intérêt majeurs a été l'étude des variations de la température de surface terrestre (LST), un paramètre clé influençant le microclimat urbain, le confort thermique et la consommation d'énergie.

Plusieurs équipes de recherche à travers le monde se sont penchées sur la question de savoir si ces confinements ont eu un effet mesurable sur la LST, notamment en milieu urbain où les activités humaines génèrent une quantité significative de chaleur (phénomène d'îlot de chaleur urbain - ICU). Les articles fournis couvrent une gamme variée de régions géographiques, allant de l'Asie du Sud-Est (Bangladesh, Indonésie, Vietnam) à l'Inde, la Turquie, et même des études à plus grande échelle sur l'Europe et l'Amérique du Nord.

L'hypothèse centrale de ces recherches repose sur le fait que la diminution des activités humaines (trafic routier, émissions industrielles, utilisation de la climatisation dans les bâtiments commerciaux) pendant les périodes de confinement devrait entraîner une réduction de la chaleur anthropique libérée dans l'environnement, et par conséquent, une baisse potentielle de la LST. De plus, la réduction de la pollution atmosphérique (aérosols, gaz à effet de serre) pourrait également influencer le bilan radiatif terrestre et donc la LST.

Ces études utilisent principalement des techniques de télédétection, s'appuyant sur des données satellitaires pour estimer la LST et d'autres indices biophysiques (comme l'Indice de Végétation par Différence Normalisée - NDVI, l'Indice de Bâti par Différence Normalisée - NDBI) ou des indicateurs de qualité de l'air (AQI). L'objectif commun est de comparer les valeurs de LST avant, pendant et après les périodes de confinement strict, tout en essayant de démêler les effets du confinement des variations météorologiques naturelles et d'autres facteurs contextuels. Les résultats de ces recherches sont cruciaux pour comprendre l'ampleur de l'influence humaine sur le climat urbain et pourraient informer les politiques d'urbanisme et de développement durable visant à atténuer les îlots de chaleur urbains.

3.1 Études de Cas en Asie du Sud-Est (Bangladesh, Indonésie, Vietnam)

Plusieurs études se sont concentrées sur l'Asie du Sud-Est, une région caractérisée par une urbanisation rapide et des climats souvent chauds et humides.

3.1.1 Bangladesh (Rahaman, M. et al.2022)⁶⁰ :

- **Zone d'étude** : Bangladesh et ses 8 divisions.
- **Données et Méthodes** : Cette étude a utilisé la plateforme Google Earth Engine (GEE) pour extraire les valeurs de LST à partir d'images satellitaires MODIS de mai 2020 à juillet 2021. Les données sur les nouveaux cas quotidiens de COVID-19 ont été collectées pour la même période. Des analyses descriptives et statistiques (corrélation de Pearson) ont été menées.
- **Résultats Clés** :
 - Une augmentation des nouveaux cas de COVID-19 a été observée après une saison de LST élevée.
 - Inversement, le taux d'infection par la COVID-19 diminuait lorsque la LST baissait en hiver.
 - Des fluctuations rapides de la LST coïncidaient avec un nombre élevé de nouveaux cas.
 - Les auteurs suggèrent que la mobilité, les interactions sociales et les changements météorologiques inattendus pourraient être les principaux facteurs expliquant cette relation entre LST et taux d'infection.

Yogyakarta, Indonésie (Arrofiqoh, R. & Setyaningrum, T.2020)⁶¹ :

- **Zone d'étude** : Agglomération urbaine de Yogyakarta.
- **Données et Méthodes** : Utilisation de données satellitaires Landsat 8 pour analyser les changements de LST avant la pandémie (août 2019), pendant la

⁶⁰ Rahaman, M. A., Nigar, N., & Nitu, S. A. (2022). Assessing the impact of COVID 19 lockdown on land surface temperature and urban heat island intensity over major cities in Bangladesh using Google Earth Engine. *Environment, Development and Sustainability*

⁶¹ Arrofiqoh, M. Z., & Setyaningrum, D. (2021). Influence of mobility changes on land surface temperature: A case study of Yogyakarta, Indonesia during COVID 19. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*

pandémie (mai 2020) et après la période de "nouveau normal" (août 2020). La méthode de calcul de la LST comprenait la radiance TOA, la température de brillance et l'émissivité (dérivée du NDVI et de la proportion de végétation). Les données de l'indice de mobilité de Google ont également été utilisées.

○ **Résultats Clés :**

- Pendant la pandémie, avec la réduction des activités extérieures, la LST était plus basse qu'avant la pandémie.
- Après la mise en place du "nouveau normal" et la reprise des activités, la LST a de nouveau augmenté, atteignant des niveaux similaires, voire légèrement supérieurs, à ceux d'avant la pandémie.
- L'indice de mobilité de Google a confirmé une baisse significative des déplacements pendant le confinement et une reprise partielle par la suite, corroborant les observations de LST.

3.1.3 Ho Chi Minh Ville, Vietnam (Veettil, B.K. & Van, D.D.2022)⁶² :

- **Zone d'étude :** Ho Chi Minh Ville, pôle économique du sud du Vietnam.
- **Données et Méthodes :** Images Landsat 8 OLI/TIRS acquises entre 2015 et 2022. L'étude a analysé les variations de LST avant, pendant (confinement strict en 2021) et après le confinement.
- **Résultats Clés :**
 - Une réduction significative de 1 à 1.8°C de la LST a été observée dans les zones ouvertes (hors surfaces imperméables et zones bâties) pendant le confinement strict.
 - Cette réduction concordait avec la diminution des gaz à effet de serre rapportée dans d'autres études pour la même période.

⁶² Veettil, B. K., & Van, T. T. H. (2023). COVID-19 lockdown and changes in urban surface temperature: Insights from Ho Chi Minh City. *Urban Climate*, 45, 101295.

- Après la levée des restrictions et la reprise de la mobilité humaine et des activités industrielles (novembre 2021), la LST a retrouvé ses niveaux d'avant confinement.

3.1.4 Da Nang, Hue et Vinh, Vietnam (Veetil, B.K. et al.2022) :

- **Zone d'étude :** Trois villes en croissance rapide : Da Nang, Hue et Vinh.
- **Données et Méthodes :** Imagerie Landsat 8 (2017-2022) pour étudier les variations de LST et de NDVI.
- **Résultats Clés :**
 - Une légère réduction de la LST a été observée, particulièrement à Da Nang, pendant le confinement, mais moins marquée que dans les grandes métropoles.
 - La LST des zones bâties et autres surfaces imperméables est restée relativement stable.
 - Les valeurs de NDVI ont indiqué un environnement urbain plus sain (plus de végétation ou végétation plus vigoureuse) pendant le confinement, notamment à Vinh et Da Nang. Hue, étant une ville très végétalisée, a montré des valeurs NDVI élevées même pendant le confinement.

Synthèse pour l'Asie du Sud-Est : Les études en Asie du Sud-Est convergent vers une observation de baisse de la LST pendant les périodes de confinement, attribuée principalement à la réduction des activités humaines. L'ampleur de cette baisse varie en fonction de la taille de la ville, du type de surface et de la rigueur des mesures de confinement. La mobilité réduite, confirmée par des données externes (Google Mobility Index), soutient ces conclusions.

3.2 Études de Cas en Inde

L'Inde, avec ses mégapoles densément peuplées, a également fait l'objet d'études significatives concernant l'impact des confinements sur l'environnement urbain.

3.2 .1 Kolkata (Sahani et al.2020)⁶³ :

- **Zone d'étude** : Kolkata.
- **Données et Méthodes** : Données Landsat 7 ETM+ pour estimer la LST avant (13 mars 2020) et après (30 avril 2020) le confinement. Un algorithme à canal unique a été utilisé. L'Indice de Qualité de l'Air (AQI), basé sur sept polluants (PM2.5, PM10, NO2, NH3, SO2, CO, Ozone), a également été analysé.
- **Résultats Clés** :
 - La LST moyenne est passée de 28.76°C avant le confinement à 26.56°C après, avec une baisse notable des valeurs minimales de LST (de 23.6°C à 17.35°C).
 - Le niveau de pollution a significativement diminué, passant d'un niveau "modérément pollué" (AQI 95-153) à "satisfaisant" (AQI 33-45).
 - Une corrélation a été observée entre la baisse de la LST et l'amélioration de la qualité de l'air, suggérant que la réduction de la pollution (et des activités associées) a directement influencé la température de surface.
 - L'analyse des indices NDBI et NDVI a montré que le NDBI (zones bâties) avait la plus forte corrélation positive avec la LST.

⁶³ Sahani, N., Kumar, P., Suman, M., Kumar, P., & Mallik, C. (2020). Air Quality and LST Dynamics in Kolkata Pre- and Post-Lockdown. *Urban Climate*, 34, 100714.

3.2.2 New Delhi, Hyderabad, Mumbai (Jallu, S. et al. 2021)⁶⁴:

- **Zone d'étude** : Trois grandes villes indiennes situées dans des zones climatiques différentes : New Delhi (intérieur), Hyderabad (intérieur), Mumbai (côtière).
- **Données et Méthodes** : Analyse temporelle de la LST (2015-2020) sur différents types de couverture du sol (bâtiments, sol nu, routes, végétation, eau) à partir de données Landsat 8 OLI/TIRS. Des indices comme NDVI et NDBI ont été utilisés pour la classification LULC. L'étude a comparé avril 2020 (après confinement) à avril 2019 et aux années précédentes.
- **Résultats Clés** :
 - **New Delhi** : La LST moyenne a diminué de 5°C en avril 2020 par rapport à avril 2019. La baisse la plus importante a été pour la végétation (-8.19°C) et les routes (-7.71°C). L'AQI s'est également amélioré.
 - **Hyderabad** : La LST moyenne a diminué de 1.9°C. La baisse a été plus modérée, allant de -2.34°C pour les bâtiments à -1.14°C pour les routes.
 - **Mumbai** : La réduction de la LST a été la moins significative (0.26°C en moyenne). Pour les différents types de LULC, la baisse variait de -0.68°C (végétation) à -0.01°C (routes).
 - Les auteurs attribuent ces variations entre villes à la rigueur des mesures de confinement, aux conditions géographiques et climatiques locales, et à l'intensité des activités industrielles.

Synthèse pour l'Inde : Les études en Inde confirment une tendance à la baisse de la LST pendant les confinements, souvent corrélée à une amélioration notable de la qualité de l'air. Cependant, l'ampleur de cette baisse varie considérablement d'une ville à l'autre, soulignant l'importance des conditions climatiques locales, de la structure urbaine et du type de couverture du sol. Les villes intérieures (Delhi, Hyderabad) semblent avoir connu des baisses de LST plus

⁶⁴ Jallu, S., Kumar, R., Kumar, A., & Singh, C. K. (2021). Spatiotemporal Analysis of LST Changes in Delhi, Hyderabad, and Mumbai During COVID-19. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 24, 100628.

marquées que la ville côtière de Mumbai, où l'effet du confinement sur la LST était moins évident.

3.3 Étude de Cas en Turquie (Istanbul)

Une étude spécifique s'est intéressée à la partie anatolienne d'Istanbul, en se concentrant sur l'impact du confinement sur les grandes surfaces imperméables architecturales.

3.3.1 Partie Anatolienne d'Istanbul (Kusak, L. & Kucukali, U.F. 2023)⁶⁵ .:

- **Zone d'étude** : Partie anatolienne (asiatique) d'Istanbul.
- **Données et Méthodes** :
 - 14 images Landsat 8 OLI/TIRS de 2016 à 2022 ont été analysées pour la LST, le NDVI, le NDBI et l'albédo.
 - La couverture du sol CORINE Land Cover (CLC) 2018 a été utilisée comme donnée auxiliaire.
 - Une sélection rigoureuse des images a été effectuée en utilisant des analyses de corrélation et de similarité cosinus pour minimiser l'impact de la couverture nuageuse. 12 images ont finalement été retenues.
 - L'étude s'est focalisée sur 8 grandes structures architecturales imperméables (centres commerciaux, aéroport Sabiha Gökçen, site d'ameublement Modoko).
 - La méthode des moindres carrés ordinaires (OLS) a été utilisée pour estimer la LST en fonction des indices biophysiques (NDVI, NDBI, Albédo).
 - Les données de l'indice de mobilité de Google ont été utilisées pour contextualiser les résultats.

3.3.2 Résultats Clés :

⁶⁵ Kusak, L., & Kucukali, U. F. (2023). Impact of COVID-19 on urban heat islands: Evidence from Istanbul using satellite imagery. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(6). <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11009-4>

2. Sélection des Images :

L'analyse de corrélation et de similarité cosinus a permis d'identifier et d'exclure les images satellitaires fortement affectées par les nuages ou présentant des anomalies, assurant une meilleure comparabilité.

3. LST et Occupation du Sol :

Avant le confinement, la LST sur les surfaces artificielles variait généralement entre 25 et 35°C. Pendant les périodes de confinement (avril-mai), les concentrations de LST se situaient plutôt dans la plage 20-30°C, sauf pour une image (Lb2 - fin avril 2020) où les zones urbaines montraient des LST plus basses que prévu.

4. Impact sur les Grandes Structures :

Une baisse de la LST a été observée sur les grandes structures imperméables pendant les périodes de confinement. Par exemple, le centre commercial İçerenköy et Meydan Mall ont montré des valeurs LST plus basses pendant le confinement que pendant la plupart des périodes précédentes et suivantes. L'aéroport Sabiha Gökçen, malgré une activité réduite, a montré des variations LST moins systématiques, potentiellement dues à la nature continue de certaines opérations aéroportuaires ou à la masse thermique des pistes.

5. Mobilité Google :

Les données de mobilité ont confirmé une forte réduction des déplacements vers les lieux de commerce, de loisirs et de travail pendant les confinements, soutenant l'hypothèse d'une baisse d'activité humaine liée à la baisse de LST.

3.3.3 Synthèse pour Istanbul :

Cette étude met en évidence la complexité de l'analyse LST en milieu urbain dense, même avec des techniques de sélection d'images. Elle confirme une tendance à la baisse de la LST sur les grandes structures imperméables pendant les confinements, liée à la réduction de l'activité humaine (confirmée par l'indice de mobilité). La variabilité observée souligne

l'influence de la nature spécifique des activités sur ces sites (par exemple, un centre commercial avec une épicerie essentielle ouverte versus un site industriel complètement fermé).

3.4 Études à Grande Échelle (Europe et Amérique du Nord) & Synthèse Globale des Résultats

Au-delà des études de cas spécifiques, une recherche a examiné les impacts du confinement sur la LST, les aérosols et les îlots de chaleur urbains à l'échelle de l'Europe et de l'Amérique du Nord.

3.4.1 Europe et Amérique du Nord (Parida, B.R. et al.2021)⁶⁶

- **Zone d'étude** : Régions fortement impactées par la COVID-19 en Europe et en Amérique du Nord.
- **Données et Méthodes** :
 - LST nocturne et diurne dérivée des données MODIS (Terra MOD11A1) pour mars-mai 2020, comparée à la moyenne 2015-2019.
 - Profondeur optique des aérosols (AOD) dérivée de MODIS (MCD19A2).
 - Vapeur d'eau atmosphérique (PWV) et types d'aérosols (BC, OC, poussière minérale, sel de mer, SO₂) de MERRA-2.
 - Données météorologiques (température de l'air, humidité, vent, hauteur de la couche limite) d'ERA-5 et de stations au sol.
 - Analyse des anomalies standardisées.

⁶⁶ Parida, B.R., Dash, S.S., Pandey, A.C., & Kumar, D. (2021). Continental-Scale Assessment of Lockdown Effects on Urban Heat Islands in Europe and North America. *Science of The Total Environment*, 789, 147975.

- **Résultats Clés :**

LST Nocturne : Une anomalie négative généralisée de la LST nocturne a été observée en Europe (-0.11°C à -2.6°C), aux États-Unis (-0.70°C) et au Canada (-0.27°C) pendant le confinement. Cette baisse était plus prononcée dans les zones urbaines ($1-2^{\circ}\text{C}$ de plus que dans les paysages ruraux environnants), suggérant un affaiblissement de l'effet d'îlot de chaleur urbain.

3.4.2 LST Diurne : En Europe, la LST diurne a augmenté sur de nombreuses régions, potentiellement en raison d'une moindre atténuation du rayonnement solaire par des aérosols moins nombreux. En Amérique du Nord, les anomalies de LST diurne étaient également largement négatives.

3.4.3Aérosols (AOD) : La distribution spatiale des anomalies d'AOD était très hétérogène, avec des baisses dans certaines régions (Europe centrale-orientale) et des augmentations dans d'autres (zones côtières d'Europe, potentiellement dues à des poussières ou des conditions météorologiques).

3.4.4Facteurs Météorologiques : La variabilité météorologique (précipitations, humidité, vent) a joué un rôle complexe. Par exemple, une réduction des précipitations en Europe occidentale pourrait avoir contribué à des LST plus élevées, masquant l'effet du confinement.

3.4.5Lien LST-Pollution : La baisse de la LST nocturne a été attribuée à la réduction des émissions anthropiques d'aérosols et de gaz à effet de serre, entraînant une moindre absorption du rayonnement thermique.

3.5 Synthèse Générale des Résultats de Toutes les Études :

À travers les diverses études et régions, plusieurs constats majeurs émergent :

1. **Baisse Générale de la LST :** La majorité des études rapportent une diminution de la LST, en particulier la LST nocturne, pendant les périodes de confinement strict (Liu et al., 2020⁶⁷). Cette baisse est souvent plus marquée en milieu urbain qu'en milieu rural .
2. **Lien avec la Réduction de l'Activité Humaine :** Cette baisse est principalement attribuée à la réduction des activités humaines : diminution du trafic routier, arrêt ou ralentissement des activités industrielles, et moindre utilisation de la

⁶⁷ Liu, Y., Wu, E., Wang, Y., Gao, W., & Liu, Y. (2020). Impact of the COVID-19 pandemic on the surface urban heat island: Global evidence from 230 cities. *Remote Sensing*, 12(20), 3445

climatisation/chauffage dans les bâtiments commerciaux et de Les données de mobilité, telles que celles fournies par Google, corroborent souvent cette baisse d'activité et sont utilisées pour contextualiser les observations de LST .

3. **Amélioration de la Qualité de l'Air :** Les études qui ont inclus l'analyse de la qualité de l'air (par exemple, Sharma et al., 2021, pour l'Inde; Bauwens et al., 2020, pour l'Europe) ont généralement constaté une amélioration, avec une baisse des concentrations de polluants tels que les particules fines (PM) et le dioxyde d'azote (NO₂). Cette amélioration a pu contribuer à la baisse de LST par des mécanismes complexes, notamment une réduction des aérosols absorbant le rayonnement (Founda et al., 2021).
4. **Affaiblissement de l'ICU :** La baisse plus prononcée de la LST en zone urbaine par rapport aux zones rurales suggère un affaiblissement de l'effet d'îlot de chaleur urbain pendant les confinements (Chakraborty et al., 2021⁶⁸; Liu et al., 2020).
5. **Variabilité Géographique et Temporelle :** L'ampleur des changements de LST varie considérablement en fonction de plusieurs facteurs :
 - Du type de couverture du sol, car les surfaces imperméables et bâties ont des propriétés thermiques différentes de la végétation ou des plans d'eau, influençant leur réponse aux changements d'activité (Oke et al., 2017).
 - Des conditions météorologiques spécifiques pendant les périodes d'étude (couverture nuageuse, précipitations, vent), qui peuvent masquer ou amplifier les effets du confinement (Kusak & Kucukali, 2023).
 - De la période de la journée, les effets sur la LST diurne et nocturne pouvant différer, l'ICU étant souvent plus prononcé la nuit (Liu et al., 2020).

3.6 Discussion des Facteurs d'Influence et des Limites des Recherches

L'interprétation des variations de LST pendant les confinements COVID-19 est complexe en raison de l'interaction de multiples facteurs.

3.6.1 Facteurs Clés Influant sur les Variations de LST Observées

⁶⁸ Chakraborty TC, Chandan Sarangi, and Xuhui Lee1,(2021) Reduction in human activity can enhance the urban heat island: insights from the COVID-19 lockdown

1. Réduction de la Chaleur Anthropique :

- **Trafic** : La diminution drastique du trafic routier a réduit les rejets de chaleur des moteurs et potentiellement le stockage de chaleur par les surfaces routières sombres (Chakraborty et al., 2020)⁶⁹.
- **Industrie** : L'arrêt ou la réduction des activités industrielles a diminué les émissions de chaleur des processus industriels
- **Bâtiments** : La fermeture des bureaux, commerces et certains services a pu réduire la consommation d'énergie pour la climatisation (ou le chauffage selon la saison et le lieu), diminuant les rejets de chaleur. Cependant, l'augmentation du télétravail a pu déplacer une partie de cette consommation vers les zones résidentielles, modulant l'effet net (Karti & Aldubyan, 2021).

3.6.2 Limites des Études et Défis Méthodologiques

1. **Couverture Nuageuse** : C'est une contrainte majeure pour la télédétection optique et thermique, limitant la disponibilité des images claires et pouvant introduire des biais si les périodes comparées ont des couvertures nuageuses systématiquement différentes (Voogt & Oke, 2003)⁷⁰. Les techniques de sélection d'images, comme celles basées sur la corrélation ou la similarité cosinus (par exemple, Kusak & Kucukali, 2023), tentent de pallier ce problème.

2. Résolution Spatiale et Temporelle des Satellites :

- Les capteurs comme Landsat offrent une bonne résolution spatiale (par exemple, 30m pour les bandes thermiques après rééchantillonnage) mais une faible résolution temporelle (16 jours, souvent réduite par la couverture nuageuse), ce qui peut limiter l'analyse des dynamiques rapides
- Les capteurs comme MODIS offrent une haute résolution temporelle (quotidienne) mais une résolution spatiale plus faible (par exemple, 1 km pour

⁶⁹ Chakraborty, T. C., Sarangi, C., & Tripathy, S. (2020). Understanding the impacts of the COVID-19 lockdown on urban land surface temperatures in India. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 12921–12939.

⁷⁰ Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384

les produits LST standards), ce qui peut être insuffisant pour des analyses fines en milieu urbain hétérogène (Wan et al., 2015⁷¹).

3. **Isolation de l'Effet du Confinement** : Distinguer l'impact spécifique du confinement des variations météorologiques naturelles, de la saisonnalité et d'autres facteurs (par exemple, des événements extrêmes comme les vagues de chaleur ou les intrusions de poussière saharienne) est un défi majeur. Des analyses statistiques robustes et l'utilisation de longues séries temporelles de référence sont nécessaires pour attribuer les changements observés (Chakraborty et al., 2021).
4. **Variabilité des Mesures de Confinement** : La rigueur, la durée et le type de restrictions ont varié entre pays et même entre villes, rendant les comparaisons directes et la généralisation des résultats difficiles (Hale et al., 2021)⁷².
5. **Complexité des Interactions Urbaines** : Le microclimat urbain est le résultat d'interactions complexes entre la morphologie urbaine (densité, hauteur des bâtiments, canyons urbains), les propriétés des matériaux de surface, la présence et la distribution de la végétation, les activités humaines générant de la chaleur, et la météorologie à plus grande échelle (Oke et al., 2017; Stewart & Oke, 2012⁷³). Modéliser ces interactions avec précision reste ardu.

⁷¹ Wan, Z., Hook, S., Hulley, G. (2015). MOD11C3 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Monthly L3 Global 0.05Deg CMG V006 NASA EOSDIS LP DAAC

⁷² Hale, T., Angrist, N., Goldszmidt, R., Kira, B., Petherick, A., Phillips, T., ... & Tatlow, H. (2021). A global panel database of pandemic policies (Oxford COVID 19 Government Response Tracker). *Nature Human Behaviour*, 5(4), 529-538.

⁷³ Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900

Conclusion de chapitre 02

L'analyse des recherches menées à l'échelle mondiale sur l'impact des confinements dus à la COVID-19 sur l'environnement thermique urbain converge vers une conclusion principale : ces mesures restrictives ont, dans la majorité des cas, entraîné une baisse temporaire de la température de surface terrestre (LST), particulièrement la LST nocturne, et un affaiblissement de l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU). Cette tendance s'explique principalement par la réduction significative de la chaleur anthropique, issue de la diminution drastique du trafic routier, du ralentissement des activités industrielles et de la moindre sollicitation énergétique des bâtiments commerciaux et de bureaux. L'amélioration concomitante de la qualité de l'air, observée dans de nombreuses régions, a également pu jouer un rôle, bien que complexe, dans ces variations thermiques.

Néanmoins, l'ampleur de cet effet s'est révélée hétérogène, modulée par une multitude de facteurs incluant la localisation géographique et le climat des villes étudiées, la rigueur et la durée des mesures de confinement, le type de couverture du sol, la période de la journée, ainsi que les conditions météorologiques spécifiques durant les périodes d'étude. Les défis méthodologiques, tels que la couverture nuageuse limitant la disponibilité des données satellitaires, la résolution spatio-temporelle des capteurs, et la difficulté d'isoler l'effet propre du confinement des autres variables environnementales, ont également été soulignés.

En définitive, la pandémie de COVID-19, malgré ses conséquences tragiques, a offert une opportunité scientifique précieuse. Elle a permis de quantifier de manière tangible l'influence directe des activités humaines sur le microclimat urbain et a mis en lumière la réactivité de l'environnement à des changements drastiques de comportement. Les enseignements tirés de cette "expérience naturelle" soulignent l'importance des stratégies d'urbanisme durable, de la promotion des mobilités douces et de l'efficacité énergétique pour atténuer les îlots de chaleur urbains et améliorer la résilience des villes face aux défis climatiques futurs. La télédétection s'est affirmée comme un outil indispensable pour le suivi environnemental à grande échelle, et les résultats obtenus appellent à poursuivre les recherches pour affiner la compréhension des interactions complexes entre activités humaines, urbanisation et climat.

Chapitre III :
: Matériel et Méthodes

Le présent chapitre est consacré à l'exposition détaillée du matériel et des méthodes employés pour mener à bien notre étude [mentionner brièvement le sujet général de l'étude, par exemple : sur l'analyse de la dynamique urbaine et de l'îlot de chaleur de la Wilaya d'Alger]. Il s'ouvre sur une présentation de la télédétection, incluant sa définition, son historique, ses objectifs et ses applications, afin de souligner sa pertinence pour notre investigation. Seront ensuite décrits la configuration matérielle et logicielle utilisée, avec un focus sur le logiciel ArcGIS, outil central pour nos traitements. Une part substantielle du chapitre est dédiée aux données satellitaires Landsat 8, détaillant leurs caractéristiques, les instruments embarqués, les produits de données utilisés, et la méthodologie d'acquisition via la plateforme USGS EarthExplorer. La zone d'étude, la Wilaya d'Alger, sera ensuite précisément délimitée et caractérisée. Enfin, le cœur méthodologique exposera les étapes de calcul de la Température de Surface Terrestre (LST), ainsi que celles des différents indices spectraux (NDVI, NDBI, NDBal, UTFVI, UHI) et l'approche pour analyser la corrélation entre NDVI et NDBI. Les opérations de traitement spatial, telles que l'utilisation du Raster Calculator et l'extraction par masque, seront également explicitées. L'objectif est de fournir un cadre méthodologique transparent et reproductible pour l'analyse des phénomènes étudiés.

1-Télédétection :

1.1-Définition :

La télédétection est un ensemble de méthodes et de techniques intervenant dans une nouvelle stratégie de l'étude et du suivi des différents phénomènes naturels ayant une incidence directe sur l'homme et son environnement, la télédétection est en fait l'analyse spatial d'un écosystème à partir de l'utilisation et l'interprétation de photographies aériennes et/ou imageries satellitaires dans le but étant d'établir un diagnostic précis et une évaluation de l'ampleur d'un phénomène naturel , de manière à orienter les diverses actions d'aménagement

requis et entrant dans le cadre du développement durable des écosystèmes
(Bensaid A ; 2006)⁷⁴.

1.2 Objectif de la télédétection

La télédétection a pour objectif de fournir des informations sur les paysages sous la forme de données images en utilisant le rayonnement électromagnétique comme véhicule de ces informations (DarabidDet all ,2013)⁷⁵.

1.3 les applications de télédétection :

Les applications incluent : la gestion forestière, l'aviation, l'agriculture, le génie civil, la géologie, l'architecture, le cadastre, les assurances, l'immobilier, l'aménagement, la gestion de l'environnement, l'archéologie, les services municipaux et sectoriels. (Rebbouh A ,2018)⁷⁶.

