

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hamma Lakhdar El Oued

Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique et de Génie Civil



MEMOIRE





Présenté en vue de l'obtention du diplôme Master en Hydraulique

Option : *Conception et Diagnostic des Systèmes d'AEP et d'Assainissement*

THEME

***Evolution du milieu naturel de la Wilaya
d'El Oued à la lumière du changement
climatique: eau et végétation***

Devant le jury composé de :

 Miloudi abd el monem	Président
 Meziani Assia	Examineur
 Mega Nabil	Encadreur
 Khechana Salim	Co-encadreur

Présenté par :

AHTIRIB Mosbah
BENAOUN Adel
KAHOULA Akram

PROMOTION : JUIN 2022

Résumé

La Terre est la seule planète connue de notre univers à avoir un climat modéré, favorable au développement de la vie. Ce climat est rendu possible par les gaz à effet de serre naturels de l'atmosphère qui, en retenant sur notre planète une partie du rayonnement solaire, maintiennent des températures moyennes propices au vivant. Cet équilibre subtil a malheureusement été rompu par l'homme à partir du moment où il a introduit massivement des gaz à effet de serre additionnels. Ceci a eu pour effet un réchauffement planétaire progressif, et à sa suite des changements climatiques à impacts multiples.

Les Mots clé : l'effet de serre , climat , l'atmosphère , le changement climatique

الملخص

كوكب الأرض هو الكوكب الوحيد المعروف في مجرتنا الذي يتمتع بمناخ معتدل ملائم لتطور الحياة. أصبح هذا المناخ ممكناً بسبب الغازات الدفيئة الموجودة في الغلاف الجوي والتي، من خلالها تساعد على الاحتفاظ بالإنبعاثات الضارة من الإشعاع الشمسي على كوكبنا وهذا كي تحافظ على متوسط درجات الحرارة الملائمة للكائنات الحية. كسر هذا التوازن الدقيق للأسف من قبل الإنسان عندما أدخل على نطاق واسع إنبعاث غازات دفيئة إضافية. أدت بذلك إلى الإحتباس الحراري العالمي التدريجي، وما تبعه من تغير مناخي متعدد التأثيرات.

الكلمات المفتاحية : الإحتباس الحراري- المناخ-الغازات الدفيئة- الغلاف الجوي

Remerciements

Nos remerciements vont premièrement à Dieu tout puissant Pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces années d'étude.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur Dr. Nabil MEGA et Co-promoteur Pr. Salim KHECHANA pour leur entière disposition, leurs judicieux conseils, leur patience, leur rigueur persévérance tout au long de notre projet.

Nous remercions nos amis de la société Groupement SONATRACH-ENI.

Nous remercions aussi tous les enseignants du département d'hydraulique, qui tout au long des années d'études nous ont transmis leur savoir sans réserve.

Nous remercions tous nos collègues et amis pour leur aide et leur soutien, et tous ceux qui ont contribué de proche ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail ma chère mère,
à mon père qui m'ont toujours soutenu
et aidé à affronter les difficultés,
pour tous ce qui ont fait pour que je puisse les
honorer, et leur patience durant ma vie.*

*A mes très chers frères et à mes chères sœurs,
à toute ma famille*

A mes chers amis

*ADEL BENAOUN
MOSBAH AHTIRIB
AKRAM KAHOULA*

Liste des figures

Figure 1. Carte de situation de la wilaya d'El Oued et limitrophes.	5
Figure 2. Carte géologique du grand Erg Oriental	10
Figure 3. Log de forage F1 à l'Albien.....	12
Figure 4. Coupe Géologique N°1 extraite à partir des logs lithologiques des forages.....	14
Figure 5. Coupe géologique N° 2 extraite à partir des logs lithologiques des forages	15
Figure 6. Coupe géologique N° 3 extraite à partir des logs lithologiques des forages	16
Figure 7. Classification des climats au monde selon Köppen	24
Figure 8. Climats zonaux du monde.....	25
Figure 9. Climats Azonaux de l'Afrique	26
Figure 10. Carte des climats de l'Algérie selon la classification de Köppen	27
Figure 11. L'effet de serre et son impact sur la température globale moyenne.	28
Figure 12. Les 5 sous-systèmes du système climatique: l'atmosphère, l'hydrosphère, la	29
Figure 13. Le satellite, un observatoire idéal pour un suivi quotidien à grande échelle, spatiale et temporelle.....	36
Figure 14. Évolution du couvert végétal entre 2000 et 2021	49
Figure 15. Couvert végétal de la zone d'étude (A : 2009, B : 2010).	50
Figure 16. Couvert végétal de la zone d'étude entre 2009 et 2010.	51
Figure 17. Totaux des précipitations entre 1981 et 2021	51
Figure 18. Précipitations moyennes annuelles entre 1981 et 2021.	52
Figure 19. Températures moyennes annuelles entre 2000 et 2021.	53
Figure 20. Températures des zones tests entre 2000 et 2021	54
Figure 21. Relation NDVI – PP - LST	54
Figure 22. Évolution du méthane (2019 - 2021).....	56
Figure 23. Évolution du méthane sur la ville d'El Oued (2019 - 2021)	57
Figure 24. Variation moyenne du monoxyde de carbone entre 2018 et 2021.....	58
Figure 25. Variation des moyennes mensuelles du CO de la ville d'El Oued entre 2018 et 2021.....	59
Figure 26. Variation des moyennes mensuelles du NO2 entre 2018 et 2021.	60

Figure 27. Variation des moyennes mensuelles du NO2 (ville d’El Oued, entre 2018 et 2021)	61
Figure 28. Degré de corrélation entre les données CHIRPS et NEX-GDDP.....	62
Figure 29. Projection des températures de NEX-GDDP sur la ville d’El Oued	62
Figure 30. Évolution des températures pour les mois de janvier et d’août sur la ville d’El Oued	63
Figure 31. Projection des températures sur la ville d’El Oued pour les années 2025, 2060 et 2100.....	63

Liste des tableaux

Tableau1. Superficies et la répartition des communes et Daira de Wilaya d’El Oued	6
Tableau 2 . Les différents types de climats, d’après la classification de KÖPPEN	23
Tableau 3. Précipitations enregistrées entre 2000 et 2021	49

Liste des acronymes :

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques
CCNUCC: Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CH4: Méthane
CHIRPS: Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations
CO: Monoxyde de Carbone
CO2: Dioxyde de Carbone
CT: Complex Terminal
GCM: General Circulation Model
GEE: Google Earth Engine
GES: Gaz à Effet de Serre
GIEC: Groupe d’experts Intergouvernemental sur l’Evolution du Climat
GWP: Global Warming Potential
LST: Land Surface Temperature
MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NEX-GDD: NASA Earth Exchange - Global Daily Downscaled Climate Projections
NDVI: Normalized Difference Vegetation Index
NO2: Dioxyde d’Azote
OMS: Organisation Mondiale de la Santé
PP: Précipitations
PPB: Parts Per Billion
PPM: Parts Per Million
RCPS: Representative Concentration Pathways

SOMMAIRE

Résumé	I
Remerciements	II
Dédicace.....	III
Liste des figures	IV
Liste des tableaux	V
Liste des acronymes	V
SOMMAIRE	VI
1. Introduction générale.....	1
Chapitre-I: Présentation de la région d'étude	3
1. Introduction	4
2. Situation géographique	4
3. Superficies et la répartition des communes et Daïra de Wilaya d'El Oued.....	6
4. Géologie de la région d'étude	7
4.1. Introduction	7
4.2. Stratigraphie régionale	7
4.2.1. Formation de l'ère Secondaire.....	7
❖ Le Barrémien.....	7
❖ L'Aptien	8
❖ L'Albien	8
❖ Le Vraconien	8
❖ Le Cénomaniens.....	8
❖ Le Turonien	9
❖ Le Sénonien.....	9
❖ Sénonien lagunaire.....	9
❖ Le Sénonien carbonaté	9
4.2.2. Formations de l'ère Tertiaire	10
❖ L'Eocène.....	10
❖ Le Miopliocène	10

❖	Niveau argileux.....	11
❖	Niveau grèsosableux.....	11
❖	Niveau argileux.....	11
❖	Niveau sableux.....	11
	4.2.3. Formations du Quaternaire.....	11
	4.3. Géomorphologie	13
	4.3.1. Tercha.....	13
	4.3.2. Louss	13
	4.3.3. Salsala ou Smida	13
	4.3.4. Tefza.....	13
	4.4. Interprétation des coupes	14
❖	Coupe N° 1.....	14
❖	Coupe N° 2.....	15
❖	Coupe N° 3.....	16
	4.5. Tectonique	17
	Chapitre-II: Le changement climatique	19
	1. Introduction	20
	2. Climat et climatologie	21
	3. L'importance de l'étude du climat	21
	4. Climats du monde.....	22
	5. Notion de climats zonaux et azonaux.....	24
	5. Le climat en Algérie	26
	6. L'expérience des changements climatiques	27
	7. Les gaz à effet de serre produits par l'activité humaine.....	29
	7.1. Quelques faits scientifiques.....	29
	7.2. Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).....	30
	7.3. Évolution du climat en 2021 : fondements scientifiques	30
	7.4. Changements climatiques : 5e rapport d'évaluation	31
	7.5. Un réchauffement planétaire de 1,5 °C	31
	8. Effets du changement climatique futur dans les régions du monde entier	32
	9. Les satellites météorologiques	34

10. Les instruments juridiques des Nations Unies.....	36
10.1. La Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC).....	36
10.2. Le Protocole de Kyoto	37
10.3. L'Accord de Paris	37
10.4. Le Sommet Action Climat 2019.....	38
10.5. Prix Nobel de la paix	38
11. Conclusion.....	38
Chapitre-III : Paramètres de changement à suivre	40
1. Introduction	41
2. Paramètres de la biosphère	41
2.1. L'indice normalisé de végétation (NDVI).....	41
2.2. Le climat	42
2.2.1. La température (LST)	42
2.2.1. Les précipitations (PP)	42
2.3. Les gaz à effet de serre (GES).....	43
2.3.1. Le méthane (CH4).....	43
2.3.2. Le monoxyde de carbone (CO)	44
2.3.3. Le dioxyde d'azote (NO2).....	44
2.4. Le modèle de prévision de température NEX-GDDP	45
3. Données et logiciels utilisés	45
3.1. Les logiciels.....	45
3.2. Les données	46
4. Objectifs escomptés	46
5. Conclusion.....	47
Chapitre IV : Résultats et discussions	48
1. Introduction	49
2. L'état du couvert végétal	49
3. Les précipitations	51
4. Les températures	53
5. Relation NDVI-PP-LST	54

6. Les gaz à effet de serre (GES)	55
6.1. Le méthane (CH ₄)	55
6.2. Le monoxyde de carbone (CO).....	57
6.3. Le dioxyde d'azote (NO ₂)	59
7. Le modèle de projection de température NASA/NEX-GDDP	61
8. Conclusions	64
<i>Conclusions générales</i>	65
1. Conclusions générales	66
2. Recommandations	67
<i>Références bibliographiques</i>	68

1. Introduction générale

Les écosystèmes, ce sont tous les milieux naturels au sein desquels vivent des espèces vivantes (végétales ou animales) et où ont lieu des processus vivants. Les forêts, les mers, les marais, les déserts sont tous des écosystèmes et la biodiversité qu'ils habitent est un élément essentiel aux équilibres naturels. Bien évidemment, tous ces écosystèmes et cette biodiversité sont en permanence en transformation, ils évoluent au fur et à mesure du temps, des processus évolutifs, des changements (www1). Depuis plusieurs décennies, la qualité de l'environnement se dégrade et sa capacité à nous fournir ses précieux services et ressources se limite. Les activités d'origine anthropiques (sous l'action de l'Homme) sont à l'origine de cette dégradation. Aujourd'hui, on associe de plus en plus souvent le mot environnement à celui de pollution.

