



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique



Université d'Oran 2

Faculté des Sciences de la Terre et l'Univers

Département de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

En Géographie et Aménagement du territoire

Spécialité : Géomatique

**Utilisation des données Sentinel-5P TROPOMI dans
l'évaluation de la qualité de l'air dans la région d'Oran**

Présenté par :

BELKHAROUBI Chaima

MENAD Fatma

Devant le jury composé de :

BENDIB Abdelhalim	MCA	Encadreur
BOUTRID Mohamed Lamine	MCB	Président
KHALFAOUI Houria	MAA	Examineur

Année Universitaire 2023-2024

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous sommes reconnaissant envers Dieu de nous avoir donné le succès dans la réalisation de ce mémorandum.

Nous souhaitons exprimer notre reconnaissance envers tous ceux qui ont apporté leur contribution, même minime, à cette étude. Nous souhaitons exprimer notre gratitude envers Monsieur BENDIB Abdelhalim, qui a joué un rôle essentiel en nous éclairant sur notre cheminement de recherche grâce à ses conseils et ses orientations. Que Dieu lui accorde sa récompense pour ses actions. Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers tous les professeurs du département de géographie et aménagement du territoire, notamment ceux de notre discipline "Géomatique". Grâce à leur soutien et à leurs conseils constants, la réalisation et l'application de ce mémoire ont été simplifiées. Merci à tous.

DEDICACES

أمي الحبيبة

أي شيء في هذا اليوم أهديه إليك يا ملاكي , أهديك تفاؤلا لم أدرك حقيقته إلا من عينيك أم أملا وليس في الأرض أمل كالذي أقرأه في عينيك أم نجاحا و نجاحي تحت قدميك ليس عندي شيء أعز من الروح وروحي مرهونة في يديك .

أبي الحبيب

يا قلبي و نبض الحروف حين تلمسها الأنامل انت الجواب حين أسأل ما التفاؤل بل الحياة انت وما بين النفس والنفسانت

إخوتي عبد الرحمن و رفيق و فاطمة أحلام و أمينة

الكتابة لا تكفي لأصف كيف أحبكم والعمر قصير لأكتب حبكم أراكم بسمتي وأرى جمال الايام أنتم

خالاتي العزيزات

حبكم عنوان ابتدأت به جميع روايات سعادتني

صديقاتي ريمة وسلاف و بشرى

إن في صداقتكم تكمن فرحتي وعلى عتبات نبلكم يقف وفائي أحبكم

رفيقتي فاطمة

يا هدية الزحمان في زمن ندر فيه الإخلاص

Chaïma

DEDICACES

À mes chers parents Quoi que je dise ou que je fasse, je n'arrivai jamais à vous remercier comme il se doit. C'est grâce à vos encouragements, vos bienveillances et votre présence à mes côtés, que j'ai réussi ce respectueux parcours. Je souhaite que vous soyez fière de moi, et que j'ai pu répondre aux espoirs que vous avez fondé en moi.

À mes chers frères et mes sœurs Merci pour vos soutiens moraux, vos confiances et vos conseils précieux, qui m'ont aidé dans les moments difficiles. Je vous souhaite le bonheur et la réussite dans vos vies.

À ma famille et à mes amies (Khadija, Racha et Ikram), je ne peux pas exprimer tous mes sentiments d'amour à travers ces mots.

À mon amie précieuse Fatima

Tu es la personne la plus proche que je puisse avoir. Je ressens un immense bonheur de t'avoir dans ma vie. Tu as toujours réussi à me convaincre et à trouver les mots même lorsque je n'avais pas le moral ou que je traversais une période difficile. Je te remercie d'être ma meilleure amie et d'être constamment présente pour moi.

À mon binôme Chaima.

Je vous remercie pour votre soutien moral, votre patience et votre compréhension tout au long de cette projet.

Je ne peux que vous exprimiez ma gratitude, une véritable gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Fatma

Résumé

Dans le contexte du développement durable, la qualité de l'air joue un rôle crucial dans l'environnement et la santé publique, notamment dans les régions arides et semi-arides. De plus, avec l'augmentation du nombre de personnes vivant en ville et l'émergence des villes, la pollution atmosphérique augmente de manière alarmante et représente un risque sérieux pour la santé humaine. Oran, en raison de son importance et de la croissance économique des dernières décennies, ne fait pas exception. Cette recherche vise à dresser un diagnostic de l'évolution des éléments polluants pour la période 2019-2022. Pour cela, quatre polluants du Sentinel-5P, l'ozone (O₃), le monoxyde de carbone (CO), l'oxyde d'azote (NO₂) et le dioxyde de soufre (SO₂), ainsi qu'un indice de pollution de l'air (API), ont été employés à l'aide de la plateforme Google Earth Engine. Cette étude représente une stratégie préventive dans le cadre du développement durable, qui vise à appréhender la concentration des polluants et à élaborer une politique efficace pour améliorer la qualité de l'air dans la région d'Oran.

ملخص

في سياق التنمية المستدامة، تلعب جودة الهواء دورًا حاسمًا في البيئة والصحة العامة، فمع زيادة عدد الأشخاص الذين يعيشون في المدن وتطور المدن تلوث الهواء يتزايد بشكل مخيف ويشكل خطرًا على الصحة البشرية. ومنطقة وهران بسبب أهميتها ونموها الاقتصادي في الآونة الأخيرة ليست استثناءً عن ذلك. يهدف هذا البحث إلى تشخيص تطورات التلوث في الفترة من 2019 إلى 2022. يهدف هذا البحث إلى وضع تشخيص لتطور العناصر الملوثة للفترة 2019-2022. ولهذا تم استخدام أربع ملوثات من Sentinel-5P، الأوزون (O₃)، أول أكسيد الكربون (CO)، أكسيد النيتروجين (NO₂) وثاني أكسيد الكبريت (SO₂)، بالإضافة إلى مؤشر تلوث الهواء (API) باستخدام برنامج Google Earth Engine. تمثل هذه الدراسة استراتيجية وقائية تهدف إلى فهم تركيزات الملوثات ووضع سياسة فعالة لتحسين نوعية الهواء في منطقة وهران.

Abstract

In the context of sustainable development, air quality is an essential element for the environment and public health, particularly in arid and semi-arid regions. Moreover, with the growth of the urban population and the emergence of cities, air pollution is increasing alarmingly, causing serious risks to human health. The Oran region, due to its importance and economic growth in recent decades, is no exception. The objective of this study is to establish a diagnosis of the evolution of polluting elements for the period 2019-2022. To this end, four pollutants from Sentinel-5P, namely ozone (O₃), carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NO₂) and sulfur dioxide (SO₂), as well as an air pollution index (API), were used via the Google Earth Engine platform. In the context of sustainable development, this study constitutes a preventive strategy aimed at understanding the concentration of polluting elements and developing an effective policy to improve air quality in the Oran region.

Table de matières

Résumé

Introduction générale	1
Problématique	2
Plan de mémoire	3

Chapitre 1 : Pollution de l'air, notion et concepts

1. Introduction	5
2. Définitions des notions clés	8
2.1 Sentinel-5P	8
2.2 Les particules en suspension (PM _{2,5} et PM ₁₀)	9
2.3 La pollution de l'air	10
3. Des indicateurs naturels pour observer la pollution de l'air dans la région d'Oran	11
4. Changement climatique et pollution de l'air	12
5. Les impacts de la pollution de l'air dans la région d'Oran	12
5.1 Sur la sante	12
5.2 Sur l'environnement	13
6. Télédétection	13
7. Google Earth Engine	14
8. Conclusion	18

Chapitre 2 : Zone d'étude : description et caractéristiques

1. Introduction	19
2. Aperçu historique	20
3. Situation géographique	21
4. Les caractéristiques topographiques	21
4.1. Les reliefs	22
4.2. Les altitudes	23
4.3. Les pentes	24
5. Les caractéristiques hydrographie	25
5.1. Les ressources en eau	25
5.2. La Sebkha	26

6. Les caractéristiques climatiques	27
7. Les caractéristiques démographiques	29
7.1 Évolution de la population	29
7.2 Structure de la population	32
7.3 Evolution du parc de logement	33
8. Évolution spatio-temporelle du cadre bâti	33
9. L'occupation des sols	35
10. Les caractéristiques économiques	35
10.1. Les activités industrielles	36
10.2. Les activité commerciales	39
11. L'infrastructure	40
11.1. Le réseau routier	40
11.2. Le réseau ferroviaire	40
12. Conclusion	42

Chapitre 3 : GEE pour l'évaluation de la qualité de l'air à Oran

1. Introduction	43
2. Source des données	44
3. Air pollution index API	47
4. Méthodologie adoptée	47
4.1. Ouvrir un compte Google Earth Engine	47
4.2. Appliquer un exemple sur les concentrations en NO ₂	48
5. Variations spatio-temporelles des concentrations	50
6. Variations mensuelles des concentrations	54
7. Résultats de l'indice Air Pollution Index API	62
8. Sources de pollution à Oran (les points chauds)	65
9. Corrélation entre la température de surface et les polluants	66
10. Discussion des résultats obtenus	67
11. Proposition d'aménagement pour minimiser l'effet de la pollution de l'air	72
12. Conclusion	74
Conclusion générale	75

Références bibliographiques

Introduction générale

Le rejet de polluants dans l'atmosphère entraîne des problèmes de qualité de l'air tels que le smog et les pluies acides. L'activité humaine est responsable de la plupart de ces polluants, tels que le transport, l'utilisation de combustibles pour l'électricité et le chauffage, ainsi que l'industrie. Parfois, les polluants provenant de sources naturelles comme les incendies de forêt peuvent être considérables. Ces substances polluantes dans l'air ont des conséquences préjudiciables sur la santé et l'écosystème (Organisation mondiale de la santé 2022).

La pollution de l'air est l'un des principaux dangers pour la santé environnementale. Les pays ont la possibilité de réduire la charge de morbidité liée aux accidents vasculaires cérébraux, aux cardiopathies, au cancer du poumon et aux affections respiratoires, chroniques ou aiguës, telles que l'asthme, en réduisant les niveaux de pollution atmosphérique (Organisation mondiale de la santé 2022).

En 2019, l'Organisation mondiale de la santé estime que 99% des personnes à travers le monde résidaient dans des zones où les critères recommandés dans les directives de l'OMS concernant la qualité de l'air n'étaient pas respectés. Ensemble, la pollution de l'air ambiant et la pollution de l'air intérieur sont responsables de 6,7 millions de décès prématurés chaque année. Le nombre de décès prématurés causés par la pollution de l'air ambiant (extérieur) dans le monde était estimé à 4,2 millions en 2019. Géographiquement, environ 89 % de ces morts prématurées ont eu lieu dans des pays à faible ou moyen revenu, les régions OMS de l'Asie du Sud-Est et du Pacifique occidental étant les plus affectées.

La majorité des sources de pollution de l'air extérieur ne sont pas contrôlables par les personnes et demandent une action concertée des responsables politiques locaux,

nationaux et régionaux chargés de l'énergie, des transports, de la gestion des déchets, de l'urbanisme et de l'agriculture (Organisation mondiale de la santé 2022).

En Algérie, les causes des maladies causées par la pollution de l'air sont estimées à 24% à l'échelle mondiale et à 25 % dans les pays en développement tels que l'Algérie, qui enregistre chaque année 2500 décès causés par la pollution de l'air (Portail Algérien des Energies Renouvelables 2019).

Le NO₂, le CO, l'O₃ et le SO₂ sont tous des gaz susceptibles de polluer l'air et d'avoir des conséquences néfastes sur la santé humaine. Ils ont la capacité de déclencher ou d'aggraver différents problèmes de santé, tels que les affections respiratoires et cardiovasculaires. Il est crucial de surveiller ces substances polluantes et de mettre en place des actions visant à améliorer la qualité de l'air, dans le but de préserver la santé publique et l'environnement.

La qualité de l'air joue un rôle crucial dans la préservation de l'environnement et de la santé publique, notamment dans les zones arides et semi-arides. En raison de l'augmentation du nombre de personnes vivant en milieu urbain et de l'émergence des villes, la pollution atmosphérique connaît une augmentation inquiétante, ce qui entraîne des risques sérieux pour la santé humaine. La région d'Oran n'est pas une exception, en raison de son importance et de la croissance économique des dernières décennies. Cette recherche vise à dresser un diagnostic de l'évolution des éléments polluants pour la période 2019-2022. Pour cela, quatre polluants du Sentinel-5P, l'ozone (O₃), le monoxyde de carbone (CO), l'oxyde d'azote (NO₂) et le dioxyde de soufre (SO₂), ainsi qu'un indice de pollution de l'air (API), ont été employés à l'aide de la plateforme Google Earth Engine. Cette étude représente une stratégie préventive dans le cadre du développement durable,

qui vise à appréhender la concentration des polluants et à élaborer une politique efficace pour améliorer la qualité de l'air dans la région d'Oran.

Problématique

Au cours des dernières années, la pollution atmosphérique a connu une hausse importante dans la région d'Oran. Des recherches ont démontré des fluctuations significatives dans les niveaux de quatre polluants clés (NO₂, SO₂, O₃, CO) entre 2019 et 2022. De plus, la qualité de l'air dans cette région a été évaluée en utilisant l'indice de qualité de l'air (API).

Mais il reste une question : comment comprendre ces fluctuations de niveaux de pollution atmosphérique ? Quels éléments ont joué un rôle dans ces évolutions ? De quelle manière ces données peuvent-elles servir à développer des stratégies efficaces pour gérer la qualité de l'air et préserver l'environnement à Oran ?

L'objectif de cette recherche est de répondre à ces interrogations en examinant en détail les données Sentinel-5P TROPOMI, en repérant les éléments qui contribuent et en suggérant des solutions pour améliorer la qualité de l'air à la région d'Oran.

L'objectif de l'étude

Analyser et comprendre les fluctuations des niveaux de pollution atmosphérique à la région d'Oran de 2019 à 2022, identifier les éléments qui ont joué un rôle dans ces évolutions. En outre, le but consiste à exploiter ces données afin de concevoir des stratégies efficaces pour surveiller la qualité de l'air et préserver l'environnement à cette région. Cela implique d'analyser les informations concernant la pollution atmosphérique, d'étudier les conséquences potentielles sur la santé publique, d'étudier les politiques et

réglementations en vigueur, et de proposer des solutions envisageables pour améliorer la qualité de l'air.

Plan de travail

L'objectif principal de cette étude sera d'utiliser les données Sentinel-5P TROPOMI pour évaluer la qualité de l'air dans la région d'Oran pendant différentes années. Cela permettra de saisir la concentration des éléments polluants et de développer une politique efficace visant à améliorer la qualité de l'air dans la région d'Oran.

Le présent mémoire est divisé en trois chapitres complémentaires afin d'atteindre son objectif :

Le 1er chapitre Il sera dédié aux éléments théoriques, concepts ; le satellite Sentinel-5P, le GEE et les éléments polluants.

Le seconde chapitre à pour objectif de cerner les caractéristiques de la zone d'étude (les caractéristiques physiques, climatiques et socio-économiques de la région d'Oran.

Le 3ème chapitre sera consacré au travail technique (avec l'utilisation de GEE) ; présentation des résultats obtenus, de discuter des résultats, de proposer des solutions et des recommandations.

Chapitre 1 :

Pollution de l'air, notion et concepts

1- Introduction

La qualité de l'air est l'un des éléments importants et essentiels pour la santé humaine et l'environnement, en particulier dans les zones arides et semi-arides. Avec la croissance de la population urbaine, l'émergence des villes et le développement économique, la pollution atmosphérique augmente de manière inattendue. Ce qui pourrait entraîner de graves dangers pour la santé humaine. L'urbanisation accélérée, les moyens de transport, ainsi que les activités industrielles entraînent un déséquilibre environnemental (Mejia et al., 2023 ; Somvanshi et al., 2019).

Les émissions des véhicules sont l'une des causes de la pollution. L'utilisation de combustibles fossiles et la circulation des véhicules contribuent à l'émission. En outre, le processus de fabrication et de production dans les usines et les installations industrielles provoque des émissions chimiques, de la fumée et de la poussière qui polluent l'air. L'utilisation de combustibles fossiles dans les centrales électriques entraîne également des émissions nocives, outre la combustion de déchets industriels et domestiques. L'utilisation d'engrais chimiques et d'installations de combustion entraîne des émissions telles que du dioxyde de carbone (CO₂) et de l'ammoniac gaz nocifs tels que le dioxyde de carbone (CO₂) et l'azote.

Les principaux facteurs qui affectent la qualité de l'air ont été identifiés grâce à la concentration d'éléments polluants, selon l'Organisation mondiale de la santé, la pollution de l'air fait référence à la présence de facteurs chimiques, physiques ou biologiques qui modifient les caractéristiques naturelles de l'air. Les substances préoccupantes pour la santé publique comprennent les particules en suspension (PM₁₀ et PM_{5.2}), le monoxyde de carbone CO, l'ozone O₃, le dioxyde d'azote NO₂ et le dioxyde de carbone CO₂ (Wang et al., 2022). Les particules fines (PM), le dioxyde d'azote (NO₂) et l'ozone troposphérique

(O3) comptent parmi les polluants les plus nocifs pour la santé humaine (Kerstin Stebel et al., 2021). Sur la base de plusieurs études et selon les statistiques, la pollution de l'air est considérée comme la première et principale menace pour l'environnement et la santé humaine en particulier, car il a été démontré que 90 % de la population mondiale réside dans des zones où les niveaux de concentration de particules fines dépasser le taux normal (Organisation mondiale de la santé 2021). Environ 4,2 millions de personnes sont mortes dans le monde en raison d'une exposition excessive à la pollution atmosphérique en 2016 (l'Organisation mondiale de la santé ; 2018). La même année, le nombre de décès prématurés a été estimé à 37 000 par l'Agence européenne pour l'environnement, et ce parmi les 28 états membres de l'Union Européenne (Kerstin Stable, et al., 2021). Environ quatre millions de cas ont été infectés chaque trimestre (AchakulWisot et al., 2019).

Selon l'Agence européenne pour l'environnement, 48 % et 74 % des citoyens européens ont été exposés à des concentrations supérieures aux directives de l'Organisation mondiale de la santé sur la qualité de l'air pour les particules d'un diamètre de 10 micromètres ou moins (Kersteinstebel, et al., 2021). Une augmentation du pourcentage de particules fines PM_{2,5} a également été enregistrée dans le monde, passant de 11,2 %, soit 39,7 en 1990 à 44,2 microgrammes par mètre cube en 2015 (Bikash Ranjan, et al., 2021). Ce qui a accru ses souffrances en matière de problèmes respiratoires, car la pollution de l'air provoque de nombreux problèmes tels que l'asthme, la bronchite et l'essoufflement, en plus des maladies cardiovasculaires, car les particules nocives présentes dans l'air peuvent pénétrer dans les vaisseaux sanguins et causer plusieurs problèmes, en plus de allergies et irritations, telles que l'irritation des yeux et du nez, ainsi que de la gorge et de la peau.

Certains polluants atmosphériques peuvent augmenter le risque de cancer, comme le cancer du poumon et le cancer du système respiratoire. La pollution de l'air contribue à la mort de plus d'un million de personnes chaque année, les activités industrielles étant

identifiées comme la principale cause (Salman et al., 2021 ; Al-Aloula et al., 2022). On s'attend également à une augmentation du nombre de décès dus à la pollution atmosphérique, qui pourrait devenir la principale cause de décès prématurés en 2050 (Banque mondiale, 2016). La norme PM10 comprend des particules d'un diamètre de 10 micromètres ou moins. En raison de leur petite taille, les particules PM10 peuvent pénétrer dans la partie la plus profonde des poumons, comme les bronchioles ou les alvéoles. Les particules plus grosses sont généralement filtrées dans le nez et la gorge. À travers les cils et le mucus. Cependant, les particules inférieures à environ 10 micromètres sont appelés PM10, elles peuvent se déposer dans les bronchioles et les poumons et causer des problèmes de santé (Mujahid 2016).

L'Algérie, en particulier la région du nord, a connu des changements économiques avec la création de nouvelles zones industrielles. Ceci a entraîné de nombreux problèmes environnementaux. Dans le même temps, le parc automobile a fortement augmenté pour atteindre 6 millions de véhicules, dont 65% (4074168 véhicules) étaient des véhicules alimentés à l'essence et 35% (2189801 véhicules) étaient des véhicules avec une source d'énergie diesel. Elles représentent environ un tiers du parc automobile national (MEER 2022). L'Algérie fait partie des pays africains qui souffrent de niveaux élevés de pollution, puisque les émissions de dioxyde d'azote sont passées de 8 734 tonnes en 2018 à 12 579 tonnes en seulement 10 années, tandis que les émissions de méthane sont passées de 83 857 tonnes en 2010 à 86 544 tonnes en 2020. Les émissions de dioxyde de carbone ont augmenté de manière très significative, atteignant 114 179 kilotonnes en 2010, pour atteindre 161 563 en 2020 (Petkova et al., 2013). On estime que 35 % et 38 % de ces émissions proviennent respectivement du transport et de la production d'énergie.

La télédétection par satellite a contribué de manière significative à la surveillance de l'environnement urbain, grâce aux avantages apportés par les données d'images satellite.

Les technologies des satellites et des drones sont utilisées pour mesurer les concentrations de polluants et identifier leurs sources. Cela permet de comprendre les variations spatiotemporelles de la pollution et de prendre des mesures efficaces pour améliorer la qualité de l'air dans la région d'Oran y compris la précision spatiale, une large couverture géographique et un accès rapide (Schneider et al., 2021 ; Wang et al., 2022).

2- Définition des notions clés

2-1 Sentinel-5P Tropomi

Le Sentinel-5P est un satellite d'observation de la terre lancé par l'Agence spatiale européenne (ESA). Il fait partie du programme Copernicus de l'Union européenne et est spécialement conçu pour surveiller la qualité de l'air. Le satellite mesure les concentrations de polluants atmosphériques tels que les gaz à effet de serre, les particules fines et les substances chimiques nocives.

Grâce aux données collectées par le Sentinel-5P, les scientifiques peuvent mieux comprendre les niveaux de pollution et prendre des mesures pour améliorer la qualité de l'air. C'est un outil précieux dans la lutte contre la pollution atmosphérique.

Le satellite Sentinel-5P embarque instrument unique appelé TROPOMI, développé par plusieurs instituts de recherche hollandais, dont le KNMI, le SRON et le TNO. Cet instrument pèse environ 220 kg et est spécialement conçu pour surveiller la composition atmosphérique de la troposphère. Il mesure avec précision les concentrations de gaz et de particules dans l'air, ce qui permet de mieux comprendre la qualité de l'air et de prendre des mesures pour protéger notre environnement. Le satellite Sentinel-5P lancé le 13 octobre 2017, est le premier de la série Sentinel dédiée à l'observation de la pollution atmosphérique.



Figure 1.1 Le Sentinel-5P TROPOMI Tropospheric (Source : Platform brings air monitoring a step closer, 2024)

2-2 Les particules en suspension (PM_{2,5} et PM₁₀)

Les particules en suspension PM_{2,5} et PM₁₀ sont des entités solides de diamètre inférieur à 2,5 μm et 10 μm , respectivement. Comme toute particule, elles sont constituées d'un mélange de différents composés chimiques. Elles proviennent majoritairement du chauffage au bois, du trafic routier et des épandages et labours agricoles, ou sont formées par réactions chimiques à partir de gaz précurseurs présents dans l'atmosphère. Ces particules fines sont nocives pour la santé respiratoire et cardiovasculaire (Delmas et al., 2005).