2 Matériel et méthode

2.1 La configuration de l'ordinateur utilisé

2.1.1 Matériel (Hardware)

Les expérimentations ont été réalisées sur un ordinateur portable de marque Packard bell , ayant l'architecture et la configuration suivantes :

Système d'exploitation : Windows 11 Professionnel

Processeur : Intel, 64 bits

Type de système : OS et processeur x64

-
- ⁷⁴ Bensaid A. (2006). SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone semi-aride : (le cas de la wilaya de NAAMA- Algérie) [Thèse de doctorat, Université JOSEPH FOURIERGRENoble].

⁷⁵ Darabid D, Bouchekara M. (2013). EXTRACTION DES DIFFERENTS INDICES DE VEGETATION A PARTIR DES IMAGES SATELLITAIRES [Mémoire de master, Centre Universitaire El Wancharissi de Tissemsilt]

⁷⁶ Rebbouh A. (2018). Apport de la télédétection et les traitements des images LANDSAT7 ETM+ pour la cartographie de la région des lacs d'El Goléa (wilaya de ghardai a) [Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla].

2.1.2 Matériel (Software)

pour faire un traitement d'image satellitaire on a utilisé logiciel ArcGIS- est un ensemble d'outils exécutables et d'interfaces de programmation d'application qui ont été développés pour faciliter l'utilisation, la visualisation et le traitement d'une variété de données de télédétection. La fonctionnalité ArcGIS est accessible via l'ArcGIS Toolbox. Le but de l'Arc GIS Toolbox n'est pas de dupliquer les paquets commerciaux existants, mais de les compléter par des fonctions dédiées à la manipulation des produits de données satellitaires d'observation de la Terre

2.1.3- Logiciel ArcGIS :

Qu'est-ce que ArcGIS ?

ArcGIS est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Le système est disponible partout au moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des smartphones et d'ordinateurs de bureau⁷⁷

Que pouvez-vous faire avec ArcGIS ?

ArcGIS vous permet de :

- Créer, partager et utiliser des cartes intelligentes.
- Rassembler les informations géographiques.
- Créer et gérer des bases de données géographiques.
- Résoudre des problèmes avec l'analyse spatiale.
- Créer des applications basées sur la carte.
- Communiquer et partager des informations grâce à la puissance de la géographie et de la visualisation..

⁷⁷ ArcGIS web site : <https://resources.arcgis.com/fr/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

Consulté le 2025/05/24

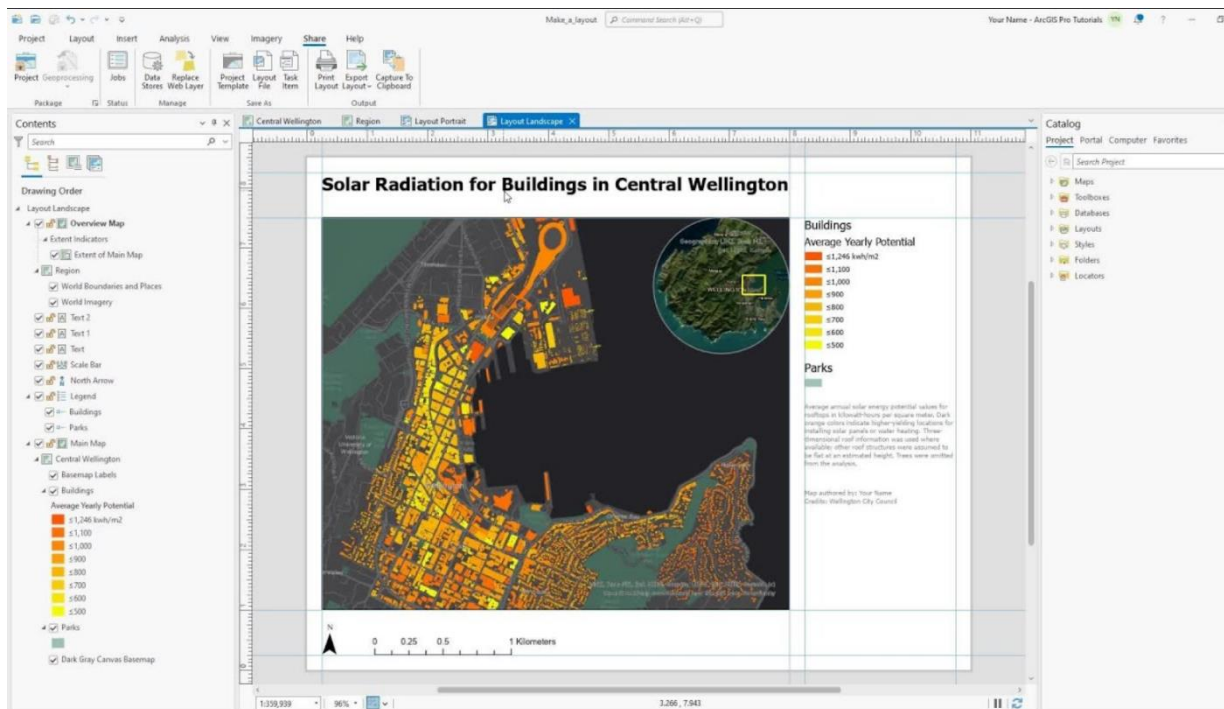


Figure 9 Interface de logiciel ArcGIS

2.2 Données utilisées :

2.2.1 Landsat 8 - 9 :

Données satellite optiques et thermiques à basse résolution de 30 m, acquises dans le monde entier. La collection comprend des données de 2013 à aujourd'hui. (web site up 42 docs)⁷⁸

Aperçu

Landsat 8 est une mission d'observation de la Terre du programme Landsat de l'USGS et de la NASA. Elle fournit gratuitement des données optiques et thermiques acquises par les capteurs suivants :

⁷⁸ (web site up 42 docs) <https://docs.up42.com/data/datasets/landsat-8> Consulté le 2025/05/24

Imageur terrestre opérationnel, qui capture des images dans les parties visibles, proches infrarouges et infrarouges à ondes courtes du spectre.

Capteur infrarouge thermique, qui capture les données de chaleur dans la gamme infrarouge thermique.



Figure 10 Image satellitaire⁷⁹

Couverture géographique et restriction

La couverture géographique est mondiale.

2.2.2 Produits de données

Produit de données	Taper	Combinaison de bandes spectrales
Niveau 2SP	Catalogue	8 bandes : multispectral (RVB, bleu profond, NIR, SWIR et TIR)

⁷⁹ (web site up 42 docs) <https://docs.up42.com/data/datasets/landsat-8> Consulté le 2025/05/24

2.2.3 Caractéristiques

Caractéristiques Général

Spécification	Description
Fournisseur	USGS
Type de collection	Catalogue
Type de produit	Optique
Type de système	Satellite

2.2.4 Données

Spécification	Description
Résolution	Dépendant de la bande : <ul style="list-style-type: none">• 30 m• 100 m
Profondeur de bits par pixel	16 bits
Format de livraison	Un fichier ZIP contenant les fichiers suivants : <ul style="list-style-type: none">• Données (GeoTIFF)• Métadonnées (XML)• Vignettes (JPEG)• Coefficients (TXT)
Masques	Transparence environnementale

2.2.5 Niveaux de traitement

	Primaire	Géorectifié	orthorectifié
Basique	⊖	⊖	⊖
TOA	⊖	⊖	⊖
Réflectance de surface	⊖	⊖	<input checked="" type="checkbox"/> Niveau 2SP
Afficher	⊖	⊖	⊖

2.2.6 Système

Spécification	Description
Mode d'acquisition	Mono
Angle d'incidence	Jusqu'à 75°
Orbite	Solaire synchrone, à 705 km
Nombre de satellites	1
Taux de rafraîchissement du catalogue	Tous les 16 jours
Largeur de l'andain	185 km

2.2.7 Données de bande

Spécification	Description
Bandes spectrales	<p>30 m:</p> <ul style="list-style-type: none">• Bande 1 : 435–451 nm (aérosol côtier)• Bande 2 : 452–512 nm (bleu)• Bande 3 : 533–590 nm (vert)• Bande 4 : 636–673 nm (rouge)• Bande 5 : 851–879 nm (proche infrarouge)• Bande 6 : 1 566–1 651 nm (infrarouge à ondes courtes)• Bande 7 : 2 107–2 294 nm (infrarouge à ondes courtes) <p>100 m:</p> <ul style="list-style-type: none">• Bande 10 : 10 600–11 190 nm (infrarouge thermique)

2.2.8 Référence géographique

Spécification	Description
Système de référence de coordonnées	UTM-WGS84
Précision de positionnement	12 m CE90 absolu

2.2.9 Conditions

Spécification	Description
Limites	Entrée : AOI Disponibilité : à partir de 2013 Sortie : scène 185×180 km

2.2.10 Intégration d'API

Produit de données	Taper	Nom et identifiant	Nom de la collection
Niveau 2SP	Catalogue	Nom : ID : landsat-8-level-2sp 0d6796c4-9e0b-44e8-bb8f-3d0bc9794382	landsat-8

2.2 Les instruments de Landsat 8

Landsat 8 embarque deux instruments scientifiques principaux qui collectent les données : ⁸⁰

2.2.1 Operational Land Imager (OLI):

Cet instrument capture des données dans neuf bandes spectrales dans les portions visible, proche infrarouge (NIR) et infrarouge à ondes courtes (SWIR) du spectre électromagnétique. Il inclut de nouvelles bandes pour l'observation des zones côtières/aérosols (Bande 1) et la détection des cirrus (Bande 9), en plus des bandes multispectrales héritées des missions Landsat précédentes.

2.2.2 Thermal Infrared Sensor (TIRS):

Cet instrument mesure la température de la surface terrestre en collectant des données dans deux bandes infrarouges thermiques (Bande 10 et Bande 11).

Ces instruments sont cruciaux car ils définissent le type et la qualité des données disponibles pour l'analyse.

2.2.3 Les bandes spectrales

Les données brutes de Landsat 8 sont organisées en **bandes spectrales**, chacune capturant des informations sur une gamme spécifique de longueurs d'onde. Ces bandes sont les éléments fondamentaux sur lesquels toutes les analyses sont basées. Les principales bandes de Landsat 8 sont :

⁸⁰ USGS web site: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8> Consulté le 2025/05/25

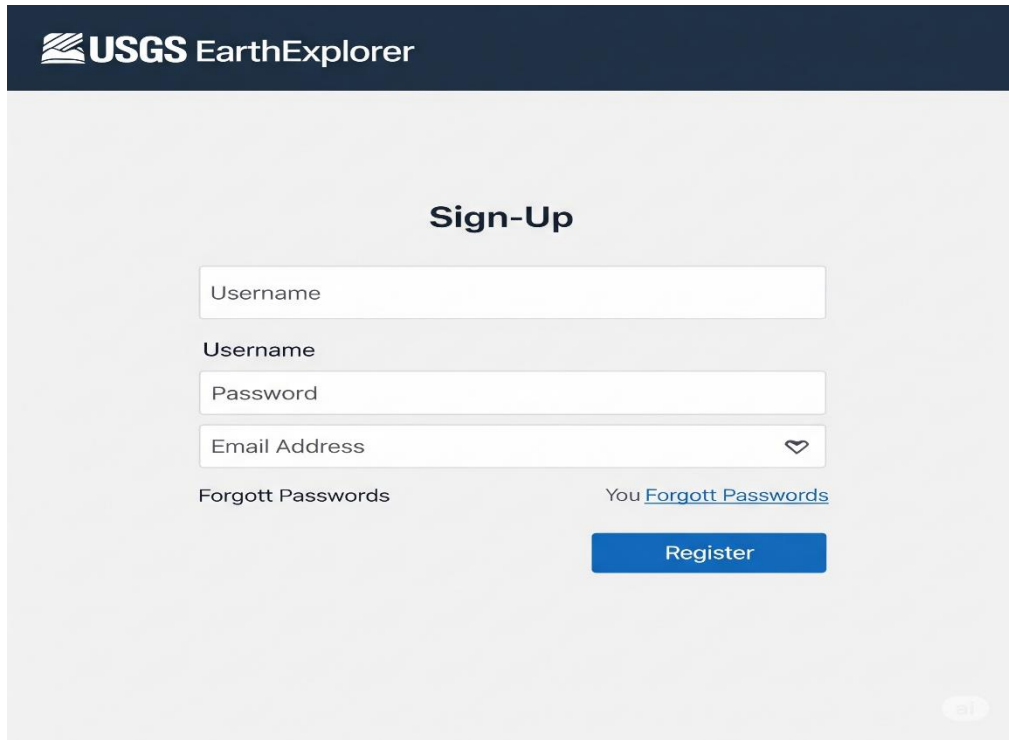
- **Bande 1 (Coastal/Aerosol):** 0,43 - 0,45 μm (30 m de résolution) - utile pour l'imagerie en eau peu profonde et le suivi des aérosols.
- **Bande 2 (Bleu):** 0,45 - 0,51 μm (30 m) - pour la couleur naturelle et la pénétration de l'eau.
- **Bande 3 (Vert):** 0,53 - 0,59 μm (30 m) - pour la couleur naturelle et la végétation.
- **Bande 4 (Rouge):** 0,64 - 0,67 μm (30 m) - pour la couleur naturelle et l'analyse de la végétation.
- **Bande 5 (Proche Infrarouge - NIR):** 0,85 - 0,88 μm (30 m) - très importante pour l'analyse de la santé de la végétation.
- **Bande 6 (SWIR 1):** 1,57 - 1,65 μm (30 m) - utile pour l'humidité du sol, la classification des sols et la géologie.
- **Bande 7 (SWIR 2):** 2,11 - 2,29 μm (30 m) - utile pour l'humidité du sol, la classification des sols et la géologie.
- **Bande 8 (Panchromatique):** 0,50 - 0,68 μm (15 m) - bande à haute résolution spatiale pour l'amélioration de l'image (pansharpening).
- **Bande 9 (Cirrus):** 1,36 - 1,38 μm (30 m) - conçue pour détecter les nuages cirrus.
- **Bande 10 (TIRS 1):** 10,60 - 11,19 μm (100 m) - pour l'imagerie thermique.
- **Bande 11 (TIRS 2):** 11,50 - 12,51 μm (100 m) - pour l'imagerie thermique.

2.2.4 Les produits de données

Les données brutes de Landsat 8 sont traitées pour créer différents **produits de données**, qui sont les formats dans lesquels les utilisateurs téléchargent et travaillent avec les images. Les produits les plus courants sont les produits de **niveau 2**, qui sont radiométriquement corrigés, géométriquement corrigés et projetés sur une carte. Ils contiennent également des métadonnées essentielles pour leur utilisation.

2.3 Téléchargement des données de Landsat 8 en USGS

1. Créer ou connecter à compte USGS EROS⁸¹



The image shows the 'Sign-Up' page of the USGS EarthExplorer website. At the top, there is a dark blue header with the USGS logo and the text 'USGS EarthExplorer'. Below the header, the page has a light gray background. In the center, the title 'Sign-Up' is displayed in bold black text. Underneath the title, there are three input fields: 'Username', 'Password', and 'Email Address'. The 'Email Address' field includes a small heart icon on the right side. Below the 'Email Address' field, there are two links: 'Forgott Passwords' on the left and 'You [Forgott Passwords](#)' on the right. A blue 'Register' button is positioned below these links. In the bottom right corner of the page, there is a small, faint 'ai' watermark.

Figure 11 interface site USGS.com

⁸¹ USGS Earth Explorer web site: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Consulté le 2025/05/24

2 Définisse notre zone d'intérêt (AOI)

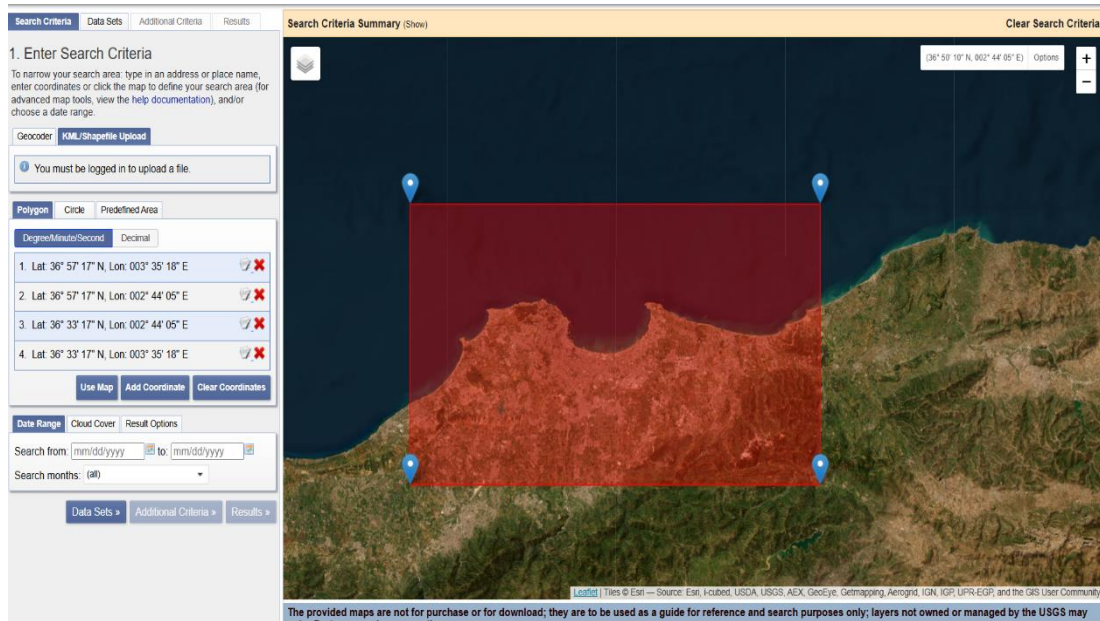


Figure 12 interface site USGS.com

3. Sélectionner la période et le jeu de données

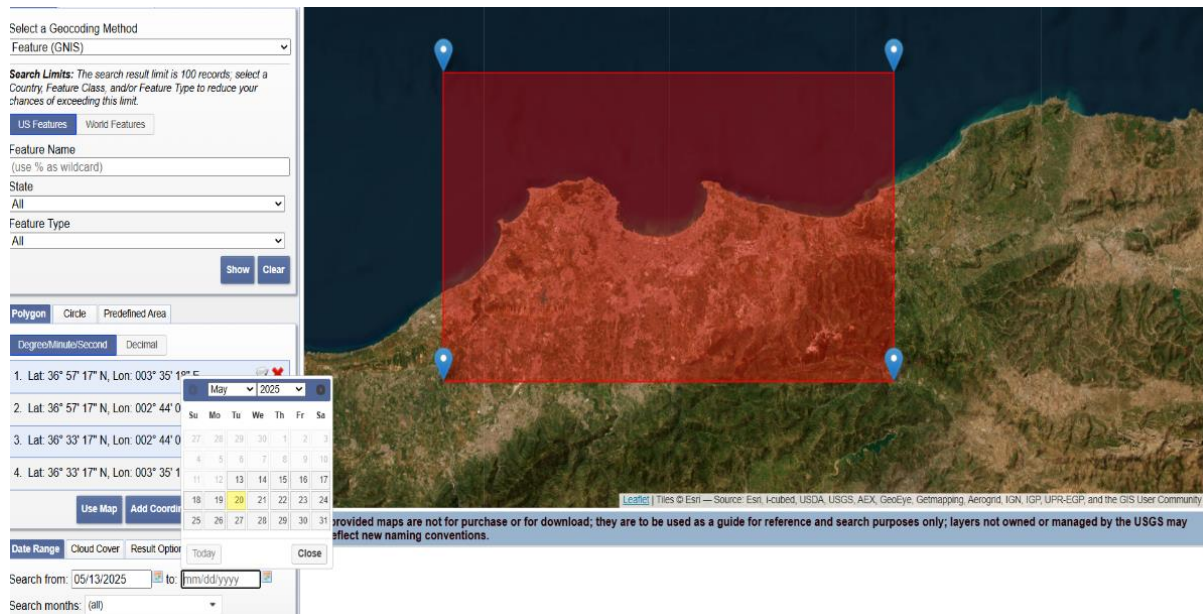


Figure 13 interface site USGS.com

4. Sélectionner les données de landsat 8 / 9 OLI / TIRS C2 L2

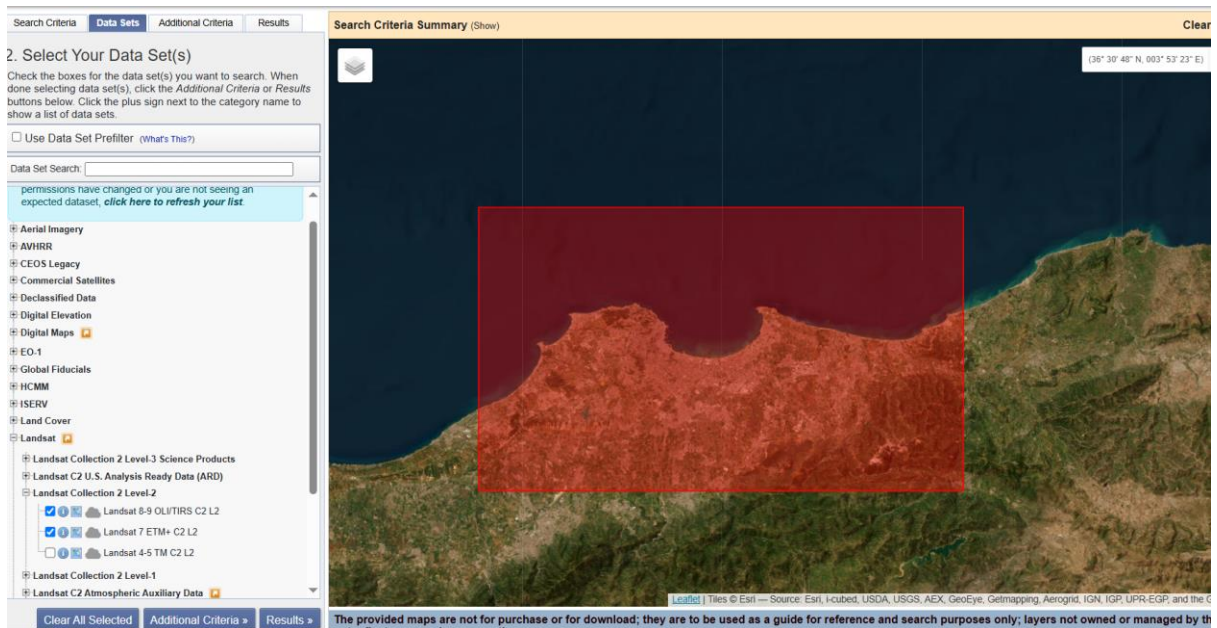


Figure 14 interface site USGS.com

5. Affiner notre recherche avec des critères additionnels (optionnel)

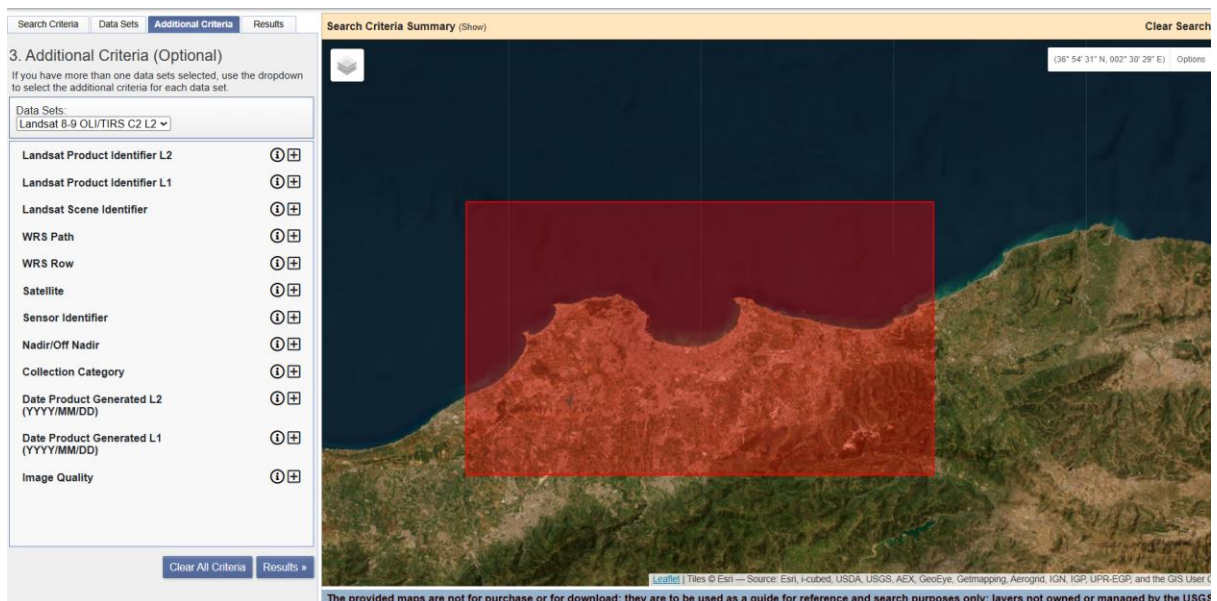
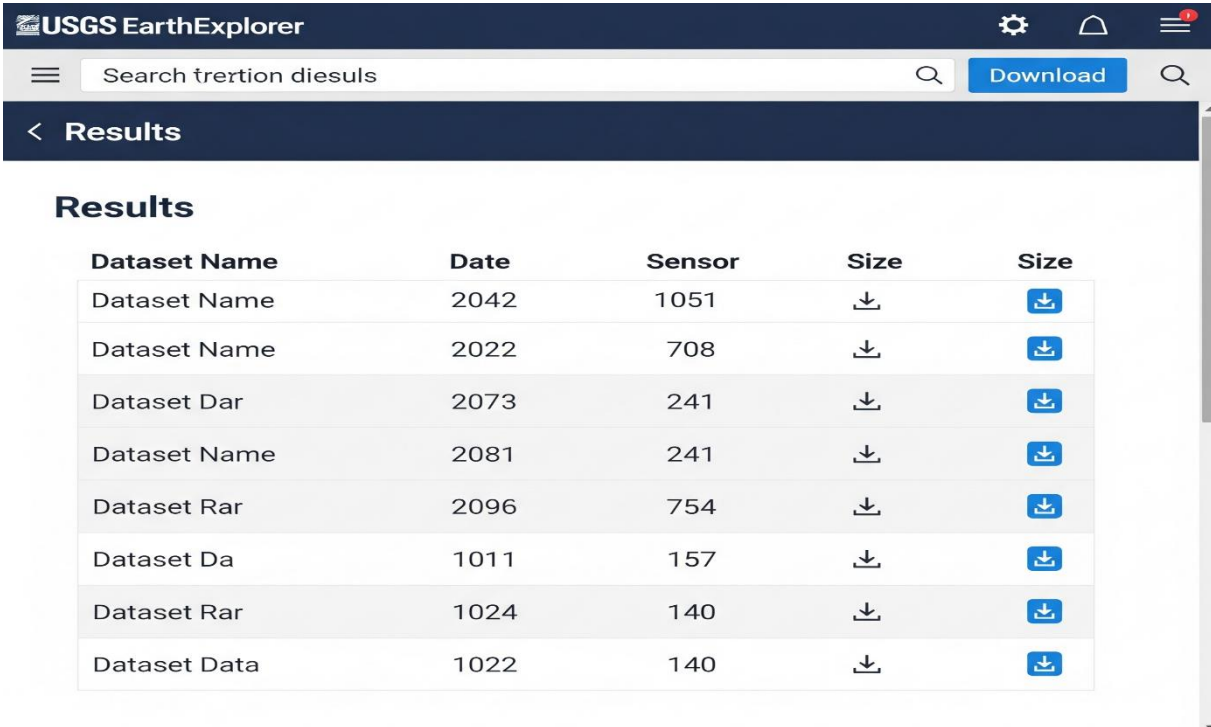


Figure 15 interface site USGS.com

6. Explorer et télécharger les résultats



The screenshot shows the USGS EarthExplorer interface. At the top, there is a search bar containing the text 'tertion diesuls'. To the right of the search bar is a 'Download' button. Below the search bar, a dark blue header contains the word 'Results' with a back arrow. The main content area is titled 'Results' and contains a table with the following data:

Dataset Name	Date	Sensor	Size	Size
Dataset Name	2042	1051	↓	↓
Dataset Name	2022	708	↓	↓
Dataset Dar	2073	241	↓	↓
Dataset Name	2081	241	↓	↓
Dataset Rar	2096	754	↓	↓
Dataset Da	1011	157	↓	↓
Dataset Rar	1024	140	↓	↓
Dataset Data	1022	140	↓	↓

Figure 16 interface site USGS.com

3. La zone d'étude

La Wilaya d'Alger, épicentre politique, économique et culturel de l'Algérie (Office National des Statistiques [ONS], s.d.), occupe une position prééminente sur la façade méditerranéenne, au centre-nord du pays. En sa qualité de capitale, elle abrite les principales institutions nationales (Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire⁸².) et se positionne comme le principal moteur du développement algérien. D'une superficie de 1 190 km² (ONS.⁸³; Wikipedia,⁸⁴.), elle figure parmi les wilayas les plus densément peuplées

⁸² <https://www.interieur.gov.dz> Consulté le 2025/05/25

⁸³ <http://www.ons.dz/> Consulté le 2025/05/25

⁸⁴ https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_d%27Alger Consulté le 2025/05/25

et urbanisées du territoire national (ONS.), concentrant une part significative des dynamiques urbaines et des enjeux de développement du pays.