Le développement important de la région d'El Oued durant les 30 dernières années a exigé un besoin considérable en eau potable. Cette situation est due à une forte concentration de population, l'irrigation en agriculture (gros consommateurs) qui constituent à la fois l'activité principale dans cette région et un moyen de fixation des populations locales, l'industrie, le commerce, le tourisme et l'apparition de nouveaux modes de vie ont aboutis à la consommation excessive de l'eau.

Parmi les changements qui affectent l'écosystème local c'est le changement climatique. Son impact est sur le sol, l'eau et l'être humain. Cela peut causer des dégradations sur la végétations, pineraie des eaux ainsi que la détérioration des sols.

Notre projet de mémoire de fin d'étude cherche à répondre à des questions qui ont relation directe avec l'environnement local et son préservation. Quelles sont les perspectives des ressources en eau, surtout pluviales dans notre région ? quel est l'état du couvert végétal ces dernières années ? Est-il en progression ou en diminution ? On est concerné par le changement climatique et les gaz à effet de serre (températures en hausse, concentrations élevées des polluants atmosphériques) ou non ? L'objectif de notre sujet de mémoire est de répondre à ces questions.

Notre travail de mémoire est structuré de la manière suivante :

- ✚ Le premier chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude, le contexte géographique, climatique et géologique de la Wilaya d'El Oued.
- ✚ Dans le deuxième chapitre, nous présentons quelques notions sur les changements climatiques et les gaz à effet de serre.

- ✚ Pour le troisième chapitre, les paramètres et indicateurs influençant sur le milieu naturel et de son dégradation, de notre région d'étude, seront exposés.
- ✚ Finalement, le quatrième chapitre, sera consacré à l'étude et l'élaboration des cartes et des statistiques des différents paramètres environnementaux, suivis par des interprétations et commentaires.

A la fin, des conclusions et des recommandations seront présentées par la suite.

Chapitre-I:
*Présentation de la
région d'étude*

1. Introduction

Le paysage traditionnel du Souf est marqué par la beauté. Beauté spécifique, car l'originalité du Souf, établissement humain créé dans un erg, est grande. Mais sa splendeur n'est pas seulement dans le mouvement des dunes ocre ou blanches de l'erg, elle est aussi dans une création humaine, inattendue. El Oued : la ville aux mille coupoles, capitale du Souf, son architecture s'y distingue de celle Des autres villes sahariennes, au lieu des terrasses, ce sont des coupoles qui couvrent les maisons. Mais ses efforts ne sont pas vains car l'ensoleillement est maximum.

2. Situation géographique

La région du Souf appelée aussi région du Bas-Sahara à cause de la faible altitude est située au Sud-est du pays. Elle forme une Wilaya depuis 1984, elle compte douze Daïras et trente communes jusqu'en 2019, puis, respectivement dix et vingt-deux depuis cette date à la suite de la création de la Wilaya d'El M'Ghair, et couvre une superficie totale de **35.750 Km²**. (ar.wikipedia.org)

Elle est limitée (Fig. 1):

- Au nord, par les Wilayas de Tébessa, Khenchela et Biskra ;
- A l'ouest, par les Wilayas d'El M'Ghair et de Touggourt ;
- Au sud, par la Wilaya de Touggourt ;
- Et à l'est, par la république Tunisienne.

Cette région tire son originalité de son architecture typique, caractérisée par la coupole et par ses palmeraies plantées dans les Ghouts.

La vallée de Souf ce n'est pas un bassin versant mais une unité de ressource en eau qui est délimitée :

- Au sud, par la mer de dunes du grand Erg oriental ;
- Au Nord par le Step khanchela et tebessa ;
- A l'est par une série de Chotts ;
- A l'ouest, par Oued Righ (fleuve de fossile) et par la ligne de palmeraie qui court de Biskra à Touggourt.

Elle est délimitée donc par les coordonnées Lambert suivantes :

- X (m) = 275 200 / 322 000
- Y (m) = 3 665 000 / 3743 000

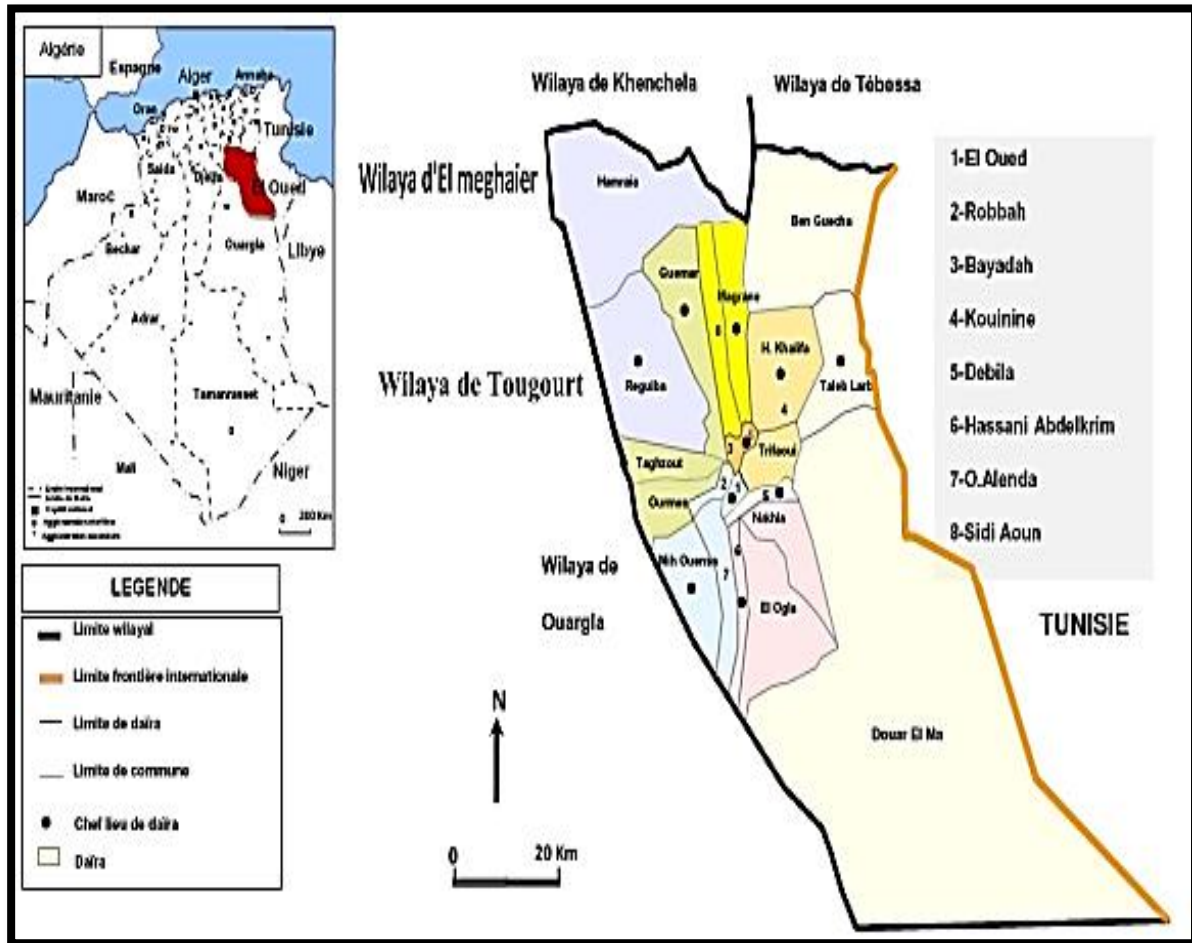


Figure 1. Carte de situation de la Wilaya d'El Oued et limitrophes.

3.Superficies et répartition des communes et Daïra de Wilaya d'El Oued

Tableau 1. Superficies et la répartition des communes et Daïra de Wilaya d'El Oued

DAIRA	COMMUNES	SUPERFICIE(km ²)
ELOUED	El Oued	77,20
	Kouinine	116
REGUIBA	Reghiba	1.965,60
	Hamraia	2.444
GUEMAR	Guemar	1.264,40
	Taghzout	539,20
	Ouemres	442,80
DEBILA	Debila	78
	Hassani Abdelkrim	58
HASSI KHALIFA	Hassi Khalifa	1.112
	Terifaoui	474
MAGRANE	Magrane	618
	Sidi Aoun	480
ROBBAH	Robbah	499,20
	Nakhela	700
	ElOgla	1.352
BAYADA	Bayada	138,80
TALEB LARBI	Taleb Larbi	1.110
	Ben Guecha	2.646
	Douar El Maa	17.813,60
MIH OUENSA	Mih Ouensa	1.111,20
	Oued Al Alenda	712

4. Géologie de la région d'étude

4.1. Introduction

La géologie est un moyen d'investigation très utile en hydrogéologie car elle permet la détermination des horizons susceptibles être aquifères.