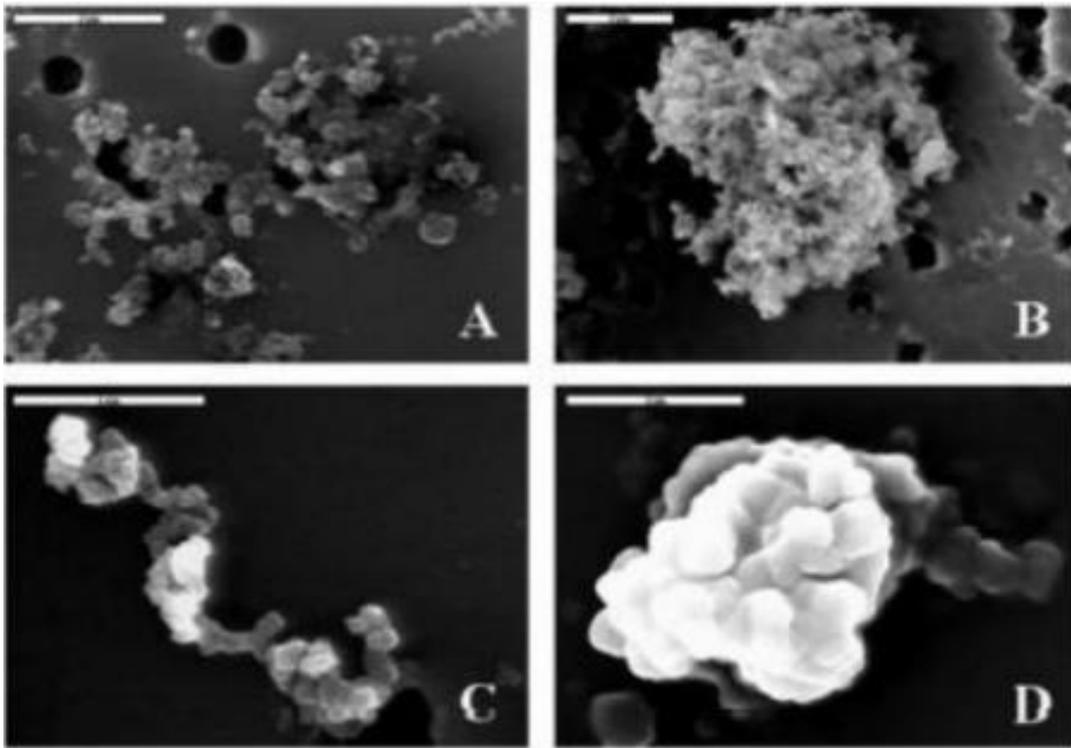


Figure 1.2 Microscopie électronique à balayage de particules collectées dans l'atmosphère (A) particules sphériques individuelles de quelques 10 nm de diamètre (B) chaînes et amas de particules de quelques 100 nm, (C et D) coalescence de particules de suie de quelques μm (Delmas et al., 2005)

2-3 La pollution de l'air

La pollution de l'air est une altération de la qualité de l'air pouvant être caractérisée par des mesures de polluants chimiques, biologiques ou physiques. Elle peut avoir des conséquences préjudiciables à la santé humaine, aux êtres vivants, au climat. La pollution de l'air est la contamination de l'environnement intérieur ou extérieur par tout agent chimique, physique ou biologique qui modifie les caractéristiques naturelles de l'atmosphère (OMS 2024).

La qualité de l'air est étroitement liée au climat et aux écosystèmes de la terre à l'échelle mondiale. De nombreux facteurs de pollution atmosphérique (la combustion de

combustibles fossiles) sont également des sources d'émissions de gaz à effet de serre. Les politiques visant à réduire la pollution atmosphérique présentent donc un double avantage pour le climat et la santé, car elles réduisent la charge de morbidité attribuable à la pollution de l'air tout en contribuant à atténuer les changements climatiques à court et à long terme.

3- Des indicateurs naturels pour observer la pollution de l'air

Il existe plusieurs indicateurs naturels pour observer la pollution de l'air. La présence de dépôts noirs sur les feuilles des plantes, qui peuvent indiquer une pollution atmosphérique élevée. De plus, la visibilité réduite due à la présence de particules en suspension dans l'air constitue un indice de pollution. Les couchers de soleil peuvent également être un indicateur, car une pollution élevée peut créer des couleurs plus intenses et des couchers de soleil moins clairs.

Le plus souvent, ce sont des végétaux ou animaux surveillés en continu pour indiquer la présence ou les effets de polluants :

Lichens : l'absence de lichens est un indicateur de pollution

Tabac : le tabac, de même que le trèfle, est très sensible à l'ozone

Abeilles : une baisse de l'activité de la colonie et/ou une mortalité importante peut traduire une pollution atmosphérique.

Animaux domestiques : exemple du lait de vaches contaminé aux dioxines à proximité des incinérateurs.

4- Changement climatique et pollution de l'air

La pollution de l'air et le changement climatique. Bien qu'ils puissent apparaître comme deux problèmes très différents, ils sont en réalité étroitement liés de sorte que réduire les activités polluantes induit également une réduction de nos rejets de gaz à effet de serre. (atmo-nouvelle aquitaine). Les activités humaines, telles que la combustion des combustibles fossiles et l'industrie, libèrent des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, ce qui contribue au réchauffement de la planète. En même temps, ces activités génèrent également des polluants atmosphériques qui affectent la qualité de l'air que nous respirons. Il est crucial de prendre des mesures pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques afin de lutter à la fois contre le changement climatique et la pollution de l'air.

5- Les impacts de la pollution de l'air

5-1 Sur la sante

La qualité de l'air est un enjeu majeur pour la santé et l'environnement. La pollution atmosphérique a de nombreux impacts néfastes sur la santé. Les particules fines et les gaz toxiques présents dans l'air pollué peuvent pénétrer dans nos poumons et causer des problèmes respiratoires tels que l'asthme, les infections pulmonaires et les allergies. De plus, la pollution atmosphérique est liée à des maladies cardiovasculaires, des cancers et des problèmes de développement chez les enfants.

Les impacts sanitaires des polluants atmosphériques sont classés en deux groupes :

- Les effets immédiats : manifestations cliniques, fonctionnelles ou biologiques qui surviennent dans des délais rapides suite aux variations journalières des niveaux ambiants de pollution atmosphérique. Cela peut se manifester par des irritations oculaires ou des

voies respiratoires, des crises d'asthme, une exacerbation de troubles cardio-vasculaires et respiratoires pouvant conduire à une hospitalisation, et dans les cas les plus graves au décès

- Les effets à long terme : les polluants de l'air favorisent la poursuite et/ou l'accroissement d'événements de santé, induisent une surmortalité et une baisse de l'espérance de vie. Ils peuvent contribuer au développement ou à l'aggravation de maladies chroniques telles que : cancers, pathologies cardiovasculaires et respiratoires, troubles neurologiques, troubles du développement, etc.)

5-2 Sur l'environnement

La pollution atmosphérique a de nombreux impacts néfastes sur l'environnement. Les émissions de gaz à effet de serre provenant de la combustion des combustibles fossiles contribuent au réchauffement climatique, entraînant des changements climatiques tels que l'augmentation des températures, la fonte des glaciers et l'élévation du niveau de la mer. De plus, la pollution atmosphérique peut également causer l'acidification des océans, la dégradation des écosystèmes terrestres et aquatiques, et la diminution de la biodiversité. Il est donc crucial de prendre des mesures pour réduire la pollution atmosphérique et protéger notre précieux environnement.

6- Télédétection

La télédétection joue un rôle crucial dans l'évaluation de la qualité de l'air en fournissant des données complètes et en temps réel sur les conditions atmosphériques à travers de vastes zones géographiques. Cette technologie repose sur l'utilisation de capteurs satellitaires ou aériens pour détecter et surveiller les caractéristiques physiques de la surface terrestre et de l'atmosphère à distance.

Tout d'abord, la télédétection permet la collecte et la surveillance de données sur une grande échelle. Elle offre une couverture étendue, incluant des régions difficilement accessibles par les stations de surveillance au sol. De plus, les satellites peuvent surveiller l'atmosphère en continu, fournissant des données en temps réel sur les niveaux de polluants atmosphériques, ce qui est essentiel pour des évaluations et des réponses rapides. Les passages réguliers des satellites permettent également de disposer de données temporelles, aidant à comprendre les tendances, les variations et les changements à long terme de la qualité de l'air. Ensuite, la télédétection permet la détection des principaux polluants. Elle peut identifier divers polluants atmosphériques tels que le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂), le monoxyde de carbone (CO), l'ozone (O₃) et les particules fines (PM_{2.5} et PM₁₀). En cartographiant les concentrations de polluants, la télédétection aide à identifier les sources de pollution, qu'il s'agisse de zones industrielles, de corridors de circulation ou d'événements naturels comme les feux de forêt.

La télédétection permet également l'intégration et la validation des données. Les données issues de la télédétection peuvent compléter et valider celles des stations de surveillance de la qualité de l'air au sol, offrant une vue plus complète de la qualité de l'air. L'intégration de ces données dans des modèles de qualité de l'air améliore la précision des prévisions de pollution et aide à prédire les scénarios futurs de qualité de l'air.

En ce qui concerne l'évaluation des impacts sur la santé et l'environnement, une évaluation précise de la qualité de l'air permet de comprendre les impacts potentiels sur la santé des populations, guidant ainsi les avis et interventions de santé publique. Elle contribue également à l'étude des effets de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes, les schémas météorologiques et le changement climatique.

7- Google Earth Engine

Google Earth Engine est une plateforme puissante pour l'analyse scientifique et la visualisation de données géo-spatiales. Elle est conçue pour être utilisée par des universitaires, des organismes à but non lucratif, des entreprises et des organismes gouvernementaux. La plateforme héberge une vaste collection d'images satellite et d'autres données géo-spatiales, stockées dans une archive de données publiques. Cette archive comprend des images historiques de la Terre datant de plus de quarante ans, et de nouvelles images y sont ajoutées quotidiennement, ce qui en fait une ressource précieuse pour l'exploration et l'analyse de données à l'échelle mondiale.

Contrairement à Google Earth, dont l'objectif principal est de fournir un globe virtuel pour l'exploration et l'apprentissage, Earth Engine est spécifiquement conçu pour l'analyse d'informations géo-spatiales. Avec Earth Engine, vous pouvez effectuer diverses analyses, telles que l'évaluation de la couverture forestière et aquatique, le suivi des changements d'utilisation des terres, l'évaluation de la santé des champs agricoles, et bien plus encore.

Bien que Google Earth et Earth Engine utilisent certains des mêmes données, il est important de noter que toutes les images et données de Google Earth ne sont pas disponibles pour l'analyse dans Earth Engine. Earth Engine dispose de son propre catalogue de données et d'API pour permettre l'analyse de grands ensembles de données.

De plus, Earth Engine a collaboré étroitement avec Google Cloud pour rendre les collections Landsat et Sentinel-2 disponibles dans Google Cloud Storage, dans le cadre du programme de données publiques de Google Cloud. Cette collaboration facilite l'accès direct aux données à partir de services Cloud tels que Google Compute Engine ou Google Cloud Machine Learning. Cependant, il convient de mentionner que l'Éditeur de code Earth Engine et l'API utilisent directement le catalogue de données Earth Engine.

Google développe Earth Engine dans le cadre de sa mission d'organiser les informations mondiales et de les rendre universellement accessibles et utiles. Earth Engine joue un rôle crucial en organisant les informations géo-spatiales et en les rendant disponibles pour l'analyse, soutenant ainsi des initiatives humanitaires, scientifiques et environnementales.

Pour les individus et les organisations, Earth Engine offre un accès facile via le web à un vaste catalogue d'images satellite et de données géo-spatiales dans un format prêt pour l'analyse. La plateforme propose également une puissance de calcul évolutive, soutenue par les centres de données de Google, ainsi que des API flexibles qui permettent de mettre en œuvre facilement des flux de travail géo-spatiaux existants. Cela permet des analyses et des visualisations à grande échelle et de pointe.

Earth Engine est utilisé par divers acteurs, tels que des chercheurs, des organisations à but non lucratif, des éducateurs et des organismes gouvernementaux. Il leur permet d'analyser des données géo-spatiales à grande échelle pour une multitude de finalités.

Pour accéder à Earth Engine, vous devez remplir un formulaire sur la page d'inscription (signup.earthengine.google.com). Une fois inscrit, vous recevrez un e-mail intitulé "Bienvenue dans Google Earth Engine" avec des instructions pour commencer.

Earth Engine est compatible avec les outils existants, car les images et les données provenant de tiers peuvent être importées dans la plateforme pour l'analyse. De même, toute analyse effectuée dans Earth Engine peut être téléchargée pour être utilisée avec des outils tiers.

La plateforme propose une large gamme de jeux de données dans son catalogue, notamment l'ensemble du catalogue Landsat de l'EROS (USGS/NASA), des ensembles de données MODIS, des données Sentinel-1, des données NAIP, des données de précipitations, des données de température de surface des océans, des données climatiques

CHIRPS et des données d'élévation. Les utilisateurs ont également la possibilité de télécharger leurs propres données pour les analyser dans Earth Engine, avec un contrôle total sur les autorisations d'accès.

8- Conclusion

Dans ce chapitre nous avons identifié les concepts de base relatif à la pollution. Cela nous a permis de mieux comprendre le contexte dans lequel nous travaillons. Nous avons découvert les risques les plus importants qu'entraîne la pollution de l'air, que ce soit pour l'environnement ou pour la santé humaine. Il nous est apparu clairement que les causes les plus importantes de la pollution de l'air peuvent être d'origine humaine notamment le transport et les activités industrielles.

La pollution de l'air peut entraîner de nombreuses maladies qui nuisent à la santé humaine et réduisent sa qualité de vie. Comme les maladies respiratoires et l'asthme dus aux voies respiratoires affectées par la poussière et les gaz toxiques, les maladies cardiaques, les maladies de la peau représentées par la pigmentation de la peau et l'apparition précoce de symptômes de vieillissement dus à l'absorption par la peau d'oxydes, de particules fines et de substances organiques volatiles.

Les conséquences de la pollution atmosphérique ne se limitent pas à la santé humaine, ils s'étendent plutôt à l'environnement par la pollution des sols due à l'exposition aux pluies acides. Ceci entraîne des dommages aux cultures agricoles et la mort de petits arbres, ainsi qu'un obscurcissement des couleurs.

Chapitre 02 :

Zone d'étude : description et caractéristiques

1- Introduction

La pollution de l'air fait référence à la contamination de l'air intérieur ou extérieur par toute substance chimique, physique ou biologique qui altère les propriétés naturelles de l'atmosphère. Les pollutions atmosphériques sont souvent causées par des véhicules automobiles, des installations industrielles et des incendies de forêt. La région d'Oran est un exemple de région qui fait face à la pollution atmosphérique. Nous examinerons dans ce chapitre les caractéristiques de la zone d'étude et les facteurs clés qui peuvent impacter la qualité de l'air.

2- Aperçu historique

Oran est une région qui a connu une histoire riche. Elle a été habitée depuis l'Antiquité, notamment par les Phéniciens, les Romains et les Byzantins. Au Moyen Âge, elle fut contrôlée par différents pouvoirs arabes et berbères, notamment les Omeyyades et les Fatimides. A partir de 1830, Oran a subi une colonisation française jusqu'à l'indépendance. Depuis l'indépendance, Oran a connu des changements importants, notamment dans le domaine économique et social. Elle est restée une région importante du pays, notamment grâce à son port et sa position géographique stratégique (Bouamrane 2023).

3- Situation géographique

Oran se trouve à l'ouest de l'Algérie, entre -0.54° et -0.71° de longitude ouest et 35.34 et 35.76° de latitude nord. Elle est bordée administrativement par la commune de Messerghin à l'ouest, par celle de Mers El Kébir au nord-ouest, par la mer méditerranée au nord-est, par Bir El Djir au nord-est, par Sidi Chahmi à l'est et par la commune d'Es Sénia au sud. La ville d'Oran, avec une superficie de 25057 hectares, est une métropole régionale, la deuxième ville et un centre économique majeur du pays.

La première figure illustre la zone d'étude qui englobe grossièrement un ensemble de communes d'Oran (Oran, Marsa El Hadjaj, Sidi Chahmi, Bir- El Djir et Es Sania).

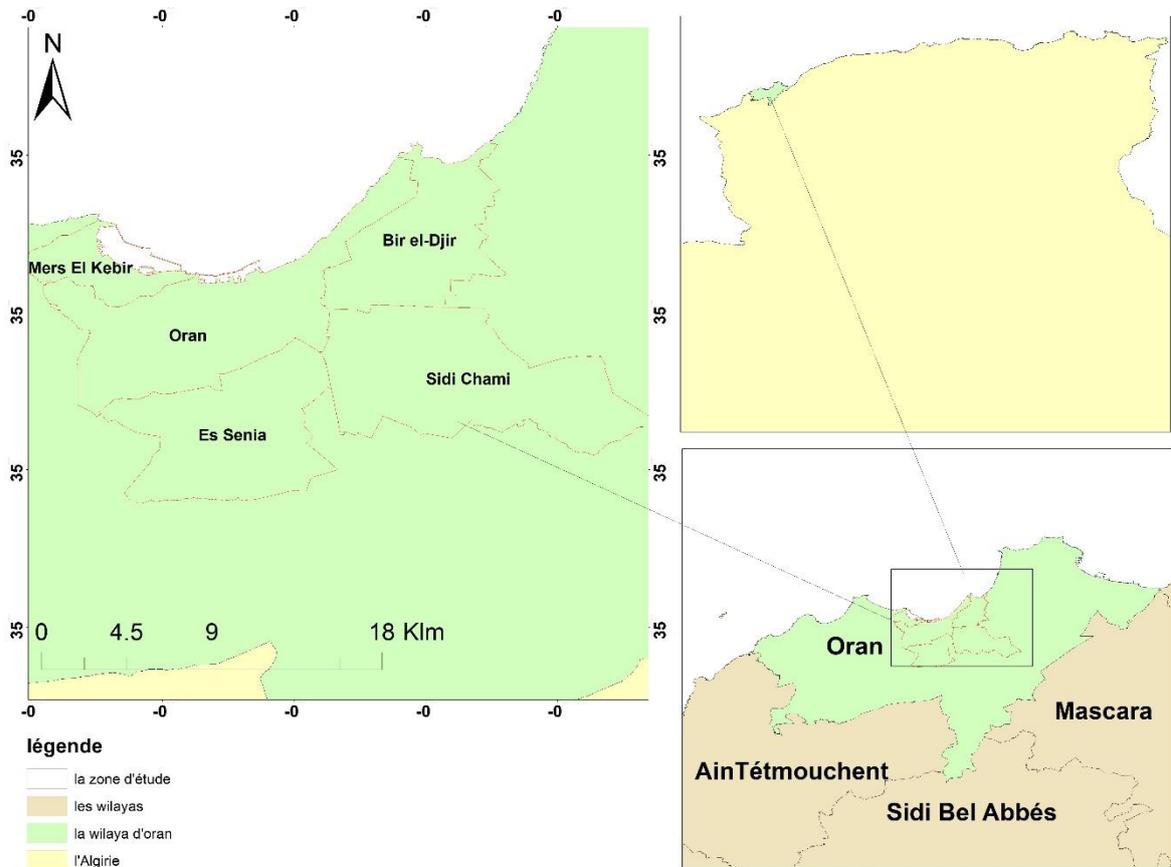


Figure 2.1 Carte de la situation géographiques de la zone d 'étude

4- Les caractéristiques topographiques

La topographie de la région d'Oran offre une diversité remarquable de paysage. Son territoire se compose de montagnes, de collines et de plaines, dont le relief exerce une influence significative sur le climat régional. Les variations d'altitude et d'orientation des versants entraînent une grande diversité de températures et de précipitations. Les montagnes agissent souvent comme des barrières nuageuses, favorisant des précipitations abondantes sur leurs versants nord tandis que les versants sud connaissent des conditions plus arides.

4-1 Les reliefs

Oran est située au cœur d'un paysage varié, comprenant une gamme de reliefs allant des montagnes aux plaines en passant par les plateaux. Voici quelques-unes des caractéristiques qui se démarquent dans cette diversité topographique :

- **La bordure côtière :** s'étend des monts d'Arzew à Mers El Kébir à l'ouest, et du Cap Lindles au Cap Sigal à l'est, délimitant ainsi la wilaya. Des plages de sable se trouvent également dans la basse laine de Bousfer-les Andalouses et dans la baie d'Arzew.
- **Les collines du Sahel :** incluent les monts d'Arzew, caractérisés par des collines élevées bordant des falaises abruptes d'Arzew à Canastél à l'est d'Oran. Le Murdjadjo, avec ses prolongements à l'ouest, domine la plaine de Bousfer-les Andalouses, avec des pics comme les djebels Djorf et Lindles, ainsi que le djebel Santon à l'est.
- **La basse plaine littorale de Bousfer- Les Andalouses :** présente un ensemble pénéplan incliné vers le nord, protégé par les collines sahéliennes, avec comme principale rivière l'Oued Sidi Hammadi, près du complexe touristique des Andalouses.
- **Le plateau d'Oran-Gdyel :** s'étend des contreforts du Murdjadjo au Sahel d'Arzew, caractérisé par l'absence de drainage et la présence de dépressions salées telles que la grande Sebkhah d'Oran à l'ouest et la Daya Morsli, le lac Telamine, et les Salines d'Arzew à l'est
- **La partie orientale de la plaine de la M'leta :** est entourée par les contreforts sud de Tessala, les côtes de la forêt de Moulay Ismail et la grande Sebkhah, avec un léger relief favorisant la formation de plusieurs cours d'eau importants.
- **La grande Sebkhah d'Oran et les salines d'Arzew :** forment une dépression majeure couvrant une vaste superficie, avec les salines d'Arzew s'étendant au pied de la forêt de Moulay Ismail.

- **les ravins** : ont joué un rôle crucial dans le développement urbain initial d'Oran, avec cinq d'entre eux traversant la ville souterrainement du sud au nord : le ravin de Rass el-Aïn, le ravin de l'Oued Rouïna, le ravin de la Mina, le ravin de la Cressonnière et le ravin Blanc. (Bouamrane ;2022/2023)

4-2 Les altitudes

La topographie de la région d'Oran présente des variations significatives en termes d'altitude. Le front de mer, situé à 40 mètres au-dessus des flots, offre une vue imprenable sur la mer Méditerranée. Les falaises de Gambetta, quant à elles, s'élèvent majestueusement à plus de 50 mètres. Plus loin, le plateau de Kargentah, à environ 70 mètres d'altitude, offre des panoramas sur les environs. Dans la banlieue d'Es Senia, l'altitude grimpe jusqu'à 90 mètres, offrant des perspectives encore plus étendues.

Les altitudes supérieures à 372 mètres sont moins fréquentes dans la région.