3.1. Cadre Géographique Physique

Le territoire de la Wilaya d'Alger présente une configuration physique distinctive.

3.1.1. Relief et Morphologie

Le relief algérois est caractérisé par une dualité topographique marquée :

- **Plaines côtières** : Une frange littorale, largement urbanisée, qui s'étend le long de la baie d'Alger. Elle constitue le su
- **Hautes collines intérieures** : Représentées notamment par les contreforts de l'Atlas tellien, ces élévations dominent la plaine et la baie, offrant des panoramas

3.1.2. Coordonnées Géographiques

La Wilaya d'Alger s'inscrit dans les coordonnées géographiques approximatives suivantes (Agence Spatiale Algérienne [ASAL], .; Wikipédia, s.d.) :

- **Longitude** : Entre 2,5° (ou 2°48') Est et 3,3° (ou 3°16') Est.
- **Latitude** : Entre 36,6° (ou 36°39') Nord et 36,8° (ou 36°49') Nord.

3.2. Délimitations Administratives

La Wilaya d'Alger est circonscrite par les limites administratives suivantes :

Tableau 2: Délimitations administratives de la Wilaya d'Alger

Direction	Limite Administrative	Caractéristiques Notables
Nord	Mer Méditerranée	Façade maritime d'environ 120 km (Ministère du Tourisme et de l'Artisanat [MTA], s.d.; Wikipedia, s.d.), interface stratégique pour les échanges et le tourisme.
Sud	Wilaya de Blida	Zone de transition agricole et périurbaine, influençant l'approvisionnement d'Alger.
Est	Wilaya de Boumerdès	Pôle industriel important, région à sismicité notable.
Ouest	Wilaya de Tipaza	Axe touristique majeur (vestiges romains, littoral balnéaire).

(Note : Les caractéristiques des wilayas limitrophes sont des connaissances générales souvent consolidées par des sources comme MICLAT, . et Wikipedia,)

3.3. Contexte Socio-économique

Alger se distingue par un dynamisme socio-économique multifacette :

- **Pôle décisionnel majeur** : Elle concentre le siège du Gouvernement, les ministères, la Banque d'Algérie, ainsi que les sièges sociaux des principales entreprises publiques et privées (MICLAT, .; Portail du Premier Ministère, .), affirmant son rôle de centre névralgique du pouvoir et de l'économie.
- **Infrastructures portuaires stratégiques** : Le port d'Alger est l'un des plus importants du pays et un hub commercial significatif en Méditerranée, facilitant les échanges internationaux .
- **Défis urbains contemporains** : La wilaya est confrontée à une forte pression démographique (ONS,), se traduisant par une saturation des infrastructures de transport, des besoins croissants en logements et des enjeux de préservation du patrimoine

architectural et urbain face aux impératifs de modernisation et d'expansion (Centre de Recherche en Économie Appliquée pour le Développement [CREAD]).⁸⁵

3.4. Atouts et Enjeux Environnementaux

Le cadre environnemental d'Alger présente des caractéristiques et des défis spécifiques :

- **Climat méditerranéen** : Caractérisé par des hivers doux et humides (température moyenne d'environ 12°C) et des étés chauds et secs (température moyenne d'environ 28°C) (Climate-data.org.)⁸⁶, propice à certaines activités agricoles et touristiques.
- **Biodiversité et espaces verts** : Malgré une urbanisation dense, la wilaya conserve des "corridors verts" résiduels et des espaces de respiration essentiels tels que le Parc de la Liberté, le Jardin d'Essai du Hamma (classé jardin historique et botanique) (Jardin d'Essai du Hamma, s.d.), et les forêts périurbaines (ex. Forêt de Baïnem), qui jouent un rôle écologique et récréatif. La préservation et l'extension de ces espaces constituent un enjeu majeur.



Figure 17 Plan de situation d'Alger ⁸⁷

⁸⁵ <http://www.cread.dz> Consulté le 2025/05/22

⁸⁶ <https://fr.climate-data.org/africa/algeria/algiers/algiers-362/> Consulté le 2025/05/10

⁸⁷ Source USGS.com

La Wilaya d'Alger, par sa position géographique (Côte, 1996; Wikipedia, .), son poids démographique (ONS,.) et son rôle institutionnel (MICLAT, .; Portail du Premier Ministère.), demeure un espace complexe et dynamique. Les défis liés à l'urbanisation galopante, à la gestion des ressources et à la préservation de son environnement exigent des stratégies d'aménagement et de développement intégrées et durables pour assurer un équilibre entre croissance et qualité de vie.

4 Les différents types d'étude ICU :

Dans notre étude, nous avons choisi le type 02.

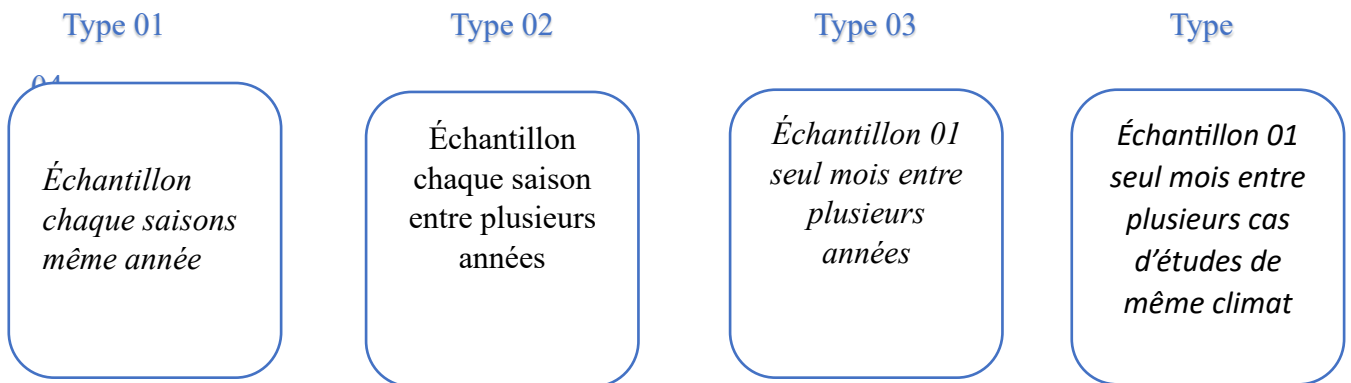


Tableau 3: Détails des données Landsat-8 OLI et TIRS utilisées pour l'estimation des schémas spatio-temporels spatiotemporelles d'Alger

Date d'acquisition	Path/row	scène /produit ID
10 juin 2018	196/35	LC08_L1TP_196035_20180610_20200831_02_T1
13 juin 2019	196/35	LC08_L1TP_196035_20190613_20200828_02_T1
15 juin 2020	196/35	LC08_L1TP_196035_20200615_20200823_02_T1
18 juin 2021	196/35	LC08_L1TP_196035_20210618_20210628_02_T1
13 juin 2022	196/35	LC09_L1TP_196035_20220613_20230412_02_T1
16 juin 2023	196/35	LC09_L1TP_196035_20230616_20230616_02_T1

5. Les indices de télédétection

Les indices spectraux sont utilisés pour mettre en évidence des caractéristiques ou des phénomènes spécifiques dans les images de télédétection, Nous créons des indices spectraux en transformant les données spectrales en utilisant des rapports entre les bandes pour réduire les données en informations significatives.(Indices gallery,.)⁸⁸

Il existe une très grande variété d'indices qui s'appliquent à des études sur la végétation, les sols, le milieu urbain, le milieu géologie ...etc.(Indices gallery,.)

5.1 Les indices de végétation

Les indices de végétation sont très utilisés pour identifier et suivre la dynamique de la végétation, mais aussi pour estimer certains paramètres biophysiques caractéristiques des couverts végétaux, comme la biomasse, l'indice de surface foliaire, la fraction de rayonnement photosynthétique actif, etc.(Indices gallery, s. d.)

La végétation:

- Réfléchit fortement dans le Proche Infra Rouge (Canal PIR)
- Et absorbe fortement dans le Rouge (Canal Rouge, R)
- Les autres types de surface comme le sol nu et l'eau ont des réflectivités presque égales dans ces deux zones du spectre.

Il est donc facile de différencier la végétation des autres types de surface en utilisant cette transformation.(Indices gallery,)

5.1.1 NDVI

(En anglais Normalized Difference Vegetation Index) L'indice de végétation par différence normalisé est l'indice le plus utilisé, il permet de mesurer l'intensité de vert des forêts d'une zone donnée. Sa formule est la suivante :(Indices gallery,)

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R} \quad (1)$$

Indice normé qui va de -1 à +1

- de [0 ; +1] c'est une végétation de+ en + couvrante et active

⁸⁸ <https://www.indexdatabase.de> Consulté le 2025/05/25

- de [-1 ; 0] ce sont les eaux et les zones humides
- autour de 0 ce sont les sols nus (Indices gallery.)

5.2 Les indices paysagers

Les indices paysagers sont des mesures quantitatives utilisées en écologie du paysage (écologie spatiale) pour analyser la structure spatiale d'un paysage donné. Ils permettent de quantifier la composition, la configuration et la dynamique des éléments du paysage, comme les forêts, les zones agricoles, les zones urbaines, les plans d'eau, etc.(Indices gallery)

5.2.1 L'indice NDBI :

L'indice d'urbanisation par différence normalisé (NDBI) utilise les canaux proches infrarouges et infrarouges à onde courte pour mettre en évidence les agglomérations.(Indices gallery,)

$$NDBI = (IRC - PIR) / (IRC + PIR) \quad (2)$$

5.2.2 L'indice NDBal :

La dureté de la surface de la terre non fertile est généralement caractérisée par l'utilisation de l'indice de nudité par différence normalisée. en utilisant l'indice de nudité par différence normalisée qui est basé sur les bandes infrarouges à ondes courtes et le capteur infrarouge thermique des des images satellites. Le NDBal peut être calculé en utilisant Eq. 16 comme indiqué ci-dessous :

$$NDBal = (SWIR1 - TIRS1) / (SWIR1 + TIRS1) \quad (3)$$

6. Calcul de la Température de Surface Terrestre (LST) :

La notion d'utilisation des données de télédétection acquises par les satellites pour identifier les phénomènes d'ICU remonte au début des années 1970 (Rao 1972). L'émergence des séries d'images Landsat (TM, ETM+, OLI) contenant des données thermiques a révolutionné l'étude des ICU à l'aide de la télédétection (Chen et al. 2006 ; Zhou et al. 2019). L'imagerie satellitaire ayant des informations thermiques, comme la série Landsat (par exemple Son et al. 2017) et ASTER (par exemple Van et Bao 2020), a été utilisée dans des études antérieures pour

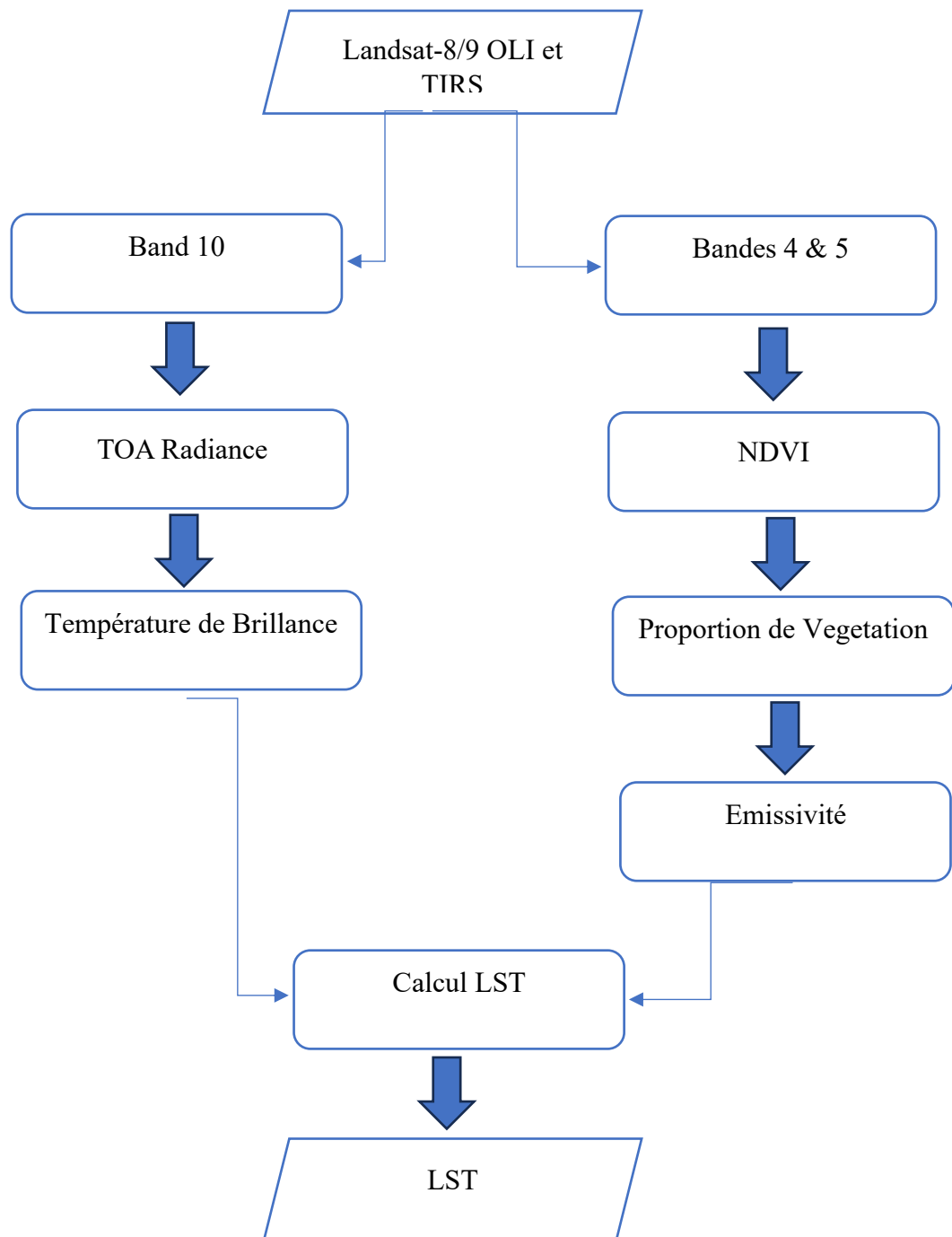
comprendre la distribution spatio-temporelle de la LST dans la ville d'Alger. La présente étude a utilisé les images Landsat-8 Opérationnel Land Imager et Thermique Infrarouge détecteur (OLI et TIRS) acquises entre 2018 et 2023. Les images Landsat-8 ont une résolution spatiale de 30 m dans ses canaux optiques, 15 m dans la bande panchromatique et 100 m dans ses deux canaux thermiques. Les images Landsat sont disponibles gratuitement auprès de l'United States Géologique Survey (USGS : <https://earthexplorer.usgs.gov/>)⁸⁹. Seuls les produits de niveau 2 ont été utilisés dans cette étude et, par conséquent, aucune correction atmosphérique supplémentaire n'a été appliquée à l'imagerie. Seules les images sans couverture nuageuse ou avec une couverture nuageuse minimale ont été utilisées dans cette étude. Les détails des données Landsat-8 OLI utilisées dans la présente étude sont donnés dans le tableau 1.

La LST à Alger City pendant la période d'étude a été estimée en utilisant le canal thermique (bande 10) et l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) estimé à partir des canaux rouge (bande 4) et proche infrarouge (bande 5) (Avdan et Jovanovska 2016).

6.1 Méthodologie du calcul de Température de Surface Terrestre (LST)

L'estimation de la Température de Surface Terrestre (LST) à partir des données satellitaires, notamment celles de Landsat 8, suit un protocole en plusieurs étapes impliquant des conversions radiométriques et des corrections atmosphériques et d'émissivité (U.S. Geological Survey [USGS].)

⁸⁹ USGS : <https://earthexplorer.usgs.gov> Consulté le 2025/05/24



6.1.1 Conversion en Radiance en Haut de l'Atmosphère (TOA)

La première étape de l'estimation de la LST est la conversion des valeurs DN de la bande 10 à l'indice de végétation normalisé (NDVI). Conversion des valeurs DN de la bande 10 en radiance spectrale du sommet de l'atmosphère (L) à l'aide de l'équation suivante

$$L\lambda = ML \times Q_{cal} + AL - O_i \quad (4)$$

Exemple (Bande 10) :

$$L\lambda = (0.0003342 \times \text{Bande}_{10}) + 0.10000 - 0.29 \quad (5)$$

Variables :

- **Lλ** : Radiance spectrale TOA (W/(m²·sr·μm))
- **ML** : Facteur multiplicatif de radiance
- **AL** : Terme additif de radiance
- **Qcal** : Valeur DN
- **Oi** : Correction (0.29 pour la bande 10)

6.1.2 Conversion en Température de Brillance (BT) TOA

La radiance spectrale TOA est ensuite convertie en température de brillance (BT) au sommet de l'atmosphère en utilisant l'inverse de la loi de Planck et les constantes de calibration thermique spécifiques au capteur (Weng et al., 2004; USGS,).

L'étape suivante consiste à convertir la radiance spectrale du sommet de l'atmosphère en température de brillance (BT) à l'aide de l'équation suivante :

$$BT = [K2 / \ln(K1 / L\lambda + 1)] - 273.15 \quad (6)$$

Exemple (Bande 10) :

$$BT = [1321.0789 / \ln(774.8853 / L\lambda + 1)] - 273.15 \quad (7)$$

Variables :

- **BT** : Température de brillance TOA (°C)
- **K1, K2** : Constantes thermiques
- **Lλ** : Radiance TOA

6.1.3 Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI)

Le NDVI est calculé pour estimer la proportion de végétation, qui est ensuite utilisée pour dériver l'émissivité de surface (Rouse et al., 1974).

Dans la troisième étape, le NDVI est calculé à partir des bandes rouges et proche infrarouge comme indiqué ci-dessous :

Formule :

$$NDVI = (Band5 - Band4) / (Band5 + Band4) \quad (8)$$

Termes :

- **NIR** : Bande 5 (Proche infrarouge)
- **Rouge** : Bande 4 (Rouge visible)

6.1.4 Émissivité de Surface (LSE)

L'émissivité de surface (ϵ) est un facteur crucial pour convertir la température de brillance en LST. Elle est souvent estimée à partir de la proportion de végétation (PV) dérivée du NDVI (Sobrino et al., 2004; Valor & Caselles, 1996).

Dans l'étape suivante, l'émissivité (ϵ) des données Landsat-8 a été estimée à partir de PV en utilisant l'équation suivante :

Étape 4.1 :

$$PV = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))^2 \quad (9)$$

Étape 4.2 :

$$E = 0.004 \times PV + 0.986 \quad (10)$$

Variables :

- **PV** : Proportion de végétation
- **NDVI** : Indice NDVI
- **E** : Émissivité de surface

6.1.5 Température de Surface Terrestre (LST)

Finalement, la LST est calculée en corrigeant la température de brillance (BT) pour l'émissivité de surface (Artis & Carnahan, 1982; Qin et al., 2001).

Formule :

$$LST = BT / (1 + (\lambda \times BT / c2) \times \ln(E)) \quad (11)$$

Constantes Landsat 8 :

- $c2 = 14388 \mu\text{m}\cdot\text{K}$
- $\lambda = 10.8 \mu\text{m}$ (bande 10) ou $12.0 \mu\text{m}$ (bande 11)

Variables :

- **LST** : Température de surface (°C)
- **BT** : Température de brillance
- **E** : Émissivité

6.2 Notes Techniques

1. Dépendance aux métadonnées : **ML**, **AL**, **K1**, **K2** sont dans le fichier **MTL.txt**
2. Sélection de la bande : Utiliser de préférence la bande 10
3. Constantes physiques : $c2 = h \cdot c / s = 14388 \mu\text{m}\cdot\text{K}$

6.3 Synthèse du Flux de Travail

1. **DN** → Radiance **TOA**
2. **Radiance** → Température de brillance
3. **NDVI** → Émissivité
4. Calcul **LST** via **BT**, **LSE** et λ

7 L'indice de variation du champ thermique urbain (UTFVI) :

L'UTFVI est une mesure couramment utilisée pour analyser l'impact de l'ICU sur une ville urbaine (Tomlinson et al. 2011). Des facteurs tels que les vagues de chaleur, la psychométrie, l'altération de la surface terrestre et l'intensité lumineuse influencent la LST, qui est à l'origine de l'effet UHI. L'UTFVI permet également d'identifier les perturbations écologiques dues à la

variation de la température de surface de la terre dans une zone donnée. L'équation 18 est utilisée pour calculer la valeur de l'UTFVI :

$$UTFVI = (T_s - T_{mean} / T_{mean}) \quad (12)$$

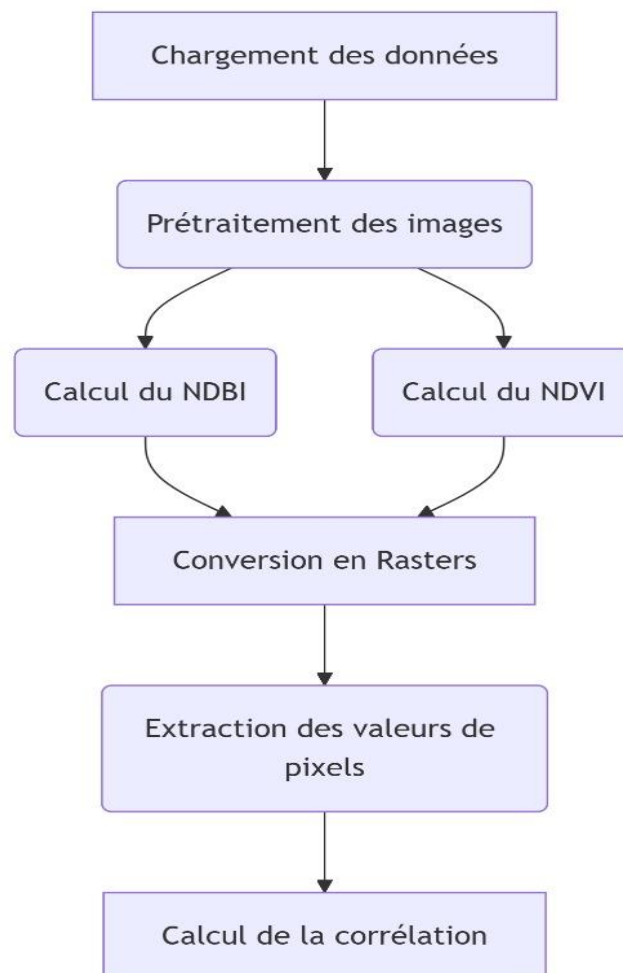
8. The urban heat island (UHI):

La surveillance de l'ICU est un aspect important de l'étude du bilan thermique urbain pour déterminer les variations de température des blocs Asansol et Kulti de Purba Burdwan, la valeur de l'ICU est estimée à l'aide de l'Eq. 13 comme indiqué ci-dessous :

$$UHI = (T_s - T_{mean} / SD) \quad (13)$$

où T_s est la LST (unité Kelvin), T_{mean} représente la LST moyenne T_{mean} représente la LST moyenne (unité Kelvin), et SD est l'écart-type des cartes LST estimées.

9. La corrélation entre le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et le NDBI (Normalized Difference Built-up Index)



10 Utilisation de Raster Calculator

Chemin :

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator

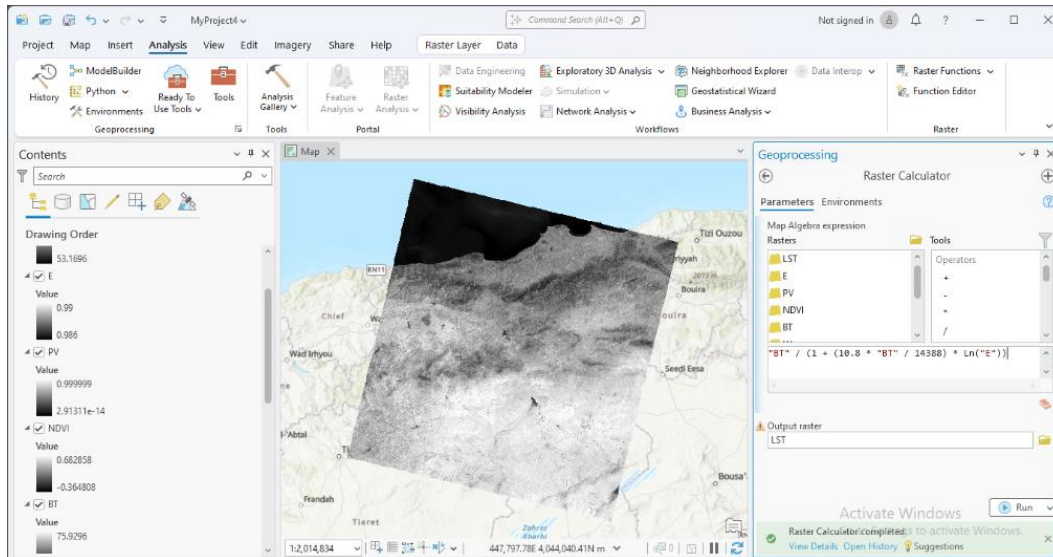


Figure 18 Interface Raster Calculator Arc GIS

Découper un raster par une zone d'étude (Clip)

11 Méthode Via Extract by Mask (Spatial Analyst):

Chemin :

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract by Mask

- **Input Raster** : raster à découper
- **Mask** : votre zone d'étude
- **Output raster** : fichier de sortie

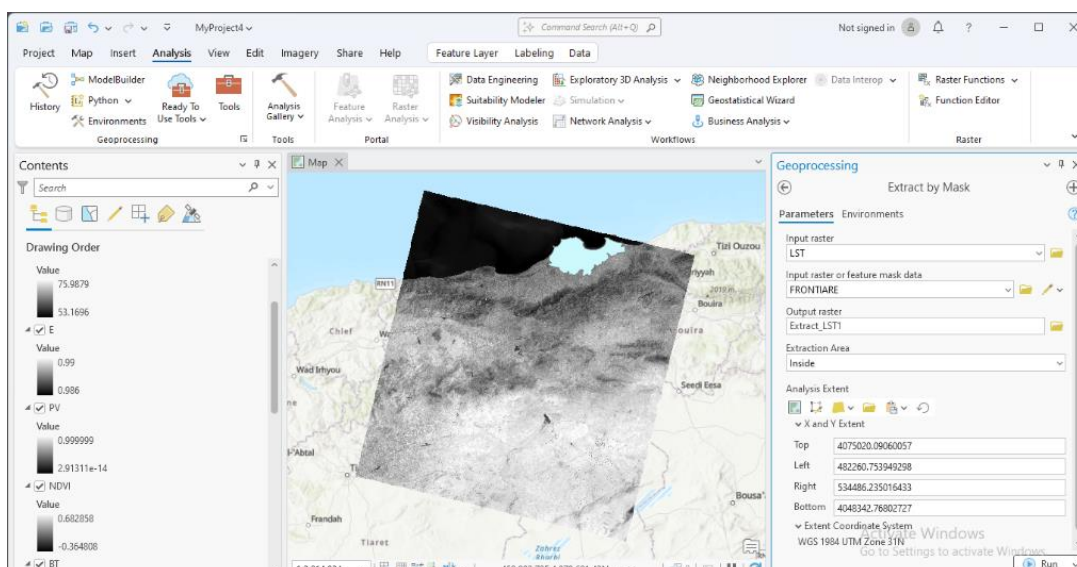


Figure 19 Interface Extract by Mask

Conclusion de chapitre 03 :

Ce chapitre a méthodiquement présenté l'ensemble des ressources matérielles et des approches analytiques mobilisées pour atteindre les objectifs de notre recherche. De la justification du recours à la télédétection à la description fine des données Landsat 8 et de leur processus d'acquisition, en passant par la présentation des outils logiciels comme ArcGIS et la caractérisation de notre zone d'étude, la Wilaya d'Alger, chaque élément a été exposé. Les protocoles détaillés pour le calcul de la Température de Surface Terrestre (LST), la dérivation des indices spectraux pertinents (NDVI, NDBI, NDBal, UTFVI, UHI), l'étude de la corrélation NDVI-NDBI, et les techniques de traitement spatial ont été clairement établis. Cette assise méthodologique rigoureuse constitue le socle sur lequel s'appuieront l'analyse et l'interprétation des résultats qui seront développées dans la section suivante. La clarté des procédures décrites vise à assurer la validité et la reproductibilité des conclusions qui en découleront.