La région d'étude est exactement dans la partie Nord de la plateforme saharienne caractérisée par des formations détritiques particulièrement sableuses, elles apparaissent sous forme de dunes et anti dunes. Car le sous-sol de la région étant sableux et assurant l'infiltration et la circulation souterraines des eaux, est essentiellement représenté par des formations sablogréseuses du Continental Intercalaire, et des accumulations sableuses fluviaux-lacustres de tertiaires continental.

Sur l'ensemble de la région d'EL-Oued, les formations Mio-pliocènes sont recouvertes par une considérable épaisseur de dépôts Quaternaires présentés sous forme de dunes donnant naissance à un immense erg qui lui-même fait partie de l'extension du grand erg oriental.

4.2. Stratigraphie régionale

D'après (Cornet 1964, Bel 1968) et les coupes de sondages établies à partir des forages, les profondeurs des étages varient d'une région à l'autre sur la base des logs de forage de l'Albien faite par l'ANRH (1993) sur la région de Oued-Souf, nous citons les principales strates repérées dans cette région, en allant de la plus ancienne vers le plus récente (Fig. 3: Log de forage F1 de l'Albien).

4.2.1. Formation de l'ère Secondaire

❖ Le Barrémien

Cet étage est capté par tous les forages du continental intercalaire réalisés dans cette région, il présente une lithologie d'alternance de grès avec passages d'argiles et parfois des intercalations de calcaire dolomitique, on rencontre également des sables avec présence de silex. L'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 200 à 230 mètres.

❖ L'Aptien

Comme le Barrémien, ce dernier est constitué principalement par des formations dolomitiques, marneuses et marno-calcaires. D'après les coupes géologiques des forages réalisés dans la région, l'Aptien est le seul étage dont l'épaisseur ne dépasse pas les 30 mètres.

❖ L'Albien

Cet étage est constitué par une alternance de marnes, de grès de sables et par des calcaires avec passages de silex et d'argile. La limite inférieure est constituée par le toit de la barre aptienne, alors que sa limite supérieure se caractérise par l'apparition des faciès argilo carbonatés. D'après les coupes de sondages des forages Albien, l'épaisseur de cet étage varie de 100 à 150 mètres; dans d'autres endroits elle peut atteindre 200 mètres.

❖ Le Vraconien

C'est en fait, une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo carbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo dolomitiques. On montre aussi des argiles sableuses et de rares passées de grès à ciment calcaire.

Dans la zone d'étude, l'épaisseur de cet étage varie entre 250 et 300 mètres. En raison de l'importance de ses niveaux argileux, il constitue une importante couverture de l'Albien.

❖ Le Cénomaniens

Tous les forages réalisés dans cette région ont montré que cet étage est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites. Cet étage joue le rôle d'un écran imperméable.

Quant aux limites de cet étage, on peut dire que la limite inférieure est caractérisée par l'apparition d'évaporites et de dolomies qui la distingue nettement, la limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporites et de calcaires correspondants à la limite inférieure du Turonien.

❖ Le Turonien

Cet étage représente la base du complexe terminale. Il est généralement carbonaté et constitué par des calcaires dolomitiques et des dolomies micro cristallines compactes avec des intercalations de calcaires Turoniens et parfois de marnes.

Les forages de la région montrent clairement que son épaisseur varie d'un endroit à un autre, elle dépasse parfois 650 mètres.

❖ Le Sénonien

La plupart des études géologiques effectuées à travers le Sahara algérien montrent que le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue faciès : l'un correspond au Sénonien lagunaire situé à la base et l'autre au Sénonien carbonaté au sommet.

❖ Sénonien lagunaire

La limite de ce sous étage est bien distinguée. Le Sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporé avec des argiles où ces derniers sont aisément différenciés de ceux du Turonien.

Il est constitué également d'anhydrites, de calcaires dolomitiques d'argiles et surtout les bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine 150 mètres. La limite supérieure de cette formation coïncide avec le toit de la dernière intercalation anhydride.

❖ Le Sénonien carbonaté

Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques avec des intercalations marno argileuses et en grande partie par des calcaires fissurés. Son épaisseur dépasse parfois les 300 mètres.

Il faut mentionner par ailleurs l'existence d'une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et l'Eocène, qui présentent des calcaires de même nature avec présence de nummulites.

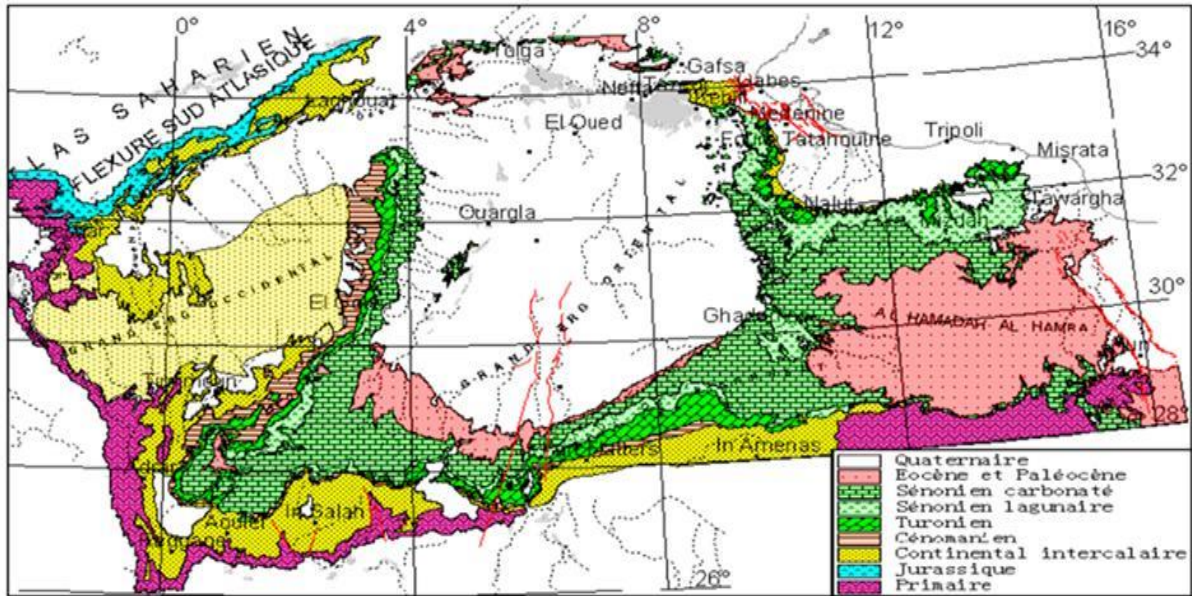


Figure 2. Carte géologique du grand Erg Oriental (Baba, 2005)

4.2.2. Formations de l'ère Tertiaire

❖ L'Eocène

Il est formé par des sables et des argiles, parfois on rencontre des gypses et des graviers. Dans cette région, l'Eocène est carbonaté à sa base, sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaire. L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres.

❖ Le Miopliocène

Il repose en discordance indifféremment sur le Primaire d'une part et sur le Crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomanién et l'Eocène d'autre part, il appartient à l'ensemble appelé communément Complexe Terminale (C.T).

La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, montrent que le Miopliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sablo argileux avec des intercalations gypseuses et des passées de grès.

Sur toute l'étendue du Sahara oriental, Bel et demargne séparent cet horizon en 4 niveaux :

❖ Niveau argileux

Il est peu épais et existe uniquement dans la zone centrale du Sahara oriental. Avec l'éocène lagunaire, les argiles de la base du Miopliocène constituent une barrière peu perméable entre les nappes du Sénono-eocène carbonatées et celle du Pontien sableux.

❖ Niveau grèsosableux

C'est le plus intéressant sur le plan hydrogéologique, son épaisseur reste presque régulière sur toute l'étendue du Sahara oriental. A sa base, on trouve parfois des graviers alors que le sommet se charge progressivement d'argiles. C'est à ce niveau que se rattache le principal horizon aquifère du Complexe Terminal.

❖ Niveau argileux

Il ne présente pas un grand intérêt du point de vue hydrogéologique, ce niveau renferme des lentilles sableuses qui peuvent former le quatrième niveau (sableux) du Miopliocène.

❖ Niveau sableux

Ce niveau constitue le deuxième horizon aquifère du complexe terminal, du point de vue hydrogéologique, ces niveaux sableux présentent un grand intérêt car ils correspondent pour ainsi dire à la nappe des sables du Complexe Terminal.

4.2.3. Formations du Quaternaire

Elles se présentent sous forme des dunes de sable dont le dépôt se poursuit sans doute encore de nos jours. Les terrains quaternaires représentent la couverture superficielle qui se localisent surtout au niveau des dépressions et couvrent la plus grande extension au niveau du bas Sahara, ils sont formés d'un matériel alluvial et éolien d'où on trouve la formation des alluvions sableuses et argileuses.

Forage d'El-Oued F1		Description géologique	Etages
0		Alternanced'argileparfois sableuse et desablehétérogène à intercalation de gypse	Mio-pliocène
50			
100			
150			
200			
250			
300		Alternancedecalcaire fissuré et decalcaire massif	Eocène
350			
400			
450			
500			
550			
600			
640			
650			
700		Alternancedemarne gris-vertâtre et decalcaire gris, compact et dur; Alternancededolomie beige compact d'hanydrite blanche et decalcaire argileux	Sénonien C arboraté
740			
750			
800			
840		Anhydrite blanche, massive dure avec passage de dolomie grise claire et intercalation de calcaire	Sénonien L agunaire
850			
900			
950			
1000			
1050		Dolomie beige microcristalline compacte, dure, avec passage de calcaire peu dolomitique	Turonien
1100			
1110			
1150			
1200		Anhydrite massive et calcaire argileux à passages de marnes	Cénomanién
1200			
1250		Anhydrite avec passage de calcaire, de dolomie et de marne	
1300			
1350		Anhydrite avec passage de calcaire, marne et dolomie avec intercalation d'argile	
1374			
1400			
1450			
1498			
1500			
1550		Calcaire gris clair argileux à passage de dolomie compact, parfois microcristalline	Vraconien
1589			
1600		Marne grise à passage d'argile gris-vert, intercalation de silice, à faible passage de grès calcaire	Albien
1650			
1700		Dolomie, calcaire, marne	Aptien
1720			
1750		Argile brune rouge à intercalations de grès	Barrémien
1770			
1800			
1850		Grès, dolomie, calcaire et sable, intercalation de silice	

Figure 3. Log de forage F1 à l'Albien (coupe d'après ANRH 1993).