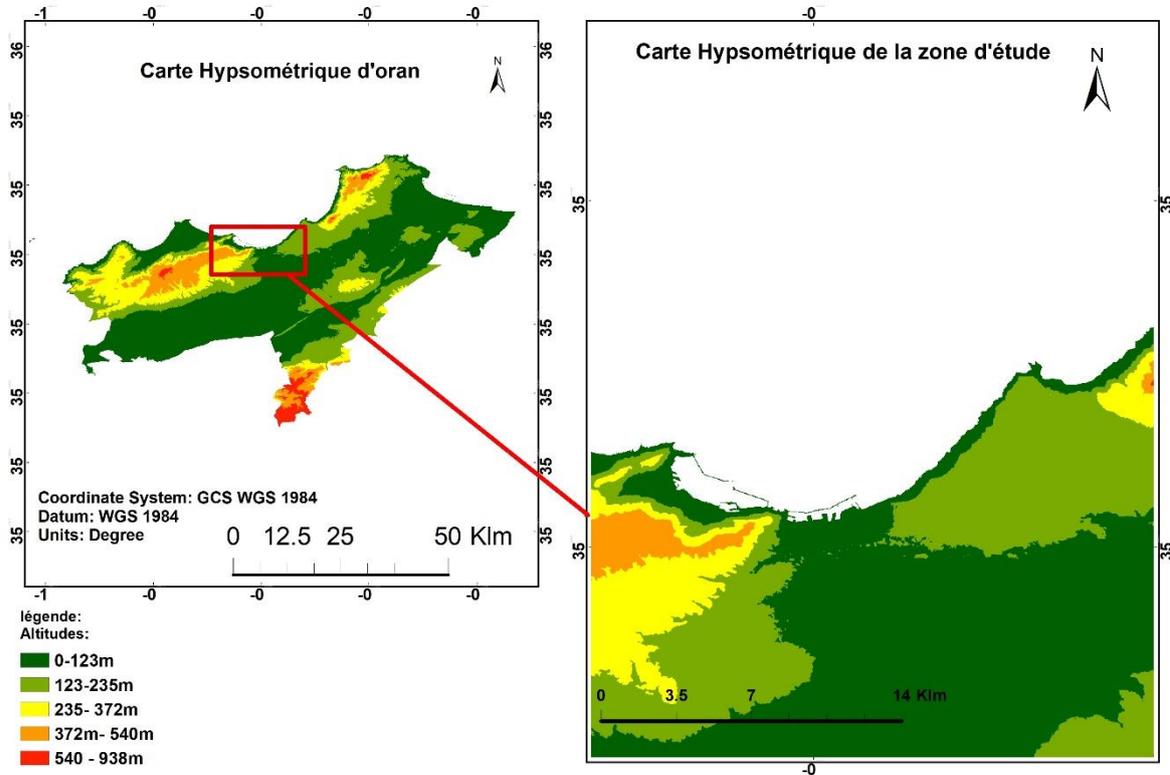


Figure 2.2 Carte hypsométrique de la zone d'étude

4-3 Les pentes

La classe de 0 à 3 %

Cette classe englobe les plaines et les plateaux favorables à une intensification de l'agriculture sans contraintes mécaniques.

Les zones de plaines comprennent les plaines littorales et sublittorales, qui présentent un fort potentiel agricole. Parmi elles, on trouve la plaine de Bousfer, de Misserghine, d'Es Senia, de Boufatis, d'Oued Tlélat, la zone des Hassi, et la plaine de Béthioua, largement occupée par le complexe industriel de la SONATRACH.

Les zones de plateaux incluent le plateau d'Oran et le plateau de Gdyl.

La classe classes de 3 à 8 % et de 8 à 14 %

Ces classes correspondent aux bas piémonts où les pratiques culturales doivent tenir compte du phénomène d'érosion. Des problèmes de mécanisation peuvent parfois être rencontrés. Les zones de piémonts regroupent les piémonts de Tessala et les piémonts de la forêt de Bou Ismail.

La classe de 14 % à 23 %

Cette classe concerne les hauts piémonts.

La classe supérieure à 23 %

Elle correspond aux montagnes dont la vocation naturelle est principalement forestière, pastorale ou agrosylvopastorale.

Les massifs forestiers englobent les massifs côtiers à l'ouest.

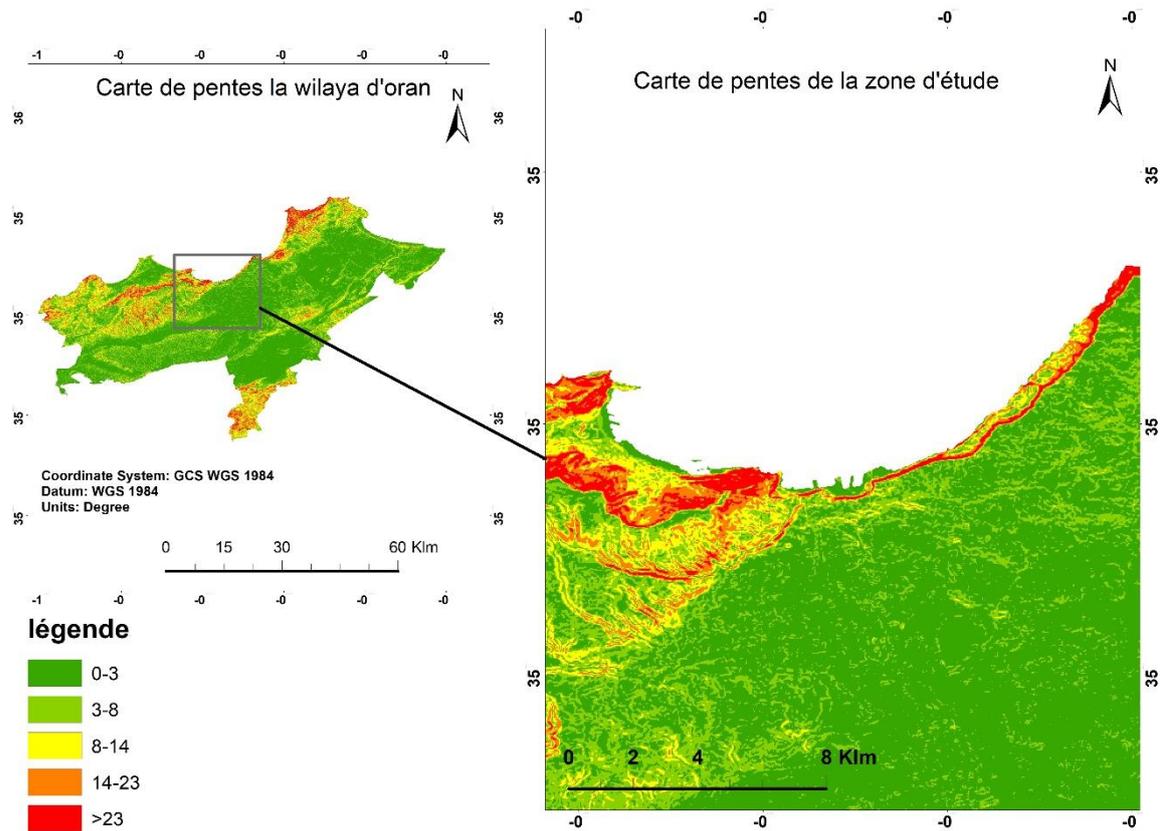


Figure 2.3 Carte des pentes la zone d 'étude

5- Les caractéristiques hydrographie

5-1 Les ressources en eau

- Les ressources souterraines ne suffisent pas à répondre aux besoins de la ville en raison du faible taux de précipitations.
- Oran est alimentée par plusieurs barrages, notamment ceux du bassin hydrographique de l'Oued Tafna à l'ouest et du fleuve Chélif à l'est.
- Un nouveau barrage, mis en service en 2009, devait fournir annuellement 110 millions de mètres cubes d'eau à la wilaya d'Oran.

5-2 La Sebkha

- La grande Sebkha, située au sud d'Oran, est régie par la Convention relative aux zones humides d'importance internationale. Elle est un habitat pour les oiseaux d'eau.
- Le réseau hydrographique alimentant la Sebkha provient du Murdjadjo au nord et du Tessala au sud.
- La partie septentrionale de la Sebkha a subi l'expansion de la ville et son activité industrielle, mais elle est maintenant source de pollution accentuant la salinisation.
- La partie méridionale est peu exploitée et manque d'infrastructures de développement.

En somme, la gestion de l'eau à Oran est un défi complexe, mais des efforts sont déployés à travers les barrages, les usines de dessalement et les discussions sur la gestion des ressources (Aissaoua 2023)



Figure 2.4 Lac de la grande sebkha

6- Les caractéristiques climatiques

Selon l'Office National de la Météorologie, Oran bénéficie d'un climat méditerranéen semi-aride, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. La température moyenne annuelle est d'environ 24,07 °C, allant de 16,96 °C en décembre à 32,34 °C en juillet. La région connaît également des précipitations moyennes annuelles de 352,6 mm, allant de 0,2 mm en juillet à 86,9 mm en novembre. L'humidité ne varie pas de manière significative, la valeur la plus élevée étant enregistrée en décembre (74 %) et la plus faible en été (64 %). Les vents dominants proviennent principalement de l'ouest et de l'ouest-sud-ouest, avec une vitesse moyenne annuelle de 3,53 m

Tableau 2.1 Données climatique année 2023 (station Es Senia- Oran)

Données	Valeur
Température moyenne annuelle	24,07 °C
Température maximale moyenne annuelle	32,34 °C
Température minimale moyenne annuelle	16,96 °C
Humidité moyenne annuelle	65.20%
Précipitation moyenne annuelle	352,6 mm
Vitesse moyenne annuelle du vent	3.53 m/s

Tableau 2.2 Données climatique par mois (année 2023) (Source : tutiempo.net)

Moins	Tmoy	Tmax	Tmin	Hum	Pr
Janvier	11	17.1	5.3	72.2	55.11
Février	12.7	18.5	7.3	64.2	47.24
Mars	15.8	22.8	9.1	62.4	3.81
Avril	18.6	25.5	11.1	53.2	0
Mai	20.1	25.4	14.4	62.7	11.18
Juin	24.2	29.9	19	63.6	8.12
Juillet	28.4	34.3	22.8	61.2	0
Aout	27.1	33.6	20.5	0	9.9
Septembre	23.8	28.8	18.7	71	20.57
Octobre	21.5	27.8	16	69.4	14.73
Novembre	16.1	23.1	10	67.9	1.26
Décembre	12.6	19.7	6.3	75.1	24.88

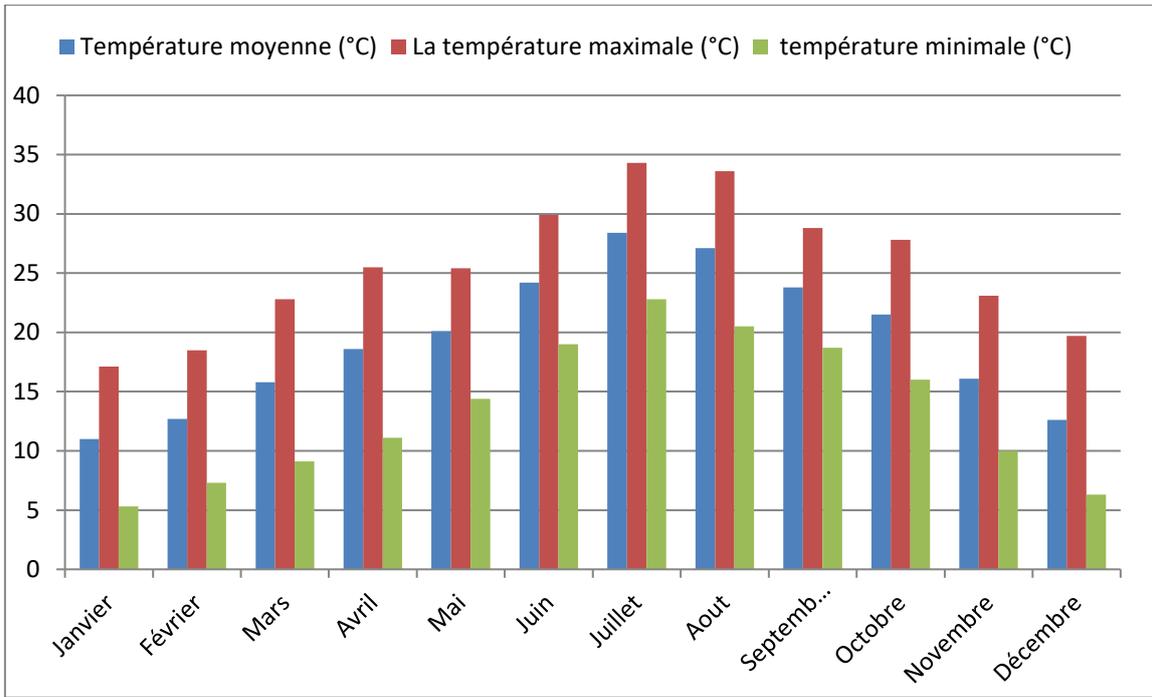


Figure 2.5 Températures moyennes mensuelles d'Oran

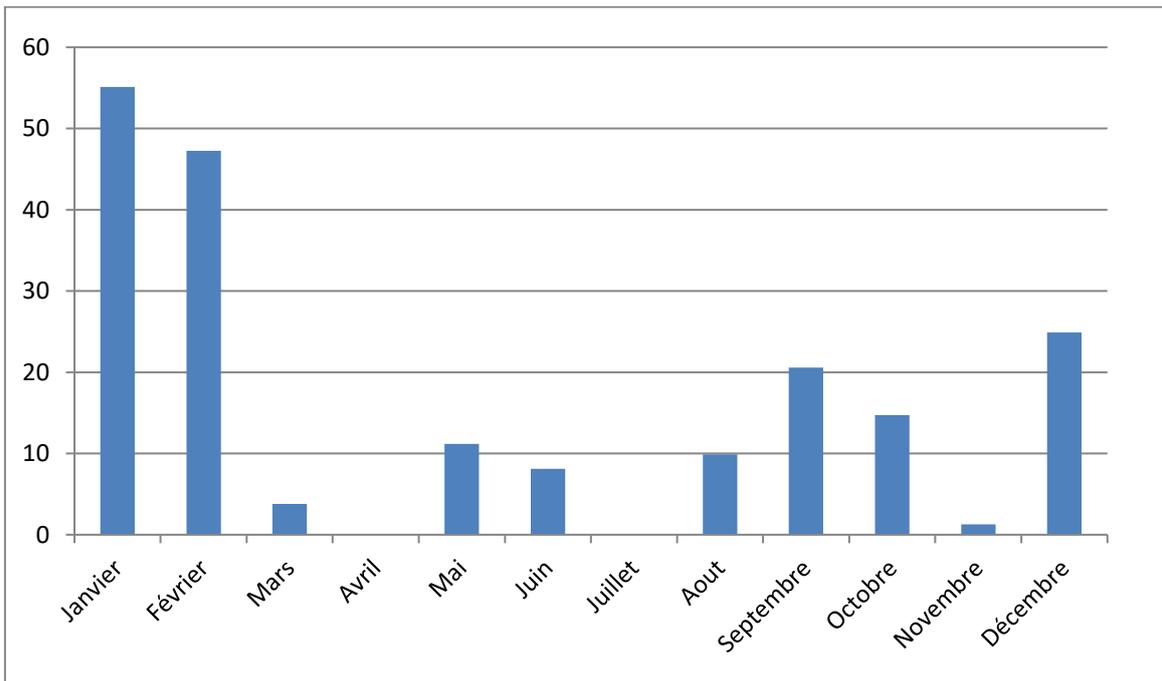


Figure 2.6 Précipitations moyennes mensuelles d'Oran (Station Es Senia Oran 2023)

Selon l'étude de ces informations provenant de la station météorologique Oran Es Senia, il est possible de conclure que le climat de Oran est un climat semi-aride, avec une période de sécheresse plus longue que la période humide.

7- Les caractéristiques démographiques

7-1 Évolution de la population

À la veille de la colonisation française, il y avait à peine 18 000 habitants à Oran et dans ses faubourgs. 50 ans après l'arrivée des français la population oranaise double ce chiffre à plus de 30 000 habitants.

Moins de 70 ans après le début de la colonisation, Oran passe le cap des 100 000 personnes pour devenir la cinquième ville française. Une grande partie des européens installés à Oran sont en réalité d'origine espagnole. Dès 1832 la ville est très majoritairement européenne. Le recensement de 1921 compte 138 212 habitants dont 20 059 Algériens et 118 153 Européens, soit plus 85 % d'Européens.

Conséquence de la loi d'immigration de 1889, la population augmente rapidement. Quarante ans après, en 1961, le chiffre total de la population passe à 433 000 habitants. La population européenne à peine doublé, augmentant à 213 000 personnes. La population algérienne est multipliée par onze en passant à 220 000 personnes.

En 1961, le rapport de force démographique est légèrement inversé en faveur des populations algériennes et Oran doit sa croissance démographique beaucoup plus aux Algériens, qui ont récupéré les maisons abandonnées par les Européens.

Oran a connu une nouvelle vague d'exode rural, durant la décennie 1990, à la suite de la situation d'instabilité politico-économique qu'a connue l'Algérie, cette population s'est entassée sur les marges de la ville.

L'agglomération d'Oran, d'environ un million d'habitants, est composée des communes d'Oran, Bir El Djir, Sidi Chahmi et Es-Sénia. Elle connaît une forte croissance démographique générale, malgré la décroissance démographique de la commune d'Oran qui s'explique, notamment, par la saturation des tissus urbains anciens et la forte migration de la population d'Oran. Le dernier recensement (RGPH 2008) montre qu'à l'instar de la population nationale, la population totale du groupement d'Oran, a dépassé le double sur une période de 42 ans. Elle était de 334852 en 1966 et passe à 812384 en 2008. Cette évolution diffère d'une période à une autre et d'une commune à une autre.

L'inversion de tendance s'explique par un ralentissement de l'exode rural, très fort après l'indépendance. La réalisation d'importants investissements a contribué à la fixation des populations résidentes et a même drainé une partie de la population oranaise. Le recensement de 1987 (PDAU 1995), met ainsi en évidence un solde migratoire négatif de 10 000 hab. Cette ville a enregistré au cours de la période 1977-1987, plus de 36 000 départs, principalement à destination de : Tiaret 15 % des départs, Mascara 15 %, Relizane 9,7 %, Mostaganem 7,4 % et Sidi Bel Abbés 6,5%.

En effet la ville d'Oran connaît une saturation urbanistique empêchant la réalisation de nouvelles constructions et le développement de pôles économiques, d'où une migration de la population vers les communes limitrophes notamment Bir El Djir et Sidi Chahmi, où il y a d'important programmes d'habitat ; ce qui explique la stabilité démographique.

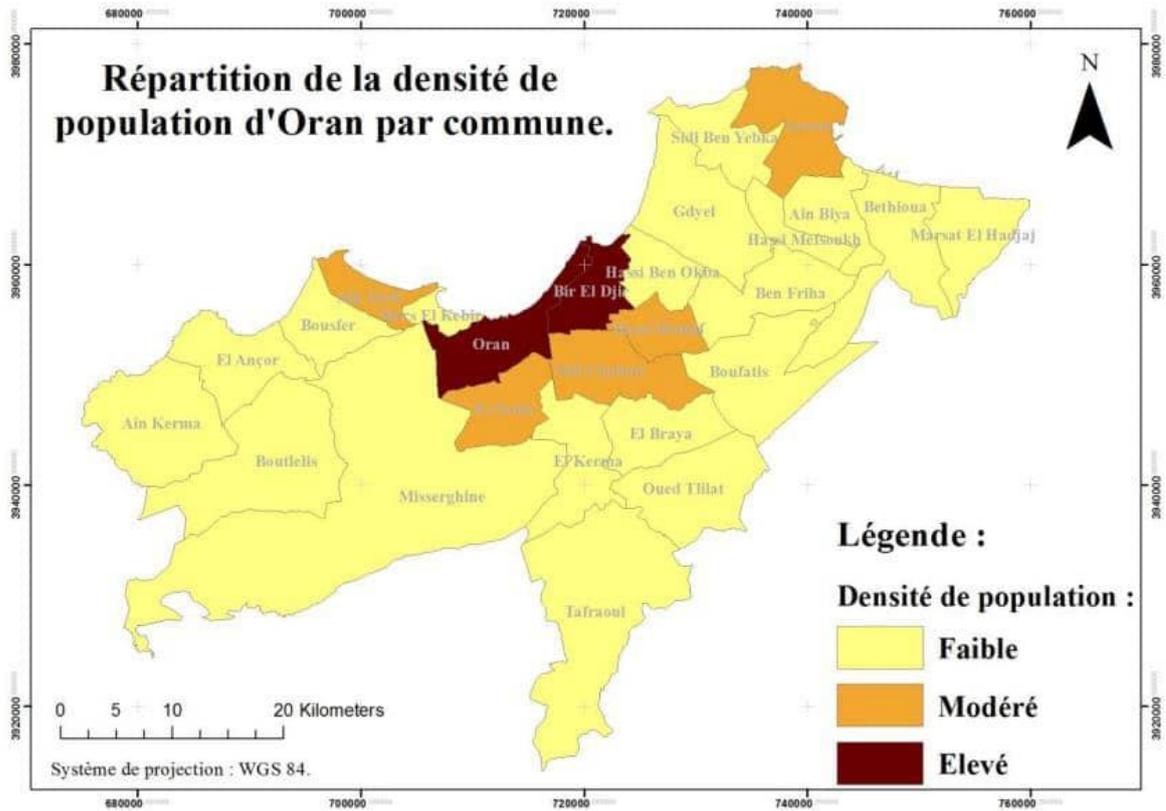


Figure 2.7 Carte de répartition de la population d'Oran. (Source : Bouamrane 2023)

La carte ci-dessus présente la densité de population en Oran par commune en 2018. Les zones les plus densément peuplées sont le centre de la ville, où les activités commerciales sont concentrées, et les zones industrielles comme Es Senia et Arzew. Elle montre une distribution inégale de la population de la wilaya d'Oran sur le territoire, avec une forte densité dans la ville d'Oran et ses environs, tandis que les communes rurales sont moins peuplées. Cette concentration de population dans les zones urbaines a un impact sur la qualité de l'air.

Tableau 2.3 La répartition de la population d'Oran par commune en 2018 (Source : ONS 2018)

Communes	Population	Communes	Population
Ain Biyda	38525	ES Senia	139310
Ain Kerma	7950	Gdyel	47989
Ain Turk	45183	Hassi Ben Okba	18733
Arzew	103787	Hassi Bounif	83424
Ben friha	33316	Hassi Mefsoukh	19094
Bentioua	21434	Mers EL Hadjaj	15891
Bir El Djir	331838	Mers El Kebir	21545
Boufatis	13643	Missreghine	35665
Bousfer	26963	Oran	713382
Boutlélis	30283	Oued Tlilat	25908
El Ancor	15230	Sidi Ben Yebka	9731
El Braya	91214	Sidi Chahmi	189614
El kerma	41642	Tarfaoui	14001

7.2 Structure de la population

Selon ce schéma, il est possible de conclure que la population d'Oran est composée de jeunes et d'adultes âgés de 19 à 59 ans, ce qui constitue une structure de population jeune.

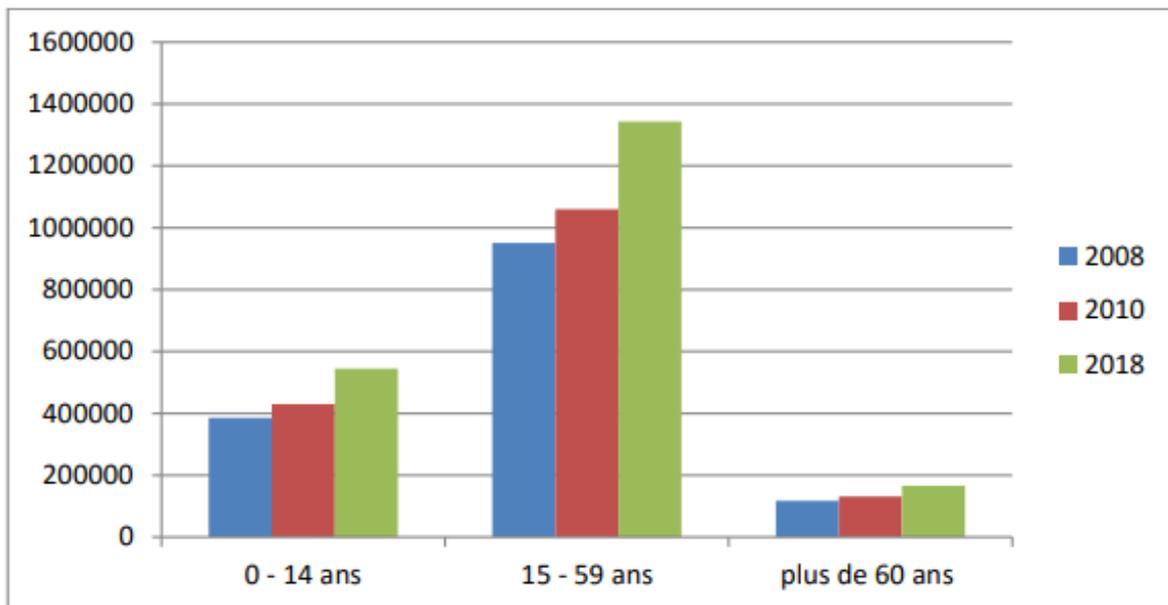


Figure 2.8 Diagramme de la répartition de la population d'Oran par tranches d'âge en 2008, 2010 et 2018 (Source : ONS 2018)

7-3 Evolution du parc de logement

Le parc de logement était à 42564 unités en 1966 et en 1977 on a enregistré 106318 logements et 309945 en 2008, pendant la période intercensitaire 1966-2008 le parc de logement s'est multiplié par 7 et l'accroissement du parc de logement était 59 %.