Chapitre VI : Résultats et Discussion

Le climat et l'environnement sont des systèmes dynamiques en constante évolution, soumis à l'influence conjuguée de processus naturels et d'activités anthropiques. Au sein de ces interactions complexes, la surveillance et l'analyse d'indicateurs biophysiques clés sont fondamentales pour appréhender les transformations à l'échelle locale et régionale. Parmi ces indicateurs, la **température de surface terrestre (TST)** et l'**indice de végétation par différence normalisée (NDVI)** se distinguent par leur pertinence. La TST, qui représente l'énergie émise par la surface terrestre, est un paramètre biophysique essentiel reflétant la quantité d'énergie solaire absorbée et réémise par les surfaces. Son étude est cruciale pour comprendre les phénomènes climatiques locaux, tels que l'effet d'îlot de chaleur urbain, identifier les zones vulnérables au stress thermique, et évaluer l'efficacité des stratégies d'atténuation des impacts environnementaux. En Algérie, un pays caractérisé par une diversité climatique et géographique, l'analyse de la TST revêt une importance particulière pour cartographier les zones de chaleur, comprendre les dynamiques thermiques saisonnières et évaluer les vulnérabilités.

Parallèlement, le NDVI, un indice satellitaire dérivé des données de réflectance dans les spectres rouge et proche infrarouge, offre une mesure quantitative de la densité et de la vigueur de la végétation. Il est largement utilisé pour surveiller la santé des écosystèmes, évaluer la productivité primaire, détecter la désertification et observer les changements dans la couverture végétale. L'évolution du NDVI permet de suivre la réponse de la végétation aux variations climatiques, aux pratiques agricoles et aux perturbations anthropiques.

La présente étude se propose d'analyser les variations spatio-temporelles de la TST et du NDVI en Algérie sur une période définie, en mettant en lumière les tendances observées et les éventuelles corrélations avec des événements majeurs. Un intérêt particulier sera porté aux périodes **avant, pendant et après la pandémie de COVID-19**, afin d'explorer si les changements dans l'activité humaine et les restrictions associées ont pu influencer ces paramètres environnementaux. En examinant ces données, notre objectif est de contribuer à une meilleure compréhension des dynamiques environnementales régionales, d'identifier des schémas de changement significatifs et d'évaluer l'impact potentiel de divers facteurs, y compris les événements socio-économiques mondiaux, sur les écosystèmes algériens.

1. Analyse et discussion de la température de surface terrestre en Algérie

La température de surface terrestre est un indicateur essentiel pour comprendre les changements environnementaux et climatiques aux niveaux local et régional. Son étude contribue à l'analyse des phénomènes climatiques tels que l'effet d'îlot de chaleur urbain, à l'identification des zones les plus vulnérables au stress thermique et à l'évaluation de l'efficacité des stratégies d'atténuation. Cette étude analyse les températures de surface terrestre en Algérie, en se concentrant sur les variations spatiales et temporelles sur une période donnée. Elle met également en évidence les tendances et les changements observés, notamment les fluctuations potentiellement liées à divers facteurs tels que l'urbanisation ou le changement climatique.

1.1 Périodes pré-pandémiques, LE COVID-19(2018/2019)

10/06/2018 (Température maximale : 32,62 °C) : La carte montre clairement des zones chaudes, notamment à l'intérieur des terres.

13/06/2019 (Température maximale : 34,16) : On observe une légère augmentation des températures maximales par rapport à 2018, et la tendance se maintient.

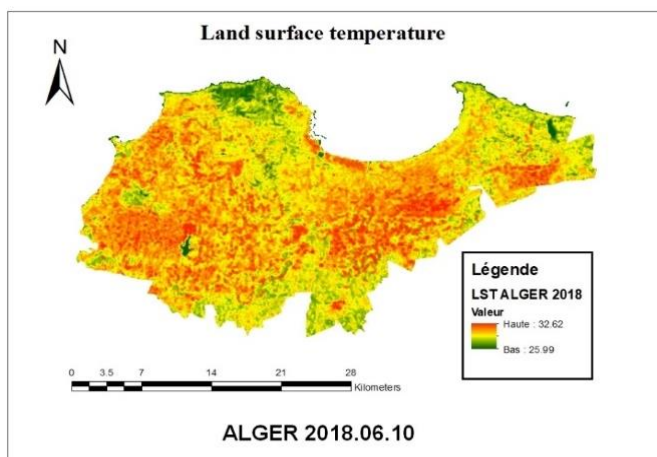


Figure 21 LAND SURFACE TEMPERATURE D'ALGER
2018.06.10

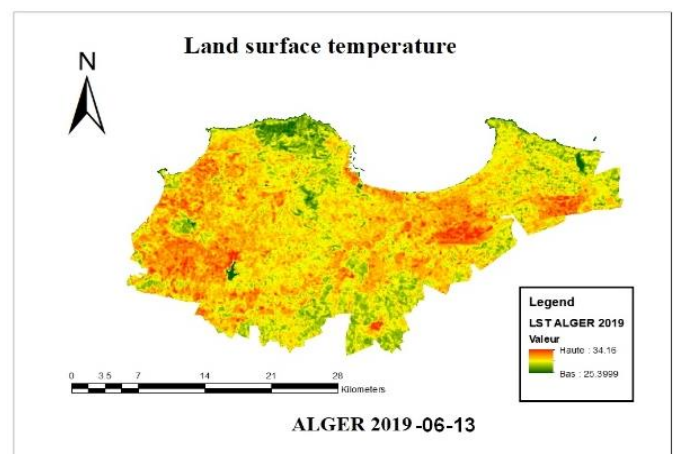


Figure 20 :LAND SURFACE TEMPERATURE D'ALGER
2019.06.13

1.2 Périodes pandémique Le COVID-19(2020/2021)

15/06/2020 (Température maximale : 31,877) : On observe une légère baisse des températures maximales par rapport à 2019, ce qui pourrait être attribué à des facteurs climatiques ou environnementaux spécifiques à cette année.

18/06/2021 (Température maximale : 30,29) : La baisse des températures maximales se poursuit, indiquant une année relativement plus douce.

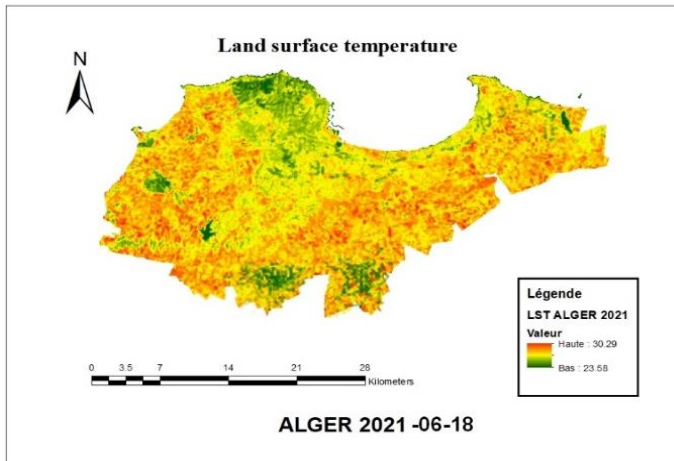


Figure 23 LAND SURFACE TEMPERATURE D'ALGER
2021.06.18

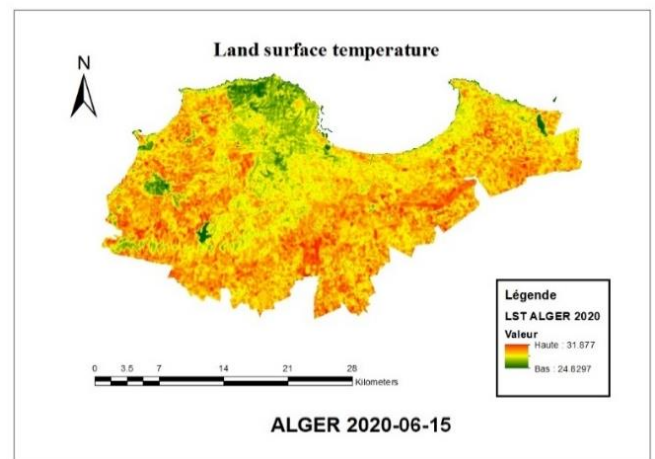


Figure 22 LAND SURFACE TEMPERATURE D'ALGER
2020.06.16

1.3 Périodes postpandémique le COVID-19(2022/2023)

13/06/2022 (Température maximale : 33,16) : Les températures maximales ont recommencé à augmenter, se rapprochant des niveaux de 2019.

16/06/2023 (Température maximale : 34,16) : Cette année marque la température maximale la plus élevée de la série chronologique présentée, ce qui indique une année particulièrement chaude.

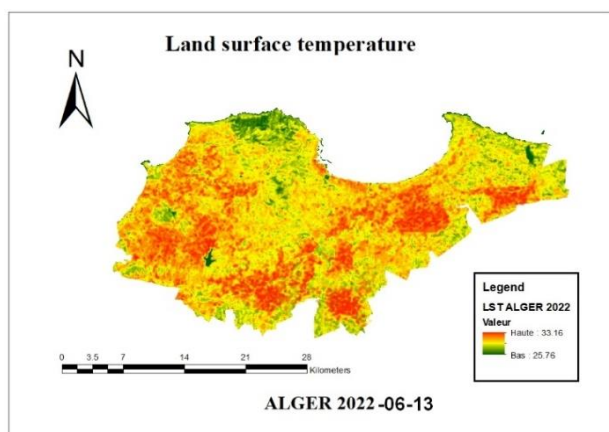


Figure 24 LAND SURFACE TEMPERATURE D'ALGER 2021.06.18

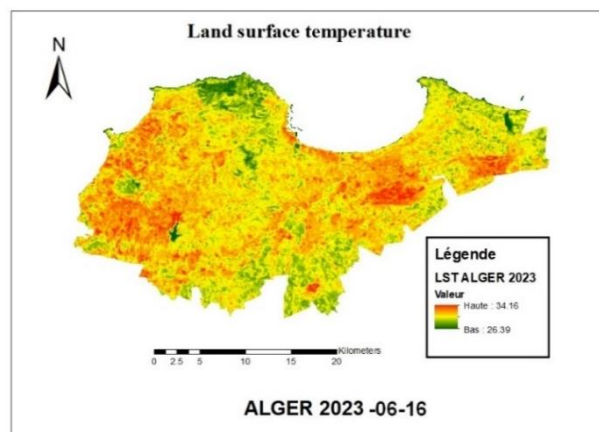


Figure 25 : LAND SURFACE TEMPERATURE D'ALGER 2023.06.16

Globalement, les cartes montrent une nette variation spatiale des températures de surface terrestre, avec des zones chaudes relativement constantes et des régions plus tempérées.

1.4 Analyse Cartographique (2018-2023)

Les cartes montrent la distribution spatiale de la température de surface terrestre dans la région d'Alger à des dates précises du mois de juin de chaque année. Les couleurs utilisées (du vert au rouge) indiquent un gradient de température, le vert représentant les températures basses et le rouge les températures élevées.

Zones chaudes (rouge/orange) : Ces zones sont généralement concentrées à l'intérieur et au sud-ouest de la région. Ces zones sont souvent densément peuplées (villes, zones industrielles), à la végétation clairsemée ou présentent un relief spécifique favorisant l'absorption et le stockage de la chaleur.

Zones froides (vert) : Ces zones se situent généralement près des côtes ou dans des zones à végétation dense (forêts, terres agricoles). L'influence modératrice de la mer et de la végétation peut être mise en évidence dans ces régimes pluviométriques.

1.5 Analyse graphique (Température de surface terrestre)

Le graphique présente des barres indiquant les valeurs minimales (Min), moyennes (Moy) et maximales (Max) des températures de surface terrestre de 2018 à 2023.

- ❖ **Valeurs minimales (vertes)** : comprises entre environ 23,5 °C et 26 °C. De légères fluctuations sont observées, 2019 étant la plus élevée et 2021 la plus basse.
- ❖ **Valeurs moyennes (jaunes)** : comprises entre environ 27 °C et 30 °C. Elles montrent une tendance générale à la hausse, notamment de 2021 à 2023.
- ❖ **Valeurs extrêmes (rouges)** : Ces valeurs présentent les fluctuations les plus importantes et les plus alarmantes.

Les années 2018, 2019, 2022 et 2023 ont été marquées par des températures maximales élevées, dépassant 32 °C... Impact de la végétation et de l'eau :

Les zones à végétation dense ou proches des côtes présentent des températures de surface plus fraîches, soulignant le rôle important de la végétation et de l'eau dans la modération du climat local.

Variabilité et tendances annuelles : Le graphique montre les fluctuations annuelles de température, mais on observe une tendance générale à la hausse des valeurs maximales et moyennes de la température de surface ces dernières années (notamment en 2022 et 2023). Cela pourrait être un indicateur des effets du changement

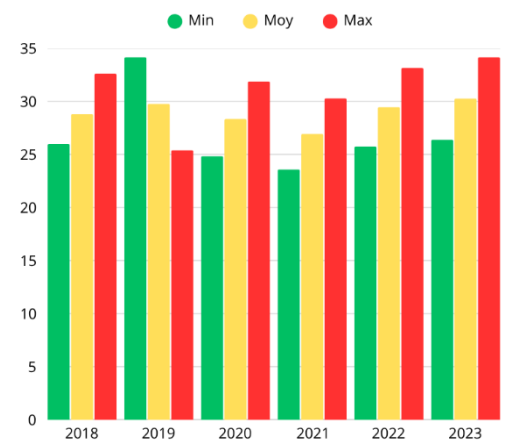


Figure 26 Carte Graphique de LST

Climatique ou de l'urbanisation en cours.

Importance des données temporelles : Cette série chronologique (2018-2023) fournit des informations précieuses sur la dynamique de la température de surface. Ces données aident à comprendre les schémas climatiques et à identifier les années plus chaudes ou plus froides.

Implications environnementales et sanitaires : L'augmentation de la température de surface a de graves conséquences sur l'environnement et la santé publique.

Consommation énergétique : Besoin accru de climatisation, ce qui accroît la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre.

Qualité de l'air : La hausse des températures peut contribuer à aggraver la pollution atmosphérique.

Santé publique : Risque accru de stress thermique et de maladies liées à la chaleur, en particulier pour les groupes vulnérables.

Écosystèmes : Impact sur les plantes, les animaux et les écosystèmes urbains.

Besoin de solutions : Ces résultats appellent à envisager des solutions pour atténuer l'effet d'îlot de chaleur urbain et la hausse des températures, telles que :

- Augmentation des espaces verts et des parcs en ville.
- Utilisation de matériaux de construction réfléchissant la chaleur (toits frais).
- Amélioration de l'urbanisme pour favoriser la ventilation naturelle.
- Gestion efficace de l'eau.

Tableau 4: les valeurs de land surface temperaturecette étude d'images de la température de surface du sol à alger fournit des informations importantes sur les variations spatiales et temporelles de la température et met en évidence les défis environnementaux et

ANNEES	Min	Moy	Max
2018	25.99	28.81	32.62
2019	34.16	29.7799	25.3999
2020	24.8297	28.35335	31.877
2021	23.58	26.935	30.29
2022	25.76	29.46	33.16
2023	26.39	30.275	34.16

2- The urban heat island (UHI)

Les cartes fournies illustrent la distribution des valeurs de l'Îlot de Chaleur Urbain (ICU) à Alger pour les années 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 et 2023. Les couleurs rouges et oranges indiquent les zones avec des valeurs d'ICU élevées (zones plus chaudes), tandis que le vert représente les zones avec des valeurs d'ICU faibles (zones plus fraîches). Le graphique présente les valeurs minimales, moyennes et maximales de l'ICU pour chaque année. Les désignations "avant le COVID19" (avant la COVID-19), "PENDANT LES COVID19" (pendant la COVID-19) et "Après les covid19" (après la COVID-19) suggèrent une évaluation de l'impact de la pandémie sur ce phénomène.

2-1 Observations Générales sur la Distribution Spatiale :

- De manière générale, les cartes montrent que les zones urbaines, denses en population et en bâtiments (en rouge et orange), sont les plus touchées par le phénomène d'îlot de chaleur urbain. C'est un phénomène attendu, car les surfaces artificielles (asphalte, béton, bâtiments) absorbent et stockent plus de chaleur que les surfaces naturelles (couverture végétale, plans d'eau).
- Les zones vertes (faibles valeurs d'ICU) sont principalement concentrées dans les régions avec une couverture végétale plus importante ou des espaces ouverts, comme les parcs, les terres agricoles ou les zones côtières non développées.
- Les zones côtières sur la baie d'Alger semblent présenter une variation des valeurs d'ICU, potentiellement influencées par la brise marine qui adoucit les températures.

Analyse Temporelle des Cartes (de 2018 à 2023) :

1 Périodes pré-pandémiques le COVID 19(2018/2019)

- **ICU 2018 (Avant COVID-19) :** La carte de 2018 révèle de vastes zones à fortes valeurs d'ICU, en particulier au cœur de la ville et dans les zones développées. Les valeurs varient de -3.6234 à 5.1288.
- **ICU 2019 (Avant COVID-19) :** Similaire à 2018, avec une persistance de larges zones de chaleur. Les valeurs varient de -2.5534 à 6.1189.

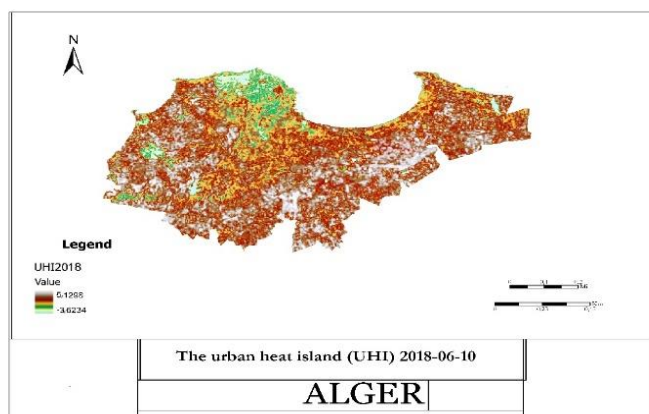


Figure 27 The urban heat island d'Alger 2018.06.10

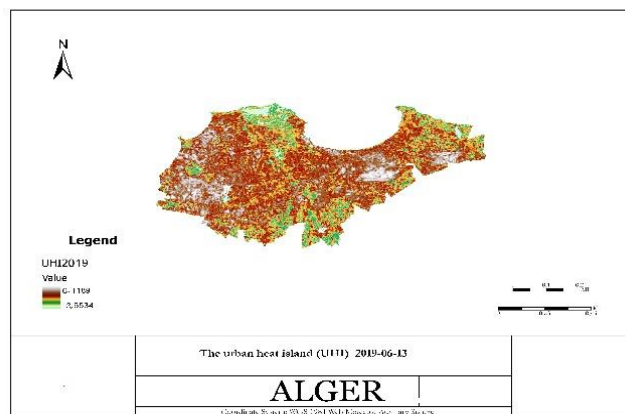


Figure 28 The urban heat island d'Alger 2019.06.13

2 Périodes pandémique le COVID-19(2020/2021)

- **ICU 2020 (Pendant COVID-19)** : Durant la période de la pandémie (caractérisée par des confinements et une réduction de l'activité humaine), la carte de 2020 montre des changements dans la distribution de l'ICU. Les valeurs varient de -5.69177 à 4.99143.
- **ICU 2021 (Pendant COVID-19)** : La pandémie se poursuit. Les valeurs varient de -4.3745 à 4.304.

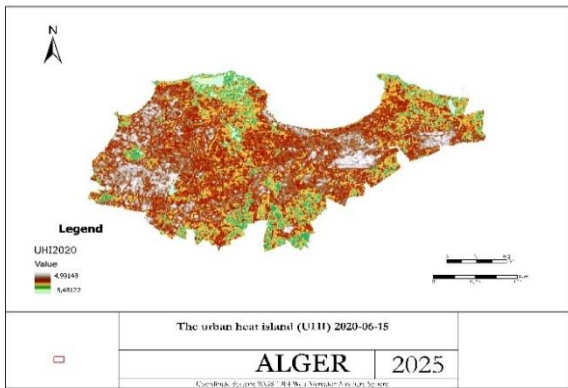


Figure 30 The urban heat island d'Alger 2020.06.15

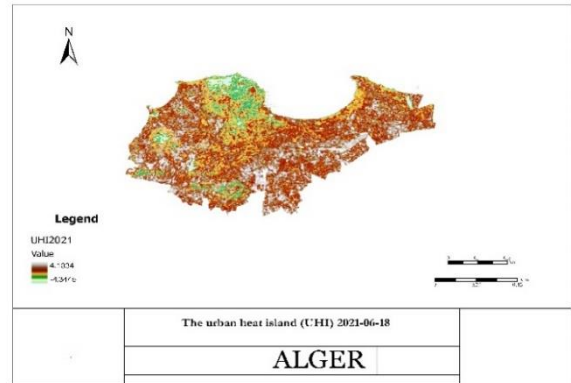


Figure 29 The urban heat island d'Alger 2021.06.18

Périodes postpandémique Le Covid-19(2022/2023)

- **ICU 2022 (Après COVID-19)** : Début de la reprise et du retour aux activités normales. Les valeurs varient de -3.8434 à 5.8773.
- **ICU 2023 (Après COVID-19)** : Retour complet aux activités. Les valeurs varient de -0.8733 à 5.1265

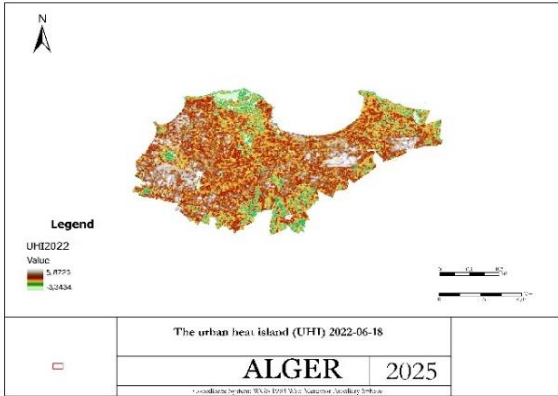


Figure 31 The urban heat island d'Alger 2022.06.13

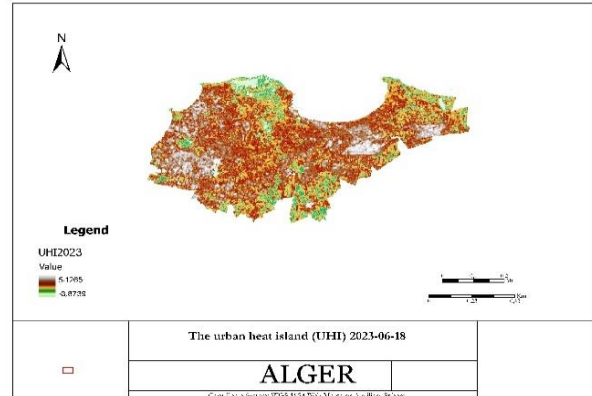


Figure 32 The urban heat island d'Alger 2023.06.16

2-3 Analyse du Graphique :

Le graphique fournit un résumé quantitatif des tendances de l'ICU au fil du temps à travers les valeurs minimales (Min), moyennes (Moy) et maximales (Max) pour chaque année.

- **Valeur Maximale (Max) :**
 - La valeur maximale de l'ICU était élevée en 2018 (environ 5.2), a augmenté de manière significative en 2019 (environ 6.2), puis a diminué en 2020 (environ 5), et a continué de baisser en 2021 (environ 4.1).
 - Elle a de nouveau augmenté en 2022 (environ 5.8) et en 2023 (environ 5.1).
 - Cela suggère que l'intensité maximale de l'îlot de chaleur était élevée avant la pandémie, a diminué pendant celle-ci, puis a de nouveau augmenté, sans toutefois atteindre le pic de 2019 en 2023.
- **Valeur Minimale (Min) :**
 - Les valeurs minimales montrent une tendance plus fluctuante, étant négatives toutes les années, ce qui signifie qu'il existe des zones plus fraîches que la moyenne urbaine.
 - Les valeurs minimales en 2018 et 2019 étaient d'environ -3.8 et -3.7 respectivement.
 - Elles ont atteint leurs niveaux les plus bas en 2020 (environ -5.8).

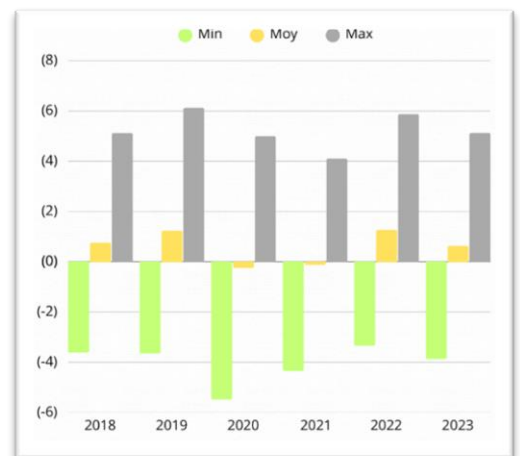


Figure 33 Carte Graphique de UHI

- Elles ont légèrement augmenté en 2021 (environ -4.5), 2022 (environ -3.5) et 2023 (environ -3.8).
- La baisse significative de la valeur minimale en 2020 pourrait indiquer que certaines zones sont devenues nettement plus fraîches pendant le confinement.
- **Valeur Moyenne (Moy) :**
 - La valeur moyenne de l'ICU était positive en 2018 et 2019 (environ 0.7 et 1.3 respectivement), ce qui indique que la ville était globalement plus chaude.
 - Elle est devenue négative en 2020 (-0.1) et 2021 (-0.2), ce qui signifie que la température moyenne dans la ville a légèrement diminué, et peut-être même est devenue légèrement plus fraîche en moyenne par rapport aux zones environnantes.
 - Elle est redevenue positive en 2022 (environ 1.3) et en 2023 (environ 0.5).
 - Cette tendance de la valeur moyenne est un indicateur fort de l'impact de la pandémie.

2-4 Discussion et Interprétation :

2.4.1 Impact de la COVID-19 sur l'ICU :

- **Pendant la pandémie (2020 et 2021) :** Le graphique et les cartes montrent une diminution des valeurs maximales et moyennes de l'ICU au cours des années 2020 et 2021. En particulier, la valeur moyenne de l'ICU est devenue négative pendant cette période. Cela correspond aux attentes concernant l'impact des confinements et de la réduction des activités humaines (telles que le trafic routier et industriel, une utilisation moindre de la climatisation dans les bureaux et entreprises fermés, et une réduction des déplacements en véhicules).
 - **Réduction de l'activité humaine :** Les restrictions de mouvement et les confinements ont entraîné une baisse significative des émissions de chaleur dues aux véhicules, aux usines et aux activités commerciales, contribuant ainsi à adoucir les températures urbaines.
 - **Réduction de la pollution :** La diminution de la pollution atmosphérique (particules en suspension) pourrait avoir augmenté la transparence atmosphérique, permettant à la chaleur de s'échapper plus facilement pendant la nuit, réduisant ainsi l'effet d'îlot de chaleur.