4.3. Géomorphologie

Oued et jusqu'à El-Ogla 24 Km plus loin, on remarque l'absence totale de « Tefza » (pierre à plâtre calcaire), tandis que sur un autre axe allant de El-Oued à Ghamra (en passant par Tiksebt, Kouinine et Guemar) la « Tefza » y occupe tous le terrain.

Ainsi deux bandes de terrains sédimentaires, de formations différentes, renfermant des roches dissemblables dont dépend de la qualité de la nappe aquifère, prolongent de part et d'autres sur les principaux axes du Souf.

Une coupe dans le sol, nous permet de distinguer :

4.3.1. Tercha

Formé de fins cristaux qui lui donnent un aspect de grès ; se rencontre en plaques continues ou en bancs extrêmement durs, il est composé de cristaux en fer.

4.3.2. Louss

Le Louss est fait de cristaux de gypse en fer de lames imbriqués, il se rencontre sous forme de couches continues, très dures de réseaux mélangés au sable, de bancs isolés ou de colonnes qui semblent être constituées autour d'anciennes racines gypseuses.

4.3.3. Salsala ou Smida

Se trouve en plaques continues ou en bancs extrêmement durs, il est composé de cristaux en fer comme le Louss, mais c'est plus fins et plus serrés.

4.3.4. Tefza

C'est un grès blanc assez dur, et constitue la pierre à chauffer qui donnera le plâtre. (Tercha, Louss, Salsala, Smida et Tefza sont les appellations locales, utilisés pour les différentes couches géologiques).

4.4. Interprétation des coupes

L'établissement des coupes a pour but, d'établir une corrélation lithologique du sous sol, ainsi que d'identifier l'extension géographique, l'épaisseur approximatif de la nappe et l'épaisseur utile des couches.

❖ Coupe N° 1

Cette coupe orientée nord – sud, faite sous la base de coupes de forages, on remarque que l'épaisseur de formation miopliocène (constituée par des argiles sableuses, de sable et de calcaire) diminue du nord vers le sud. Au niveau du H11.104, on remarque l'absence des formations quaternaires correspondant aux formations sableuses ; ce manque ne peut être expliqué que par l'effet d'une érosion éolienne, ces formations tendent à s'épaissir vers le sud (voir H12.32 et H12.23).

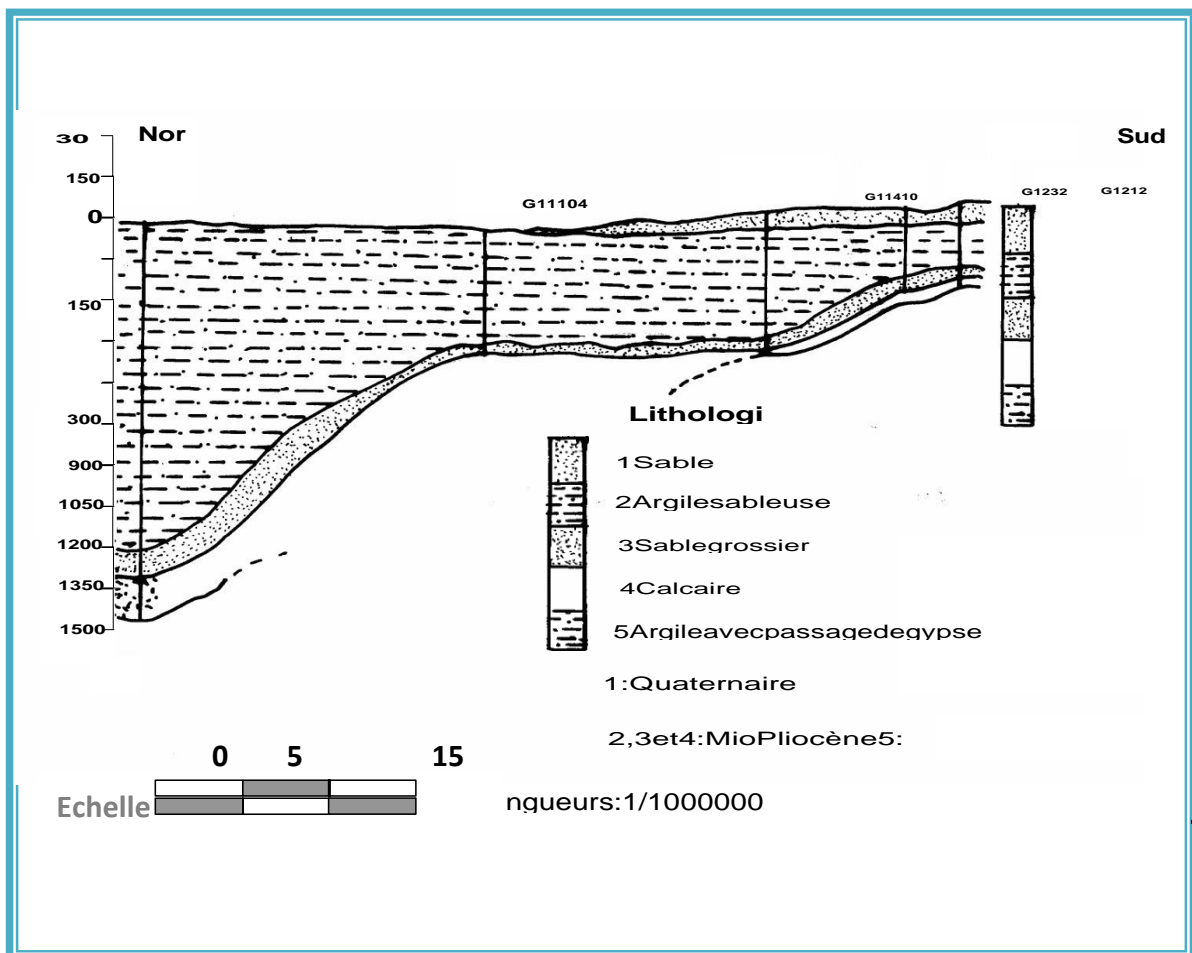


Figure 4. Coupe géologique N°1 (A.N.R.H, 1989) extraite à partir des logs lithologiques des forages.

❖ Coupe N° 2

La coupe N° 2 orientée NE-SW, en allant de la région dite Merzaga vers Ourmès, on remarque au niveau du forage (H₁₂⁵²), l'absence du Quaternaire, ceci ne peut être expliqué que par l'effet d'une érosion éolienne. Les formations miopliocènes sont caractérisées par une épaisseur considérable (plus de 200 m). Cette dernière devient régulière sur tout le reste de la région, au contraire de celle de Quaternaire qui est constituée par des sables qui changent d'une région à l'autre (par exemple, au niveau du forage H₁₂⁵⁴⁰ l'épaisseur présente presque la moitié de celle de H₁₂⁸⁴) (Fig. 5).

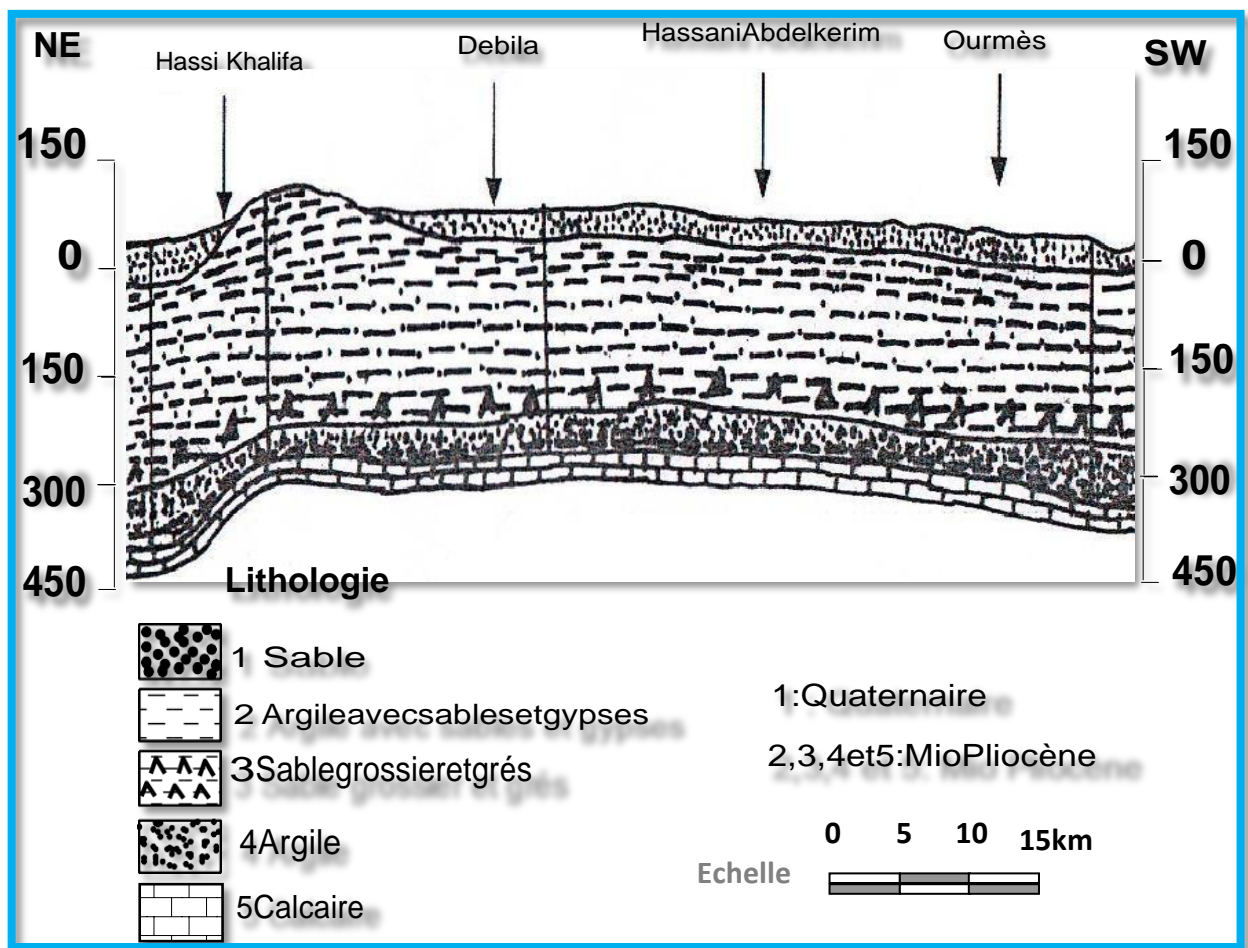


Figure 5. Coupe géologique N° 2 (A.N.R.H, 1989) extraite à partir des logs lithologiques des forages.