Pour le taux d'occupation par logement (TOL) on constate une amélioration, passant de 6.14 en 1966 à 5.7 en 2008 et à l'échelle national était 6.1 en 1966 et en 1987 il a augmenté jusqu'à 7.54 et en 1998 on a enregistré 7.14 cette croissance du TOL était à cause de l'insécurité vécu pendant la décennie noire. Ce dernier a diminué jusqu'à 6.5 en 2008. En effet, le taux d'occupation par pièce (TOP) en 1966 était 2.5 ce dernier à diminuer jusqu'à 1.1 en 1998 pour atteindre en 2008 2.1. Cette variation du TOP peut être expliquée à l'évolution du nombre de famille au sein d'un même ménage surtout pour la catégorie famille monoparentale à cause de la croissance du nombre de divorce enregistré pendant la dernière décennie

8- Évolution spatio-temporelle du cadre bâti

Par l'absence des données fiables et précises sur l'évolution de la zone d'étude, on a orienté nos besoins vers les techniques de la télédétection. Par le biais de quatre images satellitaires Landsat (1984, 1999, 2011 et 2020) et une classification supervisée Maximum Likelihood on a pu quantifier cette évolution.

Statistiquement, la zone d'étude a connu une évolution rapide passant de 3964.15 ha en 1984 à 4245.43 en 1999. Soit une évolution de 281.25 ha en 15 ans. Et de 9906.13 ha en 2011 à 11057.98 ha en 2020. Il s'agit d'une évolution de plus de 1150 ha. Entre 1984 et 1999 un taux d'évolution est estimé à 7.1%, un taux de 133.4% entre 1999 et 2011 et 11.63% entre 2011 et 2020.

Tableau 2.4 Evolution spatiotemporelle du cadre bâti de la ville d'Oran

Année	Superficie ha
1984	3964.15
1999	4245.43
2011	9906.13
2020	11057.98

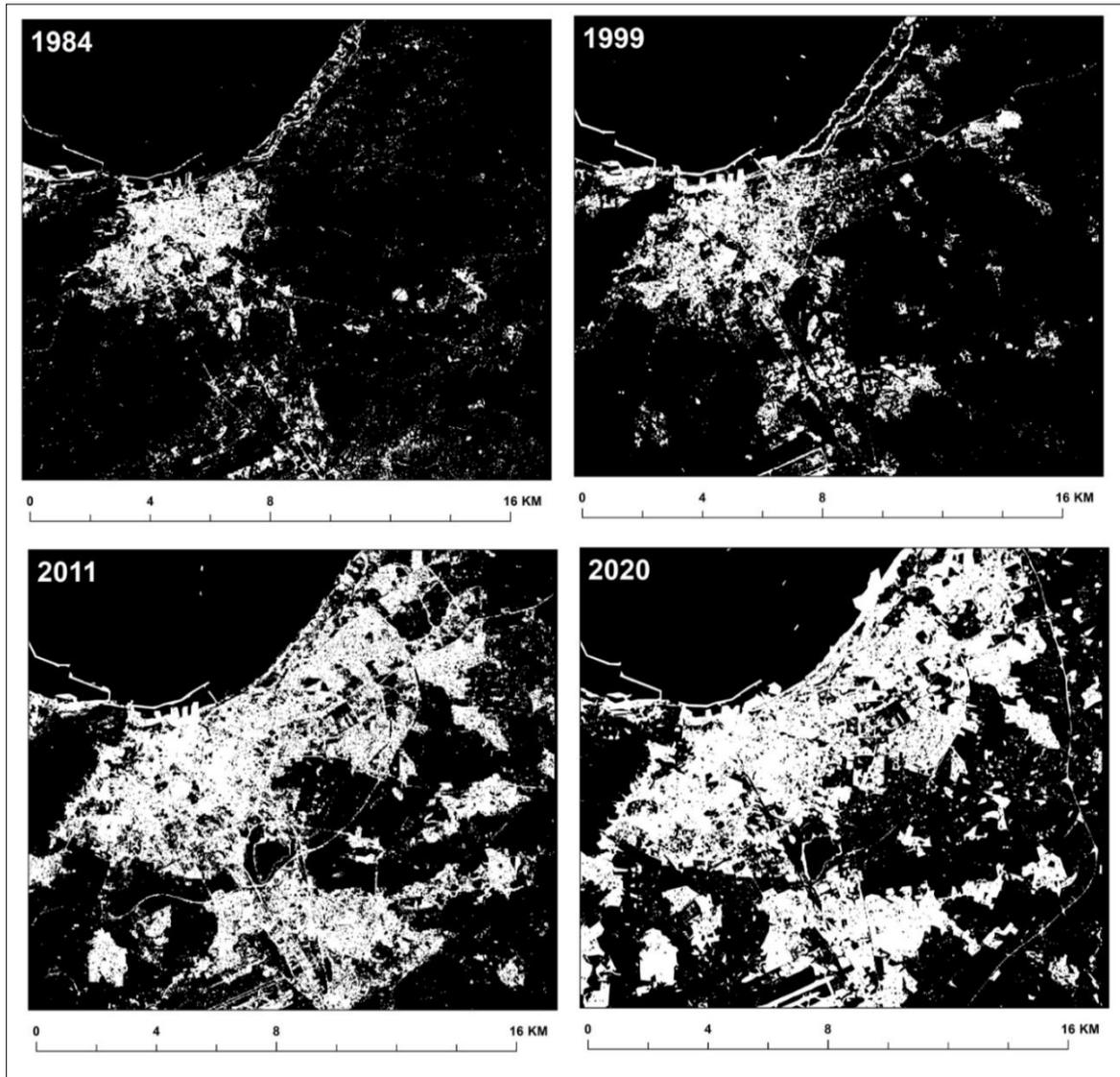


Figure 2.9 Evolution spatiotemporelle du cadre bâti de la ville d'Oran

9- L'occupation des sols

La zone d'étude est urbanisée avec plus de 33%, soit une surface de 12272 hectares. Les terrains nus présentent 55% de la surface totale. Ceci nous permis de conclure que la ville possède des terrains pour leur extension dans les différents horizons.

Les terrains agricoles présentent 5% (1882.14ha) et les surfaces d'eau à peine 1% de la surface totale. Avec 1692.88ha (soit 4%), les forêts présentent une superficie faible. Ceci est le résultat des feux de forêts des dernières années (Elmokrtar and Azzi 2022).

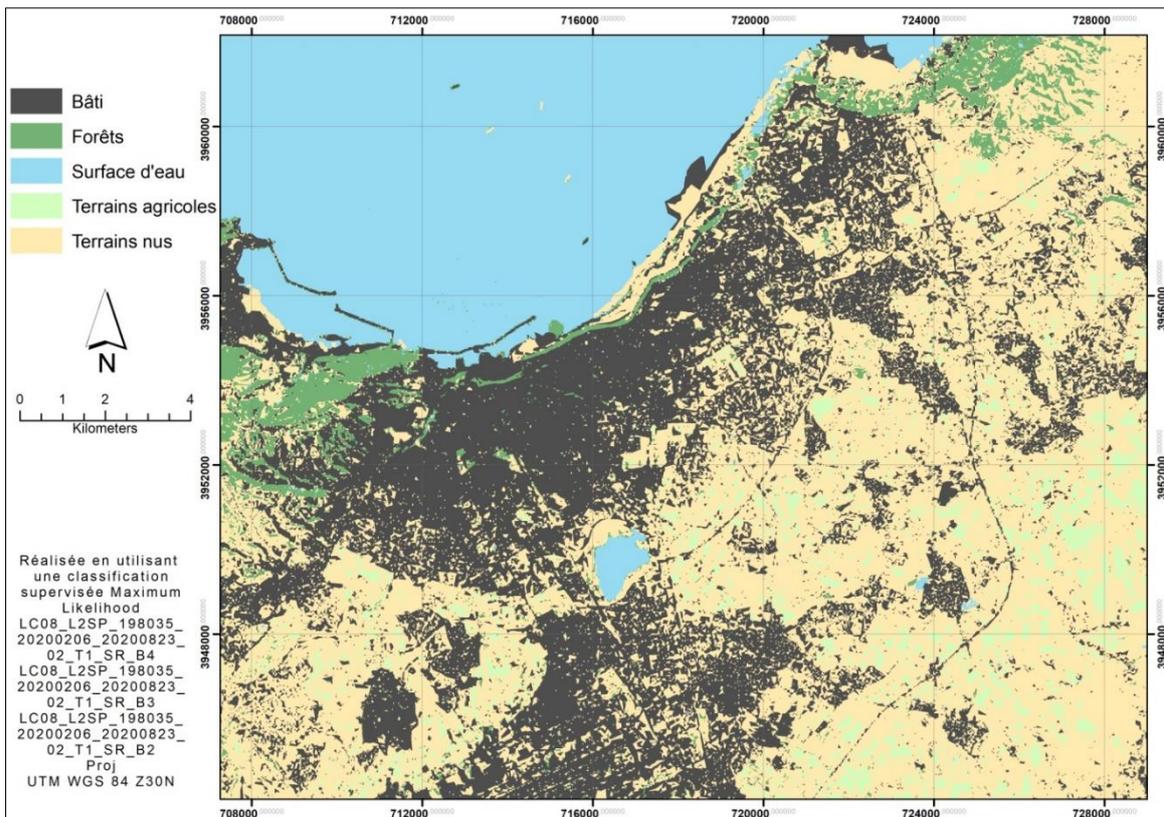


Figure 2.10 Carte d'occupation des sols dans la zone d'étude en 2020 (Source : Elmokrtar and Azzi 2022)

10- Les caractéristiques économiques

La ville d'Oran représente un pôle d'attraction économique et industrielle et est un marché avantageux pour les PME/PMI. La capitale de l'Ouest attire de plus en plus d'investisseurs et d'hommes d'affaires depuis ces dix dernières années.

10-1 Les activités industrielles

Oran présente une variété de secteurs d'activités, mais elle se distingue principalement par un tissu économique dominé par l'industrie. Oran compte de nombreuses zones industrielles et centres économiques, ce qui en fait l'un des centres économiques les plus importants de l'Ouest algérien.

Avec une superficie de 2 610 hectares, la zone industrielle d'Arzew est l'une des plus importantes du pays. Plusieurs entreprises y sont implantées dans des domaines tels que l'énergie, la chimie, la pétrochimie et l'industrie lourde. Hassi Ameer est une zone industrielle de 315 hectares, spécialisée dans le secteur des hydrocarbures. La zone industrielle d'Es Sénia, quant à elle, s'étend sur 293 hectares et abrite une variété d'activités industrielles.

À ces zones industrielles s'ajoutent 21 zones d'activité réparties sur cinq communes à Oran. Ces régions présentent des possibilités pour l'expansion d'entreprises dans divers domaines ce qui favorise la création d'emplois et la croissance économique.

Le fait que ces zones industrielles et zones d'activité soient implantées démontre l'importance économique d'Oran et son rôle en tant que centre d'activités économiques et industrielles dans le secteur.

Grâce à ses infrastructures portuaires, aéroportuaires, ferroviaires et routières, la ville est également bien connectée, ce qui facilite les échanges commerciaux et renforce sa position de carrefour économique (Bouamrane 2023).

Tableau 2.5 Activités dominantes wilaya d'Oran (Source : Bouamrane 2023)

Localisation	Domaine d'activités
Zone de dépôt El Kerma 1	Matériaux de construction
Showroom A	Concessionnaires automobiles
Showroom 6+1	Concessionnaires engins
Showroom B	Activité commerciale
Zone de dépôt nouvelle El Kerma	Mécanique automobile
Sidi Chami	Production de treillis-soudés
Zone de dépôt Nedima	Agroalimentaire et matériaux de construction
Misserghine	Minoterie
Oued Tlélat	Agroalimentaire
Bir El Djir	Agroalimentaire et matériaux de construction
Hassi Ben Okba	Agroalimentaire et matériaux de construction
Nouvelle Tafraoui	Agroalimentaire

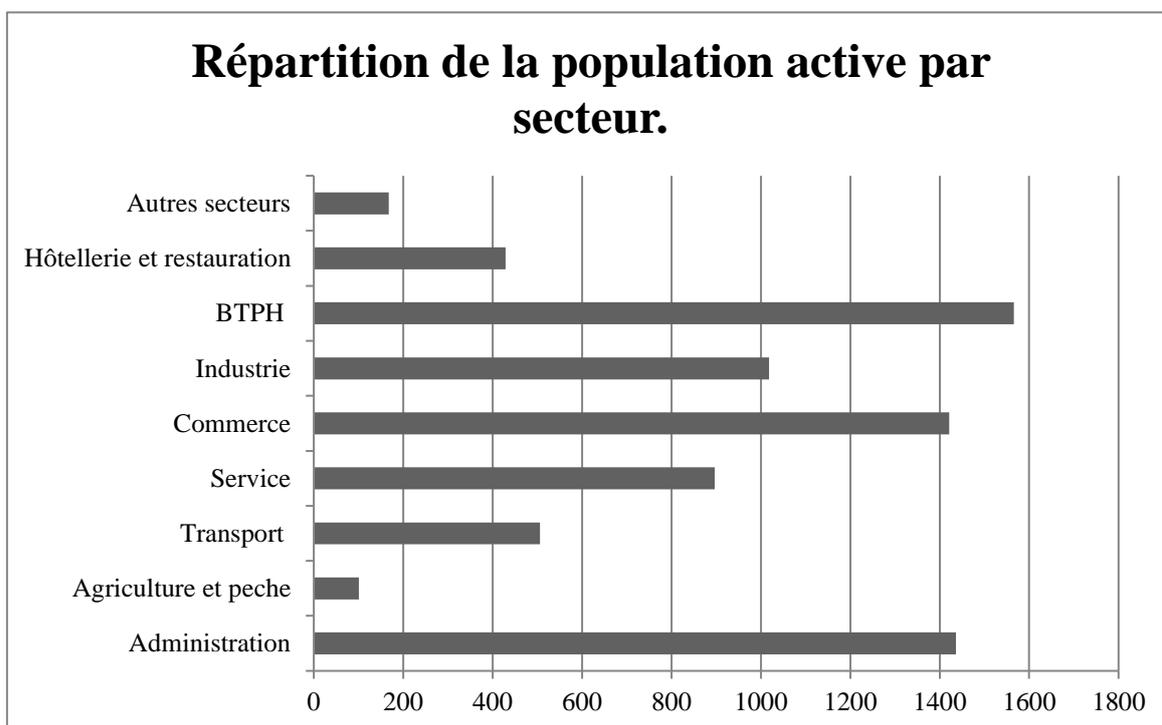


Figure 2.11 Diagramme de répartition de la population active par secteur (Source : Bouamrane 2023)

Tableau 2.6 Les principaux indicateurs économiques des établissements industriels de la Wilaya par grands secteurs Année 2018 (Source : Bouamrane 2023)

Type d'industrie	Nombre d'entreprises publiques	Nombre de PME actives (petit et moyen entreprise)
Industries agro-alimentaires	20	111
Industries chimiques et para chimiques	25	38
Industries électriques et électroniques	9	0
Industries métalliques et mécaniques	19	0
Industrie sidérurgique	3	0
Industries textiles et du cuir	3	42
BTPH	27	335
Services	28	28
Autres	27	27
Total	161	161

Oran est un centre industriel majeur qui joue un rôle essentiel à la fois au niveau régional et national. Elle accueille différentes industries qui jouent un rôle essentiel dans l'économie du pays.

Parmi les secteurs industriels présents à Oran, on peut citer :

L'industrie pétrolière et gazière comprend de nombreuses installations pétrolières et gazières importantes, telles que la raffinerie d'Arzew et le complexe pétrochimique industriel. La production et le traitement des hydrocarbures en Algérie nécessitent ces installations.

Les entreprises des industries électriques et électroniques se concentrent sur la production d'équipements électriques et électroniques tels que les câbles, les transformateurs, les appareils électroniques, et bien d'autres encore.

Les industries métalliques et mécaniques se concentrent sur la fabrication d'équipements et de pièces pour différents secteurs, tels que l'automobile, l'aéronautique, la construction, et bien d'autres encore.

La sidérurgie est une industrie qui fabrique de l'acier et des produits dérivés, ce qui apporte une contribution à l'industrie de la construction et à d'autres domaines.

Les industries textiles et du cuir produisent des articles tels que les vêtements, les chaussures, les tissus, et bien d'autres encore.

Les entreprises de l'agro-alimentaire se spécialisent dans la transformation des produits agricoles, comme les conserves, les produits laitiers, les huiles, et ainsi de suite.

En règle générale, ces secteurs sont concentrés dans diverses zones industrielles d'Oran comme Es Senia, Béthioua et Arzew qui proposent des infrastructures appropriées et des espaces spécifiquement dédiés à l'industrie. (Bouamrane 2023)

Ces secteurs apportent une contribution significative à la création d'emplois à l'échelle régionale et nationale, et jouent un rôle crucial dans le développement économique de la région.

10-2 Les activités commerciales

La ville d'Oran compte environ 64 785 commerçants dont 2 902 commerçants nouvellement installés. Les personnes physiques représentent plus de 53 262 commerçants, alors que les personnes morales représentent 11 523 commerçants. La production industrielle compte plus de 10 230 commerçants alors que le secteur du commerce extérieur est doté de plus de 2 990 entreprises. La ville d'Oran est dotée d'un tissu important de PME d'environ 17 793 entreprises. La majorité se concentre sur des secteurs

comme les bâtiments et travaux publics (23.10%), secteur du commerce (21.54%) et transports et communications (13.85%) (Benomar 2010).

11- L'infrastructure

11-1 Le réseau routier

La wilaya d'Oran est caractérisée par un réseau routier dense d'une longueur totale de 1286,395 km, réparti comme suit :

- 233,822 km de routes nationales
- 580,273 km de chemins de wilaya
- 274,000 km de chemins communaux
- 179,500 km de routes à double voie
- 18,800 km d'autoroutes (interieur.gov.dz 2021)

11-2 Le réseau ferroviaire

La wilaya d'Oran est desservie par un réseau ferroviaire de 95 kilomètres, dont 66 kilomètres de voie unique et 29 kilomètres de voie double. Ce réseau relie différentes zones de la wilaya et facilite le déplacement de voyageurs et de marchandises.

Les principales gares ferroviaires de la wilaya sont Oran, Es Senia et Oued Tlélat. Ces gares sont des points de passage indispensables pour les voyageurs et les marchandises. (Bouamrane 2023)

Au total, ces gares accueillent environ 2 millions de voyageurs par an et le réseau ferroviaire transporte environ 3 millions de tonnes de marchandises.

Outre la voie ferrée, la wilaya d'Oran est également équipée d'un tramway en service depuis le 1er mai 2013. Le parcours du tramway s'étend sur 18,7 kilomètres, en partant de la commune d'Es Senia et en passant par des lieux comme L'ENSP, l'IGMO, les Palmiers, Boulanger, Boulevard Mascara, Boulevard Maata, la place du 1er Novembre 1954, la Rue Emir Abdelkader, la Rue de Mostaganem, Saint-Eugène, la Cité Djamel, l'USTO,

l'université Mohamed Boudiaf, et se termine à la station multimodale de Sidi Maarouf par la station multimodale.

Le chemin de fer et le tramway jouent un rôle crucial dans le transport de la population locale, proposant des solutions de déplacement pratiques et performantes. La wilaya d'Oran bénéficie de leur contribution à la mobilité des résidents, au transport des marchandises et à la diminution des embouteillages.

Le développement économique de la région est influencé par ces infrastructures de transport, qui facilitent les échanges commerciaux, encouragent le tourisme et renforcent la connectivité régionale (Bouamrane 2023).

Ses infrastructures portuaires, aéroportuaires, ferroviaires et routières en font une métropole influente dans la région et une destination privilégiée pour les investissements.

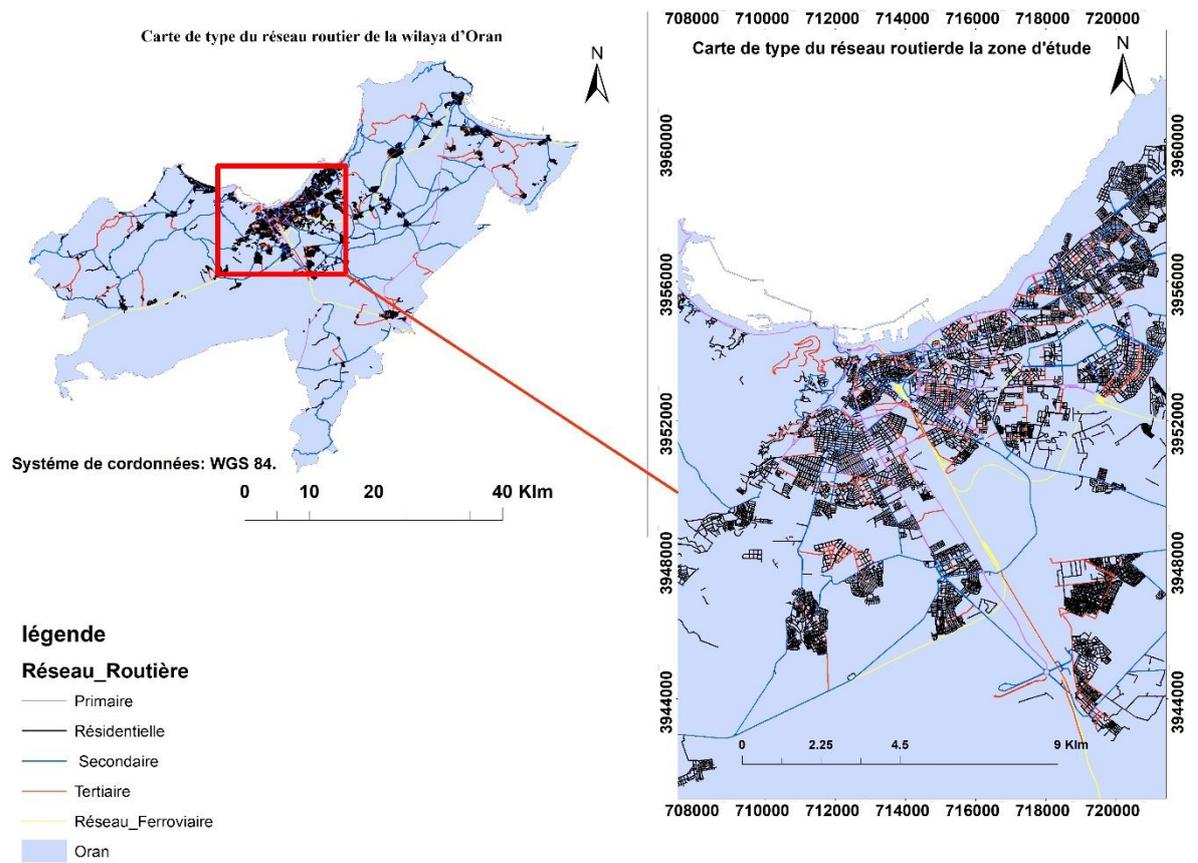


Figure 2.12 Réseau routier et ferroviaire de la zone d'étude

12- Conclusion

Dans ce chapitre, l'analyse de la région oranaise est approfondie en examinant ses caractéristiques. Grâce à cela, nous avons pu approfondir notre compréhension de l'influence de ces éléments sur l'environnement et repérer les éléments qui contribuent à la pollution de l'air.