- **Baisse de la consommation d'énergie** : Avec la fermeture de nombreuses institutions, la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation a diminué, réduisant ainsi la chaleur dissipée dans l'atmosphère.
- **Avant et après la pandémie (2018-2019 et 2022-2023)** : Ces périodes ont connu des valeurs d'ICU plus élevées, notamment pour les valeurs maximales et moyennes, par rapport à la période de la pandémie. Cela indique que les activités urbaines normales contribuent de manière significative à l'aggravation du phénomène d'îlot de chaleur urbain. Le retour aux activités habituelles après la pandémie a entraîné une remontée des valeurs d'ICU.

2.4.2 Évolutions à Long Terme :

- Malgré la baisse temporaire pendant la pandémie, la tendance générale montre qu'Alger souffre toujours du phénomène d'îlot de chaleur urbain, avec des valeurs maximales positivement significatives toutes les années.
- Même en 2023, les valeurs maximales et moyennes de l'ICU ont de nouveau augmenté, ce qui indique que l'impact de la pandémie était temporaire et que les facteurs sous-jacents qui contribuent à l'ICU (tels que l'expansion urbaine, les matériaux de construction utilisés, le manque d'espaces verts) persistent.

2.4.3 Défis et Solutions Proposées :

- **Planification Urbaine Durable** : Les stratégies d'atténuation de l'ICU doivent être intégrées dans la planification urbaine d'Alger.
- **Augmentation des Espaces Verts** : Planter davantage d'arbres, créer des parcs publics et des toits verts (jardins sur les toits) peut aider à rafraîchir les zones urbaines grâce à l'ombrage et à l'évapotranspiration.
- **Matériaux Réfléchissants la Chaleur** : L'utilisation de matériaux de construction de couleur claire et réfléchissants la chaleur pour les toits et les routes peut réduire l'absorption de chaleur.
- **Ombrage des Rues et Trottoirs** : Fournir de l'ombre pour les trottoirs et les espaces publics par des arbres ou des structures artificielles.
- **Gestion de l'Eau** : L'utilisation de plans d'eau et de fontaines peut aider à adoucir l'atmosphère.

- **Promotion des Transports Durables** : Réduire la dépendance aux véhicules privés et encourager la marche, le vélo et les transports en commun pour diminuer les émissions de chaleur.

Tableau 5 : les valeurs de the urban heat island (UHI)

ANNEES	Min	Moy	Max
2018	(-3.6234)	0.7532	5.1219
2019	(-3.6534)	1.2327	6.1189
2020	(-5.48122)	(-0.24487)	4.99148
2021	(-4.3445)	(-0.12055)	4.1034
2022	(-3.3434)	1.26445	5.8723
2023	(-3.8739)	0.6263	5.1265

Les données démontrent clairement que la pandémie de COVID-19 a entraîné une diminution temporaire de l'intensité du phénomène d'îlot de chaleur urbain à Alger, principalement attribuable à la réduction des activités humaines. Cependant, le retour aux activités normales après la pandémie a ramené les niveaux d'ICU à des valeurs proches de celles d'avant la pandémie. Cela souligne la nécessité urgente de mettre en œuvre des politiques et une planification urbaine durable pour faire face à ce phénomène à long terme et atténuer ses effets négatifs sur la qualité de vie en ville.

3 The urban thermal field variation index UTFVI

Les villes sont des pôles d'activité humaine et de développement économique, mais elles sont également confrontées à des défis environnementaux croissants, notamment le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU), qui résulte de l'évolution de l'occupation du sol et des propriétés physiques des surfaces urbaines. L'indice de variabilité thermique urbaine (UTFVI) joue un

rôle essentiel dans l'évaluation de ce phénomène, fournissant une mesure quantitative des différences thermiques entre les zones urbaines et leurs zones périphériques. Cette analyse vise à examiner l'évolution de l'UTFVI pour la ville d'Alger entre 2018 et 2023, en mettant l'accent sur l'impact de la pandémie de COVID-19 sur ces changements.

3-1 Analyse Temporelle des Cartes (de 2018 à 2023) :

Les cartes ci-jointes montrent l'évolution de l'UTFVI pour la ville d'Alger sur plusieurs années, divisées en trois périodes principales : pré-COVID-19 (2018-2019), pendant la COVID-19 (2020-2021) et post-COVID-19 (2022-2023).

Périodes pré-pandémiques COVID-19 (2018-2019) :

Les cartes de 2018 et 2019 présentent des valeurs UTFVI qui indiquent un contraste thermique urbain marqué. Les valeurs de 2019 varient de 0,326105 (la plus chaude, représentée en orange et rouge) à -1,22379 (la plus froide, représentée en bleu). En 2018, elles variaient de 0,50543 à -1,07288. Cela indique que les zones urbaines algériennes connaissaient déjà des températures plus élevées que leurs environs avant la pandémie, un phénomène fréquent dans les grandes villes en raison de la densité urbaine et du manque d'espaces verts. Le graphique montre également que 2018 a enregistré la valeur UTFVI maximale la plus élevée (environ 0,5), tandis que les valeurs minimales et moyennes étaient négatives.

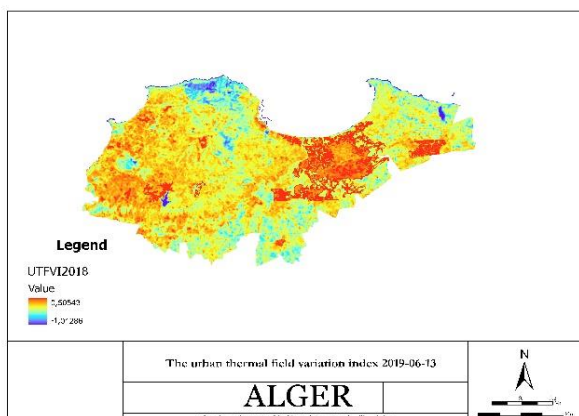


Figure 35 The urban thermal field variation index d'Alger 2018.06.10

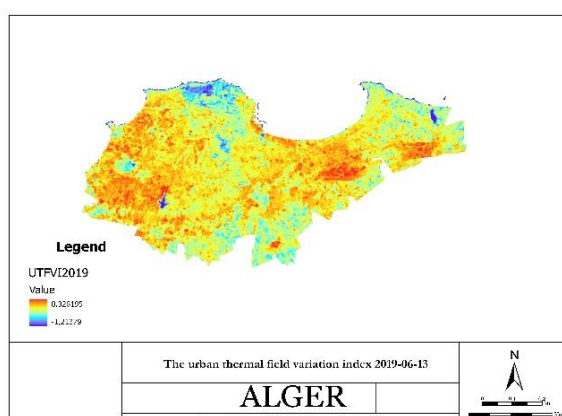


Figure 34 The urban thermal field variation index d'Alger 2019.06.13

Périodes pandémique la COVID-19 (2020-2021) :

Cette période a été marquée par des restrictions de circulation et d'activité humaine en raison de la pandémie de COVID-19. Les cartes pour 2020 et 2021 montrent des valeurs UTFVI allant de 0,260995 à -0,751702 en 2020, et de 0,10023 à -1,23762 en 2021. On constate que les valeurs maximales de l'UTFVI ont diminué par rapport à 2018. Le graphique indique que les valeurs maximales en 2020 et 2021 étaient inférieures à celles des années précédant la pandémie, tandis que les valeurs minimales et moyennes sont restées négatives. Cette diminution potentielle de l'intensité des îlots de chaleur urbains peut être attribuée au déclin des activités industrielles et du trafic, qui a entraîné une diminution des émissions de chaleur et de pollution atmosphérique, ainsi qu'une amélioration relative de la qualité de l'environnement urbain.

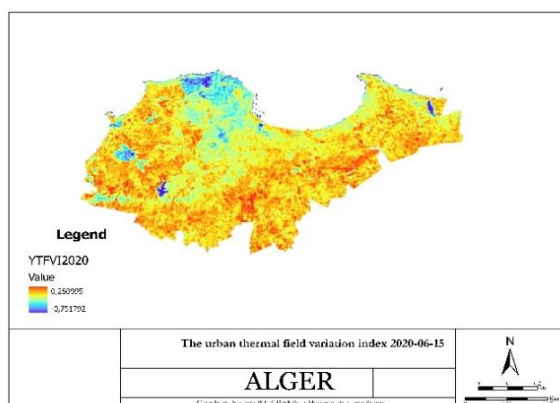


Figure 36 The urban thermal field variation index d'Alger 2020.06.15

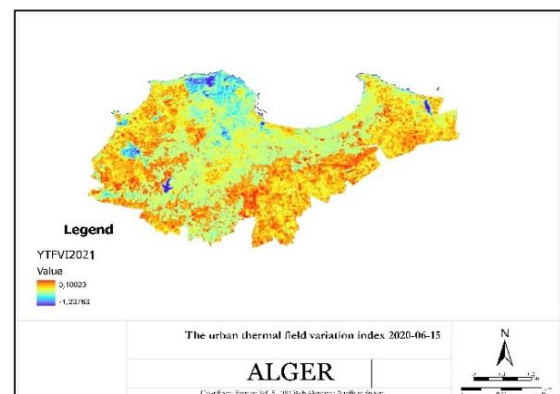


Figure 37 The urban thermal field variation index d'Alger 2021.06.18

Périodes postpandémique le COVID 19(2022/2023)

Post-COVID-19 (2022-2023) :

Après la fin des restrictions liées à la COVID-19 et le retour progressif à la normale des activités, nous observons une évolution de l'indice UTFVI. Les valeurs en 2022 varient de 0,415580 à -1,25389, tandis qu'en 2023, elles varient de 0,326195 à -1,22377. Le graphique reflète un retour aux valeurs maximales de l'UTFVI en 2022 et 2023, approchant, voire dépassant parfois, les niveaux pré-pandémiques. Cela suggère que l'impact de la pandémie sur

la variation de la chaleur urbaine a été temporaire et que le retour à pleine capacité des activités humaines a exacerbé le phénomène d'îlot de chaleur urbain.

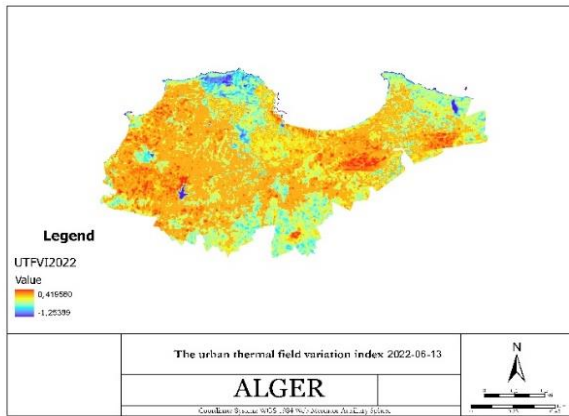


Figure 38 The urban thermal field variation index d'Alger 2022.06.13

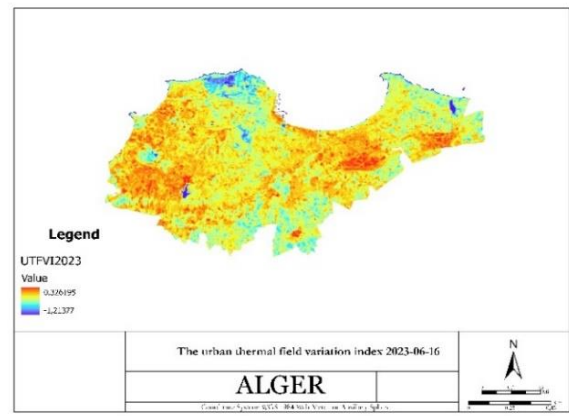


Figure 39 The urban thermal field variation index d'Alger 2023.06.16

3-2 Éléments du graphique :

Axe des abscisses : représente les années 2018 à 2023.

Axe des ordonnées : représente les valeurs UTFVI, comprises entre -1,5 et 1,0.

Couleurs du graphique : représentent trois échelles UTFVI différentes pour chaque année :

Bleu (min.) : représente les valeurs UTFVI minimales pour l'année en question.

Jaune (moy.) : représente les valeurs UTFVI moyennes pour l'année en question.

Rouge (max.) : représente les valeurs UTFVI maximales pour l'année en question.

3-3 Analyse du graphique :

Les valeurs UTFVI minimales restent systématiquement négatives pour toutes les années de 2018 à 2023. Cela indique qu'il existe toujours des zones plus fraîches à l'intérieur et autour d'Alger (comme les zones à végétation dense ou les plans

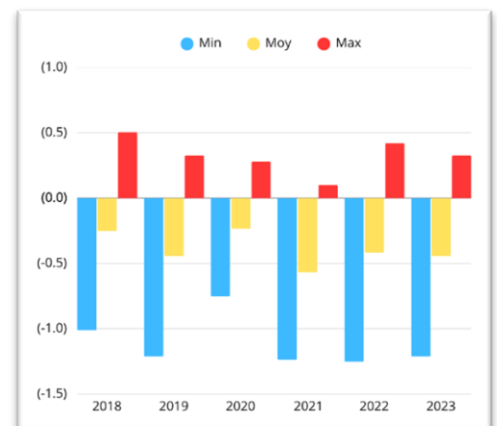


Figure 40: carte cartographique DE UTFVI

d'eau, ou en dehors des zones urbaines denses), où la température de surface est plus basse. Nous constatons que la valeur minimale la plus basse a été enregistrée en 2021 (environ -1,3), tandis qu'en 2018, elle était d'environ -1,0.

Les valeurs moyennes de l'indice UTFVI apparaissent également négatives la plupart des années. Cela signifie que la température moyenne de surface dans la zone étudiée tend à être inférieure à la température ambiante générale, ou que l'effet d'îlot de chaleur urbain n'est pas uniformément réparti sur l'ensemble de la zone.

Une moyenne plus faible a été observée en 2020 et 2021 par rapport aux autres années.

Max (Rouge) :

Les valeurs maximales de l'indice UTFVI apparaissent systématiquement positives toutes années confondues. Cela indique la présence de points chauds au sein de la ville, qui représentent des îlots de chaleur urbains. Ces zones présentent souvent une forte densité urbaine, peu d'espaces verts et un usage intensif de matériaux absorbant la chaleur tels que l'asphalte et le béton. Avant la COVID-19 (2018-2019) : Les valeurs maximales étaient relativement élevées, atteignant environ 0,5 en 2018 et 0,35 en 2019.

Pendant la COVID-19 (2020-2021) : Une diminution des valeurs maximales de l'UTFVI a été observée en 2020 et 2021 (environ 0,25 et 0,1, respectivement). Cette diminution peut être attribuée à la baisse des activités humaines et industrielles et du trafic pendant la période de confinement.

Post-COVID-19 (2022-2023) : Les valeurs maximales de l'UTFVI ont augmenté significativement en 2022 et 2023 (environ 0,4 et 0,3, respectivement), indiquant le retour et l'exacerbation du phénomène d'îlot de chaleur urbain après la reprise des activités normales. Dans l'ensemble, le graphique confirme la présence du phénomène d'îlot de chaleur urbain en Algérie, avec des fluctuations de son intensité au fil des années et son impact sur des facteurs tels que la pandémie de COVID-19.

Tableau 6: De valeur the urban thermal field variation index

ANNEES	Min	Moy	Max
2018	(-1.01286)	(-0.253715)	0.50543
2019	(-1.21379)	(-0.4437)	0.326195
2020	(-0.751792)	(-0.2353)	0.280995
2021	(-1.23763)	(-0.5687)	0.10023
2022	(-1.25389)	(-0.417165)	0.419560
2023	(-1.21377)	(-0.443785)	0.326195

L'analyse de l'indice UTFVI pour la ville d'Alger montre que le phénomène d'îlot de chaleur urbain est un problème persistant, et que la pandémie de COVID-19 a eu un effet temporaire pour en atténuer la gravité. Si les valeurs maximales de l'UTFVI ont légèrement diminué pendant la pandémie, elles ont retrouvé leur niveau maximal après la fin des restrictions, confirmant la persistance des facteurs contribuant aux îlots de chaleur urbains (tels que l'étalement urbain, l'utilisation de matériaux absorbant la chaleur et le manque de végétation). Atténuer ce phénomène nécessite l'adoption de stratégies urbaines durables, telles que l'augmentation des espaces verts, l'utilisation de matériaux de construction réfléchissant la chaleur et l'amélioration de l'urbanisme pour assurer une ventilation naturelle, afin de réduire les impacts négatifs des îlots de chaleur urbains sur la qualité de vie et la santé des habitants.

4 Analyse et discussion des cartes : (NDBAL)

Les cartes analysent les variations de l'indice NDBAL pour les zones bâties de 2018 à 2023, en les segmentant en périodes avant, pendant et après la pandémie de COVID-19. Le NDBAL indique la densité des constructions, où le rouge représente les zones très denses et le bleu clair/jaune les zones moins denses ou naturelles.

3 Périodes pré-pandémiques le COVID-19(2018/2019)

- **Carte du 10 juin 2018 :**

- **Valeurs :** Les valeurs rouges varient entre -0.415 et -0.129, les valeurs bleu clair entre -0.128 et -0.033, et les valeurs jaunes entre -0.032 et 0.281.
- **Observations :** La couleur rouge (zones bâties denses ou affectées) apparaît dispersée dans différentes parties de la carte, notamment sur les bords et au centre. La couleur jaune (zones moins bâties ou naturelles) est la plus répandue dans l'ensemble, ce qui indique la présence de grandes surfaces non bâties ou à faible densité de population à cette date.

- **Carte du 13 juin 2019 :**

- **Valeurs :** Les valeurs rouges varient de -0.463 à -0.103, les bleus clairs de -0.102 à -0.004, et les jaunes de -0.003 à 0.329.
- **Observations :** Par rapport à 2018, il semble y avoir une légère augmentation de la propagation de la couleur rouge (zones bâties denses) dans certaines zones, la couleur jaune restant dominante. Cela peut indiquer une expansion urbaine naturelle continue avant la pandémie.

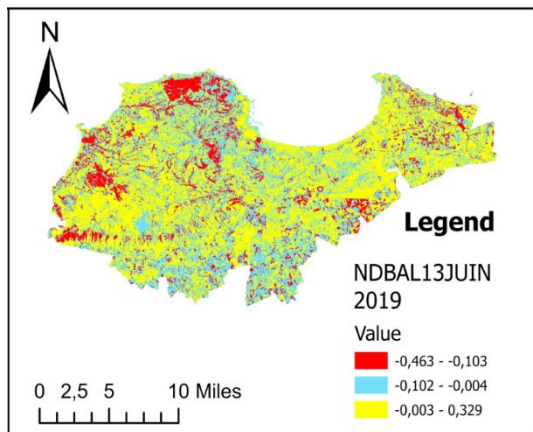


Figure 41 Normalized difference bareness index2019

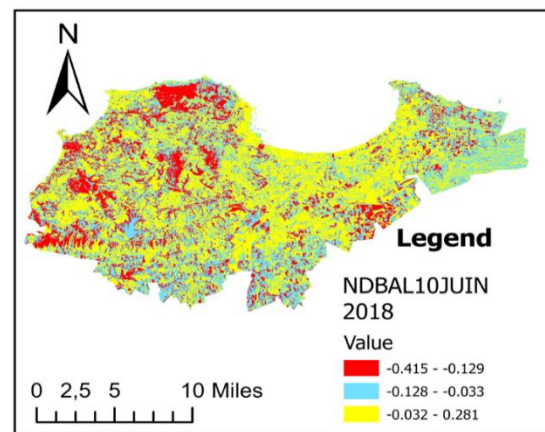


Figure 42 Normalized difference bareness index 2018

Périodes pandémique le COVID-19 (2020/2021)

- **Carte du 15 juin 2020 :**

- **Valeurs :** Les valeurs rouges varient entre -0.475 et -0.088, le bleu clair entre -0.087 et 0.016, et les jaunes entre 0.017 et 0.349.
- **Observations :** La couleur rouge apparaît avec une surface similaire ou une très légère augmentation par rapport à 2019, ce qui pourrait indiquer la poursuite des activités urbaines ou que l'impact de la pandémie n'a pas été significativement visible sur les zones bâties à cette date précise.

- **Carte du 18 juin 2021 :**

- **Valeurs :** Les valeurs rouges de -0.253 à -0.056, le bleu clair de -0.055 à -0.007, et les jaunes de -0.006 à 0.167.
- **Observations :** Cette carte montre un changement notable dans les plages de valeurs, notamment pour le rouge et les autres teintes, mais visuellement, il semble que la propagation de la couleur rouge ait diminué dans une certaine mesure par rapport aux années précédentes. Cela pourrait refléter un ralentissement des activités urbaines en raison des restrictions pandémiques et de leurs impacts économiques.

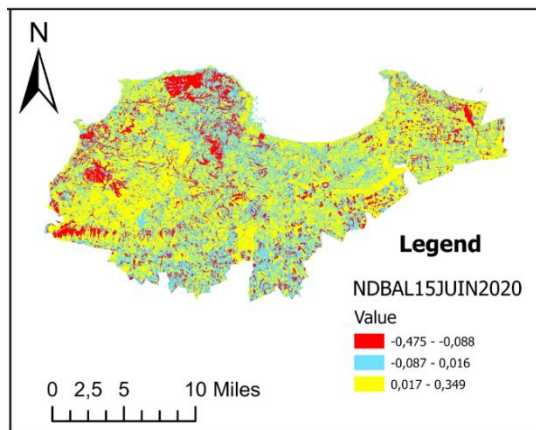


Figure 43 Normalized difference bareness index2020

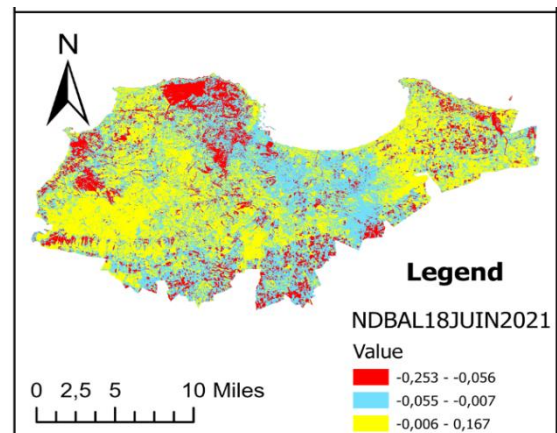


Figure 44 Normalized difference bareness index2021

Périodes postpandémique le COVID-19 (2022/2023)

- **Carte du 13 juin 2022 :**

- **Valeurs :** Les valeurs rouges de -0.431 à -0.116, le bleu clair de -0.115 à -0.026, et les jaunes de -0.025 à 0.334.
- **Observations :** Cette carte montre un retour de la propagation de la couleur rouge (zones bâties denses) pour être plus prononcée et plus proche de ses niveaux d'avant la pandémie ou même plus étendue dans certaines zones, ce qui indique une reprise des activités urbaines après l'assouplissement des restrictions.

- **Carte du 16 juin 2023 :**

- **Valeurs :** Les valeurs rouges de -0.461 à -0.125, le bleu clair de -0.124 à -0.013, et les jaunes de -0.012 à 0.525.
- **Observations :** En 2023, il semble que la propagation de la couleur rouge ait continué d'augmenter, ce qui indique une croissance urbaine continue après la pandémie. La plage de valeurs jaunes est également devenue plus large (jusqu'à 0.525), ce qui peut indiquer une plus grande variation de la densité de la couverture végétale ou des zones naturelles.

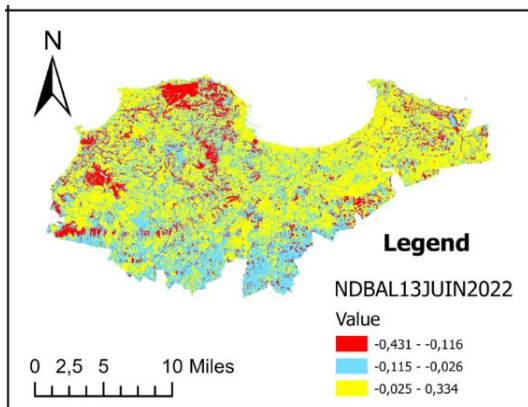


Figure 46 Normalized difference bareness index 2022

4-2

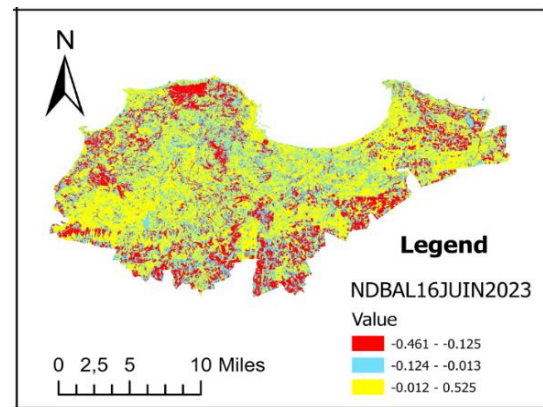


Figure 45 Normalized difference bareness index 2023

Graphique (GRAPHIQUE)

Le graphique fournit un résumé visuel des changements de l'indice NDBAL au fil des ans (2018-2023).

- **Couleur rouge (Maximum/Valeurs supérieures)** : Représente les valeurs maximales de l'indice NDBAL (peut-être des zones à très forte densité de bâtiments ou de grandes valeurs négatives). Il montre une fluctuation au fil des ans.
- **Couleur bleu clair (Valeurs moyennes)** : Représente les valeurs moyennes de l'indice NDBAL.
- **Couleur jaune (Minimum/Valeurs inférieures)** : Représente les valeurs minimales de l'indice NDBAL (peut-être des zones à très faible densité de bâtiments ou des valeurs positives). Il montre une tendance à la baisse des valeurs minimales au fil des ans.

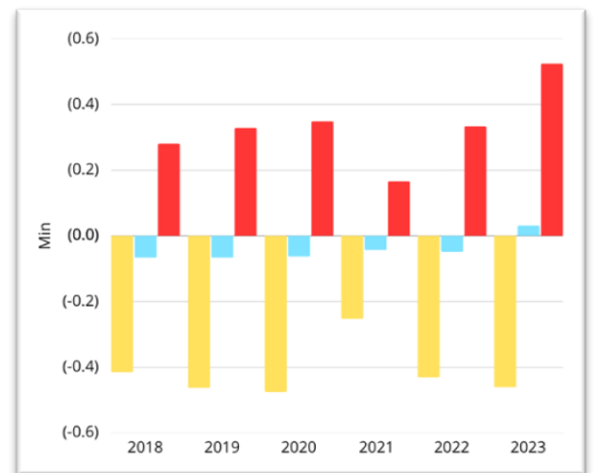


Figure 47 Carte Graphique DE NDBAL

4-3 Discussion générale :

En comparant les cartes et le graphique, les observations suivantes peuvent être tirées :

- **Expansion urbaine avant le COVID-19** : La zone a connu une expansion urbaine progressive avant la pandémie, comme en témoigne l'augmentation ou la stabilité de la superficie en rouge avec des valeurs basses (NDBAL) en 2019 par rapport à 2018.
- **Impact du COVID-19** : En 2021 (pendant la pandémie), il semble y avoir eu un ralentissement ou une légère contraction de la propagation des zones fortement bâties (couleur rouge), probablement en raison des contraintes économiques et sociales imposées par la pandémie.
- **Reprise et croissance après le COVID-19** : Après la pandémie, et plus précisément en 2022 et 2023, les zones densément bâties (couleur rouge) ont recommencé à s'étendre, voire ont dépassé leurs niveaux d'avant la pandémie, ce qui indique une forte reprise des activités urbaines et de la croissance urbaine.
- **Changements dans la couverture végétale/les zones naturelles** : Les valeurs jaunes (surtout en 2023) montrent une plage plus large, ce qui peut indiquer des changements dans la couverture végétale ou la conversion de certaines zones naturelles en zones à faible densité de bâtiments, ou peut-être une transformation de la couverture végétale elle-même.

Tableau 7: les valeurs de Normalized difference bareness index

ANNEES	Min	Moy	Max
2018	(-0.415)	(-0.067)	0.281
2019	(-0.463)	(-0.067)	0.329
2020	(-0.475)	(-0.063)	0.349
2021	(-0.253)	(-0.043)	0.167
2022	(-0.431)	(-0.0485)	0.334
2023	(-0.461)	0.032	0.525

Ces données révèlent que l'expansion urbaine a temporairement ralenti durant le pic du COVID-19, puis a connu une forte reprise et une croissance post-pandémique, témoignant de la résilience du développement régional.