❖ Coupe N° 3

La coupe N° 3 est orientée du nord-ouest vers le sud-est, elle est différente des autres surtout du point de vue stratification; cette dernière entre croisée, ce qui donne naissance à des "biseautages". Cette situation est bien visible dans les quatre premiers forages. On constate que l'épaisseur des formations quaternaires, est plus importante au Nord-Ouest qu'au sud-est. (Fig. 6).

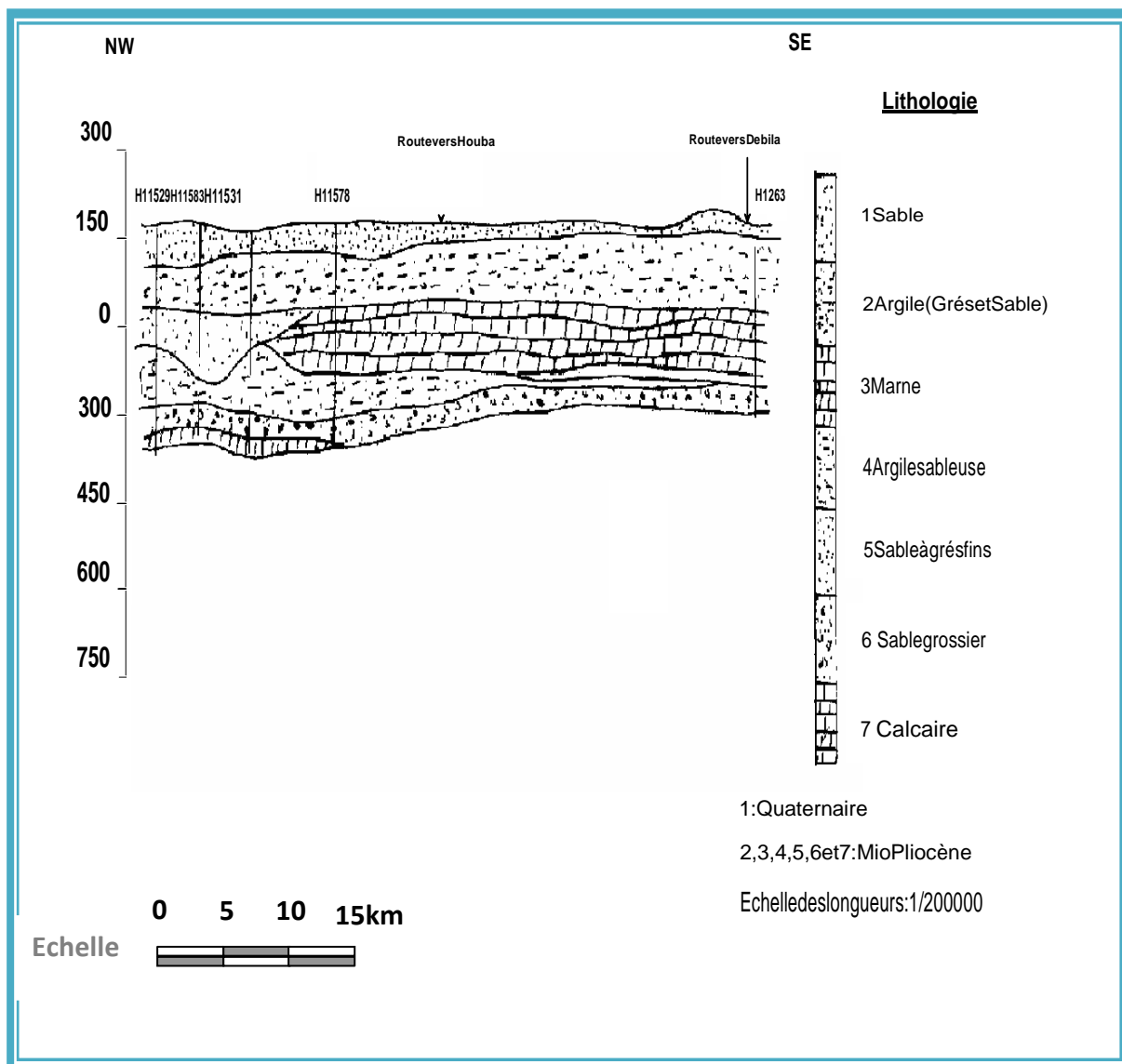


Figure 6. Coupe géologique N° 3 (A.N.R.H, 1989) extraite à partir des logs lithologiques des forages.

4.5. Tectonique

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional dont l'extension couvre une superficie de 780 000 km². Ce bassin, vaste zone d'épandage, constitue une importante dépression topographique, laquelle est sous-tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique. La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques sub-verticaux.

La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate-forme crétacé forme un vaste synclinal dont le fond a un très grand rayon de courbure. Les courbes sédimentaires semblent s'épaissir du nord d'El Oued vers le centre de cette dépression, ce qui montre que l'approfondissement suit de près la sédimentation. Donc si nous désirons retracer l'évènement paléogéographique du Souf, il faut noter qu'au cours de la jeunesse de l'immense dépression au début du Quaternaire et sous l'effet de la sédimentation, le centre de celle-ci (dépression) se déplace en fonction du temps vers le Nord tout en donnant naissance à des nouvelles dépressions correspondant actuellement à la zone des chotts, où leur naissance ne s'est effectuée qu'à la fin du Quaternaire.

Ces caractéristiques ont favorisé la formation dans W. Souf et dans tout le bas Sahara de plusieurs formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès.

L'aquifère Quaternaire du Souf présente une épaisseur moyenne de 40 mètres. Son substratum est structuré en de nombreuses dépressions, dômes et sillons. Il affleure au nord-ouest de la région de Foulia et se situe à moins de 10 mètres de profondeur aux extrémités Nord-est de la région d'étude. La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate-forme crétacée forme un vaste synclinal dont le fond est doté d'un très grand rayon de courbure.

4.6. Relief

Le relief de la ville d'El Oued est Caractérisé par l'existence de trois principales formes :

- Une région sableuse : qui se présente sous un double aspect ; l'Erg et le Sahara.
- Une forme de plateaux rocheux : qui s'étend vers le Sud avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses.
- Une zone de dépression : caractérisée par la présence d'une multitude de chotts qui plongent vers l'Est.

Il est à signaler que l'altitude diminue du Sud vers le nord et de l'ouest vers l'Est pour devenir négative au niveau des chotts.

La variation de cote est relativement faible, le point le plus bas correspond à la cote 130m alors que le plus haut atteint la 60m.

5. Conclusion

A partir de cette étude, nous constatons que la région à une particularité spécifique de point de vue géologique, ainsi que les conditions tectoniques et paléogéographiques ont permis la mise en place d'une série sédimentaire avec une lithologie variée dans le temps, régulière et homogène dans l'espace.

Ces conditions ont favorisé la formation dans le Souf et dans tout le bas Sahara de plusieurs formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès. la stratigraphie de la région est caractérisé par des séries sédimentaires allant de Crétacé inférieur jusqu'au dépôts de Quaternaire.

Les formations du Quaternaire récentes forment l'aquifère détritique de la nappe phréatique, il est surtout sableux à gréseux avec parfois du gypse et des argiles localisées particulièrement dans la partie Nord-est où il se termine par une croûte gypseuse, son substratum est argileux imperméable parfois très peu sableux à son sommet ou alors gypsifère en totalité.

Le chapitre suivant nous présentons les principaux concepts et définitions du changement climatique.

Chapitre-II:

Le changement climatique

1. Introduction

Les changements climatiques sont la question déterminante de notre époque et nous sommes à un moment décisif. De l'évolution des conditions météorologiques, qui ont des effets sur la production agricole et alimentaire, à l'élévation du niveau des mers, qui augmente les risques d'inondations, les conséquences des changements climatiques sont mondiales en termes d'effets et d'échelle. Sans action immédiate, il sera beaucoup plus difficile et coûteux de s'adapter aux conséquences futures de ces changements.

Au travers des siècles, l'humanité a constamment dû relever des défis à court et à long terme. Son but semble essentiellement toujours le même : Que celle-ci prenne constamment un plus grand contrôle sur sa destinée et son environnement. Pour les sociétés industrialisées, l'ère technologique que nous vivons présentement semble donner un contrôle inégalé par le passé. Le climat, par exemple, qui a plutôt été source de vie et source de défis au quotidien pour la majorité des sociétés semble maintenant être perçu, dans les sociétés industrialisées, comme un simple et vague sujet de discussions ou un problème mineur pour quelques ingénieurs en conception. Au Québec, et ce malgré les avertissements de bon nombre de scientifiques depuis les années 1970, ce sont le déluge du Saguenay de 1996 et la tempête de verglas de janvier 1998 qui ont fortement contribué à ramener les pendules à l'heure. En effet, ces deux événements ont montré que notre société visant efficacité, productivité et optimisation n'a peut-être pas autant de contrôle que prévu sur les impacts du climat. En fait, non seulement cette société efficace, productive et optimisée peut être fortement perturbée par la variabilité naturelle du climat, mais celle-ci contribue activement à aggraver sa vulnérabilité en ajoutant massivement dans l'atmosphère des gaz à effet de serre qui ont déjà commencé à perturber de façon significative un climat qui est en équilibre depuis plus de 10000 ans. La problématique des changements climatiques peut se résumer ainsi : En changeant la composition de l'atmosphère au rythme où elle le fait présentement, l'humanité transforme la planète en une vaste expérience de laboratoire pour laquelle elle a le contrôle sur les paramètres de départ mais a très peu de contrôle sur l'évolution et le résultat final de l'expérience.