Nous avons débuté par une brève présentation de l'histoire de la ville d'Oran, soulignant les événements marquants de son passé. Par la suite, nous avons abordé sa situation géographique, son climat, sa densité et ses infrastructures, ont également été analysées.

Nous avons aussi examiné les secteurs industriels et résidentiels afin de saisir leur influence.

Finalement, nous avons souligné l'importance de la ville d'Oran en tant que centre d'attraction régional, mettant en évidence les activités et les possibilités économiques qu'elle propose.

D'après cette étude, il est possible de conclure qu'Oran occupe une position stratégique cruciale, attrayante pour la population, constitue un atout économique et bénéficie d'infrastructures variées telles que des routes, des voies ferrées et des tramways. On constate également une forte utilisation des moyens de transport, ce qui a un impact significatif sur la qualité de l'air.

Chapitre 03 :

GEE pour l'évaluation de la qualité de l'air à Oran

1- Introduction

Ce chapitre est dédié à la présentation de la méthodologie d'évaluation de la qualité de l'air dans la région d'Oran. A cet égard, une plateforme Google Earth Engine et des données Sentinel 5P Tropomi ont été utilisés.

2- Source des données

L'objectif principal de cette étude est d'explorer la qualité de l'air et leur relation avec la distribution spatiale des températures de surface dans une ville côtière algérienne (ville d'Oran à l'ouest de l'Algérie). Une plateforme GEE et the European Union's Earth observation programme (Sentinel-5P TROPOMI) ont été utilisées pour télécharger et traiter les éléments polluants. La pollution de l'air est causée par de nombreux polluants qui peuvent être classés en quelques types selon leur source et leur composition chimique. Les principaux polluants utilisés dans cette étude sont : dioxyde d'azote (NO₂), dioxyde de soufre (SO₂), Ozone (O₃), et monoxyde de carbone (CO). On a exclu les données du méthane (CH₄) vu le manque effrayant des enregistrements sur une grande partie de la zone d'étude. De plus, suite que la superficie de notre zone d'étude ne dépasse pas 700Km², on a également exclu les particules en suspension inférieures à 2.5um (PM_{2.5}) et les particules en suspension inférieures à 10um (PM₁₀) vu la faible résolution spatiale (44528 mètres) des données Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS). Le tableau 1 résume les caractéristiques des données utilisées.

Dans cette étude quatre années ont été sélectionnées pour cette étude ; 2019, 2020, 2021 et 2022. Notre choix est basé sur deux raisons ; la disponibilité des données pour toute l'année, mais plus particulièrement nous souhaitons viser l'effet de la pandémie Covid-19 et le confinement sur le changement des concentrations polluantes. Il est à noter que pour chaque année d'étude, plus de 4900 images sont disponibles. Afin de faciliter l'étude on a calculer la moyenne annuelle en utilisant la référence API suivante : (data.reduce(ee.Reducer.mean())). Les images sont ensuite soumises à un clip, exportées en format raster, puis à l'aide de l'environnement ArcGIS elles sont transformées en vecteurs (Shapfile). Également, avant d'exploiter les données il est primordial de les

transformées du système de référence GCS WGS1984 au système UTM WGS 84 Z30.

Ceci permet de calculer les superficies pour une analyse statistique comparative.

Également, pour comparer les taux des émissions obtenus avec les taux recommandé par l'Organisation mondiale de la santé en 2021 on a transformé le fichier raster de l'unité molécule/m² vers µg/m³. Pour faire, on a utilisé les poids moléculaires suivants : 46.01, 64.07, et 28.01 g/mol pour NO₂, SO₂, et CO, respectivement (Breeze technologies 2021).

Tableau 3.1 Les caractéristiques des données utilisées

Données	Earth Engine Snippet	Bandes	Nr des images	Résolution spatiale	Date	Source
Dioxyde d'azote (NO ₂)	ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_NO2")	NO2_column_number_density	4954	1.1x1.1km	2019-01-01 à 2022-12-31	https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p
Dioxyde de soufre (SO ₂)	ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_SO2")	SO2_column_number_density	4962	1.1x1.1km		
Ozone (O ₃)	ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_O3")	O3_column_number_density	4913	1.1x1.1km		
Monoxyde de carbone (CO)	ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CO")	CO_column_number_density	4958	1.1x1.1km		
MOD11A1.061 Terra Land Surface Temperature	ee.ImageCollection("MODIS/061/MOD11A1")	LST_Day_1km	339	1x1km		

2-1 Dioxyde d'azote (NO₂)

Le dioxyde d'azote (NO₂), un gaz rouge-brun principalement émis par des processus de combustion, en particulier dans les secteurs des transports et des centrales électriques, est devenu un indicateur crucial de la qualité de l'air en milieu urbain. Il joue un rôle majeur en

tant que précurseur dans la formation de l'ozone troposphérique et de particules fines (PM_{2.5}). L'exposition à des concentrations élevées de NO₂ a été liée à des effets néfastes sur le système respiratoire, soulignant ainsi l'importance de sa surveillance dans les environnements urbains (Restrepo 2021).

2-2 Dioxyde de soufre (SO₂)

Le dioxyde de soufre (SO₂) est un gaz incolore généré par la combustion de combustibles fossiles et les activités industrielles qui contiennent du soufre, tels que le charbon et le pétrole. Il contribue simultanément à la pollution de l'air et à la formation de pluies acides, pouvant entraîner des problèmes respiratoires et cardiovasculaires (Chen et al., 2007). Les effets néfastes sur la santé et son caractère corrosif mettent en évidence l'importance de surveiller les niveaux de SO₂, en particulier dans les zones industrialisées (Tricker and Tricker 1999).

2-3 Ozone (O₃)

L'ozone troposphérique ne se libère pas directement dans l'atmosphère, mais il se forme lorsque des polluants précurseurs, tels que les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV), réagissent en présence de la lumière solaire. Alors que l'ozone dans la stratosphère agit comme un bouclier protecteur contre les rayons ultraviolets nocifs, sa présence à des concentrations élevées peut avoir des effets néfastes sur la santé humaine, notamment l'irritation des voies respiratoires et le risque accru de maladies cardiovasculaires (Chen et al., 2007). C'est pourquoi une surveillance rigoureuse est nécessaire pour réduire les risques liés à l'exposition à l'ozone troposphérique.

2-4 Monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz qui ne présente ni couleur ni odeur et se forme lors de la combustion incomplète de carburants contenant du carbone (Miller 2011). Il s'agit d'un gaz toxique dont des concentrations élevées peuvent être dangereuses, car elles entravent la capacité du sang à transporter l'oxygène. Il est essentiel de mesurer précisément les niveaux de CO, car il remplit un double rôle : il est à la fois un indicateur de la qualité de l'air et un indicateur de l'efficacité de la combustion.

3- Air pollution index API

Dans cette étude, l'indice API a été utilisé pour fournir une vision générale sur la qualité de l'air. Ceci permet de juger la ville d'Oran du point de vue environnementale. Et comme le satellite Sentinel-5P a été spécialement conçu pour réaliser des mesures atmosphériques quasi en temps réel et de mettre à disposition des données exploitables, il est faisable de calculer cet indice en utilisant quatre polluants : le dioxyde d'azote (NO₂), dioxyde de soufre (SO₂), Ozone (O₃), et le monoxyde de carbone (CO). D'après les conclusions de la recherche réalisée par Wang et al. (2022), les pondérations sont déterminées en fonction du degré de nocivité de chaque gaz polluant. La formule est donnée comme suite (Eq.1) :

$$API = 0.7(NO_2) + 0.15(SO_2) + 0.1(O_3) + 0.05(CO) \dots\dots\dots(1)$$

4- Méthodologie adoptée

4-1 Ouvrir un compte Google Earth Engine

Pour ouvrir un compte Google Earth Engine, voici les étapes à suivre :

1. Rendez-vous sur le site officiel de Google Earth Engine [Signup.earthengine.google.com](https://signup.earthengine.google.com)
2. Cliquez sur le bouton "Sign In" en haut à droite de la page.

3. Si vous n'avez pas de compte Google, cliquez sur "Create Account" pour en créer un.
4. Remplissez les informations demandées pour créer votre compte Google.
5. Une fois votre compte créé et que vous êtes connecté, vous pourrez accéder à Google Earth Engine et commencer à l'utiliser pour explorer et analyser des données géospatiales.

Une fois que vous avez été approuvé, vous pourrez accéder à l'éditeur de code de Earth Engine, l'environnement de développement interactif sur navigateur pour les analyses de Earth Engine code.earthengine.google.com.

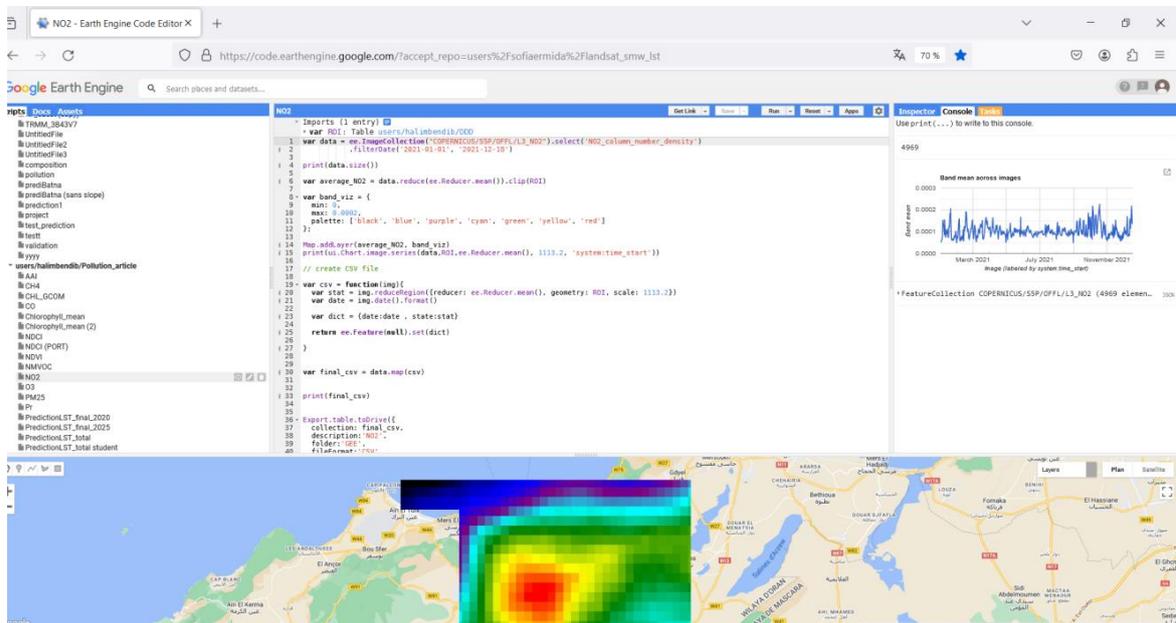


Figure 3.1 Interface de Google Earth Engine

4-2 Appliquer un exemple sur les concentrations en NO2

Dans cet exemple on va utiliser Google Earth Engine pour obtenir la concentration de dioxyde d'azote (NO2) dans la région d'Oran, à l'aide du code montré dans la figure ci-dessous :

```

NO2
- Imports (1 entry)
+ var ROI: Table users/halimbendib/DDD
1 var data = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_NO2").select('NO2_column_number_density')
2   .filterDate('2021-01-01', '2021-12-18')
3
4 print(data.size())
5
6 var average_NO2 = data.reduce(ee.Reducer.mean()).clip(ROI)
7
8 var band_viz = {
9   min: 0,
10  max: 0.0002,
11  palette: ['black', 'blue', 'purple', 'cyan', 'green', 'yellow', 'red']
12 };
13
14 Map.addLayer(average_NO2, band_viz)
15 print(ui.Chart.image.series(data,ROI,ee.Reducer.mean(), 1113.2, 'system:time_start'))
16
17 // create CSV file
18
19 var csv = function(img){
20   var stat = img.reduceRegion({reducer: ee.Reducer.mean(), geometry: ROI, scale: 1113.2})
21   var date = img.date().format()
22
23   var dict = {date:date , state:stat}
24
25   return ee.Feature(null).set(dict)
26
27 }
28
29
30 var final_csv = data.map(csv)
31
32
33 print(final_csv)
34
35
36 Export.table.toDrive({
37   collection: final_csv,
38   description: 'NO2',
39   folder: 'GEE',
40   fileFormat: 'CSV',
41   selectors: ['date', 'stat']})
42
43 ////// Export to TIFF
44 Export.image.toDrive({
45
46   image: average_NO2,
47
48   description: 'NO2_2022',
49
50   region: ROI,
51
52   scale: 20,
53
54   fileFormat: 'Geotiff',
55
56   maxPixels: 1e9,
57
58 });

```

Figure 3.2 Structure du code pour l'extraction du NO2

Il est à noter que le code est divisé en plusieurs lignes. Leur interprétation est comme suite :

Ligne 1 : importation des données Copernicus Sentinel 3 en précisant la bande du NO2

Ligne 2 : application du filtre de date pour préciser la date de l'image à utiliser

Ligne 6 : application de la commande moyenne pour calculer la moyenne

Ligne 8 à 12 : Spécifier l'intervalle des valeurs des concentrations en NO2 et la palette de couleurs

Ligne 15 : code pour la réalisation d'un graphe des variations des concentrations en NO2

Ligne 43 : Export des données en format GeoTiff pour les utiliser dans le logiciel ArcGIS

Ce code utilise les données de concentration de NO₂ Sentinel-5P et trace la concentration moyenne de NO₂ à Oran en 2021. Les dates et la région peuvent être modifiées selon nos besoins.

5- Variations spatio-temporelles des concentrations

Les variations spatio-temporelles des concentrations polluantes sont montrées dans la figure 3.3 et la figure 3.4. La comparaison de la distribution spatiale des émissions pour les années 2019, 2020, 2021 et 2022 montre que la source principale de NO₂ est l'espace urbain d'Oran (notamment la zone industrielle d'Es senia et les émissions provenant de l'aéroport). Les espaces verts à l'ouest (notamment la forêt de Madagh et de Mesila) et à l'est (la forêt des lions et de Canastel), ainsi que les surfaces d'eau de la grande sebkha de Misserghine et Dayet Oum Rhalez au sud et au sud-est paraissent la source d'amélioration de la qualité d'air.

Concernant les émissions en SO₂, la source principale en 2019 est la partie sud-ouest de la ville d'Oran (les terrains proches à l'aéroport). En 2020, des émissions remarquables sont enregistrées notamment dans les parties sud et nord-ouest et l'est. Une amélioration de la qualité de l'air est enregistrée dans la ville d'Oran en 2021. Par ailleurs, quelques spots de pollutions peuvent être repérées dans la zone d'activités industrielles de Hassi Aneur à l'est et la zone industrielle d'Oued Tlilet au sud-est. La zone d'étude a enregistré en 2022 des taux élevés en SO₂ notamment dans la ville d'Oran et Oued Tlilet, les taux faibles sont concentrés dans les parties occupées par le couvert végétal et les surfaces d'eau.

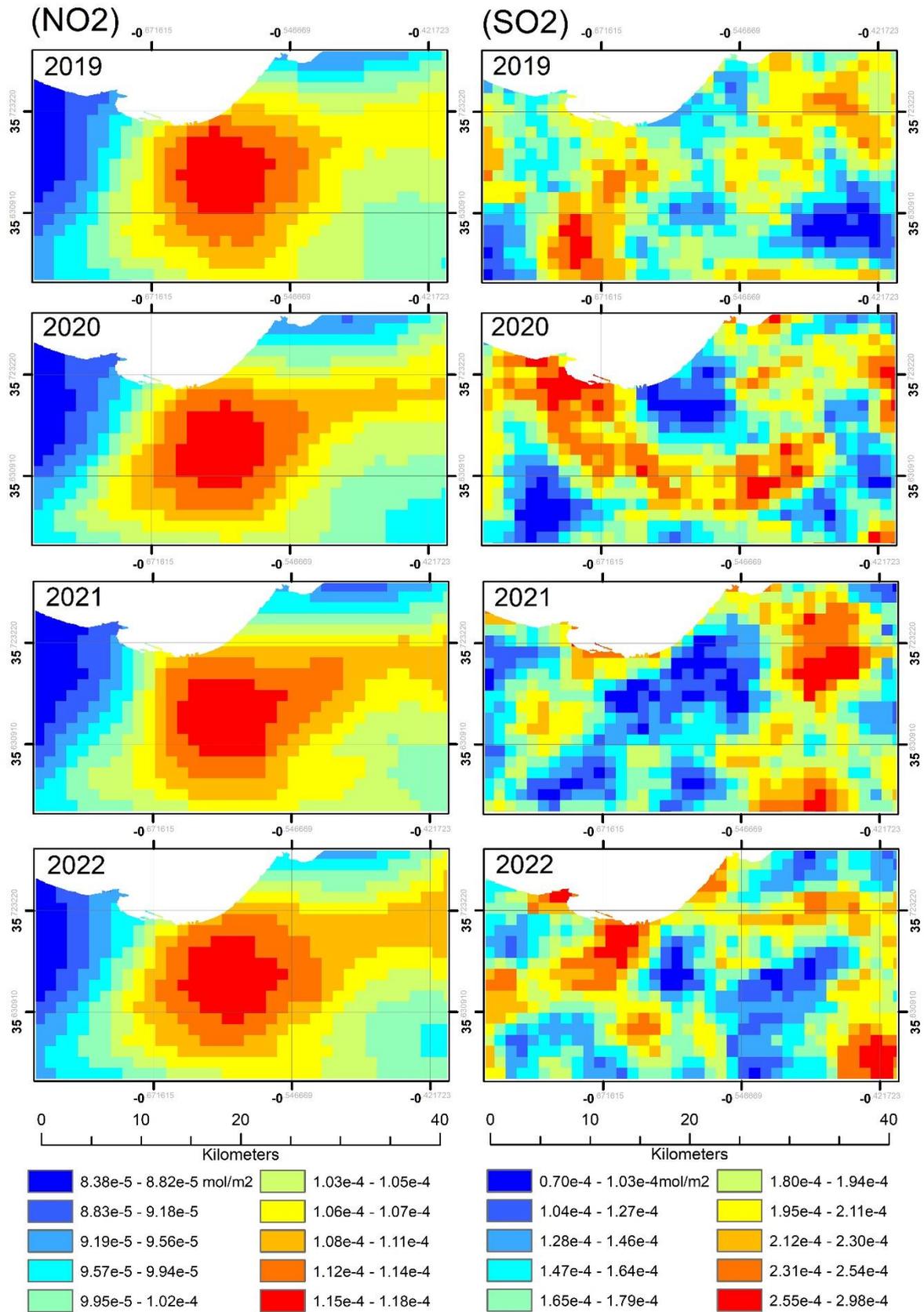


Figure 3.3 Concentrations en NO₂ et SO₂ pour les années 2019, 2020, 2021 et 2022 (molecules/m²)

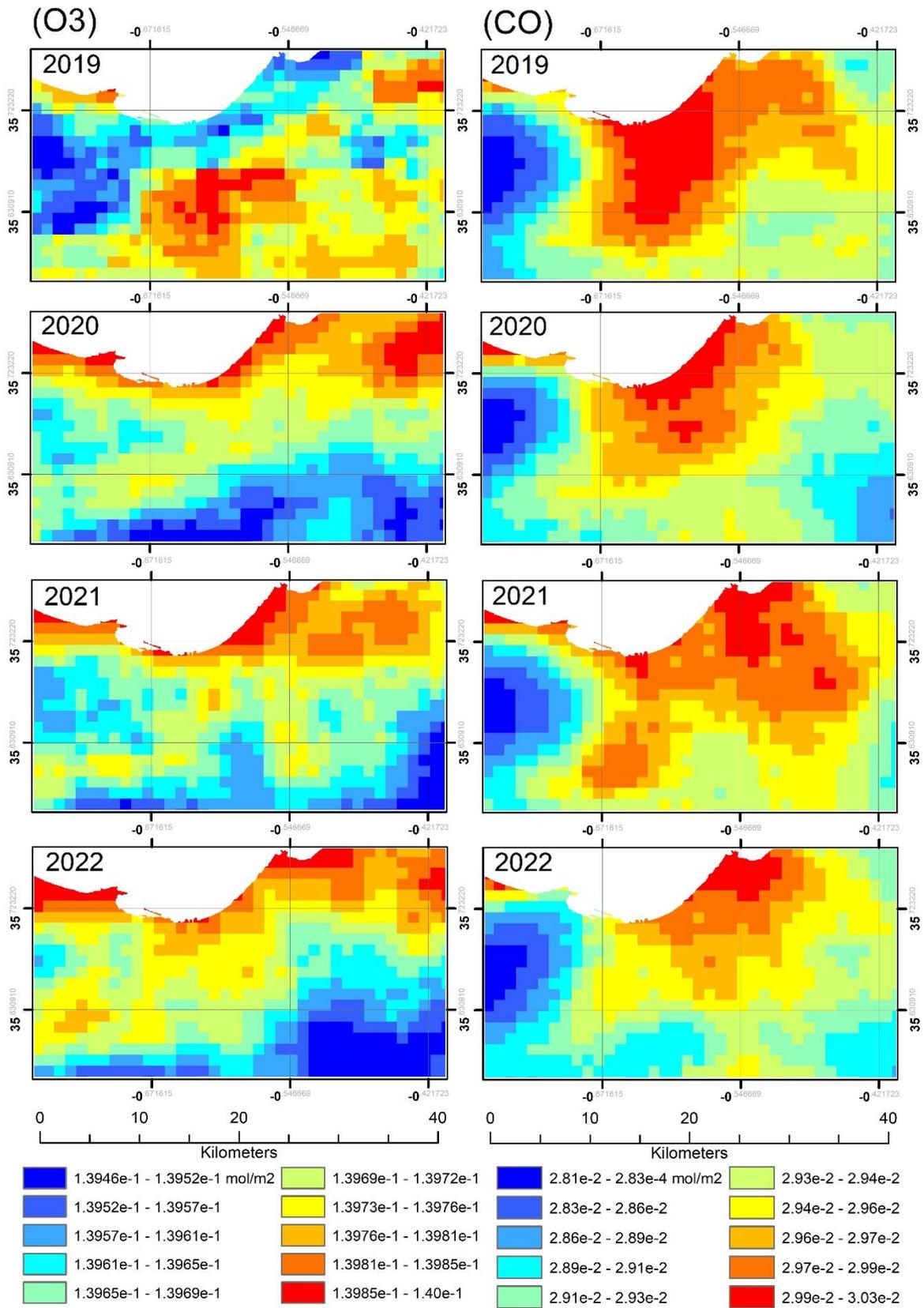


Figure 3.4 Concentrations en O₃ et CO pour les années 2019, 2020, 2021 et 2022 (molecules/m²)

En 2019, les émissions en O₃ sont remarquées dans la partie sud de la zone d'étude, mais plus particulièrement dans la zone industrielle d'Es senia et l'aéroport d'Oran. La source des taux faibles est essentiellement le centre-ville et les espaces forestier ouest et nord-est. En revanche, pour les années 2020, 2021 et 2022 c'est complètement l'inverse ; les taux élevés des émissions sont localisés dans les parties nord, alors que les taux faibles en Ozone sont enregistrés dans les parties sud.

La source des émissions en CO est facilement remarquable dans l'espace urbain d'Oran avec des variations des taux d'une année à une autre. 2022 parait l'année moins polluante en termes d'émission en CO. Les espaces forestiers des parties ouest sont trouvés moins pollués par le CO.