5 Normalized difference built-up index(NDBI)

Cette étude vise à analyser l'évolution des surfaces bâties dans une zone spécifique à l'aide de l'indice de différence normalisée de surface bâtie (NDBI) à travers une série de graphiques et de tableaux, en se concentrant sur les périodes précédant, suivant et suivant la pandémie de COVID-19. Cette analyse offre un aperçu de l'évolution de l'expansion urbaine et de la densité de construction au cours de ces différentes phases.

5-1 Analyse et discussion des cartes :

Périodes pré-pandémiques le COVID-19 (2018/2019)

- **Carte NDBI 10 JUIN 2018 :**
 - **Valeurs :** Le vert varie de -0,253 à 0,11, le gris de 0,111 à 0,179, et le jaune de 0,18 à 0,512.
 - **Analyse :** Cette carte montre que la zone contenait des espaces bâtis clairement définis (le jaune représente des valeurs NDBI élevées), ainsi que des zones non bâties ou végétalisées (le vert), particulièrement dans les parties nord et ouest de la carte. Le gris indique des zones avec une densité bâtie moyenne ou mixte.
- **Carte NDBI 13 JUIN 2019 :**
 - **Valeurs :** Le vert varie de -0,404 à -0,004, le gris de 0,005 à 0,187, et le jaune de 0,188 à 0,51.
 - **Analyse :** Comparé à 2018, de légers changements sont observés dans les plages de valeurs, notamment pour le vert qui représente désormais des valeurs plus négatives. Cependant, la distribution générale des zones bâties (jaune) et non bâties (vert) semble similaire à celle de 2018, suggérant une stabilité relative du paysage urbain avant le début de la pandémie.

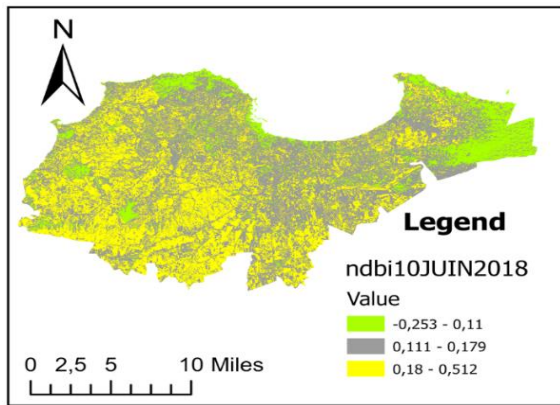


Figure 49 Normalized difference built up index(NDBI) 2018

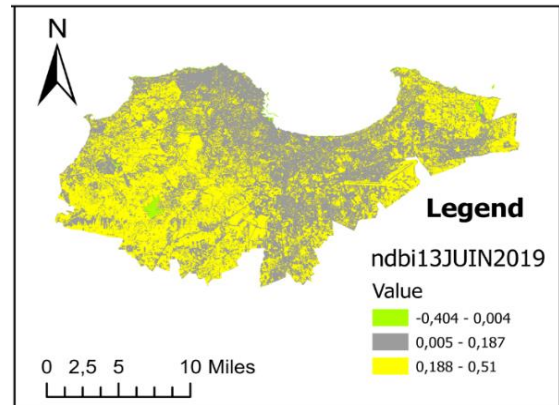


Figure 48 Normalized difference built up index(NDBI) 2019

4 Périodes pandémique le COVID-19 (2020/2021)

- **Carte NDBI 15 JUIN 2020 :**

- **Valeurs :** Le vert varie de -0,331 à 0,007, le gris de 0,008 à 0,212, et le jaune de 0,213 à 0,551.
- **Analyse :** Cette carte, représentant la phase initiale de la pandémie, montre une présence continue de zones fortement bâties (le jaune). Il est à noter que la valeur maximale pour le jaune a légèrement augmenté par rapport aux années précédentes.

- **Carte NDBI 18 JUIN 2021 :**

- **Valeurs :** Le vert varie de -0,123 à 0,107, le gris de 0,108 à 0,152, et le jaune de 0,153 à 0,343.
- **Analyse :** En 2021, la valeur maximale pour le jaune a diminué par rapport à 2020. Il semble y avoir une augmentation des zones vertes dans certaines parties, ce qui pourrait indiquer une légère réduction de l'intensité de la construction ou une augmentation de la végétation, potentiellement attribuable à une activité humaine réduite pendant le pic de la pandémie.

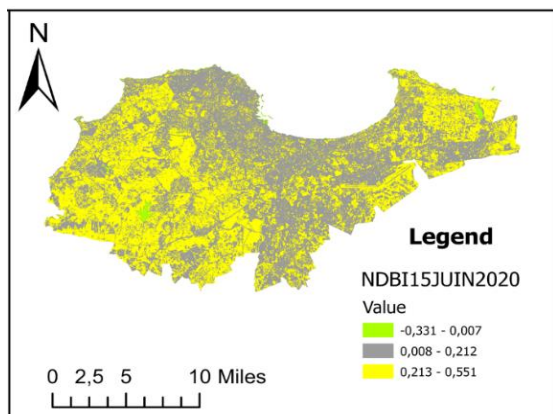


Figure 51 Normalized difference built up index (NDBI)2020

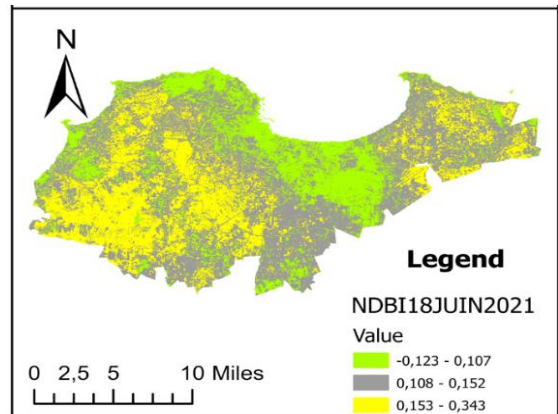


Figure 50 Normalized difference built up index (NDBI) 2021

5 Périodes postpandémique le COVID-19 (2022/2023)

- **Carte NDBI 13 JUIN 2022 :**

- **Valeurs :** Le vert varie de -0,208 à 0,019, le gris de 0,02 à 0,166, et le jaune de 0,167 à 0,669.
- **Analyse :** Cette carte, représentant la période post-COVID-19, affiche la valeur maximale de NDBI la plus élevée (0,669) parmi toutes les cartes présentées. Cela indique clairement une expansion ou une intensification supplémentaire des zones bâties après les effets immédiats de la pandémie.

- **Carte NDBI 16 JUIN 2023 :**

- **Valeurs :** Le vert varie de -0,382 à -0,006, le gris de -0,005 à 0,191, et le jaune de 0,192 à 0,64.
- **Analyse :** Bien que cette carte soit classée sous "Pendant le COVID-19", sa date (2023) suggère qu'elle représente en fait une période post-pandémique. Cette carte montre la valeur maximale la plus élevée pour le jaune (0,64) par rapport aux années précédentes, indiquant une augmentation potentielle de la densité ou de l'étendue des zones bâties.

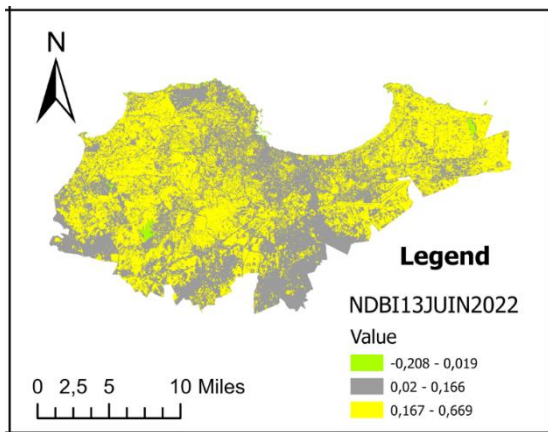


Figure 53 Normalized difference built up index (NDBI) 2022

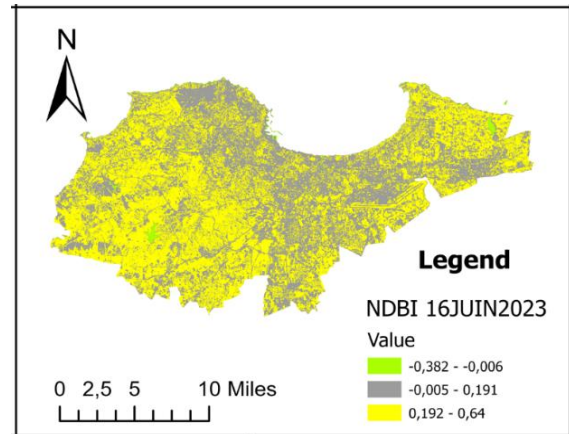


Figure 52 Normalized difference built up index (NDBI) 2023

5-2 Discussion du diagramme (organigramme)

Min : Les valeurs minimales du NDBI restent constamment négatives au fil des ans, ce qui indique la présence de zones non développées.

Moyenne (Moy) : Les valeurs moyennes du NDBI restent relativement stables et positives, indiquant une présence constante de zones bâties dans la région.

Max : Les valeurs maximales du NDBI affichent une tendance claire :

Elles étaient élevées en 2018, 2019 et 2020 (environ 0,5-0,55).

Une baisse a été observée en 2021 (environ 0,35), ce qui est cohérent avec la carte susmentionnée.

Les valeurs maximales ont augmenté significativement en 2022 (dépassant 0,6) et sont restées élevées en 2023 (environ 0,6), indiquant un pic de densité de construction dans ces années postpandémiques.

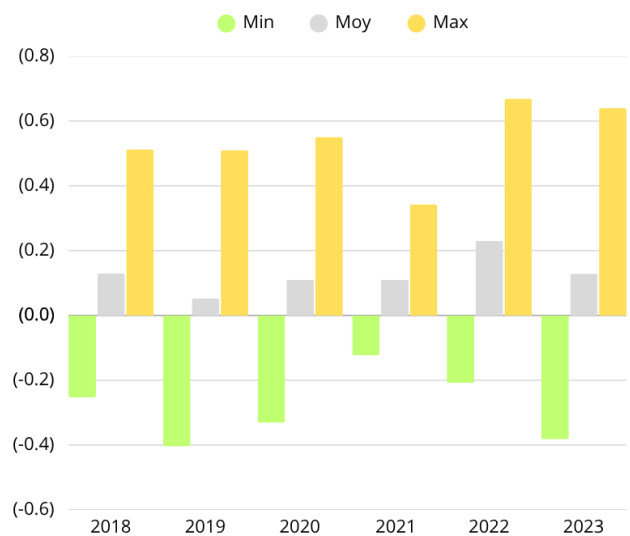


Figure 54 carte cartographique de NDBAL

Tableau 8: de valeur de Normalized difference built up index

ANNEES	Min	Moy	Max
2018	(-0.253)	0.1295	0.512
2019	(-0.404)	0.053	0.51
2020	(-0.331)	0.11	0.551
2021	(-0.123)	0.11	0.343
2022	(-0.208)	0.2305	0.669
2023	(-0.382)	0.129	0.64

Les cartes et graphiques montrent que l'évolution de l'IBND reflète la dynamique de l'expansion urbaine dans la région. Si la période précédant la COVID-19 a affiché une relative stabilité, la pandémie a connu de légères fluctuations, avec peut-être un ralentissement temporaire en 2021. Cependant, la tendance la plus marquante est l'augmentation significative de la surface bâtie après la pandémie, comme en témoigne la hausse des valeurs maximales et moyennes de l'IBND en 2022 et 2023. Cela indique une reprise et une accélération du développement urbain suite aux effets de la pandémie.

6 Normalized difference vegetation index

L'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) est un outil essentiel pour comprendre la santé et la densité de la végétation, et il est largement utilisé pour analyser les changements environnementaux au fil du temps. Des valeurs NDVI plus élevées peuvent indiquer une végétation plus saine et plus dense, tandis que des valeurs plus faibles peuvent suggérer des zones de végétation dégradée ou des zones non végétalisées. Cette étude se concentre sur l'analyse des changements du NDVI dans une région spécifique, en tenant compte de l'impact de la pandémie de COVID-19, en comparant les données avant, pendant et après la pandémie.

6.1 Analyse et Discussion

La carte NDVI disponible, datée du 16 juin 2023, présente une représentation visuelle claire de la distribution de la végétation. Les couleurs vert foncé indiquent des valeurs NDVI

Comprises entre 0,319 et 0,638, ce qui signifie une végétation dense et saine. Les couleurs vert clair indiquent des valeurs comprises entre 0,184 et 0,318, suggérant une densité de végétation moyenne. Les couleurs jaunes, quant à elles, représentent des valeurs basses comprises entre -0,201 et 0,183, ce qui peut indiquer des zones avec peu ou pas de végétation, ou des zones non végétalisées comme l'eau ou les zones urbaines.

Le graphique fournit des données NDVI annuelles couvrant la période de 2018 à 2023, montrant les valeurs minimales (Min), moyennes (Moy) et maximales (Max).

6.2 Analyse et discussion des cartes :

Périodes pré-pandémiques le COVID-19 (2018-2019) :

- En 2018, la valeur maximale du NDVI était d'environ 0,55, tandis que la valeur moyenne était d'environ 0,25, et la valeur minimale d'environ -0,1.

- En 2019, la valeur maximale est restée proche de 0,58, la moyenne autour de 0,25, mais la valeur minimale a légèrement diminué pour atteindre environ -0,12. Cela indique la présence de zones à faible ou dégradée végétation avant la pandémie.

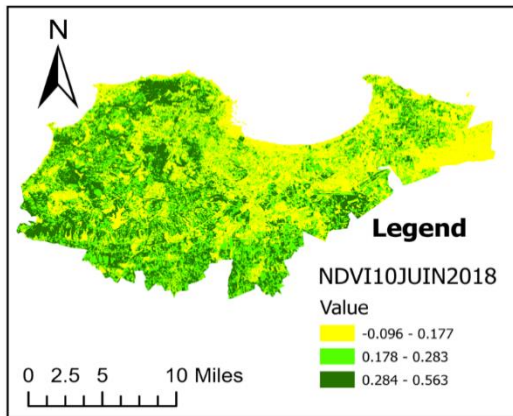


Figure 55 Normalized difference vegetation index 2018

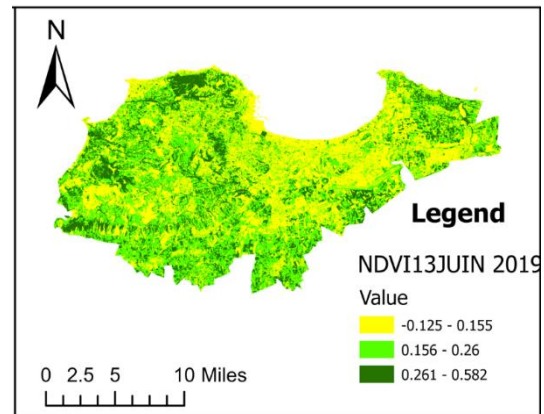


Figure 56 Normalized difference vegetation index 2019

Périodes pandémique le COVID-19 (2020-2021) :

- Une augmentation notable de la valeur maximale du NDVI est observée en 2020, atteignant environ 0,63, avec une valeur moyenne d'environ 0,22 et une valeur minimale d'environ -0,2. Cette augmentation pourrait être attribuée à la réduction des activités humaines pendant les confinements, ce qui a pu permettre à la végétation de se régénérer dans certaines zones.
- En 2021, la valeur maximale a considérablement diminué pour atteindre environ 0,38, avec une valeur moyenne d'environ 0,18 et une valeur minimale d'environ -0,05. Cette baisse pourrait indiquer la reprise de certaines activités humaines ou d'autres facteurs environnementaux ayant eu un impact négatif sur la végétation

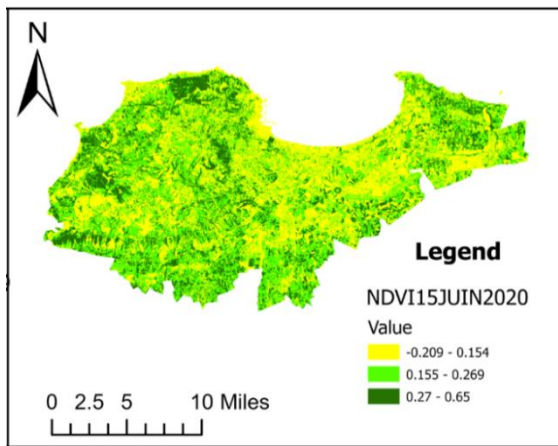


Figure 57 Normalized difference vegetation index2020

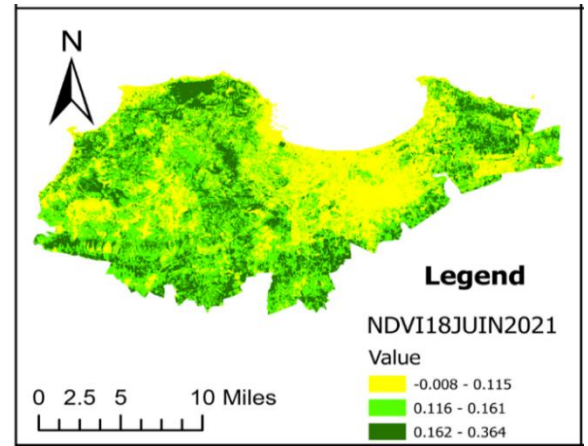


Figure 58 Normalized difference vegetation index2021

Périodes postpandémique le COVID-19 (2022-2023) :

- En 2022, la valeur maximale a recommencé à augmenter pour atteindre environ 0,57, la valeur moyenne environ 0,24, et la valeur minimale environ -0,07.
- En 2023, cette tendance à la hausse s'est poursuivie, avec une valeur maximale atteignant environ 0,63, une valeur moyenne d'environ 0,22, et une valeur minimale d'environ -0,18. Cela suggère une récupération partielle de la végétation, mais la persistance de zones avec des valeurs NDVI négatives est préoccupante.

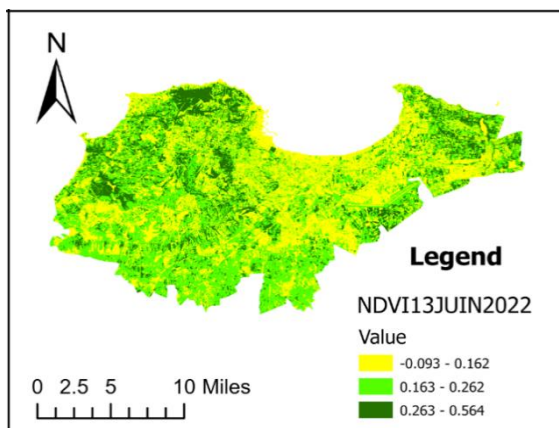


Figure 59 Normalized difference vegetation index2022

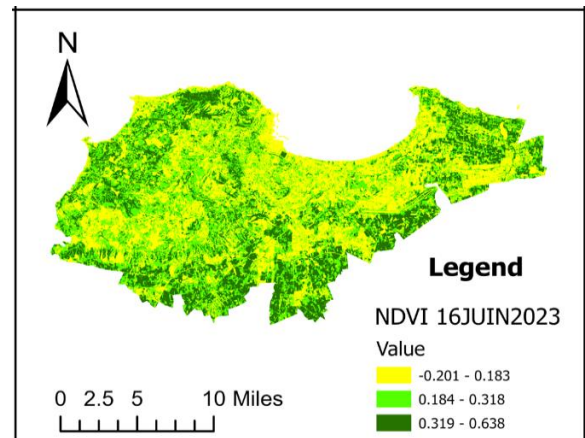


Figure 60 Normalized difference vegetation index2023

Globalement, les données montrent une variabilité dans la santé de la végétation au fil des ans. Il y a eu une augmentation notable du NDVI maximum en 2020 (pendant la pandémie), ce qui pourrait indiquer un impact positif temporaire de la réduction des activités humaines sur la

végétation dans certaines zones. Cependant, les valeurs minimales observées annuellement, en particulier en 2020 et 2023, suggèrent la présence de zones subissant une dégradation de la végétation, ce qui nécessite une analyse plus approfondie pour déterminer les causes sous-jacentes (telles que la désertification, la déforestation, l'urbanisation, etc.).

6.3. Discussion:

Le graphique à barres montre que les valeurs maximales du NDVI étaient particulièrement élevées en 2020 (pendant la COVID-19) et en 2023 (après la COVID-19), tandis que les valeurs minimales étaient très faibles ces mêmes années. Cela pourrait indiquer une polarisation croissante de la santé de la végétation : certaines zones sont devenues très vertes, tandis que d'autres ont connu une couverture végétale très faible, voire une expansion des zones sans végétation. Une analyse plus approfondie, avec des données

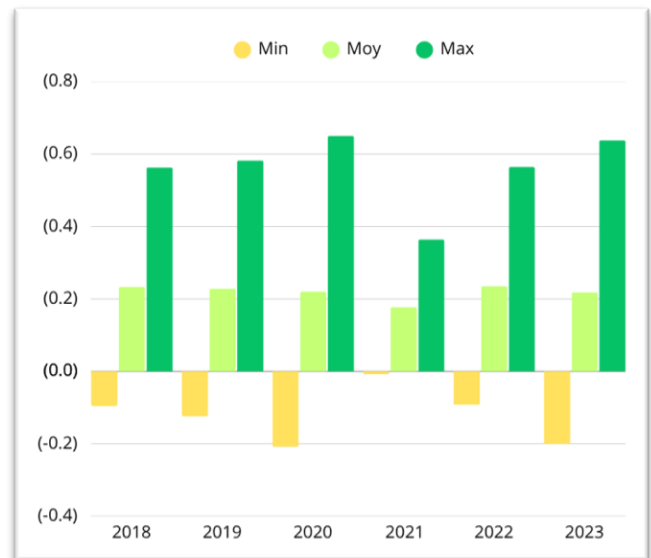


Figure 61: Ccart graphique DE NDVI

plus précises et des informations contextuelles (telles que les précipitations, la température et l'activité humaine), sera nécessaire pour tirer des conclusions définitives sur les causes de ces tendances.

Tableau 9: les valeur de Normalized difference vegetation index

ANNES	Min	Moy	Max
2018	(-0.096)	0.2335	0.563
2019	(-0.125)	0.2285	0.582
2020	(-0.209)	0.2205	0.65
2021	(-0.008)	0.178	0.364
2022	(-0.093)	0.2355	0.564
2023	(-0.201)	0.2185	0.638

Cette étude souligne l'importance de l'utilisation du NDVI pour surveiller les changements dans la végétation et évaluer l'impact de divers facteurs sur celle-ci. Les données suggèrent que la pandémie de COVID-19 a pu avoir des effets variables sur la végétation, certaines zones connaissant une récupération temporaire, tandis que d'autres ont continué à se dégrader. Il est essentiel de mener des études futures plus détaillées, axées sur les raisons spécifiques des changements notables dans les valeurs minimales du NDVI, et de proposer des solutions durables pour préserver et améliorer la santé de la végétation dans la région étudiée.

Notre étude des dynamiques de la **température de surface terrestre (TST)** et de la végétation en Algérie a révélé une observation intéressante concernant la pandémie de COVID-19.

Nos analyses ont mis en évidence une **baisse temporaire et spécifique des températures maximales de surface terrestre en 2020**. Cette période coïncide directement avec les mesures strictes prises par le gouvernement algérien pour limiter la propagation de l'épidémie, telles que les **confinements généralisés et les restrictions sur les activités économiques et la circulation**.

- **Réduction de l'activité humaine** : Il est plausible que la diminution de l'activité industrielle, du trafic routier et d'autres activités humaines qui contribuent aux émissions de chaleur et de polluants, ait directement influencé l'équilibre thermique des zones urbaines et périurbaines. Lorsque ces activités diminuent, l'empreinte thermique humaine sur l'environnement environnant se réduit.
- **Amélioration de la qualité de l'air** : La baisse des émissions pourrait également entraîner une amélioration temporaire de la qualité de l'air et une réduction de la concentration de particules en suspension. Ces particules peuvent absorber et réémettre de la chaleur, et leur diminution pourrait contribuer à un léger refroidissement de la surface terrestre.

Bien qu'il ne soit pas possible d'affirmer que cette baisse était uniquement due à la pandémie et à ses mesures, la **coïncidence frappante** entre la réduction des activités humaines et la baisse des températures maximales de surface terrestre en 2020 fournit un indicateur fort d'une relation potentielle. Cette observation souligne comment des changements majeurs dans le comportement humain à grande échelle peuvent avoir des effets mesurables et notables sur l'environnement, y compris sur les régimes thermiques de la surface terrestre.

6 Analyse de la Relation entre NDBI et NDVI pour 2020 (dans le Contexte 2018-2023) :

Les indices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et NDBI (Normalized Difference Built-up Index) sont des outils cruciaux pour analyser les changements environnementaux et identifier l'étendue de l'expansion urbaine ou de la dégradation de la végétation. La relation entre ces deux indices peut refléter la dynamique d'utilisation des terres dans une zone donnée.

Indice NDVI pour 2020:

- **Minimum (Min) :** (-0.209)
- **Moyenne (Moy) :** 0.2205
- **Maximum (Max) :** 0.65

Ces valeurs indiquent une variation significative de la couverture végétale en 2020. La valeur minimale négative (-0.209) peut suggérer des zones d'eau, de neige, de roches nues, ou des zones avec une végétation très rare ou stressée. La valeur moyenne (0.2205) indique une couverture végétale généralement modérée. La valeur maximale (0.65) reflète des zones avec une végétation dense et saine. Comparé aux autres années de la période 2018-2023, le maximum NDVI de 2020 (0.65) est le plus élevé (les maximums étaient de 0.563 en 2018, 0.582 en 2019, 0.364 en 2021, 0.564 en 2022 et 0.638 en 2023). Cela pourrait indiquer des périodes de forte croissance végétale ou des zones spécifiques avec une végétation exceptionnelle en 2020. Cependant, la valeur minimale de 2020 (-0.209) est la plus basse de toutes les années, suggérant la présence de zones avec une très mauvaise ou inexistante couverture végétale.

Indice NDBI pour 2020:

- **Minimum (Min) :** (-0.331)
- **Moyenne (Moy) :** 0.11
- **Maximum (Max) :** 0.551

Les valeurs NDBI sont utilisées pour distinguer les zones bâties des autres. Des valeurs positives élevées indiquent généralement des zones construites, tandis que des valeurs négatives ou faibles indiquent des zones sans bâtiments ou avec une couverture végétale. La valeur moyenne (0.11) du NDBI en 2020 suggère un degré modéré d'expansion urbaine ou de

terres nues. Comparée aux autres moyennes de la période, la moyenne NDBI en 2020 (0.11) était supérieure à celle de 2019 (0.053), mais inférieure à celles de 2018 (0.1295), 2022 (0.2305) et 2023 (0.129). Cela pourrait indiquer une expansion urbaine continue mais à un rythme qui n'est pas le plus élevé par rapport à certaines autres années de la période.

Relation entre NDBI et NDVI en 2020 :

Corrélation entre le NDBI et NDVI 2018

Année 2018

En cette année, la relation entre le NDBI et le NDVI montre une corrélation inverse claire, signifiant que plus l'indice de construction (NDBI) augmente, plus la couverture végétale (NDVI) diminue. Cette relation attendue indique que l'expansion urbaine s'est faite au détriment des espaces verts, une caractéristique commune des phases d'expansion urbaine non planifiée.