2. Climat et climatologie

Le climat est l'état des paramètres atmosphériques (température, humidité, pression atmosphérique, vitesse du vent...etc) dans une région donnée et pendant un laps de temps (jour, semaine, mois...etc). La climatologie est la science qui a pour objet l'étude de la variation de l'état des paramètres atmosphériques pendant une longue période (une année, 10 ans, 30 ans ...) et son impact sur les écosystèmes terrestres. L'étude des variations des conditions atmosphériques pour une courte durée est l'objet de la météorologie. La climatologie s'appuie sur l'observation et la quantification de ces paramètres atmosphériques, elle fait appel aux spécialités des sciences de la terre, de la physique et de la biologie

3. L'importance de l'étude du climat

L'importance de l'étude de climat peut être résumée en deux concepts : d'une part du fait que ce dernier conditionne la vie sur Terre et influence la vie des êtres vivants. D'autre part l'être humain influence à son tour le climat et il provoque son changement. Chaque région possède un climat spécifique à elle dont les êtres vivants s'adaptent et vivent en équilibre. Si un ou plusieurs paramètres atmosphériques (température, pluie, humidité...etc.) subissent un changement brusque, cela va se répercuter sur la vie quotidienne des êtres vivants. Une augmentation de la température pendant une longue durée va favoriser les pertes d'eau par évapotranspiration et si ce phénomène dure plus longtemps il va provoquer la sécheresse. De même des pluies intenses qui tombent inhabituellement sur une région pendant un petit laps de temps vont provoquer des inondations. Parfois le changement de ces paramètres atmosphériques est causé par l'activité anthropique (activité humaine), dans ce cas l'étude de climat va concerner les activités humaines qui ont une influence sur le climat et comment lutter contre le changement climatique. Les études climatiques récentes s'appuient beaucoup sur les statistiques et la modélisation pour pouvoir simuler le comportement des paramètres atmosphériques. Ces études nous permettent de prévenir un déséquilibre climatique et limiter ces effets. L'étude de climat pour un hydrogéologue est une étape indispensable pour l'évaluation des potentialités hydriques d'une région. Une grande partie de l'eau réside dans l'atmosphère sous forme de vapeur, l'état des paramètres atmosphériques (température, vent, pression atmosphérique...) conditionnent la quantité d'eau qui va atteindre la surface de la terre et qui va alimenter les aquifères. Chaque étude hydrologique ou bien hydrogéologique va prendre en compte l'étude de climat, cela passe souvent par l'établissement d'un bilan hydrique de la région en question.



Figure 8 Effets d'un déséquilibre climatique (www7)

4. Climats du monde

Les régions continentales du globe connaissent un climat (un régime météorologique) qui dépend de leur latitude (positionnement nord-sud), de leur altitude, de la distance qui les sépare des principaux plans d'eau de la Terre (mers et océans) et de la densité du couvert végétal. Il existe plusieurs systèmes de classification des climats ; certains se réfèrent aux latitudes, d'autres prennent en considération les vents dominants, la pluviosité ou l'altitude. L'un d'eux répartit les climats en cinq grandes familles (tropicale, subtropicale, tempérée, steppique et polaire, Tableau 2), auxquelles il faut ajouter le climat de montagne, qui dépend de l'altitude. La grande variété des types de climats et le nombre de facteurs intervenant dans leur définition rendent toute tentative de classification nécessairement imparfaite. On les choisie en fonction des buts des observateurs. Une des plus connue est la classification de Köppen (Fig. 7).

Tableau 2. Les différents types de climats, d'après la classification de KÖPPEN

Symbole des lettres	Climat	Critère
A	Tropical	Température moyenne du mois le plus froid $\geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$.
AF		Précipitations du mois le plus sec $\geq 60\text{mm}$.
AM	Humide	Précipitations du mois le plus sec $< 60\text{mm}$ mais $\geq 100 - 0,04 \times$
AW		Précipitations du mois le plus sec $< 100 - 0,04 \times$
B	Très sec	Au moins 70 % des précipitations annuelles tombent pendant les six mois les plus chauds
BW	Désert	r est inférieur à la moitié de la limite supérieure des conditions sur r ci-dessus.
BS	Steppe	r est compris entre la moitié de la limite supérieure des conditions sur r ci-dessus et cette valeur.
BSh		$t > 18\text{ }^{\circ}\text{C}$.
BSk		$t <$
C	Tempéré chaud	La température moyenne du mois le plus chaud est supérieure à $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ et celle du mois le plus froid comprise entre 0 et $18\text{ }^{\circ}\text{C}$.
CS		Les précipitations du mois le plus sec du semestre le plus chaud sont inférieures à 40 mm et au tiers de celles du mois hivernal le plus humide.
CW		Les précipitations du mois le plus sec du semestre le plus chaud sont inférieures au dixième de celles du mois le plus humide du semestre.
CF		Les précipitations du mois le plus sec du semestre le plus chaud ne remplissent ni l'une ni l'autre des conditions ci-dessus.
CFa		Température moyenne du mois le plus chaud $\geq 22\text{ }^{\circ}\text{C}$.
CFb		Température moyenne de chacun des quatre mois les plus chauds $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, température du mois le plus chaud $<$
CFc		Température moyenne mensuelle $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ sur un à trois mois, température du mois le plus chaud $<$
D	Tempéré froid	La température moyenne du mois le plus chaud est $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ et celle du mois le plus froid $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
DS		Les précipitations du mois le plus sec du semestre le plus chaud sont inférieures à 40 mm et au tiers de celles du mois hivernal le plus humide.
DW		Les précipitations du mois le plus sec du semestre le plus chaud sont inférieures au dixième de celles du mois le plus humide du semestre.
DF		Les précipitations du mois le plus sec du semestre le plus chaud ne remplissent ni l'une ni l'autre des conditions ci-dessus.

DFa		Température moyenne du mois le plus chaud $\geq 22\text{ }^\circ\text{C}$.
DFb		Température moyenne de chacun des quatre mois les plus chauds $\geq 10\text{ }^\circ\text{C}$, température du mois le plus chaud \diamond
DFc		Température moyenne mensuelle $\geq 10\text{ }^\circ\text{C}$ sur un à trois mois, température du mois le plus chaud \diamond
DFd		Température moyenne du mois le plus froid \diamond
E	Polaire	Température moyenne du mois le plus chaud \diamond
ET		Température moyenne du mois le plus chaud comprise entre 0 et $10\text{ }^\circ\text{C}$.
EF		Température moyenne du mois le plus chaud \diamond
H	Haute altitude	Mêmes critères que précédemment mais pour les zones de montagne.

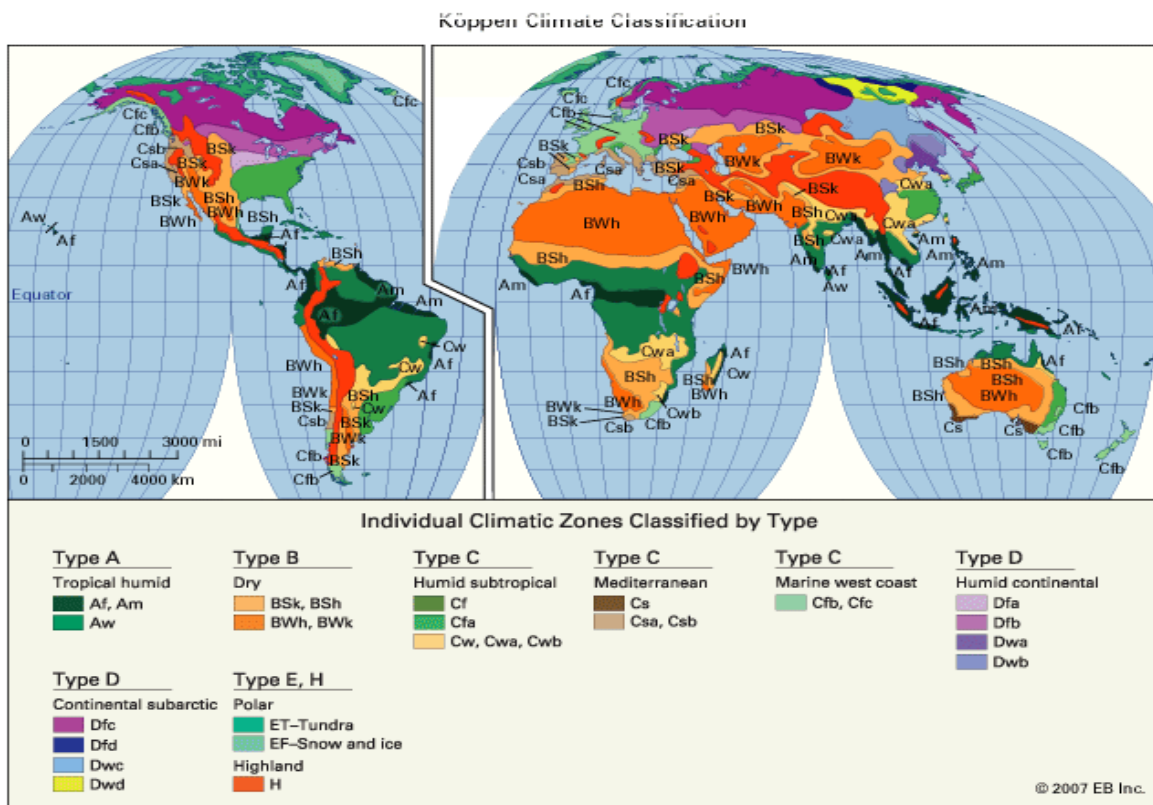


Figure 7. Classification des climats du monde selon Köppen.

5. Notion de climats zonaux et azonaux

Les climats zonaux sont ceux délimités par les latitudes et qui sont influencés par l’inclinaison de la Terre uniquement. On peut citer la zone équatoriale qui possède un climat équatorial, la zone entre l’équateur et les tropiques (cancer et capricorne) qui possèdent un climat tropical humide (Godard, A., & Tabeaud, M. 1998). La zone des tropiques est caractérisée par un

climat subtropical sec tandis que la zone au-delà des tropiques (au nord du tropique cancer et au sud du tropique capricorne) se caractérise par un climat subtropical tempéré. Les pôles nord et sud ont un climat polaire (Fig. 8).