Les figures ci-dessus mettent en évidence les points chauds des concentrations polluantes dans la ville d'Oran, révélant une cartographie détaillée des sources de pollution majeures dans la région. Les zones industrielles de Hassi Ameur et Oued Tlilet, couvrant une vaste superficie de plus de 350 hectares, se distinguent comme les principaux contributeurs aux émissions de dioxyde de soufre (SO₂). En parallèle, la zone industrielle d'Essenia, avec une superficie de 292 hectares, et l'aéroport d'Oran, s'étendant sur 6,5 hectares, sont identifiés comme les sources principales des émissions d'ozone (O₃) et de dioxyde d'azote (NO₂). La ville d'Oran elle-même est une source importante de pollution atmosphérique, principalement en ce qui concerne les émissions de monoxyde de carbone (CO) et de NO₂. Le trafic routier intense, les activités industrielles urbaines et le chauffage résidentiel contribuent tous à ces émissions. Bien que la ville d'Oran soit une source moindre d'émissions de SO₂ par rapport aux zones industrielles de Hassi Ameur et Oued Tlilet, elle contribue néanmoins à ce polluant en raison des activités industrielles et du trafic routier, bien que dans une moindre mesure.

6- Variations mensuelles des concentrations

Les figures 3.5 et 3.6 montrent les variations mensuelles des éléments polluants. En 2019, la concentration maximale en NO₂ est de 0.000114108 mol/m² enregistrée le 6 février 2019 et la valeur minimale est obtenue le 2 décembre 2019 avec 7.91451e-005 mol/m². Les variations extrêmes sont observées pour la période de janvier à avril et la période allant de septembre à décembre (avec un intervalle de 0.000075 à 0.000125 mol/m²), tandis qu'une certaine stabilité est enregistrée pour la période estivale (avec un intervalle de 0.00005 à 0.00015 mol/m²). En générale, la concentration moyenne en NO₂ est égale à 0.000099 mol/m². En 2020, la valeur minimale (7.98e-004 mol/m²) est enregistrée le 20/01/2020, alors que la valeur maximale est obtenue le 02/01/2020 avec 1.15e-004 mol/m². Soit une augmentation de 1e-006 mol/m² en comparaison avec 2019. Des variations importantes peuvent être remarquées pour les périodes allant de janvier à avril et d'octobre à décembre, alors que les petites variations sont remarquées dans la période allant de mois de mai au mois d'octobre. Une augmentation à 1.05e-004 mol/m² est enregistrée en 2021 avec des variations importantes entre le mois de janvier et le mois de mai, et entre le mois de septembre et le mois de décembre. En 2022, le taux moyen des concentrations en NO₂ a enregistré un recul à 1.04e-004 mol/m² (soit une différence de 1e-006 mol/m² avec 2021). Les grandes variations (0.000075-0.00015 mol/m²) sont identifiées pour la période allant de janvier à juin, et entre septembre et décembre, en revanche une stabilité des concentrations (0.0000875-0.000125 mol/m²) est remarquée en juillet et août.

Concernant les émissions en SO₂, la concentration moyenne annuelle en 2019 est de l'ordre de 2.23e-004 mol/m² avec une valeur minimale de 1.15e-004 mol/m² enregistrée le 1er mai 2019 et une valeur maximale de 3.72e-004 mol/m² enregistrée le 14 janvier 2019. Des valeurs extrêmes sont enregistrées le 14/01/2019, 14/03/2019, 22/06/2019, et

30/11/2019 avec 0.0034, 0.0023, 0.0025, et 0.0031 mol/m², respectivement. En comparaison avec 2019, une infime diminution estimée à 2.21e-004 mol/m² est enregistrée en 2020 avec une valeur minimale égale à 1.22e-004 mol/m² et une valeur maximale égale à 3.13e-004 mol/m². La valeur extrême est enregistrée le 28 janvier 2020. Une diminution dans la moyenne des concentrations en SO₂ est notée également en 2021 avec un taux de 1.93e-004 mol/m² (soit une diminution de 2.8e-005 mol/m²). Quelques valeurs extrêmes peuvent être identifiées notamment le 27/09/2021, le 28/10/2021 et le 16/12/2021. Les taux les plus faibles en SO₂ sont remarqués en 2022 avec une moyenne égale à 1.78e-004 mol/m².

En 2019, la concentration maximale en O₃ est de 0.186 mol/m² enregistrée en avril et décembre, par ailleurs, la valeur minimale est enregistrée en février et mars avec 0.110 mol/m². Le moyen annuel en O₃ est égal à 0.1381 mol/m². Les changements mensuels sont distincts ; les variations extrêmes sont enregistrées pour la période allant de novembre à juin avec une valeur maximale de 0.186 mol/m² obtenue le 16/11/2019 et une valeur minimale de 0.110 mol/m² obtenu le 12/03/2019. En parallèle, une certaine stabilité est observée entre le mois de juillet et le mois d'octobre avec des valeurs de 0.152 et 0.121 mol/m², successivement. Le moyen annuel a diminué en 2020 pour atteindre 0.1357 mol/m² avec une valeur minimale de 0.111 mol/m² et maximale de 0.183 mol/m². Une augmentation de la moyenne annuelle (0.1395 mol/m²) est remarquée en 2021 avec des variations mensuelles moins importantes à côté de 2019 et 2020. La valeur minimale est enregistrée en décembre (14/12/2021) et la valeur maximale en mars (20/03/2021) avec 0.119 mol/m² et 0.188 mol/m², successivement. Une infime augmentation des émissions est également obtenue en 2022. La valeur moyenne annuelle est égale à 0.1396 mol/m². Les variations sont importantes entre janvier et avril avec une valeur maximale (0.194 mol/m²) obtenue le 16/03 2022 et une valeur minimale (0.120 mol/m²) obtenue le 1er

janvier 2022. D'autre côté, des variations moins sévères sont identifiées entre le mois de mai et décembre. La valeur maximale (0.147 mol/m²) est enregistrée le 02/12/2022 et la valeur minimale (0.111 mol/m²) est enregistrée le 16/11/2022.

Concernant les concentrations en CO, deux périodes des émissions peuvent être remarquées en 2019. Période des taux élevés comprise entre le mois de janvier et le mois de juin avec une concentration maximale de 0.04 mol/m² et une concentration minimale estimée à 0.026 mol/m². Une période des taux bas comprise entre le mois de juillet et le mois de décembre avec une intervalle des valeurs comprises entre 0.032 mol/m² et 0.024 mol/m². Le taux moyen annuel est égal à 0.0309 mol/m². Ce taux devra augmenter en 2020 pour atteindre 0.0316 mol/m², avec deux périodes de changement bien distinctes. La première période est caractérisée par des taux élevés estimés à 0.041 mol/m² et une seconde période dont les taux sont bas avec une valeur maximale qui ne dépasse pas 0.036 mol/m². En revanche, trois périodes de changement des concentrations en CO peuvent être constatées en 2021. La première période s'étale entre le mois de janvier et mai avec une valeur minimale égale à 0.028 mol/m² (observée le 31 janvier 2022) et une valeur maximale égale à 0.042 mol/m² (observée le 8 mars 2021). La deuxième période est comprise entre le mois de mai et juillet avec une valeur minimale égale à 0.027 mol/m² (observée le 6 juillet 2021) et une valeur maximale égale à 0.032 mol/m² (observée le 30 mai 2021). La troisième période est comprise entre le mois d'aout et décembre avec une intervalle de valeurs comprises entre 0.025 mol/m² et 0.04 mol/m². Le taux moyen annuel égal à 0.0322 mol/m² (soit une augmentation de 6e-004 mol/m² en comparaison avec 2020). Un recul de 0.0029 mol/m² des émissions en CO est enregistré en 2022 avec deux périodes de variations temporelles. La première commence en janvier et termine en juin avec une valeur maximale de 0.039 mol/m² enregistrée le 24/02/2022 et une valeur minimale de 0.02 mol/m² enregistrée le 14/04/2022. La deuxième commence en juillet et

termine en décembre avec une valeur maximale de 0.032 mol/m² enregistrée le 02/11/2022 et une valeur minimale de 0.021 mol/m² enregistrée le 03/09/2022.

En résumé, l'analyse des variations des teneurs en éléments polluants entre 2019 et 2022 montre que les concentrations sont plus faibles dans la saison sèche (mai - septembre) et plus forte dans le reste de l'année. En fait, dans la saison humide (hiver et automne) les conditions météorologiques et la présence des nuages favorisent la saturation et l'augmentation de l'intensité des émissions dans l'air, tandis que le manque des nuages et l'absence des précipitations dans la saison estivale favorise la dispersion des concentrations polluantes ce qui justifie les teneurs faibles.

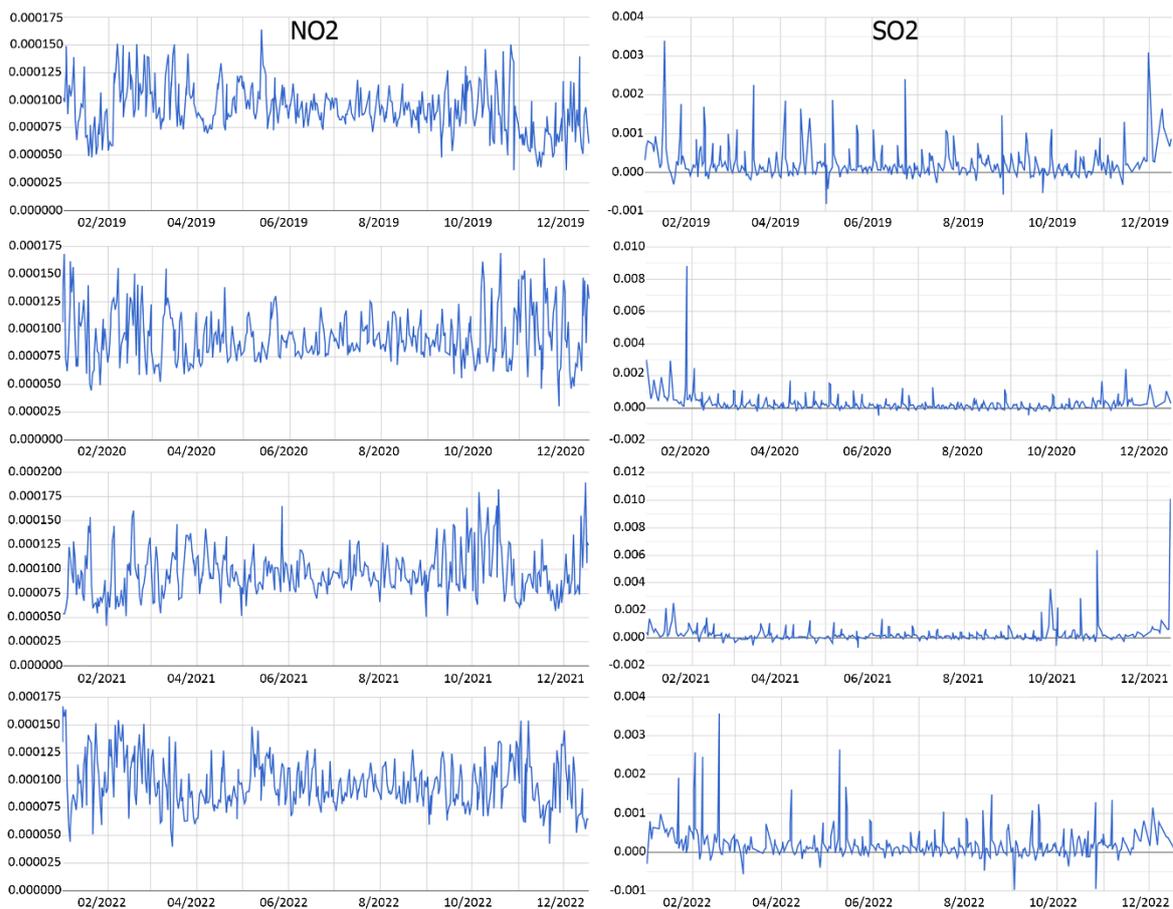


Figure 3.5 Variations mensuelles des concentrations NO₂, SO₂ pour les années 2019, 2020, 2021, et 2022

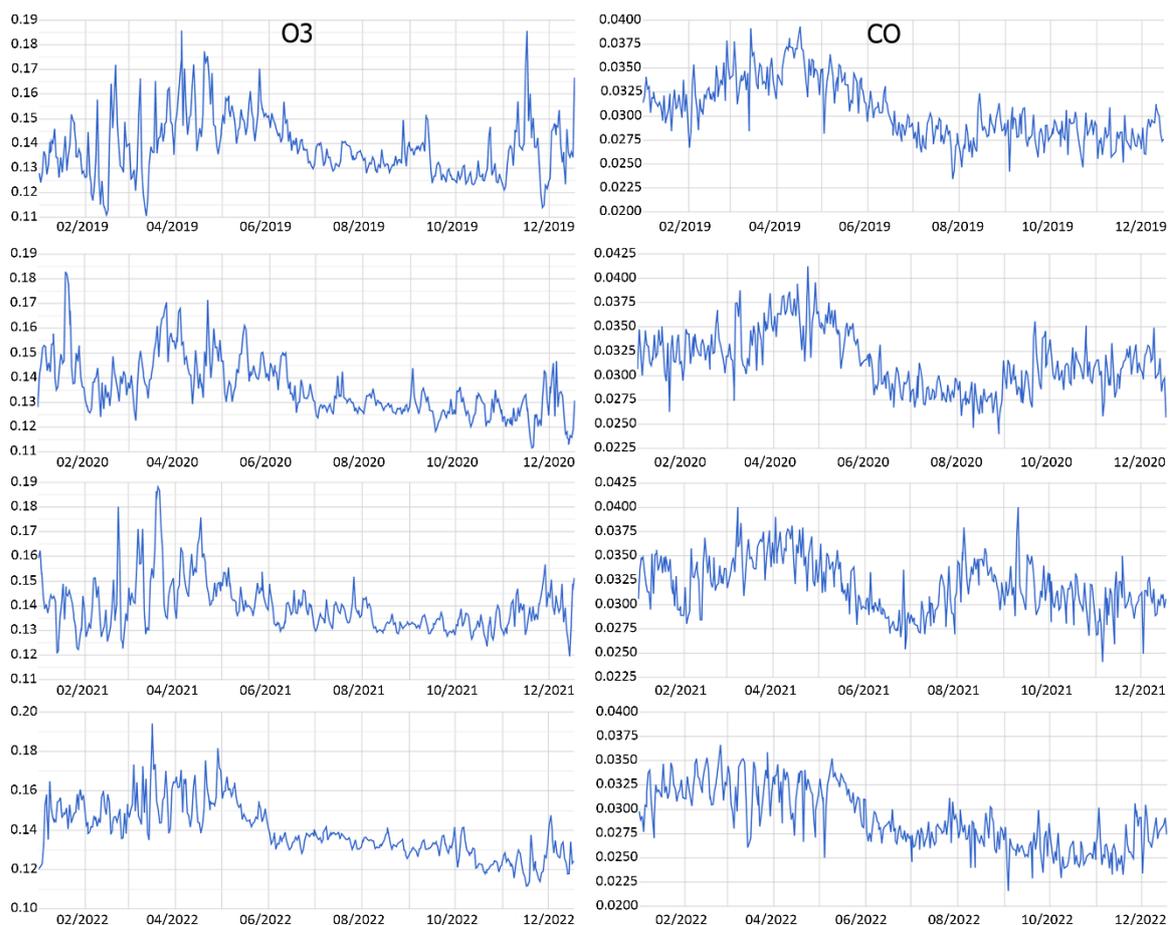


Figure 3.6 Variations mensuelles des concentrations O3 et CO pour les années 2019, 2020, 2021, et 2022

Le tableau 3.2 est une récapitulation de la superficie occupée par chaque classe des éléments polluants. Concernant le NO₂ en 2019 il bien évident qu'une grande partie de la zone d'étude est polluée, plus de 65% (soit plus de 43971ha) à des concentrations qui dépassent 0.000105791 mol/m². Par ailleurs, seul 5% (soit 3385ha) de la zone à des émissions inférieurs à 0.000093094 mol/m². En effet, la superficie des concentrations élevées devrait légèrement augmentée en 2020 pour atteindre 65.48%. En parallèle les émissions faibles (0.000083848 - 0.000093094 mol/m²) devraient également augmentées légèrement avec une superficie de 3612.56ha (soit 5.38%). La classe moyenne a subi un recul faible de 0.4%. Pour les années 2021 et 2021, la zone d'étude a subi des émissions importantes de NO₂ dans lequel 82.47% (55390.54ha) et 83.28% (55911.9ha) est

caractérisée par des concentrations supérieures à 0.000105791 mol/m². La superficie des concentrations faibles (<0.000100408 mol/m²) a diminué de 8.62% en 2021 pour atteindre 7.5% en 2022. Les concentrations moyennes (0.000100408 - 0.000105791 mol/m²) ont vu une légère augmentation de 8.9% à 9.22%

Pour les concentrations en SO₂ en 2019, les émissions sont moyennes à importantes. 31% de la zone présente des émissions qui comprises entre 0.00024 mol/m² et 0.000288 mol/m², alors que 32% de la superficie est comprises entre 0.000209 et 0.000239. Les concentrations faibles (<0.000172 mol/m²) occupent 8% (5594.82ha) de la zone d'étude. En 2020, les concentrations faibles devront augmentées pour atteindre 12% de la superficie totale, une diminution de la superficie devrait aussi enregistrer pour la classe des émissions moyennes (avec 27.46%) et forte (avec 3.24%). Les niveaux élevés des émissions (>0.00024 mol/m²) devront continuer à baisser en 2021 et 2022. Il s'agit de 10.15% à 6.65% pour la classe (0.00024 - 0.000288 mol/m²) et de 0.89% à 0.31% pour la classe (0.000289 - 0.000371 mol/m²). Ceci est accompagné par une augmentation considérable des concentrations faibles à moyennes. La classe (0.000115 - 0.000172 mol/m²) a augmentée de 32.71% (21968.52ha) en 2021 à 45.02% (30235.85ha) en 2022, de même, la classe (0.000173 - 0.000208 mol/m²) a augmentée de 31.6% (21226.30ha) en 2021 à 33.11% (22237.83ha) en 2022.

L'ozone a marqué une diminution continue de la zone occupée par les concentrations faibles (<0.138031017 mol/m²) pour les années 2019, 2020 et 2021 avec 15.47%, 14.46% et 5.77%, respectivement. Par ailleurs, une augmentation à 10.14% est enregistrée en 2022. A l'exception de l'année 2021, les émissions élevées (>0.138305299 mol/m²) ont vu leur superficie augmente considérablement de 8047.82ha (11.98%) en 2019 à 9022.33ha (13.43%) en 2020 pour atteindre 10720.96ha (15.96%) en 2022. Pour les concentrations comprises entre 0.138132433 et 0.138220018 mol/m², une évolution de 27.08% en 2019 à

33.33% en 2020 à 37.11% en 2021 est remarquée, par ailleurs un recul à 26.70% est enregistré en 2022.

Des variations peuvent être remarquées pour les émissions en CO durant la période 2019-2022. En 2019, la superficie des concentrations faibles (<0.030364555 mol/m²) est égale à 3633.60ha (soit 5.41%), cette superficie devra augmentée exponentiellement pour atteindre 75.61% (50772.40ha) de la zone d'étude en 2020, puis elle revient à reculer pour atteindre 5.72% en 2021. Une légère augmentation sera observée en 2022 avec 7.05% (4738.20ha). En ce qui concerne les émissions élevées (>0.031196616 mol/m²) la superficie a reculée de 20.45% en 2019 à 16.31% en 2020, puis une augmentation à 31.23% en 2021 pour reculer finalement à 10.90% en 2022. La classe des concentrations médianes ($0.030742183 - 0.030998202$ mol/m²) a subi une diminution de 37.14% en 2019 à 2.6% en 2020, puis suivi par une augmentation de 23.97% en 2021 à 33.08% en 2022.

En général, l'analyse diachronique (Figure 3.7) montre clairement une tendance de pollution par les émissions de NO₂ entre 2019 et 2022 avec une dominance des concentrations supérieurs à 0.000105791 mol/m² et une diminution des concentrations inférieurs à 0.000100408 mol/m². En revanche, la zone d'étude a montré un recul remarquable des émissions de SO₂. Il s'agit d'une diminution de plus de 28% pour les classes supérieures à 0.00024 mol/m² et une augmentation de plus de 37% pour les concentrations inférieures à 0.000172 mol/m². En termes des émissions de O₃, la qualité de l'air est défavorable. La diminution des concentrations faibles ($0.137878895 - 0.138031017$ mol/m²) et accompagnée par une augmentation des concentrations élevées ($0.138305299 - 0.138464336$ mol/m²) avec un écart de 5% et 4% respectivement. Par ailleurs, une instabilité des émissions de CO est clairement remarquée.

Tableau 3.2 Superficie occupée par chaque classe des éléments polluants pour les années 2019, 2020, 2021, et 2022

Dioxyde d'Azote (NO2)								
Classe	2019		2020		2021		2022	
	S (ha)	S (%)						
0.000083848 - 0.000093094	3385.94	5.04	3612.56	5.38	404.91	0.60	323.95	0.48
0.000093094 - 0.000100408	6704.47	9.98	4973.23	7.41	5384.99	8.02	4713.29	7.02
0.000100408 - 0.000105791	13090.71	19.49	12818.07	19.09	5978.88	8.90	6192.44	9.22
0.000105791 - 0.000110897	29702.72	44.23	30489.66	45.40	22895.60	34.09	25311.38	37.70
0.000110897 - 0.000118901	14269.02	21.25	15261.40	22.73	32494.94	48.38	30600.52	45.58
Dioxyde de soufre (SO2)								
Classe	2019		2020		2021		2022	
	S (ha)	S (%)						
0.000115 - 0.000172	5594.82	8.34	8638.98	12.86	21968.52	32.71	30235.85	45.02
0.000173 - 0.000208	16360.74	24.38	15914.88	23.70	21226.30	31.60	22237.83	33.11
0.000209 - 0.000239	21809.85	32.50	18441.32	27.46	16556.31	24.65	10015.48	14.91
0.00024 - 0.000288	21126.18	31.48	21992.01	32.74	6814.26	10.15	4466.37	6.65
0.000289 - 0.000371	2221.01	3.31	2177.82	3.24	599.54	0.89	205.46	0.31
Ozone (O3)								
Classe	2019		2020		2021		2022	
	S (ha)	S (%)						
0.137878895 - 0.138031017	10392.11	15.47	9711.37	14.46	3875.33	5.77	6810.62	10.14
0.138031017 - 0.138132433	9679.49	14.41	14482.64	21.57	19899.93	29.63	13194.57	19.65
0.138132433 - 0.138220018	18186.11	27.08	22384.08	33.33	24925.13	37.11	17933.18	26.70
0.138220018 - 0.138305299	20856.61	31.05	11557.24	17.21	11496.08	17.12	18499.72	27.55
0.138305299 - 0.138464336	8047.82	11.98	9022.33	13.43	6966.38	10.37	10720.96	15.96
Monoxyde de carbone (CO)								
Classe	2019		2020		2021		2022	
	S (ha)	S (%)						
0.029852517 - 0.030364555	3633.60	5.41	50772.40	75.61	3843.39	5.72	4738.20	7.05
0.030364555 - 0.030742183	5908.11	8.80	1104.20	1.64	5353.85	7.97	14757.78	21.97
0.030742183 - 0.030998202	24943.36	37.14	1743.55	2.60	16101.70	23.97	22220.64	33.08
0.030998202 - 0.031196616	18939.94	28.20	2575.57	3.84	20889.26	31.10	18125.44	26.99
0.031196616 - 0.031478237	13736.12	20.45	10953.98	16.31	20976.04	31.23	7321.84	10.90

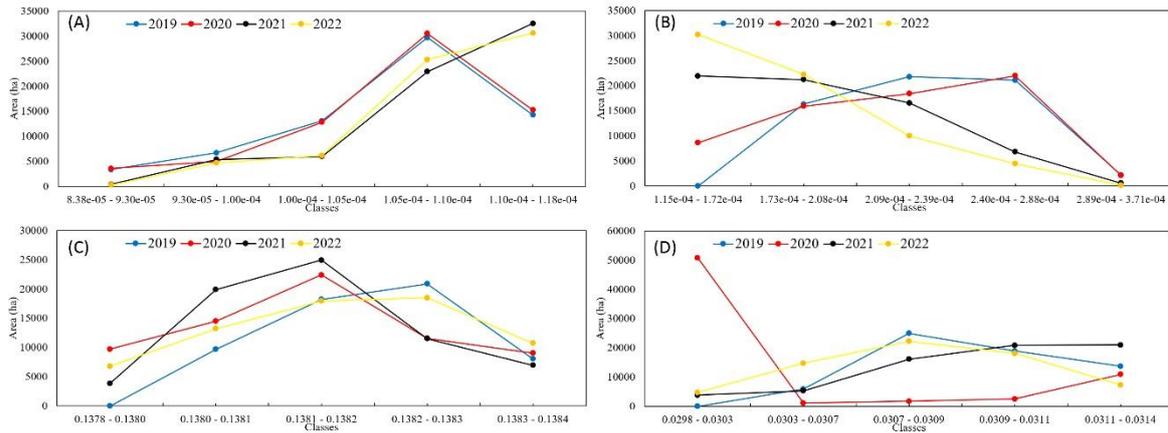


Figure 3.7 Variations de la superficie occupée par chaque classe des éléments polluants (A) NO₂, (B) SO₂, (C) O₃, (D) CO

7- Résultats de l'indice Air Pollution Index API

Selon l'analyse diachronique des variations temporelles des concentrations en NO₂, SO₂, O₃ et CO, il est difficile de juger la qualité de l'air dans la zone d'étude du fait que les émissions diffèrent d'une année à une autre. A cet égard, on a recours au calcul de l'indice Air Pollution Index API qui doit permettre de donner une idée claire et déterminante. Les résultats obtenus sont montrés dans la figure 3.8.