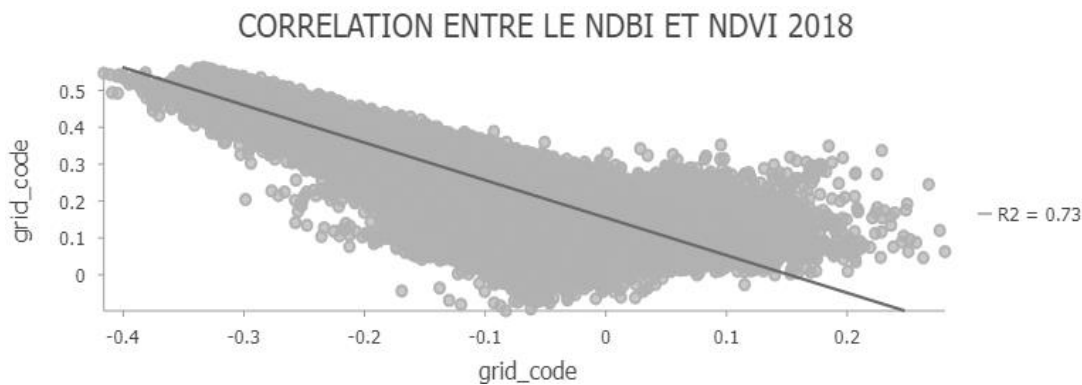


Figure 62 : corrélation entre NDBI et NDVI 2018

- **Corrélation entre le NDBI et NDVI 2019**
- **Année 2019**

La tendance inverse entre les deux indices se poursuit, mais à un degré moindre qu'en 2018, ce qui suggère la possibilité de certaines initiatives de végétalisation ou

d'aménagement urbain ayant contribué à réduire l'impact négatif de la construction sur la couverture végétale.

Analyse supplémentaire : Ce changement pourrait résulter de nouvelles politiques de planification ou d'un ralentissement relatif de l'expansion urbaine par rapport à l'année précédente.

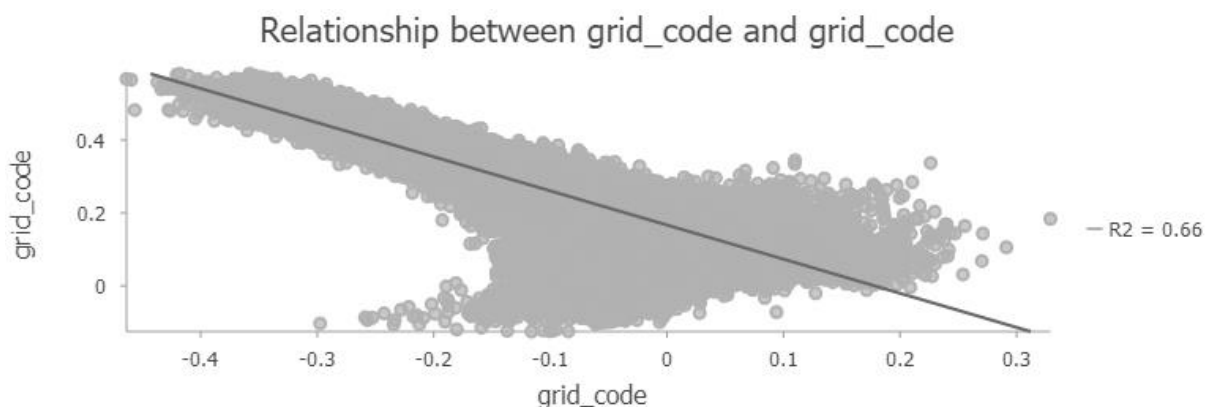


Figure 63 : corrélation entre NDBI et NDVI 2019

Corrélation entre le NDBI et NDVI 2020

Année 2020

Nous observons la persistance de la relation inverse entre le NDVI et le NDBI, avec une légère augmentation des valeurs du NDBI, ce qui indique que le rythme de l'expansion urbaine a repris sa hausse. Cela a coïncidé avec la période de la pandémie (COVID-19), ce qui pourrait expliquer des changements dans les modes d'utilisation des terres, notamment dans les périphéries urbaines.

Explication : Certaines zones rurales pourraient s'être transformées en zones résidentielles périurbaines durant la période de confinement.

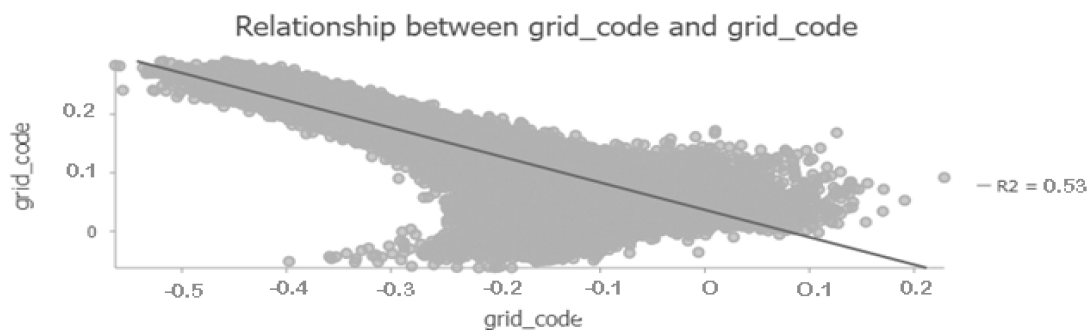


Figure 64 : corrélation entre NDBI et NDVI 2020

- **Corrélation entre le NDBI et NDVI 2021**
- **Année 2021**

La relation demeure inverse, mais elle est moins marquée par rapport aux années précédentes. Cela pourrait indiquer une relative stabilisation de la croissance urbaine ou un début d'équilibre entre les espaces bâtis et les espaces verts.

- Note scientifique : Ce type de stabilisation mérite une analyse plus approfondie au niveau des unités spatiales pour déterminer si les politiques urbaines commencent à atteindre leurs objectifs environnementaux.

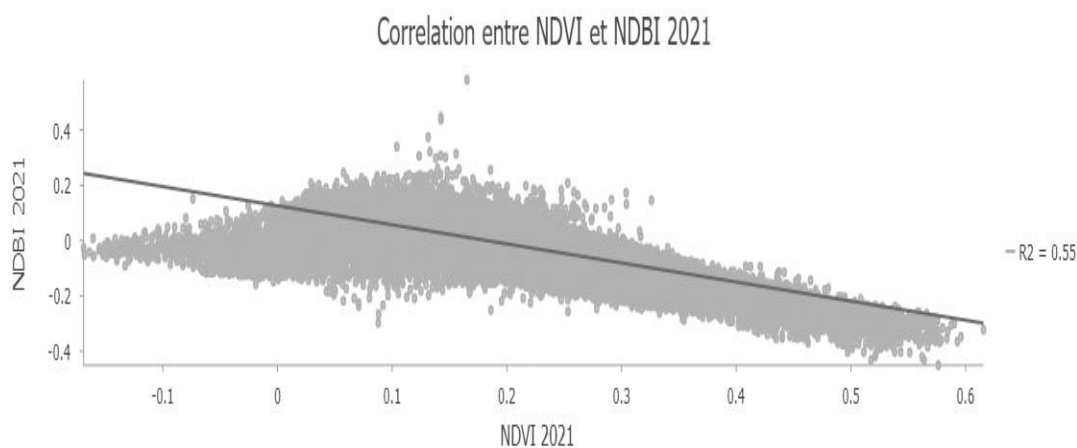


Figure 65 : corrélation entre NDBI ET NDVI 2021

- **Corrélation entre le NDBI et NDVI 2022**

- **Année 2022**

Retour à une accentuation de la corrélation inverse, avec une baisse des valeurs du NDVI et une hausse de celles du NDBI. Cette année pourrait avoir été marquée par la mise en œuvre de grands projets urbains ou d'extensions immobilières significatives.

- *Hypothèse : Il convient d'examiner les cartes thématiques des zones ayant connu ce changement pour comprendre la nature de la nouvelle occupation urbaine (résidentielle, industrielle, etc.).*

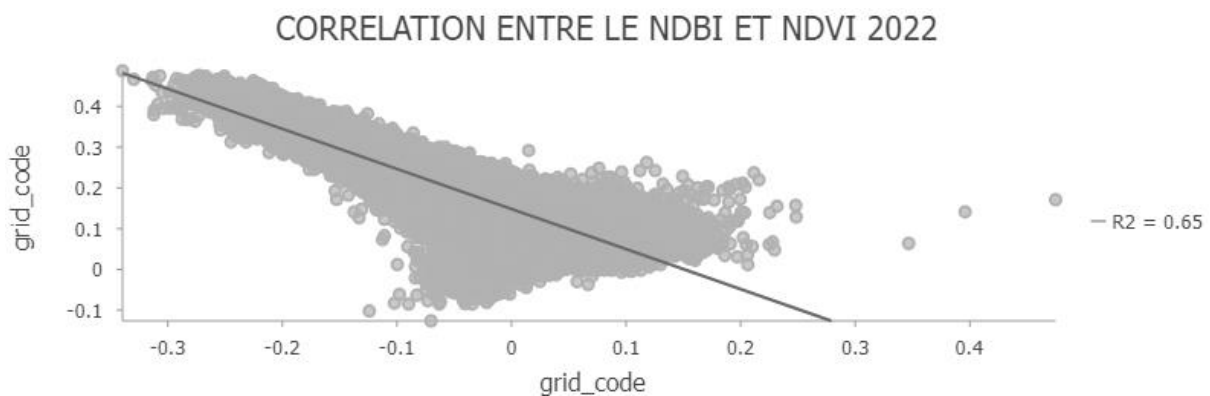


Figure 66 : corrélation entre NDBI ET NDVI 2022

- **corrélation entre le NDBI et NDVI 2023**

Année 2023

On observe une certaine stabilisation de la relation inverse, avec une pente moins forte, ce qui indique une forme de stabilité dans les dynamiques urbaines. Cela pourrait refléter une maturité relative de la planification urbaine ou un ralentissement de l'expansion dû à des facteurs économiques ou politiques.

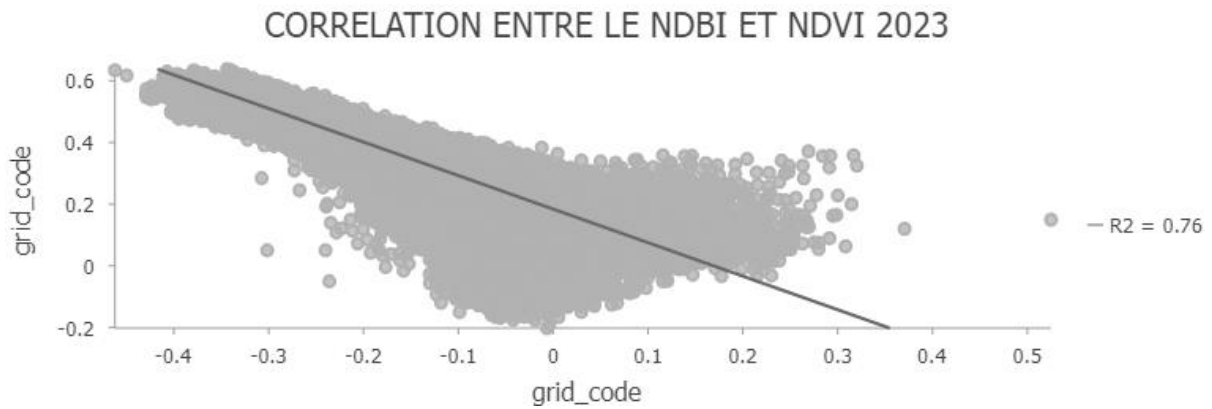


Figure 67 : corrélation entre NDBI ET NDVI 2023

7 La résultat de l'étude

Les résultats de l'analyse annuelle de la relation entre le NDBI et le NDVI durant la période allant de 2018 à 2023 montrent une corrélation inverse claire, reflétant l'impact direct de la croissance urbaine sur la dégradation de la couverture végétale. Cette relation se caractérise par des fluctuations dans son intensité, indiquant que le rythme de la transformation urbaine n'a pas été constant, mais a été influencé par de multiples facteurs tels que les politiques de planification, les crises sanitaires (comme la pandémie de COVID-19) et les projets d'aménagement. Par conséquent, on peut affirmer que l'analyse spatio-temporelle des indices NDBI et NDVI constitue un outil efficace pour surveiller les dynamiques de la transformation urbaine et évaluer son impact environnemental. L'étude recommande l'importance d'intégrer ces indices dans les mécanismes de planification urbaine durable et de prendre des décisions fondées sur des données géographiques précises afin de limiter la dégradation de l'environnement urbain.

Conclusion de chapitre 04

L'analyse détaillée des données spatiales et temporelles menée dans ce chapitre met en évidence les liens étroits entre les dynamiques urbaines, les conditions environnementales et les fluctuations induites par des événements socio-économiques majeurs, notamment la pandémie de COVID-19. En croisant plusieurs indices environnementaux tels que la température de surface terrestre (TST), l'indice de chaleur urbaine (UHI), l'indice de variabilité thermique (UTFVI), l'indice de nudité du sol (NDBAL), l'indice de bâti (NDBI) et l'indice de végétation (NDVI), nous avons pu dresser un tableau cohérent des impacts directs et indirects des transformations humaines sur l'environnement urbain de la région d'Alger.

Les résultats montrent une baisse temporaire et notable des températures et de l'intensité des îlots de chaleur pendant la période de confinement (2020-2021), confirmant l'effet immédiat de la réduction des activités humaines. Cependant, ce recul s'est rapidement inversé dès la levée des restrictions, illustrant la forte dépendance du climat urbain aux pratiques anthropiques. Par ailleurs, les indices NDBI et NDBAL révèlent une reprise vigoureuse de l'expansion urbaine après la pandémie, tandis que le NDVI suggère une évolution contrastée de la couverture végétale, marquée à la fois par des signes de régénération temporaire et de dégradation persistante.

Cette étude met ainsi en lumière l'importance de la télédétection pour suivre les effets de l'urbanisation et propose des pistes concrètes pour une gestion plus durable des territoires urbains. Les constats dégagés appellent à une refonte des politiques d'aménagement, fondée sur une intégration systématique des paramètres environnementaux dans la planification urbaine, pour faire face aux défis climatiques croissants.

Conclusion générale

L'analyse menée à l'échelle de la Wilaya d'Alger sur l'impact des confinements dus à la pandémie de COVID-19 sur l'environnement thermique urbain converge vers des conclusions significatives, répondant à notre problématique initiale qui visait à quantifier ces modifications et à comprendre comment elles se manifestent à travers différents indices environnementaux télédéteçtés entre 2018 et 2023.

Nos hypothèses de départ ont été largement validées par les résultats obtenus. Conformément à notre première hypothèse (H1), les mesures restrictives, notamment durant les périodes de confinement strict en 2020 et 2021, ont entraîné une baisse temporaire et quantifiable de la température de surface terrestre (LST) moyenne et un affaiblissement notable de l'intensité de l'îlot de chaleur urbain (ICU), ce dernier étant particulièrement visible à travers les variations de l'indice UTFVI. Cette tendance s'explique principalement par la réduction significative de la chaleur anthropique, issue de la diminution drastique du trafic routier, du ralentissement des activités industrielles et de la moindre sollicitation énergétique des bâtiments commerciaux et de bureaux. L'amélioration concomitante de la qualité de l'air, bien que non directement mesurée dans cette étude mais rapportée par la littérature, a également pu jouer un rôle, quoique complexe, dans ces variations thermiques.

En lien avec notre deuxième hypothèse (H2), l'étude a mis en lumière des interactions complexes entre les variations thermiques et d'autres indicateurs environnementaux. Bien qu'une corrélation statistique directe et détaillée n'ait pas été l'objet central de cette conclusion, l'analyse parallèle des cartes d'indices de végétation (NDVI), de bâti (NDBI) et de nudité du sol (NDBAL) avec les cartes thermiques suggère des dynamiques interdépendantes. Par exemple, une potentielle légère régénération de la végétation (hausse du NDVI) ou un ralentissement de l'expansion du bâti (stagnation ou baisse du NDBI) durant certaines phases du confinement ont pu localement et marginalement contribuer à l'atténuation thermique.

Cependant, l'effet dominant sur la réduction de la LST et de l'ICU reste imputable à la baisse des activités directes génératrices de chaleur.

La levée des restrictions et la reprise des activités socio-économiques en 2022 et 2023 ont été accompagnées d'un "rebond" thermique notable. Les niveaux de LST et d'ICU ont rapidement augmenté, se rapprochant, voire dépassant parfois, les valeurs observées avant la pandémie. Cela démontre la forte résilience des mécanismes générateurs de chaleur urbaine et la sensibilité directe du climat urbain d'Alger aux activités anthropiques.

En définitive, la pandémie de COVID-19, malgré ses conséquences tragiques, a offert une opportunité scientifique précieuse, une sorte d'"expérience naturelle" à grande échelle. Elle a permis de quantifier de manière tangible l'influence directe des activités humaines sur le microclimat urbain d'Alger et a mis en lumière la réactivité de l'environnement à des changements drastiques de comportement. La réponse à notre problématique principale est donc que la pandémie a effectivement modifié de manière quantifiable et temporaire l'environnement thermique d'Alger. Ces modifications ont été clairement visibles à travers les estimations de LST et les indices dérivés comme l'UHI (ou ICU) et l'UTFVI, et ont présenté des dynamiques de "rebond" post-confinement, soulignant la précarité des améliorations thermiques observées en l'absence de changements structurels durables.

Ces résultats ont des implications importantes. Ils soulignent l'urgence d'intégrer des stratégies d'atténuation de l'ICU dans la planification urbaine d'Alger. La promotion des espaces verts, l'utilisation de matériaux de construction à albédo élevé, l'optimisation de la morphologie urbaine pour favoriser la ventilation naturelle, et la transition vers des modes de transport moins émetteurs de chaleur sont autant de pistes cruciales. La sensibilité du climat urbain aux réductions d'activité anthropique, même temporaires, suggère qu'des politiques urbaines ambitieuses pourraient avoir un impact significatif sur l'amélioration du confort thermique et la résilience climatique de la Wilaya d'Alger.

En termes de perspectives de recherche, il serait pertinent d'approfondir l'analyse en intégrant des données de qualité de l'air plus précises pour mieux démêler leur rôle. Des études comparatives avec d'autres métropoles aux caractéristiques similaires ou différentes pourraient également enrichir la compréhension des facteurs de modulation. Enfin, la modélisation prospective des effets de différents scénarios d'aménagement urbain sur l'ICU d'Alger pourrait fournir des outils d'aide à la décision précieux pour les urbanistes et les décideurs politiques.

Bibliographie :

1- Ouvrages

- **Arnfield, A. J. (2003).** Urban heat islands: Causes and consequences., la maison d'édition, ville d'édition. Harlow, UK: Pearson Prentice Hall.
- **Fernando, H.J. (2012).** Handbook of Environmental Fluid Dynamics, Volume Two: Systems, Pollution, Modeling, and Measurements (Crc Press).
- **Gartland, L. M. (2010).** Heat islands: Understanding and mitigating heat in urban areas. Earthscan.
- **Oke, T. R. (1987).** Oke, T. R. (1987). Boundary Layer Climates (2nd ed.). London: Routledge..
- **Oke, T.R. (2004).** Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Rapport technique 81, World Meteorological Organization.
- **Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017).** Urban climates. Cambridge University Press.
- **Ricciardelli, F. (2006).** Aerodynamic effects of wind on structures. In F. Ricciardelli & G. Solari (Eds.), Wind Effects on Buildings and Design of Wind-Sensitive Structures (CISM Courses and Lectures, No. 483, pp. 1-40). Springer.
- **Wan, Z., Hook, S., Hulley, G. (2015).** MOD11C3 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Monthly L3 Global 0.05Deg CMG V006 [Data set]. NASA EOSDIS LP DAAC. doi: 10.5067/MODIS/MOD11C3.006)

2.Thèses et mémoires

- **Ballout, M. (2010).** Contribution à l'étude du microclimat urbain : application à la ville de Beyrouth [Thèse de doctorat, Université de Nantes].
- **Bensaid A. (2006).** SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone semiaride : (le cas de la wilaya de NAAMA- Algérie) [Thèse de doctorat, Université JOSEPH FOURIERGRENOBLE 1].
- **Darabid D, Bouchekara M. (2013).** EXTRACTION DES DIFFERENTS INDICES DE VEGETATION A PARTIR DES IMAGES SATELLITAIRES [Mémoire de master, Centre Universitaire El Wancharissi de Tissemsilt].
- **Filiatreault, F. (2015).** La médiatisation des îlots de chaleur urbains (ICU) : Une analyse de contenu de la presse écrite québécoise (1995-2014) [Mémoire de maîtrise, Université Laval].
- **Rebbouh A. (2018).** Apport de la télédétection et les traitements des images LANDSAT7 ETM+ pour la cartographie de la région des lacs d'El Goléa (wilaya de ghardai a) [Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla].

- **Stewart, I. D. (2011a).** Redefining the urban heat island [Thèse de doctorat, University of British Columbia].

2. Articles

- **Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2006).** Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 41(2), 94-108.
- **Alonso, M. S., Fidalgo, M. R., & Labajo, J. L. (2007).** Relationship between land surface temperature and NDVI in a heterogeneous city: A case study of Madrid, Spain. *International Journal of Remote Sensing*, 28(22), 5061-5080.
- **Anand, S., & Ramaswami, A. (2021).** Urban systems and COVID-19: A review of the and opportunities for sustainable cities. *Environmental Science & Technology*, 55(12), 7845–7859.
- **Arrofiqoh, M. Z., & Setyaningrum, D. (2021).** Influence of mobility changes on land surface temperature: A case study of Yogyakarta, Indonesia during COVID 19. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 747, 012042.
- **Arrofiqoh, R., & Setyaningrum, T. (2020).** Analysis of Urban Temperature Changes in Yogyakarta During COVID-19. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian*, 17(2), 93-100.
- **Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016).** Algorithm for automated mapping of Land Surface Temperature using Landsat 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2016.
- **Bauwens, M., Compernelle, S., Verhoelst, T., Müller, J. F., Van Gent, J., Eskes, H., ... & Veeffkind, J. P. (2020).** Impact of coronavirus outbreak on NO₂ pollution assessed using TROPOMI and OMI observations. *Geophysical Research Letters*, 47(11),
- **Bruse, M., and Fleer, H. (1998).** Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling & Software* 13, 373–384.
- **Cantat, O. (2004).** L'îlot de chaleur urbain. *Mappemonde*, 75(3), 17-21
- **Chakraborty, T., & Lee, X. (2019).** A simplified urban-extent algorithm to characterize surface urban heat islands on a global scale and examine vegetation control on their diurnal variability. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 74, 233-245.
- **Chakraborty, T. C., Sarangi, C., & Tripathy, S. (2020).** Understanding the impacts of the COVID-19 lockdown on urban land surface temperatures in India. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 12921–12939.
- **Chakraborty TC , Chandan Sarangi,, and Xuhui Lee1,(2021)** Reduction in human activity can enhance the urban heat island: insights from the COVID-19 lockdown
- **Chen, X.-L., Zhao, H.-M., Li, P.-X., & Yin, Z.-Y. (2006).** Remote sensing image based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104(2), 133–146.

- **Cheval, S., & Dumitrescu, A. (2021).** The summer 2020 lockdown impact on the urban thermal environment of Bucharest (Romania). *Atmosphere*, 12(3), 396.
- **Darabid, D., et al. (2013).** Fondements et applications de la télédétection. *Revue des Sciences de l'Espace*.
- **Das, J., Guttikunda, S. K., & Nishad, A. K. (2021).** COVID-19 lockdown, air quality, and public health: A case study of Delhi, India. *Urban Climate*, 39, 100956.
- **De Munck, C., Lemonsu, A., Masson, V., Le Bras, J., & Chassagneux, A. (2013).** Impact of the waste heat of air conditioning systems on the urban climate of Paris. *International Journal of Climatology*, 33(12), 2601-2617.
- **Fernandez, J., & Deshaies, M. (2013).** Les îlots de fraîcheur urbains : un concept aux contours flous, une caractérisation spatiale complexe. Le cas de l'agglomération de Québec. *Cybergeographie : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, document 642.
- **Hale, T., Angrist, N., Goldszmidt, R., Kira, B., Petherick, A., Phillips, T., ... & Tatlow, H. (2021).** A global panel database of pandemic policies (Oxford COVID 19 Government Response Tracker). *Nature Human Behaviour*, 5(4), 529-538.
- **Jallu, S., Kumar, R., Kumar, A., & Singh, C. K. (2021).** Spatiotemporal Analysis of LST Changes in Delhi, Hyderabad, and Mumbai During COVID-19. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 24, 100628. (Correspondant à Jallu, S., et al. (2021). Satellite-based analysis...)
- **Krarti, M., & Aldubyan, M. (2021).** Review analysis of COVID-19 impact on electricity demand for residential buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 143, June 2021, 110888
- **Kusak, H., & Kucukali, S. F. (2023).** Impact of COVID-19 lockdown measures on land surface temperature: A case study of Istanbul, Turkey. *Urban Climate*, 48, 101415.
- **Kusak, L., & Kucukali, U. F. (2023).** Impact of COVID-19 on urban heat islands: Evidence from Istanbul using satellite imagery. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(6). <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11009-4> (Correspondant à Kusak, L., & Kucukali, U.F. (2023). *Sustainable Cities and Society*, 93, 104498) (Cité aux pages: 42 (Lutfye Kusak. *Ufuk Fatih Kucukali* (2024)
- **Kuşçu, Ç., & Şengezer, B. (2011).** The effects of urban geometry on surface temperature: A case study in Istanbul. *International Journal of Remote Sensing*, 32(2), 371-387.
- **Laaidi, K., et al. (2012).** The impact of heat islands on mortality during the 2003 heat wave in France. *Environmental Health Perspectives*, 120(1), 254–259.
- **Leconte, F. (2014).** Caractérisation des îlots de chaleur urbains par zonage climatique et mesures mobiles: Cas de Nancy. Thèse de doctorat, Université de Lorraine.
- **Leconte, F., Bouyer, J., Claverie, R., and Pétrissans, M. (2015b).** Using Local Climate Zone scheme for UHI assessment: Evaluation of the method using mobile measurements. *Building and Environment* 83, 39–49.
- **Li, H., & Liu, Q. (2008).** Urbanization and its impact on vegetation NDVI in major Chinese cities. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(8), 1053-1062.

- **Liu, Y., Wu, E., Wang, Y., Gao, W., & Liu, Y. (2020).** Impact of the COVID-19 pandemic on the surface urban heat island: Global evidence from 230 cities. *Remote Sensing*, 12(20), 3445.
- **Lutfye Kusak, & Ufuk Fatih Kucukali. (2024).** Investigating the relationship between COVID 19 shutdown and land surface temperature on the Anatolian side of Istanbul using large architectural impermeable surfaces. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 18439–18476. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03397-5>
- **Memon, R. A., & Leung, D. Y. C. (2010).** Impacts of urban LULC changes on the UHI effects at a mega-city, Karachi, Pakistan. *Theoretical and Applied Climatology*, 102(3-4), 397-409.
- **Mohan, M., et al. (2012).** Urban heat island assessment for a tropical urban airshed in India. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2(2), 127–138.
- **Morris, C. J. G., et al. (2001).** Quantification of the urban heat island in Melbourne, Australia. *Journal of Applied Meteorology*, 40(2), 189–205
- **Noilhan, J., & Mahfouf, J.-F. (1996).** The ISBA land surface parameterisation scheme. *Global and Planetary Change*, 13(1–4), 145–159. (Cité à la page: 37)
- **Oke, T. R. (1973).** City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7(8), 769–779.
- **Oke, T. R. (1976).** The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14(4), 268–277.
- **Oke, T. R. (1988).** Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11(1–3), 103–113.
- **Parida, B.R., Dash, S.S., Pandey, A.C., & Kumar, D. (2021).** Continental-Scale Assessment of Lockdown Effects on Urban Heat Islands in Europe and North America. *Science of The Total Environment*, 789, 147975.
- **Pigeon, G., Lemonsu, A., Masson, V., and Hidalgo, J. (2008).** De l’observation du microclimat urbain à la modelisation intégrée de la ville. *Météorologie* 39–47.
- **Rahaman, M. A., Nigar, N., & Nitu, S. A. (2022).** Assessing the impact of COVID 19 lockdown on land surface temperature and urban heat island intensity over major cities in Bangladesh using Google Earth Engine. *Environment, Development and Sustainability*, 24(9), 11062-11089.
- **Rosheidat, A., Bryan, H., and Hoffman, D. (2008).** Using Envi-met Simulation as a Tool to Optimize Downtown Phoenix’s Urban Form for Pedestrian Comfort. In *SOLAR 2008: Catch the Clean Energy Wave, Including 37th ASES Annual Conference, 33rd National Passive Solar Conference and 3rd Renewable*
- **Sahani, N., Kumar, P., Suman, M., Kumar, P., & Mallik, C. (2020).** Air Quality and LST Dynamics in Kolkata Pre- and Post-Lockdown. *Urban Climate*, 34, 100714.
- **Santamouris, M. (2020).** Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy and Buildings*, 207, 109482.
- **Santamouris, M. (2021).** Urban warming, urban overheating and cooling energy penalty. Paving the path for sustainable and resilient cities. *Energy and Buildings*, 245, 111034.