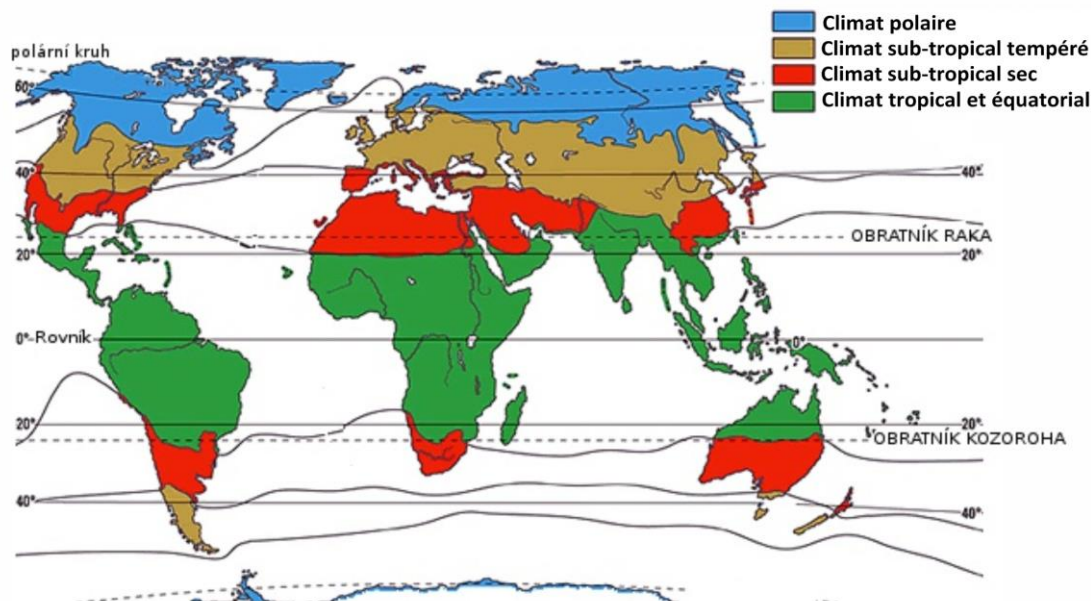


Figure 8. Climats zonaux du monde. (S.C.C & www8)

La structuration en zones parallèles à l'équateur constitue le trait fondamental de la répartition des climats terrestres. Cependant, celle-ci est modifiée, et parfois occultée, par la répartition irrégulière des mers, des terres et des reliefs, qui engendre une azonalité des climats.

En ce qui concerne la répartition des mers et des terres, deux phénomènes sont à souligner. L'un concerne les différences entre les comportements thermiques des continents et des océans, qui modifient la répartition des centres de pressions, et donc celle des vents et des précipitations, et engendre les moussons. L'autre concerne l'éloignement plus ou moins grand des surfaces continentales et des étendues marines qui rend l'arrivée des masses d'air humides, et en conséquence celle des précipitations, d'autant plus difficiles que cet éloignement est plus grand : c'est la continentalité (Gorczyński, L. 1920).

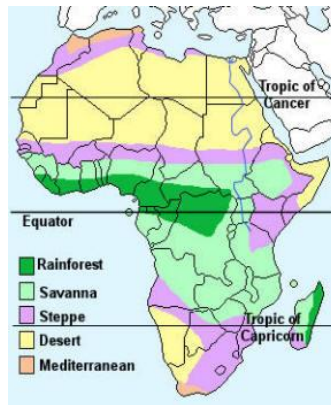


Figure 9. Climats azonaux de l'Afrique

En ce qui concerne les reliefs, leur présence intervient non seulement par le fait que les climats sont, régionalement, modifiés par l'altitude mais aussi par l'effet de barrière que ces reliefs jouent sur l'avancée des masses d'air.

5. Le climat en Algérie

L'Algérie est un pays de la zone subtropicale du Nord-africain. Son climat est très différent entre les régions (nord-sud, est-ouest). Il est de type méditerranéen sur toute la frange nord qui englobe le littoral et l'atlas tellien (étés chauds et secs, hivers humides et frais), semi-aride sur les hauts plateaux au centre du pays, et désertique dès que l'on franchit la chaîne de l'atlas saharien (Medejerab, 2005).

La variabilité climatique en Algérie est due essentiellement à la latitude, de Nord au Sud la variation du climat est très nette. L'humidité qui caractérise le climat méditerranéen est due essentiellement à la vapeur d'eau qui provient de la mer, mais aussi de la transpiration des végétaux (forêt bien développés. En allant vers les hautes plaines l'humidité diminue et l'ensoleillement augmente ce qui favorise l'évapotranspiration d'où le climat semi-aride. Plus au Sud, l'ensoleillement est très important et les apports en précipitation sont rares, l'humidité est très faible et la végétation quasiment absente sauf certain espèces qui s'adapte à ce climat désertique.

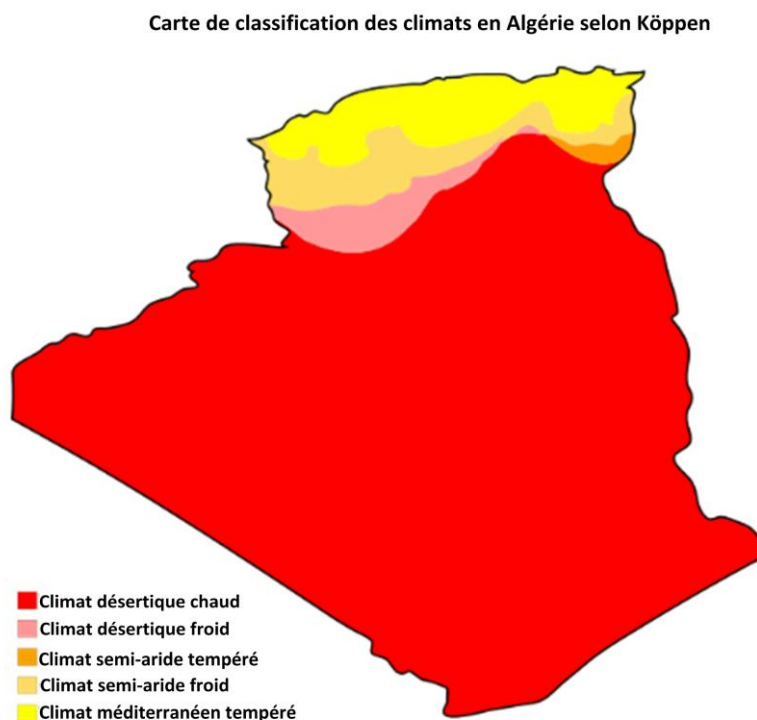


Figure 10. Carte des climats de l'Algérie selon la classification de Köppen.

On trouve certaines zones climatiques en Algérie qui sont différentes de climat régional soit par leur altitude élevée, par les plans d'eau ou bien par le thermalisme.

On peut citer Djurdjura, Chréa, Belezma... qui disposent d'un climat montagnard avec des niveaux Alpains d'un climat montagnard avec des niveaux Alpains (existence de la neige au sommet pendant une longue période de l'année). La région de Tamanrasset culmine une altitude de 3000m ce qui lui donne un climat très différent des régions sahariennes.

Les sebkhas et les lacs constituent des climats de zones humides par l'apport important en humidité, on cite le lac Tonga (El Kala), Chott Echergui (Saida).

6. L'expérience des changements climatiques

On sait que l'atmosphère de la Terre laisse passer la lumière du soleil qui réchauffe la surface du globe. La chaleur qui s'élève de la surface est en partie absorbée par les gaz et la vapeur d'eau présents dans l'atmosphère – on appelle ce processus naturel « effet de serre ». En l'absence de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone (CO₂), méthane (CH₄) et oxyde nitreux (N₂O), la plus grande partie de la chaleur pénétrant dans l'atmosphère terrestre serait directement réémise dans l'espace, et la température moyenne de la Terre serait de -18 °C au lieu de 15 °C (Fig. 11). Au cours des 10 000 dernières années, la quantité de ces gaz à effet de

serre présents dans notre atmosphère est demeurée relativement constante et a permis à la Terre de conserver un climat relativement stable. La concentration de ces gaz a commencé à grimper avec l'avènement de l'industrialisation, la hausse de la demande en énergie, la croissance démographique et les changements dans l'utilisation du territoire. L'expérience, qui a donc débuté avec l'industrialisation, consiste donc à maintenir l'augmentation dans la concentration atmosphérique de gaz à effet de serre en brûlant d'énorme quantité de combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel qui génère d'importante quantité de CO_2) et en poursuivant la déforestation (la forêt débarrasse l'atmosphère de CO_2). L'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre accentue l'effet de serre naturel et fait monter la température moyenne de la surface du globe. Ce réchauffement de la planète cause des changements climatiques pour l'ensemble des paramètres du climat car il déclenche une modification des circulations atmosphériques et des autres sous-systèmes du système climatique (Fig. 12).

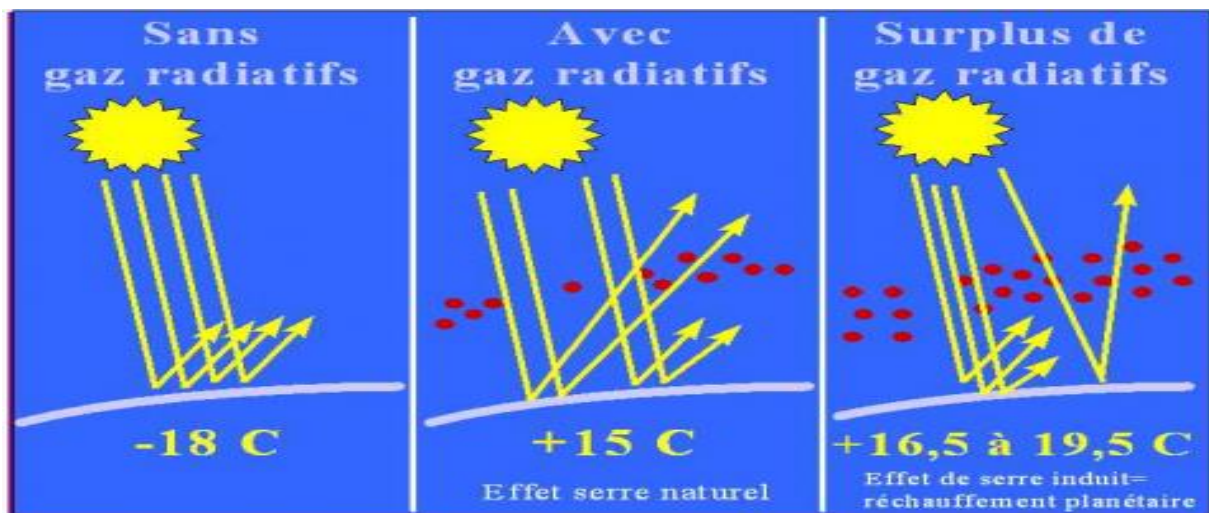


Figure 11. L'effet de serre et son impact sur la température globale moyenne.