Le tableau 3.3 résume les variations par classe de l'API pour les années 2019, 2020, 2021 et 2022. Les résultats montrent aussi le caractère instable des émissions d'une année à une autre avec une orientation vers la dominance des émissions moyennes à élevées (soit les émissions supérieures à 0.015433537 mol/m²). Pour les émissions faibles et faibles à moyennes comprises entre 0.015183537 mol/m² et 0.015433537 mol/m² ils sont augmentés à 26 % en 2020, diminués en 2021 à 17%, puis une autre augmentation à 30% est enregistrée en 2022. La même tendance est observée pour les concentrations moyennes (0.015433537 - 0.015543537 mol/m²) ; une augmentation à 27% en 2020 accompagnée d'une diminution à 23% en 2021, puis une autre augmentation à 25% en 2022. Les

concentrations élevées (>0.015543537 mol/m²) ont enregistré une instabilité pour la période d'étude avec un recul des émissions en 2021 (de 61% à 45%), puis une augmentation à 58% en 2021 pour reculer encore une fois à 44% en 2022.

D'une façon globale, en 2019, 61% de la zone d'étude est fortement polluée par les concentrations supérieures à $1.554e-2$ mol/m², alors que les concentrations faibles ($<1.543e-2$ mol/m²) occupent 15%. Les concentrations polluées sont observées plus particulièrement dans la périphérie de la ville d'Oran, dont deux sources de pollution peuvent être la cause ; la zone industrielle d'Essania et l'aéroport d'Oran. En parallèle, les concentrations faibles se concentrent dans la partie ouest dominée par les forêts (notamment la forêt de Madagh et Mesila). Le centre-ville présente des taux faibles à moyens des éléments polluants. En 2020, la qualité de l'air est dominée par les émissions qui dépassent $1.554e-2$ mol/m² avec 45% contre 26% pour les émissions faibles. Spatialement, les concentrations élevées sont repérées dans les parties urbanisées avec une tendance vers l'est. Par ailleurs, les concentrations faibles, à l'addition des espaces forestiers à l'ouest, elles sont observées dans les parties sud et sud-ouest occupés respectivement par les surfaces d'eau de la grande sebkha de Misserghine et Dayet Oum Rhalez.

Encore, 2021 ne fait pas une exception, en comparaison avec les concentrations faibles qui occupent 17%, la dominance des émissions élevées est évidente avec 58% de la zone d'étude. Spatialement, les émissions élevées sont concentrées dans les parties occupées par la ville d'Oran ainsi que les parties d'est proche de la zone industrielle d'Arzew (spécialisée dans la pétrochimie, raffinage du pétrole et traitement du gaz naturel liquéfié). Les concentrations faibles sont identifiées dans la partie ouest occupées par les forêts. Par ailleurs, même avec la dominance des concentrations élevées (44%) une certaine

amélioration de la qualité de l'air est observée en 2022 avec une augmentation des émissions faibles (30%). Les taux élevés des émissions coïncident avec les espaces urbains, tandis que les taux faibles des émissions en NO₂, SO₂, O₃ et CO coïncident avec les forêts, les terrains agricoles et les surfaces d'eau.

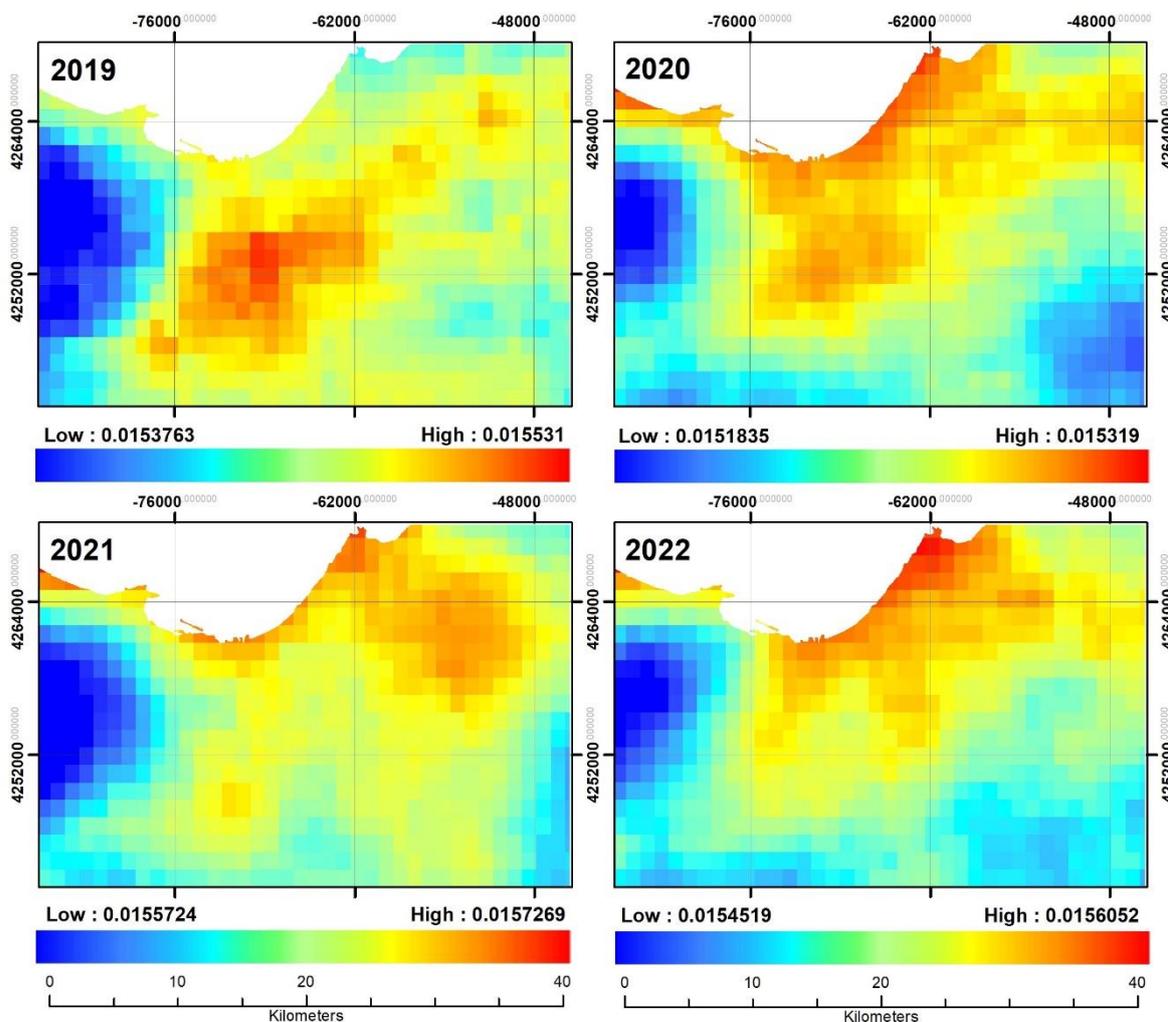


Figure 3.8 Air Pollution Index API pour les années 2019, 2020, 2021, et 2022

Tableau 3.3 Superficie occupée par chaque classe d'API pour les années 2019, 2020, 2021, et 2022

Classe	2019		2020		2021		2022	
	S (ha)	S (%)						
0.0151835 - 0.0152935	4897.67	7.30	4880.26	7.27	4036.16	6.01	3536.42	5.27
0.0152935 - 0.0154335	5428.75	8.09	13097.30	19.50	7723.97	11.50	17029.24	25.36
0.0154335 - 0.0155435	15574.99	23.21	18773.74	27.95	15909.83	23.69	17034.42	25.36
0.0155435 - 0.0156535	29293.39	43.65	16181.76	24.09	26178.00	38.98	17671.32	26.31
0.0156535 - 0.0157268	11911.56	17.75	14229.25	21.19	13314.13	19.82	11890.21	17.70

8- Sources de pollution à Oran (les points chauds)

La figure 3.9 présente une cartographie détaillée des sources de pollution atmosphérique dans la ville d'Oran, en mettant en évidence les points chauds de concentration des polluants. La ville d'Oran elle-même constitue une source importante d'émissions de dioxyde de d'azote (NO₂) et de monoxyde de carbone (CO), comme illustré respectivement par les figures 6a et 6d. Ces émissions proviennent principalement du trafic routier intense, des activités industrielles urbaines et du chauffage résidentiel. En outre, la ville d'Oran abrite un vaste port (le deuxième port commercial d'Algérie), avec 33 postes d'amarrage et 7 bassins couvrant une superficie de 70 hectares. Ce port assure un trafic annuel de 9 millions de tonnes de marchandises, ce qui en fait la principale source d'émissions de CO dans la ville. Parallèlement, la zone industrielle de Hassi Ameer, située à l'est d'Oran, est le principal contributeur aux émissions de dioxyde de soufre (SO₂), comme le montre la figure 6b. Couvrant une superficie de plus de 315 hectares, cette zone industrielle regroupe 48 unités actives dans divers secteurs, tels que la production de plâtre, de plastiques, de produits chimiques, d'hydrocarbures, de métaux, de produits agroalimentaires, etc. Enfin, les figures 6c et 6d révèlent que la zone industrielle d'Essenia, d'une superficie de 424 hectares, et l'aéroport d'Oran, qui s'étend sur 6,5 hectares, sont les principales sources d'émissions d'ozone (O₃) et de NO₂, respectivement.

Il est important de noter que si la ville d'Oran représente une source moindre d'émissions de SO₂ par rapport aux zones industrielles de Hassi Ameur et Oued Tilet, elle contribue néanmoins à ce polluant en raison des activités portuaires et du trafic routier, bien que dans une moindre mesure.

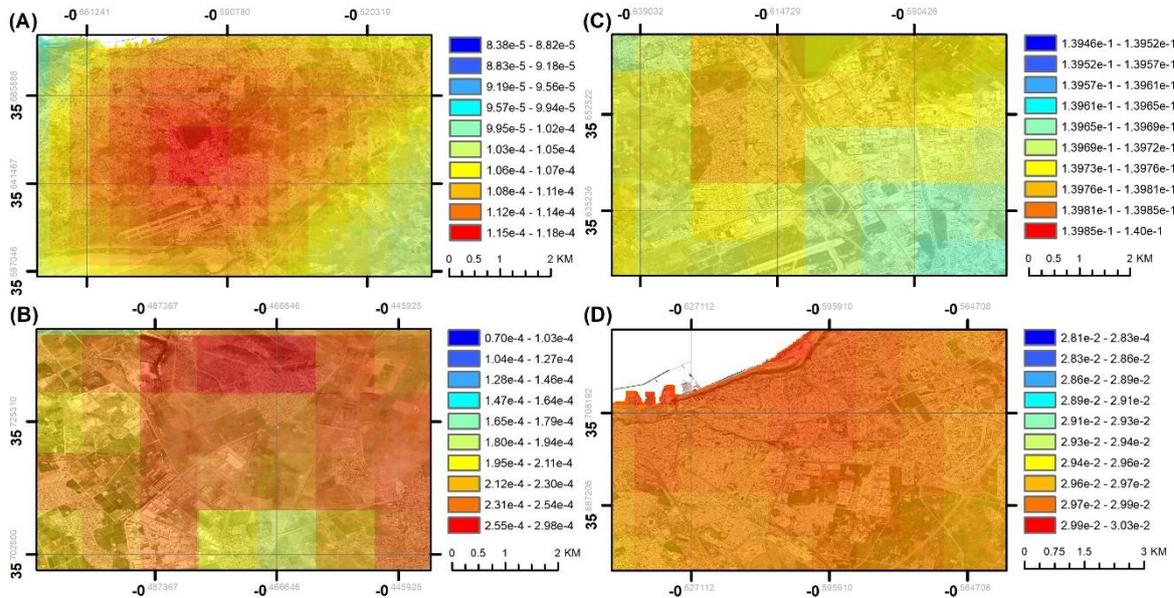


Figure 3.9 Les sources majeurs de pollution à Oran (points chauds)

9- Corrélation entre la température de surface et les polluants

La corrélation entre la température de surface et les polluants atmosphériques est une interaction complexe, influencée par divers éléments tels que l'urbanisation, les conditions météorologiques et les sources d'émissions. Une augmentation des concentrations des éléments polluants dans les zones urbaines peut aggraver les problèmes liés à la température de surface, tandis que des conditions météorologiques à savoir les précipitations et l'humidité (Emekwuru and Ejohwomu 2023 ; Zheng et al., 2019), des facteurs naturels, ainsi que la structure et l'évolution de la couche limite planétaire (Deng et al., 2023 ; Saha et al., 2023) peuvent atténuer cette relation. Dans cette étude, il est impératif de comprendre cette dynamique pour mieux gérer et améliorer la qualité de l'air

dans la ville d'Oran. Le tableau 3.4 résume les coefficients de corrélation (R) entre les émissions NO₂, SO₂, O₃ et CO et la température de surface. Les émissions en O₃ exhibent une corrélation positive et modérée, elles atteignent 0.424 en 2019, 0.437 en 2020, 0.494 en 2021 et 0.579 en 2022. La majeure partie de ces émissions découle de la pollution générée par les véhicules automobiles, les centrales électriques, les chaudières industrielles, les raffineries et les installations chimiques. Par ailleurs, malgré que les émissions en NO₂ et CO sont beaucoup plus concentrées dans les zones urbaines densément peuplées (Al-Alola et al., 2022), elles exhibent une corrélation très faible qui varient entre (0.151-0.284) et (0.026-0.247), respectivement. D'autre côté, aucune corrélation existe entre les températures et les émissions en SO₂.

10- Discussion des résultats obtenus

D'une façon générale, si nombreuses études associent la réduction des températures de surface avec la réduction in polluants and greenhouse gases (Suthar et al., 2022 ; Parida et al., 2021), dans la présente étude cette corrélation n'est pas évidente plus particulièrement pour le NO₂, SO₂ et CO. Dans la revue de littérature plusieurs études ont justifié cette corrélation sur plusieurs volets, tandis que d'autres n'ont pas approfondi le processus scientifique qui contrôle la relation avec les températures de surface (Rahaman et al., 2023). Selon (IQAir 2024 ; Emekwuru and Ejohwomu 2023 ; Huang et al., 2019), l'absence de corrélation est le résultat des conditions météorologiques locales telles que le vent, les précipitations, l'humidité et la pression atmosphérique qui jouent un rôle crucial dans la dispersion et la concentration des polluants. Ce résultat, en effet, est confirmé par une autre étude menée par (Khedekar and Thakare 2023) dans laquelle les polluants sont davantage influencés par les facteurs météorologiques que par la température. Il est à noter que le manque de corrélation peut être attribuée à l'incapacité des moyens mensuels

calculés à détecter les corrélations, ou encore à la faible résolution spatiale des images notamment pour une zone qui ne dépasse pas 700Km².

Tableau 3.4 Corrélation entre la température de surface et les éléments polluants

	NO2 (mol/m ²)	SO2 (mol/m ²)	O3 (mol/m ²)	CO (mol/m ²)
2019	0.151	0.098	0.424	0.236
2020	0.199	0.062	0.437	0.247
2021	0.284	0.145	0.494	0.026
2022	0.199	0.098	0.579	0.117

La ville d'Oran a connu et continue à connaître des mutations transversales traduites par des extensions urbaines rapides en termes de superficie et du nombre des habitants. La ville est passée de 3 964,15 hectares en 1984 à 4 245,43 hectares en 1999, puis de 9 906,13 hectares en 2011 à 11 057,98 hectares en 2020. Le nombre des habitants à passer également de 681 808 habitants en 1987 à 843 752 habitants en 1998, pour atteindre 1 370 259 habitants en 2018. Avec cette urbanisation rapide, la pollution de l'air augmente notamment avec l'essor des moyens de confort à savoir le transport urbain. Aujourd'hui, toutes les données statistiques convergent pour indiquer une augmentation significative non seulement du nombre de véhicules en circulation, mais également du volume du trafic routier. Cette croissance rapide a entraîné une saturation du réseau routier, avec des répercussions considérables tant sur le système de transport que sur l'environnement. Au niveau national, la ville d'Oran occupe le troisième classement avec 5.17% (331965 véhicules) du parc d'automobile en 2018 (Atlas Magazine, 2023). Ceci justifie les teneurs élevés en SO₂ du fait que le transport routier, principalement alimenté par l'utilisation d'essence (en anglais gasoline) contenant du soufre, a été un facteur contribuant aux niveaux de dioxyde de soufre (SO₂) présents dans l'atmosphère (Al-Alola et al., 2022). Les valeurs moyennes annuelles en SO₂ dépassent de loin les normes de WHO (Tableau 3.5) avec des teneurs que sont classés mauvais pour la santé des groupes sensibles. Il est à noter

que malgré la chute remarquable de la concentration en 2022 (88.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), la stagnation du marché automobile par la suspension des agréments permettant l'exercice des activités d'importation de véhicules neufs depuis 2017 a causé un manque estimé à un million de véhicules neufs et l'essor des voitures anciennes souvent sources de pollution. Ces résultats sont supportés par une étude menée par Rahal et al. (2018) dont les résultats de simulation montrent que pour chaque heure le trafic routier dans la ville d'Oran produit 8.8 tonnes de CO, 1.04 tonne de Nox et 0.92 tonne de VOC.

En outre, les concentrations en NO₂ et CO ont marquées des teneurs acceptables en comparaison avec les directives. Des valeurs faibles sont enregistrées en 2019 justifiées par la pandémie COVID-19 et le confinement forcé qui ont réduit l'utilisation des transports terrestres et aériens ainsi que de nombreux activités industrielles. Ceci est supporté par une étude menée par Rahal et al. (2021) dans lequel les résultats obtenus confirment la tendance à la baisse de la pollution par le NO₂ pendant le confinement. En plus, cette situation peut être expliquée également par le programme spécial lancé en 2007 pour promouvoir l'écologie urbaine à Oran. En tant que ville d'importance nationale et à vocation touristique, Oran a bénéficié de plusieurs projets de rénovation urbaine visant à répondre aux standards d'une cité moderne. Parmi ces initiatives, une attention particulière a été portée à l'aménagement d'espaces verts urbains. Avec un budget de 34 milliards de dinars algériens (2,5 millions de dollars américains), plus de 246 espaces verts et aires de jeux ont été créés ou rénovés en 2013, notamment le Jardin méditerranéen (10 hectares) et le Jardin de Sidi M'hamed (6 hectares). Ce projet englobe également l'embellissement des rues avec des arbres, le développement d'espaces verts linéaires en milieu urbain et l'aménagement des grandes artères reliant la ville à ses environs, tels que Tlemcen, Mostaganem et Mascara. En plus, suite aux Jeux méditerranéens de 2022, un plan d'aménagement vert a été lancé autour du complexe olympique d'Oran, couvrant une

superficie de 13 hectares. Il est prévu que ce projet contribue à la réduction de la pollution atmosphérique d'ici 2025. Dans ce contexte, des recherches ont révélé que les arbres ont un impact direct sur la diminution de la pollution atmosphérique en capturant les particules polluantes grâce à leurs stomates (ouvertures dans les feuilles) et leur canopée (la partie supérieure de l'arbre) (Acwin Dwijendra et al., 2023 ; Wang et al., 2018).

En effet, malgré que la zone d'étude de ce travail ne couvre pas la zone d'Arzew (32Km) où s'installe l'industrie pétrochimique et de raffinage, leurs conséquences sous l'effet des conditions météorologiques (vents, etc.) peuvent affecter les niveaux des concentrations à Oran. Selon (Medjahed et al., 2017 ; Medjahed et al., 2018 ; Naili and Morsli 2018) la zone industrielle d'Arzew émet continuellement un large éventail de polluants, tels que les particules (PM), les oxydes d'azote (NOx), le monoxyde de carbone (CO) et les composés organiques volatils (COV) de type BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene). En Algérie et Oran plus particulièrement, les teneurs acceptables en NO₂ et CO et la tendance de recul des émissions en SO₂ n'est pas un effet du hasard. Dans la 19^{ème} session de la commission du développement durable des Nations Unies (CDD-19), l'Algérie a contribué à l'effort collectif pour promouvoir un développement durable respectueux de l'environnement mondial. A cet égard un arsenal juridique à viser le secteur de transport (principale source de la pollution atmosphérique et des émissions de gaz à effet de serre) a été promulgué. Selon la commission du développement durable (CDD 2011) ceci est traduit par : (1) l'encouragement des transports propres utilisant des carburants moins polluants à savoir l'utilisation du GPL (liquefied petroleum gas) comme carburant automobile, l'utilisation du Gaz naturel comprimé GNC, et l'utilisation de l'essence sans plomb. (2) normes de rendement énergétique et d'émission des véhicules, ceci consiste à introduire le contrôle technique sur les émissions de gaz à l'échappement, obligatoire aux véhicules.

En résumé, il est à noter que ce travail présente quelques lacunes qui seront traités dans les futures travaux, on peut mentionner l'absence de quelques éléments polluants essentiels pour avoir une vision exhaustive sur la qualité de l'air à Oran. Il s'agit plus particulièrement de l'inclusion du méthane (CH₄) et les particules (PM_{2.5} et PM₁₀). Aussi, l'absence de corrélation entre les températures de surface et les concentrations de certains polluants atmosphériques souligne la complexité des systèmes atmosphériques et la multitude de facteurs qui influencent la pollution de l'air. Cela indique également que pour comprendre et gérer la qualité de l'air, il est nécessaire de considérer une gamme plus large de variables et de facteurs environnementaux, et pas seulement les températures de surface.