- **Sharma, A., Kumar, A., & Mehtani, J. (2021).** COVID-19 lockdown: Impact on urban air quality and urban heat island in an Indian megacity. *Urban Climate*, 39, 100932.
- **Son, N. T., Chen, C. F., Chen, C. R., & Chang, L. Y. (2017).** Monitoring changes in the urban heat island of Ho Chi Minh City during the 1997–2015 period using Landsat data. *Remote Sensing*, 9(7), 654.
- **Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012).** Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900.
- **Stone Jr, B., & Rodgers, M. O. (2001).** Urban form and thermal efficiency: How the design of cities influences the urban heat island effect. *Journal of the American Planning Association*, 67(2), 186–198. .
- **Taha, H. (1997).** Urban climates and heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25(2), 99–103.
- **Van, T. T. H., & Bao, T. Q. (2020).** Analyzing the spatio-temporal variation of land surface temperature using Landsat data in Da Nang City. *Urban Climate*, 34, 100683.
- **Veettil, B. K., & Van, T. T. H. (2023).** COVID-19 lockdown and changes in urban surface temperature: Insights from Ho Chi Minh City. *Urban Climate*, 45, 101295.
- **Venter, Z. S., Aunan, K., Chowdhury, S., & Lelieveld, J. (2020).** Air pollution declines during COVID-19 lockdowns mitigate the global health burden. *Environmental Research Volume 192*, Janvier 2021, 110403
- **Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003).** Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384. (Cité aux pages: 23, 37, 38, 39, 60)

6- Legislations et réglementations :

- **Décret exécutif n° 20-69 (21 mars 2020).** Journal Officiel de la République Algérienne.
- **Décret exécutif n° 20-70 (24 mars 2020).** Journal Officiel de la République Algérienne.
- **Décret exécutif n° 20-127 (20 mai 2020).** Journal Officiel de la République Algérienne. (Cité à la page: 44)
- **Décret exécutif n° 20-159 (15 juillet 2020).** Journal Officiel de la République Algérienne.
- **Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire N°08 du 03/02/2021.**

Sitographie

- <https://www.asal.dz/> Consulté le 2025/05/25
- <https://fondation-lamap.org/sites/default/files/pdf/Defi-albedo.pdf> Consulté le 2025/05/10
- <http://www.cread.dz/> Consulté le 2025/05/22
- <https://fr.climate-data.org/africa/algeria/algiers/algiers-362/> Consulté le 2025/05/23
- <http://www.portalger.com.dz/> Consulté le 2025/05/25
- https://www.ufz.de/index.php?en=36336&webc_pm=21/2020 Consulté le 2025/05/21
- <https://www.indexdatabase.de> Consulté le 2025/05/25
- <http://www.jardindessai.dz/> Consulté le 2025/05/25
- <https://www.interieur.gov.dz/> Consulté le 2025/05/25
- <https://www.mta.gov.dz/> Consulté le 2025/05/26
- <http://www.ons.dz/> Consulté le 2025/05/25
- <https://covid19.who.int/> Consulté le 2025/05/23
- <https://www.premier-ministre.gov.dz/> Consulté le 2025/05/25
- <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-science> Consulté le 2025/05/25
- <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-moderate> Consulté le 2025/05/24
- <https://earthexplorer.usgs.gov/> Consulté le 2025/05/24
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_d%27Alger Consulté le 2025/05/25
- <https://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/document.html?id=Temis-0077060&requestId=0&number=9> Consulté le 2025/05/25
- <https://docs.up42.com/data/datasets/landsat-8> Consulté le 2025/05/24
- <https://resources.arcgis.com/fr/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm> Consulté le 2025/05/24

Annexes

Décret exécutif n° 15 (21 mars 2020)

Décret exécutif n° 20-68 du 24 Rajab 1441 correspondant au 19 mars 2020 portant création du centre de repos des moudjahidine de Rechgoune à la commune de Béni Saf, wilaya de Ain Témouchent.

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre des moudjahidine et des ayants droit,

Vu la Constitution, notamment ses articles 99-4° et 143 (alinéa 2) ;

Vu la loi n° 99-07 du 19 Dhou El Hidja 1419 correspondant au 5 avril 1999 relative au moudjahid et au chahid ;

Vu le décret présidentiel n° 19-370 du Aouel Joumada El Oula 1441 correspondant au 28 décembre 2019 portant nomination du Premier ministre ;

Vu le décret présidentiel n° 20-01 du 6 Joumada El Oula 1441 correspondant au 2 janvier 2020 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 13-273 du 16 Ramadhan 1434 correspondant au 25 juillet 2013 portant réaménagement du statut des centres de repos des moudjahidine, notamment son article 4 ;

Décète :

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 4 du décret exécutif n° 13-273 du 16 Ramadhan 1434 correspondant au 25 juillet 2013, susvisé, le présent décret a pour objet la création du centre de repos des moudjahidine de Rechgoune à la commune de Béni Saf, wilaya de Ain Témouchent et de compléter la liste de ces centres, conformément à l'annexe jointe au présent décret.

Art. 2. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 24 Rajab 1441 correspondant au 19 mars 2020.

Abdelaziz DJERAD.

ANNEXE

**LISTE DES CENTRES DE REPOS
DES MOUDJAHIDINE**

Dénomination de l'établissement	Siège de l'établissement
..... (sans changement)	
Centre de repos des moudjahidine de Rechgoune	Commune de Béni Saf, wilaya de Ain Témouchent

Décret exécutif n° 20-69 du 26 Rajab 1441 correspondant au 21 mars 2020 relatif aux mesures de prévention et de lutte contre la propagation du Coronavirus (COVID-19).

Le Premier ministre,

Vu la Constitution, notamment ses articles 99-4° et 143 (alinéa 2) ;

Vu la loi n° 88-07 du 7 Joumada Ethania 1408 correspondant au 26 janvier 1988 relative à l'hygiène, à la sécurité et à la médecine du travail ;

Vu la loi n° 98-06 du 3 Rabie El Aouel 1419 correspondant au 27 juin 1998, modifiée et complétée, fixant les règles générales relatives à l'aviation civile ;

Vu la loi n° 01-13 du 17 Joumada El Oula 1422 correspondant au 7 août 2001, modifiée et complétée, portant orientation et organisation des transports terrestres ;

Vu la loi n° 04-08 du 27 Joumada Ethania 1425 correspondant au 14 août 2004, modifiée et complétée, relative aux conditions d'exercice des activités commerciales ;

Vu l'ordonnance n° 06-03 du 19 Joumada Ethania 1427 correspondant au 15 juillet 2006 portant statut général de la fonction publique ;

Vu la loi n° 12-07 du 28 Rabie El Aouel 1433 correspondant au 21 février 2012 relative à la wilaya ;

Vu la loi n° 18-11 du 11 Chaoual 1439 correspondant au 2 juillet 2018 relative à la santé ;

Vu le décret présidentiel n° 19-370 du Aouel Joumada El Oula 1441 correspondant au 28 décembre 2019 portant nomination du Premier ministre ;

Vu le décret présidentiel n° 20-01 du 6 Joumada El Oula 1441 correspondant au 2 janvier 2020 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Décète :

Article 1er. — Le présent décret a pour objet de fixer les mesures de distanciation sociale destinées à prévenir et à lutter contre la propagation du Coronavirus (COVID-19).

Ces mesures visent à diminuer, à titre exceptionnel, les contacts physiques entre les citoyens dans les espaces publics et sur les lieux de travail.

Art. 2. — Les mesures objet du présent décret sont applicables à l'ensemble du territoire national pour une période de quatorze (14) jours.

Elles peuvent être, au besoin, levées ou reconduites dans les mêmes formes.

Art. 3. — Les activités de transport de personnes, citées ci-dessous, sont suspendues durant la période indiquée à l'article 2 ci-dessus :

- les services aériens de transport public de passagers sur le réseau domestique ;
- les transports routiers sur toutes les liaisons : urbains et suburbains – intercommunaux - inter-wilayas ;
- le transport ferroviaire de voyageurs ;
- le transport guidé : métro, tramway, transport par câble ;
- le transport par taxi collectif.

Est exclue de cette mesure, l'activité de transport des personnels.

Art. 4. — Sans préjudice des dispositions de l'article 3 ci-dessus, le ministre chargé des transports ainsi que le wali territorialement compétent, sont chargés, chacun en ce qui le concerne, d'organiser le transport des personnes pour assurer la continuité du service public et le maintien des activités vitales, au niveau :

- des services exclus des dispositions du présent décret, énumérés à l'article 7 ci-dessous ;
- des institutions et administrations publiques ;
- des entités économiques et services financiers.

En tout état de cause, l'organisation du transport doit être effectuée dans le strict respect des prescriptions préventives contre la propagation du Coronavirus (COVID-19) édictées par les services compétents de la santé publique.

Art. 5. — Sont fermés dans les grandes villes, durant la période indiquée à l'article 2 ci-dessus, les débits de boissons, les établissements et espaces de loisirs, de divertissement, de spectacle et les restaurants, à l'exception de ceux assurant la livraison à domicile.

La mesure de fermeture peut être étendue à d'autres activités et à d'autres localités, par arrêté du wali territorialement compétent.

Art. 6. — Il est mis en congé exceptionnel rémunéré, pour la période prévue à l'article 2 cité ci-dessus, au moins 50 % des effectifs de chaque institution et administration publique.

Art. 7. — Sont exclus de la mesure prévue à l'article 6 ci-dessus, les personnels indiqués ci après :

- les personnels de santé quel que soit l'employeur ;
- les personnels relevant de la direction générale de la sûreté nationale ;
- les personnels relevant de la direction générale de la protection civile ;
- les personnels relevant de la direction générale des douanes ;
- les personnels relevant de la direction générale de l'administration pénitentiaire ;
- les personnels relevant de la direction générale des transmissions nationales ;

— les personnels de contrôle de la qualité et de la répression des fraudes ;

- les personnels relevant de l'autorité vétérinaire ;
- les personnels relevant de l'autorité phytosanitaire ;
- les personnels affectés aux missions d'hygiène et de nettoyage ;
- les personnels affectés aux missions de surveillance et de gardiennage.

Toutefois, les autorités compétentes dont relèvent les personnels exclus de cette mesure, peuvent autoriser la mise en congé exceptionnel des effectifs administratifs.

Peuvent également être exclus de la mesure prévue ci-dessus, par décision de l'autorité compétente, les personnels indispensables à la continuité des services publics vitaux.

Art. 8. — Sont considérés prioritaires au congé exceptionnel, les femmes enceintes et les femmes élevant des enfants ainsi que les personnes atteintes de maladies chroniques et celles présentant des vulnérabilités sanitaires.

Art. 9. — Les institutions et administrations publiques peuvent prendre toute mesure encourageant le travail à distance dans le respect des lois et règlements en vigueur.

Art. 10. — Le wali territorialement compétent prend toute mesure rentrant dans le cadre de la prévention et la lutte contre la propagation du Coronavirus (COVID-19).

Comme il peut, à ce titre, réquisitionner :

- les personnels des corps de la santé et les laborantins appartenant aux établissements publics et privés de la santé ;
- les personnels appartenant aux corps de la sûreté nationale, de la protection civile, de l'hygiène et de la salubrité publique et de tout corps concerné par les mesures de précaution et de lutte contre l'épidémie ;
- toute personne concernée, au regard de sa profession ou de son expérience professionnelle, par les mesures de prévention et de lutte contre cette épidémie ;
- toute infrastructure d'hébergement, hôtelière ou toute autre infrastructure publique ou privée ;
- tout moyen de transport de personnes nécessaires publics ou privés, quelle que soit sa nature ;
- tout moyen de transport public ou privé pouvant être utilisé pour le transport sanitaire ou aménagé à cet effet.

Le wali territorialement compétent, peut réquisitionner toute structure publique ou privée pour assurer les services minimums au profit de la population.

Art. 11. — Le présent décret prend effet à compter du dimanche 22 mars 2020 à 1h 00 du matin.

Art. 12. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger le 26 Rajab 1441 correspondant au 21 mars 2020.

Abdelaziz DJERAD.

Décret exécutif n° 20-70 du 29 Rajab 1441 correspondant au 24 mars 2020 fixant des mesures complémentaires de prévention et de lutte contre la propagation du Coronavirus (COVID-19).

Le Premier ministre,

Vu la Constitution, notamment ses articles 99-4° et 143 (alinéa 2) ;

Vu l'ordonnance n°66-156 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code pénal ;

Vu la loi n° 88-07 du 7 Joumada Ethania 1408 correspondant au 26 janvier 1988 relative à l'hygiène, à la sécurité et à la médecine du travail ;

Vu la loi n° 98-06 du 3 Rabie El Aouel 1419 correspondant au 27 juin 1998, modifiée et complétée, fixant les règles générales relatives à l'aviation civile ;

Vu la loi n° 01-13 du 17 Joumada El Oula 1422 correspondant au 7 août 2001, modifiée et complétée, portant orientation et organisation des transports terrestres ;

Vu la loi n° 04-08 du 27 Joumada Ethania 1425 correspondant au 14 août 2004, modifiée et complétée, relative aux conditions d'exercice des activités commerciales ;

Vu l'ordonnance n° 06-03 du 19 Joumada Ethania 1427 correspondant au 15 juillet 2006 portant statut général de la fonction publique ;

Vu la loi n° 11-10 du 20 Rajab 1432 correspondant au 22 juin 2011 relative à la commune ;

Vu la loi n° 12-07 du 28 Rabie El Aouel 1433 correspondant au 21 février 2012 relative à la wilaya ;

Vu la loi n° 18-11 du 11 Chaoual 1439 correspondant au 2 juillet 2018 relative à santé ;

Vu le décret présidentiel n° 13-293 du 26 Ramadhan 1434 correspondant au 4 août 2013 portant publication du règlement sanitaire international (2005), adopté à Genève, le 23 mai 2005 ;

Vu le décret présidentiel n° 19-370 du Aouel Joumada El Oula 1441 correspondant au 28 décembre 2019 portant nomination du Premier ministre ;

Vu le décret présidentiel n° 20-01 du 6 Joumada El Oula 1441 correspondant au 2 janvier 2020 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 20-69 du 26 Rajab 1441 correspondant au 21 mars 2020 fixant les mesures de prévention et de lutte contre la propagation du Coronavirus (COVID-19) ;

Décète :

Article 1er. — Le présent décret a pour objet de fixer des mesures complémentaires de prévention et de lutte contre la propagation de la pandémie du Coronavirus (COVID-19).

Ces mesures complémentaires visent la mise en place de dispositifs de confinement, de restriction de la circulation, d'encadrement des activités de commerce et d'approvisionnement des citoyens, de règles de distanciation ainsi que les modalités de mobilisation citoyenne dans l'effort national de prévention et de lutte contre la propagation de la pandémie du Coronavirus (COVID-19).

Art. 2. — Il est instauré, dans les wilayas et/ou les communes déclarées par l'autorité sanitaire nationale, comme foyers de l'épidémie du Coronavirus (COVID-19), un dispositif de confinement à domicile.

Le confinement à domicile concerne toute personne se trouvant sur le territoire de la wilaya et/ou de la commune concernée.

Il est décidé par le Premier ministre.

Art. 3. — Le confinement à domicile peut être total ou partiel, et pour des périodes déterminées, selon la situation épidémiologique de la wilaya et/ou de la commune concernée.

Art. 4. — Le confinement total à domicile consiste en une obligation pour les personnes à ne pas quitter, durant la période considérée, leurs domiciles ou leurs lieux de résidence à l'exception des cas prévus par le présent décret.

Le confinement partiel à domicile consiste en une obligation pour les personnes à ne pas quitter leurs domiciles ou leurs lieux de résidence, durant la /ou les tranches horaires décidées par les pouvoirs publics.

Art. 5. — Durant les périodes de confinement, la circulation des personnes de et vers la wilaya ou la commune concernée ainsi qu'à l'intérieur de ces périmètres est interdite, sauf dans les cas fixés par le présent décret.

Art. 6. — Dans le respect des mesures de prévention de la propagation du Coronavirus (COVID-19) édictées par les autorités sanitaires, le déplacement des personnes peut être autorisé, à titre exceptionnel, pour les motifs suivants :

- pour les besoins d'approvisionnement des commerces autorisés ;
- pour les besoins d'approvisionnement à proximité du domicile ;
- pour les nécessités impérieuses de soins ;
- pour l'exercice d'une activité professionnelle autorisée.

Les modalités de délivrance de l'autorisation sont définies par la commission de wilaya chargée de coordonner l'action sectorielle de prévention et de lutte contre la pandémie du Coronavirus (COVID-19) visée à l'article 7 ci-dessous.

Cette commission est autorisée à adapter les mesures édictées, et prendre des mesures supplémentaires de prévention et de lutte contre la propagation de l'épidémie, en fonction des spécificités de la wilaya et de l'évolution de la situation sanitaire.

Art. 7. — Il est créé une commission de wilaya chargée de coordonner l'action sectorielle de prévention et de lutte contre la pandémie du Coronavirus (COVID-19). Cette commission est présidée par le wali territorialement compétent et composée :

- des représentants des services de sécurité ;
- du procureur général ;
- du président de l'assemblée populaire de wilaya ;
- du président de l'assemblée populaire communale du chef lieu de wilaya.

Art. 7. — Les banques sont tenues de verser au fonds de garantie des dépôts bancaires, une prime annuelle calculée sur le montant global des dépôts en monnaie nationale enregistrés au 31 décembre de chaque année.

Le taux de cette prime est fixé annuellement, sur la base d'indicateurs de supervision, par le conseil de la monnaie et du crédit, dans la limite de un pour cent (1%) prévu par le second alinéa de l'article 118 de l'ordonnance n° 03-11 du 27 Joumada Ethania 1424 correspondant au 26 août 2003, modifiée et complétée, susvisée.

La société en charge de la gestion du fonds de garantie des dépôts bancaires, doit veiller au recouvrement des primes dues au fonds de garantie des dépôts bancaires et de leur versement dans un compte ouvert auprès de la Banque d'Algérie. Les primes recouvrées auprès du « guichet de finance islamique », doivent être logées dans un compte spécifique ouvert auprès de la Banque d'Algérie.

Art. 8. — La société en charge de la gestion du fonds de garantie des dépôts bancaires, doit veiller à la tenue d'une comptabilité séparant distinctement les opérations liées aux primes collectées sur les dépôts classiques de celles inhérentes aux dépôts du « guichet de finance islamique ».

Art. 9. — Le placement des primes collectées sur les dépôts classiques ne peut être effectué que par l'achat de titres émis ou garantis par l'Etat et ce, par l'intermédiaire de spécialistes en valeurs du Trésor – SVT.

Le placement des primes inhérentes aux dépôts du « guichet de finance islamique » ne peut être effectué que par l'achat de titres ou sukuk émis ou garantis par l'Etat et répondant aux préceptes de la Charia.

Art. 10. — Le plafond d'indemnisation par déposant, est fixé à deux millions de dinars algériens (2.000.000 DA).

Ledit plafond s'applique à l'ensemble des dépôts d'un même déposant, auprès d'une même banque, quels que soient le nombre de dépôts et la devise concernée, conformément à la notion de dépôt unique consacrée par l'article 118 de l'ordonnance n° 03-11 du 27 Joumada Ethania 1424 correspondant au 26 août 2003, modifiée et complétée, susvisée.

Art. 11. — Le plafond d'indemnisation visé à l'article 10 ci-dessus, s'applique au solde entre le montant du dépôt unique et les crédits et autres montants dus à la banque par le titulaire du dépôt.

Dans le cas où le total des sommes dus par le déposant est supérieur au total de son dépôt, ce dernier continue à être redevable pour le solde dans les conditions prévues par la législation en vigueur.

Lorsque le montant du dépôt unique est supérieur aux crédits et autres montants dus à la banque par le déposant, celui-ci est indemnisé dans la limite du plafond prévu à l'article 10 ci-dessus.

Art. 12. — L'indemnisation est effectuée au profit du titulaire du dépôt.

Art. 13. — Dans le cas d'un compte joint, le compte joint est réparti de façon égale entre les co-déposants, sauf stipulation particulière.

Chacun des co-déposants bénéficie de la garantie à concurrence du plafond fixé à l'article 10 ci-dessus.

Art. 14. — Dans le cas où le déposant n'est pas l'ayant droit des montants déposés sur le compte, c'est l'ayant droit qui bénéficie de la garantie à condition qu'il ait été identifié ou qu'il soit identifiable avant le constat de l'indisponibilité des dépôts.

En cas de plusieurs ayants droit, il faut tenir compte de la part revenant à chacun d'eux, conformément aux dispositions légales, ainsi que celles régissant la gestion des montants déposés.

Art. 15. — La mise en jeu de la garantie des dépôts bancaires, ne peut intervenir qu'en cas de cessation de paiement d'une banque.

Sauf en cas d'ouverture d'une procédure de règlement judiciaire ou de faillite, il appartient à la commission bancaire de déclarer que les dépôts auprès d'une banque, sont devenus indisponibles lorsque des dépôts échus et exigibles n'ont pas été payés par la banque pour des raisons liées à sa situation financière et que la commission bancaire estime que le remboursement est compromis.

La commission bancaire doit déclarer l'indisponibilité des dépôts, au plus tard, vingt-et-un (21) jours après avoir établi, pour la première fois, qu'un dépôt échu et exigible, n'a pas été restitué par la banque pour des raisons qui pourraient être liées à sa situation financière.

Elle notifie le constat d'indisponibilité des dépôts à la société en charge de la gestion du fonds de garantie des dépôts bancaires.

Art. 16. — La banque informe, sans délai, par lettre recommandée, chacun des déposants de l'indisponibilité de leurs dépôts.

Elle indique également, à chaque déposant, les démarches qu'il doit effectuer et les pièces justificatives qu'il doit fournir à la société de garantie des dépôts bancaires pour être indemnisé à partir du fonds de garantie des dépôts bancaires.

Art. 17. — La société en charge de la gestion du fonds de garantie des dépôts bancaires est responsable de la vérification des créances des déposants, entrant dans la catégorie des dépôts indisponibles et de leur paiement dans un délai, maximum, de six (6) mois, à compter de la date de déclaration de l'indisponibilité des dépôts par la commission bancaire ou, à défaut de la date du jugement du tribunal, territorialement compétent, prononçant le règlement judiciaire ou la faillite de la banque.

Décret présidentiel n° 20-122 du 23 Ramadhan 1441 correspondant au 16 mai 2020 complétant certaines dispositions du décret présidentiel n° 20-39 du 8 Joumada Ethania 1441 correspondant au 2 février 2020 relatif à la nomination aux emplois civils et militaires de l'Etat.

Le Président de la République,

Vu la Constitution, notamment ses articles 91 (5 et 6), 92, 93, 99, 101, 118 (alinéa 3), 183 (alinéa 4) et 196 ;

Vu le décret présidentiel n° 20-39 du 8 Joumada Ethania 1441 correspondant au 2 février 2020 relatif à la nomination aux emplois civils et militaires de l'Etat ;

Décète :

Article 1er. — Les dispositions de l'article 4 du décret présidentiel n° 20-39 du 8 Joumada Ethania 1441 correspondant au 2 février 2020 relatif à la nomination aux emplois civils et militaires de l'Etat, sont complétées et rédigées comme suit :

« Art. 4. — (sans changement jusqu'à)

2- au titre de l'administration territoriale :

— (sans changement) :

— les emplois classés fonctions supérieures des wilayas et des circonscriptions administratives, à l'exclusion des walis, walis délégués, secrétaires généraux de wilayas, chefs de sûreté de wilayas et chefs de daïras ».

Art. 2. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 23 Ramadhan 1441 correspondant au 16 mai 2020.

Abdelmadjid TEBBOUNE.

Décret exécutif n° 20-127 du 27 Ramadhan 1441 correspondant au 20 mai 2020 modifiant et complétant le décret exécutif n° 20-70 du 29 Rajab 1441 correspondant au 24 mars 2020 fixant des mesures complémentaires de prévention et de lutte contre la propagation du Coronavirus (COVID-19).

Le Premier ministre,

Vu la Constitution, notamment ses articles 99-4° et 143 (alinéa 2) ;

Vu l'ordonnance n° 66-156 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code pénal ;

Vu la loi n° 88-07 du 26 janvier 1988 relative à l'hygiène, à la sécurité et à la médecine du travail ;

Vu la loi n° 98-06 du 3 Rabie El Aouel 1419 correspondant au 27 juin 1998, modifiée et complétée, fixant les règles générales relatives à l'aviation civile ;

Vu la loi n° 01-13 du 17 Joumada El Oula 1422 correspondant au 7 août 2001, modifiée et complétée, portant orientation et organisation des transports terrestres ;

Vu la loi n° 04-08 du 27 Joumada Ethania 1425 correspondant au 14 août 2004, modifiée et complétée, relative aux conditions d'exercice des activités commerciales ;

Vu l'ordonnance n° 06-03 du 19 Joumada Ethania 1427 correspondant au 15 juillet 2006 portant statut général de la fonction publique ;

Vu la loi n° 11-10 du 20 Rajab 1432 correspondant au 22 juin 2011 relative à la commune ;

Vu la loi n° 12-07 du 28 Rabie El Aouel 1433 correspondant au 21 février 2012 relative à la wilaya ;

Vu la loi n° 18-11 du 11 Chaoual 1439 correspondant au 2 juillet 2018 relative à la santé ;

Vu le décret présidentiel n° 13-293 du 26 Ramadhan 1434 correspondant au 4 août 2013 portant publication du règlement sanitaire international (2005), adopté à Genève, le 23 mai 2005 ;

Vu le décret présidentiel n° 19-370 du Aouel Joumada El Oula 1441 correspondant au 28 décembre 2019 portant nomination du Premier ministre ;

Vu le décret présidentiel n° 20-01 du 6 Joumada El Oula 1441 correspondant au 2 janvier 2020 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 20-69 du 26 Rajab 1441 correspondant au 21 mars 2020 relatif aux mesures de prévention et de lutte contre la propagation du Coronavirus (COVID-19), et les textes subséquents ;

Vu le décret exécutif n° 20-70 du 29 Rajab 1441 correspondant au 24 mars 2020 fixant des mesures complémentaires de prévention et de lutte contre la propagation du Coronavirus (COVID-19) ;

Décète :

Article 1er. — Le présent décret a pour objet de modifier et de compléter certaines dispositions du décret exécutif n° 20-70 du 24 mars 2020 fixant des mesures complémentaires de prévention et de lutte contre la propagation du Coronavirus (COVID-19).

Art. 2. — Les dispositions du décret exécutif n° 20-70 du 29 Rajab 1441 correspondant au 24 mars 2020, susvisé, sont complétées par les articles 13 bis, 13 ter et 13 quater, rédigés comme suit :

« Art. 13 bis. — Est considéré également comme mesure de prévention obligatoire, le port d'un masque de protection.

Le masque de protection doit être porté par toutes personnes et en toutes circonstances, sur la voie et les lieux publics, sur les lieux de travail ainsi que dans tous les espaces ouverts ou fermés recevant le public, notamment les institutions et administrations publiques, les services publics, les établissements de prestations de services et les lieux de commerce ».

« Art. 13 ter. — Tout administration, établissement recevant le public, ainsi que toute personne assurant une activité de commerce ou de prestation de services, sous quelque forme que ce soit, sont tenus d'observer et de faire respecter l'obligation du port de masque de protection, par tous moyens, y compris en faisant appel à la force publique.

Tout les agents publics habilités sont tenus de veiller au strict respect de l'obligation du port de masque de protection ».

« Article 13 quater. — Le masque est tout moyen de protection produit industriellement ou confectionné de manière artisanale, destiné à prévenir contre l'épidémie du Coronavirus (COVID-19) ».

Art. 3. — Les dispositions de l'article 17 (alinéa 2) du décret exécutif n° 20-70 du 29 Rajab 1441 correspondant au 24 mars 2020, susvisé, sont complétées comme suit :

« Art. 17. — (sans changement)

Les personnes enfreignant les mesures de confinement, de port du masque de protection, des règles de distanciation et de prévention et les dispositions du présent décret, sont passibles de peines prévues par le code pénal ».

Art. 4. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 27 Ramadhan 1441 correspondant au 20 mai 2020.

Abdelaziz DJERAD.