Encore, il est indiscutable que la compréhension de la situation actuelle de la qualité de l'air constitue la pierre angulaire pour la prédiction des concentrations polluantes. A cet égard, il est important de lier les émissions avec les facteurs qui peuvent participer aux changements spatio-temporels comme les paramètres climatiques, anthropogéniques, etc. En effet, malgré ces lacunes, le présent travail par le biais des données Sentinel-5P TROPOMI a mis la lumière sur une problématique mondiale dans un espace souvent traité par des méthodes qui paraissent moins précises et leur étendue spatiale est encore limitée.

Tableau 3.5 Comparaison des concentrations obtenus avec les recommandations de WHO 2021

Pollutant	Year	WHO guidelines 2021 (WHO 2021)	WHO interim target (WHO 2021)	Study area concentration	Description (Al-Alola et al., 2022)
NO ₂	2019	10 µg/m ³ annual average	40 µg/m ³ annual average	10.68	Good
	2020			10.96	Good
	2021			15.12	Good
	2022			10.64	Good
SO ₂	2019	40 µg/m ³ 24-hour mean	125 µg/m ³ 24-hour mean	192.55	Unhealthy for sensitive group
	2020			171.01	Unhealthy for sensitive group
	2021			195.09	Unhealthy for sensitive group
	2022			88.03	moderate
CO	2019	4 mg/m ³ 24-hour mean	7 mg/m ³ 24-hour mean	2.25	Good
	2020			2.40	Good
	2021			2.38	Good
	2022			2.18	Good

11- Proposition d'aménagement pour minimiser l'effet de la pollution de l'air

Pour faire face au problème de pollution, il existe plusieurs solutions pour améliorer la qualité de l'air. Il s'agit plus particulièrement de : (1) réduire les émissions de polluants atmosphériques en utilisant des technologies plus propres et en favorisant les énergies renouvelables. (2) encourager l'utilisation des transports en commun, du covoiturage et des modes de déplacement actifs comme la marche ou le vélo pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. (3) mettre en place des normes plus strictes pour les industries et les véhicules afin de limiter les émissions de polluants. (4) sensibiliser et éduquer le public sur les actions individuelles qu'ils peuvent entreprendre pour réduire la pollution de l'air, comme éteindre les lumières inutiles, réduire la consommation d'énergie et utiliser des produits respectueux de l'environnement. (5) augmenter les espaces verts en intensifiant la plantation d'arbres et de plantes dans divers quartiers des villes, des villages, des lieux publics et des grands espaces vacants ; Tout cela augmenterait le pourcentage d'oxygène dans l'air et réduirait le pourcentage de dioxyde de carbone. Parce que la plante produit de l'oxygène et extrait le dioxyde de carbone de l'air. (6) développer des alternatives pratiques à la combustion des déchets en vue de leur élimination ; Comme l'enterrer dans des endroits désignés. Placer des filtres dans les cheminées des usines pour purifier les gaz

et les fumées émises par ces usines avant qu'elles ne provoquent une pollution de l'air. (7) construire des routes en dehors des villes et des zones résidentielles pour les gros camions et construire des usines dans des zones éloignées des zones résidentielles. (8) pavage et entretien des routes, en veillant à leur propreté et en les aspergeant d'eau, surtout en été, pour réduire la propagation des poussières qui restent en suspension dans l'air.

12- Conclusion

L'étude menée à l'aide des données satellitaires Sentinel-5P TROPOMI pour les années 2019, 2020, 2021 et 2022 révèle une situation préoccupante de la qualité de l'air dans la ville d'Oran. Les concentrations moyennes à élevées de polluants ($>1.55e-2$ mol/m²) dominant dans la zone urbaine, faisant d'Oran la source principale des émissions polluantes. L'analyse spatio-temporelle des concentrations polluantes met en évidence les points chauds de la pollution, notamment les zones industrielles de Hassi Ameer, Oued Tlilet, Essenia et l'aéroport d'Oran. Ces zones concentrent les émissions de dioxyde de soufre (SO₂), d'oxydes d'azote (NO₂), d'ozone (O₃) et de monoxyde de carbone (CO), impactant négativement la santé des populations environnantes. Malgré la présence d'espaces verts et de surfaces d'eau qui contribuent à l'amélioration de la qualité de l'air, les émissions urbaines, particulièrement celles liées au trafic routier et aux activités industrielles, demeurent la principale source de pollution.

L'année 2022 semble être la moins polluante en termes d'émissions de CO, tandis que les concentrations de SO₂ ont connu une augmentation notable. La pandémie de Covid-19 et les mesures de confinement ont probablement eu un impact sur les émissions polluantes, mais des analyses plus approfondies sont nécessaires pour confirmer cette hypothèse.

Concluions générale

La qualité de l'air constitue un élément essentiel de la santé publique et de la gestion environnementale. À mesure que la population mondiale continue de s'urbaniser et de s'industrialiser, notre atmosphère subit une transformation croissante sous l'influence des activités humaines, soulevant ainsi des préoccupations majeures concernant la pollution de l'air et ses impacts substantiels. Dans ce contexte, l'évaluation de la qualité de l'air joue un rôle crucial. Cet article explore les variations des éléments polluants dans la région d'Oran en utilisant quatre polluants clés ; le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂), l'ozone (O₃) et le monoxyde de carbone (CO). Les résultats obtenus montrent clairement une tendance de pollution par les émissions de NO₂ entre 2019 et 2022 avec une dominance des concentrations supérieures à 1.057e-4 mol/m² et une diminution des concentrations inférieures à 1.004e-4 mol/m². En revanche, les émissions de SO₂ ont enregistré un recul remarquable. Il s'agit d'une diminution de plus de 28% pour les classes supérieures à 2.4e-4 mol/m² et une augmentation de plus de 37% pour les concentrations inférieures à 1.72e-4 mol/m². En termes des émissions d'Ozone, la qualité de l'air est défavorable. La diminution des concentrations faibles (0.1378 - 0.1380 mol/m²) et accompagnée par une augmentation des concentrations élevées (0.1383 - 0.1384 mol/m²) avec un écart de 5% et 4% respectivement. Par ailleurs, une instabilité des émissions de CO est clairement remarquée. En plus, en utilisant Air pollution index (API) il est évident qu'en 2019, 61% de la zone d'étude est fortement polluée par les concentrations supérieures à 1.54e-2 mol/m², 45% en 2020, 58% en 2021 et 44% en 2022, alors que les concentrations inférieures à 1.54e-2 mol/m² présentent 15%, 26%, 17%, et 30%. En comparant les teneurs obtenus avec les recommandations de WHO il est évident, à l'exception de SO₂, que les émissions dans la zone d'étude conformes aux

critères dans lequel les programmes spéciaux de reboisement et d'aménagement des espaces verts constituent l'un des solutions pour maîtriser la qualité de l'air.

Références bibliographiques en français

- Abdellaoui A. (). Cours de La télédétection -les principes. Université Paris 12. 52p.
- Acwin Dwijendra N K, Mohammadi M J, Aravindhan S, Turki Jalil A, Taherian M, et al. (2023). Investigating the Effects of Air Pollution on Plant Species Resistance in Urban Areas. *Health Scope*.12(1): e129786. <https://doi.org/10.5812/jhealthscope-129786>
- Al-Alola SS, Alkadi II, Alogayell HM, Mohamed SA, Ismail IY. (2022). Air quality estimation using remote sensing and GIS-spatial technologies along Al-Shamal train pathway, Al-Qurayyat City in Saudi Arabia. *Environmental and Sustainability Indicators*, 15, 100184. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100184>
- Areej Al Wahas,(2021), Using Google Earth Engine for the Automated Mapping of Center Pivot Irrigation fields in Saudi Arabia, King Abdullah University of Science and Technology Thuwal, Kingdom of Saudi Arabia,Page19.
- Atlas Magazine. (2023). Algérie : le parc national automobile en 2018. <https://www.atlas-mag.net/article/algérie-le-parc-national-automobile-en-2018> (Accessed 9/24/2023)
- Bodah BW, Neckel A, Maculan LS, Milanes CB, Korcelski C, Ramírez O, Mendez-Espinosa JF, Bodah ET, Oliveira MLS. (2022). Sentinel-5P TROPOMI satellite application for NO₂ and CO studies aiming at environmental valuation. *Journal of Cleaner Production*, 357, 131960. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131960>
- BOUAMRANE Meriem (2022) Utilisation de Google Earth Engine et les Automates Cellulaires pour classification et prédiction de la consommation des terrains agricoles : wilaya d'Oran. Master En Géographie et Aménagement du territoire Spécialité : Gestion des risques majeurs et sécurité civile.
- Breeze technologies. (2021). Air pollution – How to convert between mg/m³, µg/m³ and ppm, ppb. <https://www.breeze-technologies.de/blog/air-pollution-how-to-convert-between-mgm3-%C2%B5gm3-ppm-ppb/> (Accessed 9/24/2023)
- Campos P, Esteves AF, Leitão AA, Pires J. (2021). Design of air quality monitoring network of Luanda, Angola: Urban air pollution assessment. *Atmospheric Pollution Research*, 12(8): 101128.<https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101128>
- Chen TM, Kushner WG, Gokhale J, Shofer S. (2007). Outdoor Air Pollution: Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide, and Carbon Monoxide Health Effects. *The American Journal of the Medical Sciences*, 333(4), 249-256. <https://doi.org/10.1097/MAJ.0b013e31803b900f>
- Claude Kergomard Professeur Ecole Normale Supérieure Paris, LA TÉLÉDÉTECTION AÉRO-SPATIALE : UNE INTRODUCTION, Page1 et 3
- Commission du Développement Durable CDD. (2011). Rapport national de l'Algérie, 19ème session de la Commission du Développement Durable des Nations Unies (CDD-19). https://www.un.org/esa/dsd/dsd_aofw_ni/ni_pdfs/NationalReports/algeria/full_report.pdf (Accessed 9/26/2023)

Conchita M. G. Kêdowidé, Enseignante en sciences géomatiques, Institut international d'ingénierie pour l'eau et l'environnement, 1, rue de la Science, 01 BP 594, Ouagadougou, Burkina Faso, courriel : conchitaked@yahoo.fr

Dionys Lugon-Moulin, (2019) Changements climatiques et crues dans les bassins versants nivaux Global warming and peak discharge in snowmelt catchments, Maîtrise universitaire ès sciences en sciences de l'environnement | Secrétariat du Master MSc | www.unil.ch/masterenvi ,Page7.

Elshorbany, Y.F.; Kapper, H.C.; Ziemke, J.R.; Parr, S.A. (2021). The Status of Air Quality in the United States During the COVID-19 Pandemic: A Remote Sensing Perspective. *Remote Sens.* 13, 369. <https://doi.org/10.3390/rs13030369>

European Environment Agency EEA. (2020). Air Quality in Europe: 2020 Report; Technical Report; Publications Office of the European Union: Luxembourg.

Francisco Eugenio González, Javier Marcello Ruiz et Ferran Marqués Acosta 2012 : MANUEL de TÉLÉDÉTECTION SPATIALE.

Hitesh Supe, , Ram Avtar et al(2020), Google Earth Engine for the Detection of Soiling on Photovoltaic Solar Panels in Arid Environments, remote sensing, Page1et 2

Kang Y, Choi H, Im J, Park S, Shin M, Song CK, Kim S. (2021). Estimation of surface-level NO₂ and O₃ concentrations using TROPOMI data and machine learning over East Asia. *Environmental Pollution*, 288, 117711. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117711>

Kergomard C. : La télédétection aérospatiale : une introduction. École normale supérieure de Pris.

Lahlaf, M.F., Mosbah, O., Sahila, A., Zekri, N., Bouamrane, R. (2020). Analysis of Pollution Caused by Road Traffic in the City of Oran. In: Belasri, A., Beldjilali, S. (eds) ICREEC 2019. Springer Proceedings in Energy. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5444-5_70

Ludovic Basly. Télédétection pour la qualité de l'air en milieu urbain. domain_other. Université Nice Sophia Antipolis, 2000. Français. ffNNT : 2000NICE5465ff. fftel-00006291f <https://pastel.hal.science/tel-00006291>

Maurya, N.K.; Pandey, P.C.; Sarkar, S.; Kumar, R.; Srivastava, P.K. (2022). Spatio-Temporal Monitoring of Atmospheric Pollutants Using Earth Observation Sentinel 5P TROPOMI Data: Impact of Stubble Burning a Case Study. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 11, 301. <https://doi.org/10.3390/ijgi11050301>

Medjahed B, Djellouli A, Hamidat D, Bouzit M. (2018). Impact of the Methane (CH₄) and dispersion in an urban area. *Applied Journal of Environmental Engineering Science*, 4(3), 387-397. <https://doi.org/10.48422/IMIST.PRSM/ajees-v4i3.12975>

Medjahed B, Naili S, Bouzit M. (2017). Experimental Study of the impact of pollutants on air quality in the Urban city *Journal of Materials and Environmental Science*, 8 (1), 144-153. https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol8/vol8_N1/15-JMES-2646-Medjahed.pdf

- Mejía DC, Alvarez H, Zalakeviciute R, Macancela D, Sanchez C, Bonilla S. (2023). Sentinel satellite data monitoring of air pollutants with interpolation methods in Guayaquil, Ecuador. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 31, 100990. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100990>
- Miller BG. (2011). The Effect of Coal Usage on Human Health and the Environment. In B.G. Miller (Edt). *Clean Coal Engineering Technology*, Butterworth-Heinemann, 85-132. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-710-8.00004-2>
- Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables MEER. (2022). Qualité de l'air. <https://www.me.gov.dz/fr/environnement-urbain/air/> (Accessed 9/16/2023)
- Naili S, Morsli A. (2018). Impact of industrial atmospheric emissions on ambient air quality in the region of Arzew (north-western Algeria). *International Journal of Environmental Studies*, 77, 38-42. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1517956>
- Parida BR, Bar S, Roberts G, Mandal SP, Pandey AC, Kumar M, Dash J. (2021). Improvement in air quality and its impact on land surface temperature in major urban areas across India during the first lockdown of the pandemic. *Environmental research*, 199, 111280. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111280>
- Petkova EP, Jack DW, Volavka-Close NH, Kinney PL. (2013). Particulate matter pollution in African cities. *Air Qual Atmos Health* 6, 603–614. <https://doi.org/10.1007/s11869-013-0199-6>
- Prunet P, Lezeaux O, Camy-Peyret C, Thevenon H. (2020). Analysis of the NO2 tropospheric product from S5P TROPOMI for monitoring pollution at city scale. *City and Environment Interactions*, 8, 100051. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2020.100051>
- Rahal F, Hadjou Z, Blond N, Aguejdad R. (2018.a). Croissance urbaine, mobilité et émissions de polluants atmosphériques dans la région d'Oran, Algérie (Urban Growth, Mobility and Emissions of Air Pollutants in the Oran Region, Algeria). *Cybergeo*, 850. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.29111>
- Rahal F, Rezak S, Benabadji N. (2018.b). Influence De La Pandémie Du Covid-19 Sur La Pollution Par Le Dioxyde D'azote Dans La Ville D'oran, Algérie. *Algerian Journal of Health Sciences*, 3(2), 52-57. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/150000> (Accessed 9/16/2023)
- Rahal F, Rezak S, Benabadji N. (2021). Influence de la pandémie du COVID-19 sur la pollution par le dioxyde d'azote dans la ville d'Oran, Algérie (Influence of the COVID-19 pandemic on nitrogen dioxide in the city of Oran, Algeria). *Algerian journal of health science* 3(2): 52-57.
- Restrepo CE. (2021). Nitrogen Dioxide, Greenhouse Gas Emissions and Transportation in Urban Areas: Lessons From the Covid-19 Pandemic. *Front. Environ. Sci.* 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.689985>
- SADOUNI Salheddine, Cours Télédétection 1, Pour les étudiants de 2ème année Aménagement du Territoire
- Salman, A., Al-Tayib, M., Hag-Elsafi, S., Zaidi, F.K., Al-Duwarij, N., (2021). Spatiotemporal assessment of air quality and heat island effect due to industrial

- activities and urbanization in southern Riyadh, Saudi Arabia. *Appl. Sci.* 11, 2107. <https://doi.org/10.3390/app11052107>.
- Schneider P, Hamer PD, Arve K, Shobitha S, Stebel K. (2021). Spatiotemporal Patterns in Data Availability of the Sentinel-5P NO₂ Product over Urban Areas in Norway. *Remote Sensing*. 13(11): 2095. <https://doi.org/10.3390/rs13112095>
- Somvanshi, S.S., Vashisht, A., Chandra, U., Kaushik, G. (2019). Delhi Air Pollution Modeling Using Remote Sensing Technique. In: Hussain, C. (eds) *Handbook of Environmental Materials Management*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58538-3_174-1
- Stebel, K.; Stachlewska, I.S.; Nemuc, A.; Horálek, J.; Schneider, P.; Ajtai, N.; Diamandi, A.; Benešová, N.; Boldeanu, M.; Botezan, C.; et al. (2021). SAMIRA-SATellite Based Monitoring Initiative for Regional Air Quality. *Remote Sens.* 13, 2219. <https://doi.org/10.3390/rs13112219>
- Sui X, Qi KL, Nie YQ, Ding N, Shi XL, Wu XC, et al. (2021). Air quality and public health risk assessment: A case study in a typical polluted city, North China. *Urban Climate*. 36: 100796. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100796>
- Talbi A. (2021). Etude de la pollution de l'air par les particules fines, en milieu trafic routier et urbain, à Alger (Study of air pollution by fine particles, in road and urban traffic, in Algiers). Doctoral thesis, national polytechnic school. [https://repository.enp.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/10517/1/Talbi%20Abdel hamid.pdf](https://repository.enp.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/10517/1/Talbi%20Abdel%20hamid.pdf)
- Trache (2010). *Mobilités résidentielles et périurbanisation*. Thèse de doctorat d'état en géographie
- Tricker R, Tricker S. (1999). Pollutants and contaminants. In R. Tricker, S Tricker (Eds.). *Environmental Requirements for Electromechanical and Electronic Equipment*. Newnes, 158-194. <https://doi.org/10.1016/B978-075063902-6.50010-3>
- Wang K, Wang T, Liu X. (2018). A Review: Individual Tree Species Classification Using Integrated Airborne LiDAR and Optical Imagery with a Focus on the Urban Environment. *Forests*.10(1). <https://doi.org/10.3390/f10010001>
- Wang Y, Cai G, Yang L, Zhang N, Du M. (2022). Monitoring of urban ecological environment including air quality using satellite imagery. *PLoS ONE* 17(8): e0266759. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266759>
- World Health Organization WHO. (2021). WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. file:///C:/Users/NewTec/Downloads/9789240034228-eng.pdf (Accessed 9/14/2023)
- Yücer, E., Erener, A. Sarp, G. (2023). A Land Use Regression Model to Estimate Ambient Concentrations of PM₁₀ and SO₂ in İzmit, Turkey. *J Indian Soc Remote Sens* 51, 1329–1341. <https://doi.org/10.1007/s12524-023-01704-1>

Sites web consultés

<https://fr.tutiempo.net/climat/2023/ws-604900.html> (04/05/2024;12:00pm)

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Oran#G%C3%A9ologie> (08/05/2024;1:40pm)

https://interieur.gov.dz/Monographie/ar/article_detail.php?lien=2456&wilaya=31

<https://meteostat.net/fr/station/60490?t=2023-01-01/2023-12-31>

<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-5p-tropomi>
(26/05/2024;9:00pm)

<https://www.actu-environnement.com/> (06/2024)

<https://www.actu-environnement.com/> (14/04/2024;5:45am)

<https://www.atmo-nouvelleaquitaine.org/article/les-effets-de-la-pollution-de-lair-sur-lenvironnement> (30/03/2024;3:30am)

https://www.interieur.gov.dz/Monographie/article_detail.php?lien=2257&wilaya=31
(26/05/2024;2:56pm)

<https://www.vitamedz.com/fr/Algerie/la-faune-et-la-flore-de-227064-Photos-0-51542-1.html> (23/04/2024;6:59am)

<https://www.who.int/fr> (24/03/2024;1:30am)

<https://www.who.int/fr/news-room/spotlight/how-air-pollution-is-destroying-our-health>
(05/2024)

<https://www.wilayaoran.dz/31/index.php/fr/oran/wilaya-d-oran/presentation> (04/2024)

<https://www.wilayaoran.dz/31/index.php/fr/oran/wilaya-d-oran/presentation> (23/05/2024)

Liste des figures

Figure 1.1 Le Sentinel-5P TROPOMI Tropospheric (Source : Platform brings air monitoring a step closer, 2024)

Figure 1.2 Microscopie électronique à balayage de particules collectées dans l'atmosphère (A) particules sphériques individuelles de quelques 10 nm de diamètre (B) chaînes et amas de particules de quelques 100 nm, (C et D) coalescence de particules de suie de quelques μm (Delmas et al., 2005)

Figure 2.1 Carte de la situation géographiques de la zone d'étude

Figure 2.2 Carte hypsométrique de la zone d'étude

Figure 2.3 Carte des pentes la zone d'étude

Figure 2.4 Lac de la grande sebkha

Figure 2.5 Températures moyennes mensuelles d'Oran

Figure 2.6 Précipitations moyennes mensuelles d'Oran (Station Es Senia Oran 2023)

Figure 2.7 Carte de répartition de la population d'Oran. (Source : Bouamrane 2023)

Figure 2.8 Diagramme de la répartition de la population d'Oran par tranches d'âge en 2008, 2010 et 2018 (Source : ONS 2018)

Figure 2.9 Evolution spatiotemporelle du cadre bâti de la ville d'Oran

Figure 2.10 Carte d'occupation des sols dans la zone d'étude en 2020 (Source : Elmokrtar and Azzi 2022)

Figure 2.11 Diagramme de répartition de la population active par secteur (Source : Bouamrane 2023)

Figure 2.12 Réseau routier et ferroviaire de la zone d'étude

Figure 3.1 Interface de Google Earth Engine

Figure 3.2 Structure du code pour l'extraction du NO₂

Figure 3.3 Concentrations en NO₂ et SO₂ pour les années 2019, 2020, 2021 et 2022 (molecules/m²)

Figure 3.4 Concentrations en O₃ et CO pour les années 2019, 2020, 2021 et 2022 (molecules/m²)

Figure 3.5 Variations mensuelles des concentrations NO₂, SO₂ pour les années 2019, 2020, 2021, et 2022

Figure 3.6 Variations mensuelles des concentrations O₃ et CO pour les années 2019, 2020, 2021, et 2022

Figure 3.7 Variations de la superficie occupée par chaque classe des éléments polluants (A) NO₂, (B) SO₂, (C) O₃, (D) CO

Figure 3.8 Air Pollution Index API for the years 2019, 2020, 2021, and 2022

Figure 3.9 Les sources majeurs de pollution à Oran

Liste des tableaux

Tableau 2.1 Données climatique année 2023 (station Es Senia- Oran)

Tableau 2.2 Données climatique par mois (année 2023) (Source : tutiempo.net)

Tableau 2.3 La répartition de la population d'Oran par commune en 2018 (Source : ONS 2018)

Tableau 2.4 Evolution spatiotemporelle du cadre bâti de la ville d'Oran

Tableau 2.5 Activités dominantes wilaya d'Oran (Source : Bouamrane 2023)

Tableau 2.6 Les principaux indicateurs économiques des établissements industriels de la Wilaya par grands secteurs Année 2018 (Source : Bouamrane 2023)

Tableau 3.1 Les caractéristiques des données utilisées

Tableau 3.2 Superficie occupée par chaque classe des éléments polluants pour les années 2019, 2020, 2021, et 2022

Tableau 3.3 Superficie occupée par chaque classe d'API pour les années 2019, 2020, 2021, et 2022

Tableau 3.4 Corrélation entre la température de surface et les éléments polluants

Tableau 3.5 Comparaison des concentrations obtenus avec les recommandations de WHO 2021