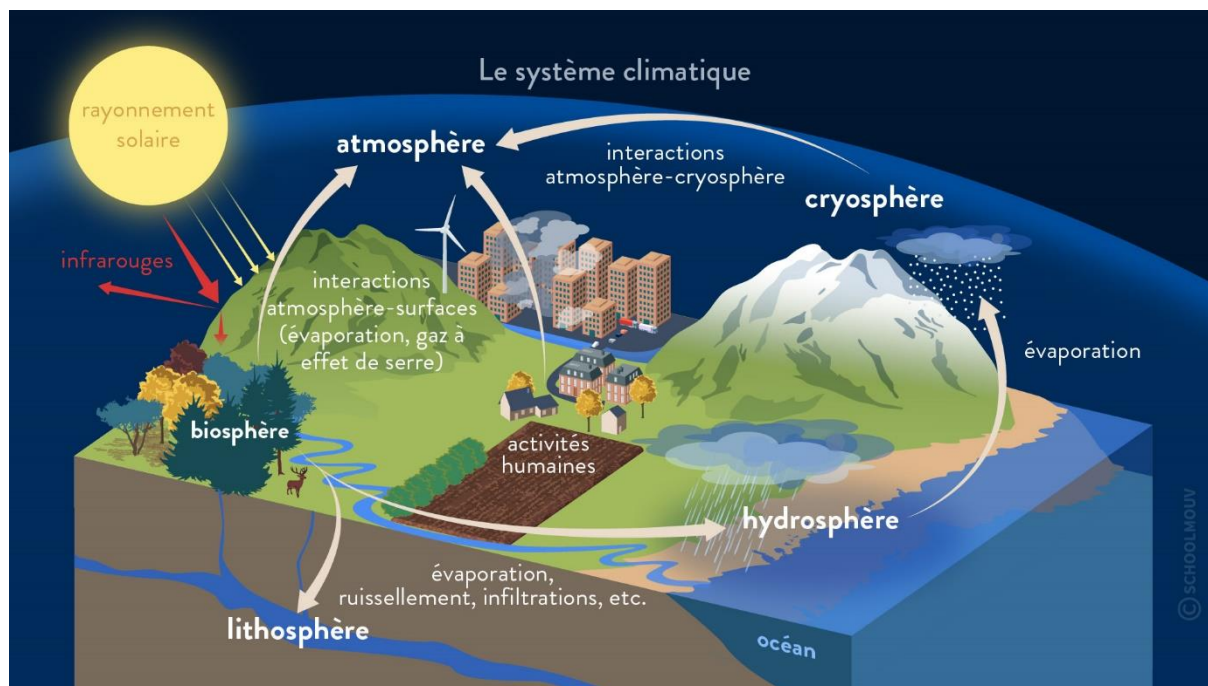


Figure 12. Les 5 sous-systèmes du système climatique : l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la lithosphère et la biosphère.

7. Les gaz à effet de serre produits par l'activité humaine

L'effet de serre est un phénomène naturel indispensable à la vie humaine et à celle des espèces. Il piège dans une couche de gaz située à basse atmosphère une partie de la réverbération des rayons du soleil sur la Terre, en évitant ainsi que ces rayonnements infrarouges soient renvoyés vers l'espace. Toutefois, après plus d'un siècle et demi d'industrialisation, notamment la déforestation et l'agriculture à grande échelle, les quantités de gaz à effet de serre présentes dans l'atmosphère sont parvenues à des niveaux jamais atteints en trois millions d'années. À mesure que les populations, les économies et les niveaux de vie progressent, le niveau cumulé des émissions de gaz à effet de serre (GES) a lui aussi augmenté.

7.1. Quelques faits scientifiques

- La concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère est directement liée à la température globale moyenne sur la Terre.
- Depuis l'époque de la révolution industrielle, la concentration des gaz à effet de serre a augmenté de façon constante, de même que les moyennes de température mondiales.
- Le gaz à effet de serre le plus abondant (deux tiers) est le dioxyde de carbone (CO₂), largement produit de la combustion d'énergies fossiles.

7.2. Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)

Le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) a été créé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et ONU Environnement en vue de fournir des évaluations détaillées de l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques sur les changements climatiques, leurs causes, leurs répercussions potentielles et les stratégies de parade.

7.3. Évolution du climat en 2021 : fondements scientifiques

Le rapport 2021 du GIEC sur les éléments scientifiques indique des changements climatiques sur la Terre dans chaque région et dans l'ensemble du système climatique. De nombreux changements sont sans précédent depuis des milliers, voire des centaines de milliers d'années et certains phénomènes déjà en cours – comme l'élévation continue du niveau de la mer – sont irréversibles.

Si le rapport démontre que l'incidence des activités humaines sur le système climatique est incontestable, il montre aussi que les actions humaines peuvent encore déterminer l'évolution du climat à venir. Des réductions fortes et soutenues des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et d'autres gaz à effet de serre limiteraient le changement climatique. Alors que la qualité de l'air en bénéficierait rapidement, la stabilisation des températures mondiales pourrait prendre 20 à 30 ans.

Ce document du Groupe de travail I du GIEC, approuvé par 195 gouvernements membres du GIEC, est le premier volet du sixième Rapport d'évaluation, dont la publication s'achèvera en 2022. Ce rapport expose la compréhension physique la plus récente du système climatique et du changement climatique, réunissant les derniers progrès de la science du climat et conjuguant les multiples éléments probants apportés par le paléoclimat, les observations, l'analyse des processus et les simulations à l'échelle mondiale et régionale. Il montre comment et pourquoi le climat change et témoigne d'une meilleure compréhension de l'influence humaine sur un large éventail de caractéristiques climatiques, dont les phénomènes extrêmes. Une plus grande place est donnée aux informations régionales utiles pour évaluer les risques climatiques. Lire le communiqué de presse du GIEC pour en savoir plus.

7.4. Changements climatiques: 5e rapport d'évaluation

Le rapport fournit une évaluation complète de l'élévation du niveau de la mer et de ses causes au cours des dernières décennies. Il estime également les émissions de CO₂ cumulées depuis l'époque préindustrielle et fournit un budget CO₂ pour les émissions futures afin de limiter le réchauffement à moins de 2°C. Le rapport a révélé :

- Un réchauffement de 0,85°C au cours de la période 1880–2012 ;
- L'océan s'est réchauffé, la couverture de neige et de glace a diminué, et le niveau des mers s'est élevé. Le niveau moyen des mers à l'échelle du globe s'est élevé de 0,19 m entre 1901 et 2010 en raison du réchauffement et de la fonte des glaciers ;
- L'étendue moyenne annuelle de la banquise arctique a diminué depuis 1979 entre 3,5 et 4,1 % par décennie ;
- Compte tenu des concentrations actuelles et des émissions continues de gaz à effet de serre, il est probable que d'ici la fin de ce siècle, la température moyenne mondiale continuera d'augmenter au-dessus des niveaux préindustriels. Les océans vont continuer à se réchauffer et la fonte des glaciers va se poursuivre. La moyenne du niveau d'élévation de la mer devrait être de 24 à 30 cm d'ici 2065 et de 40 à 63 cm d'ici 2100 par rapport à la période de référence 1986-2005. De nombreux aspects des changements climatiques persisteront pendant des siècles même si les émissions de gaz sont stoppées.

Les faits sont là, des preuves alarmantes indiquent que nous avons dépassé le point critique conduisant à des changements irréversibles pour les populations et les écosystèmes. Des écosystèmes aussi divers que la forêt amazonienne et la toundra arctique pourraient atteindre des seuils inimaginables de réchauffement et d'assèchement. D'autres phénomènes tels que le recul alarmant des glaciers et la réduction de l'approvisionnement en eau pendant les mois les plus secs auront des répercussions qui transcendent les générations.

7.5. Un réchauffement planétaire de 1,5 °C

En octobre 2018, le GIEC a publié un rapport spécial sur les effets du réchauffement planétaire de 1,5 °C. Il a été établi que pour limiter le réchauffement planétaire à 1,5 °C, des changements rapides, d'une portée considérable et sans précédent seraient nécessaires dans tous les aspects de la société.

Le rapport, qui présente des avantages évidents pour les populations et les écosystèmes naturels, a montré que limiter le réchauffement planétaire à 1,5 °C au lieu de 2 °C pouvait aller de pair avec une société plus durable et plus équitable. Alors que les estimations précédentes étaient axées sur l'estimation des dommages si les températures moyennes devaient augmenter de 2 °C, le présent rapport montre que nombre des impacts négatifs du changement climatique se situeront à 1,5 °C.

Ce rapport met en exergue un certain nombre de conséquences des changements climatiques qui pourraient être évitées si le réchauffement était limité 1,5 °C, et non à 2 °C ou plus. Ainsi, d'ici à 2100, le niveau de la mer à l'échelle de la planète serait, si le réchauffement était limité à 1,5 °C, inférieur de 10 cm à celui qui risquerait d'être enregistré s'il était limité à 2 °C. La probabilité que l'océan arctique soit libre de glace en été serait d'une fois par siècle si le réchauffement est limité à 1,5 °C, mais d'au moins une fois tous les dix ans s'il est limité à 2 °C. Avec un réchauffement de 1,5 °C, 70 à 90 pour cent des récifs coralliens disparaîtraient, alors qu'avec un réchauffement de 2 °C, la quasi-totalité (> 99 pour cent) serait anéantie.

Il est indiqué dans le rapport que la limitation du réchauffement planétaire à 1,5 °C nécessiterait des transitions « rapides et de grande envergure » dans les domaines de l'aménagement du territoire, de l'énergie, de l'industrie, du bâtiment, du transport et de l'urbanisme. Les émissions mondiales nettes de dioxyde de carbone (CO₂) d'origine anthropique devraient être réduites d'environ 45 pour cent par rapport aux niveaux de 2010 d'ici à 2030, et il faudrait atteindre un « bilan nul » des émissions aux alentours de 2050, ce qui signifie que les émissions restantes devraient être compensées en éliminant du CO₂ de l'atmosphère.

8. Effets du changement climatique futur dans les régions du monde entier

- À l'échéance 2020, entre 75 à 250 millions de personnes seront exposées à une augmentation du stress hydrique liée aux changements climatiques.
- Selon les projections, la production agricole, y compris l'accès à la nourriture, dans de nombreux pays et régions africaines seront sévèrement compromises par les changements et la variabilité climatiques. Ceci aurait un effet négatif supplémentaire sur la sécurité alimentaire et aggraverait la malnutrition dans le continent.

- Dans certains pays, les rendements des productions non irriguées pourraient être réduits de plus de 50 % en 2020.
- Vers la fin du XXI^e siècle, la hausse projetée du niveau de la mer touchera d'importantes régions côtières de faible altitude et très peuplées. Asie
- Selon les projections, les ressources d'eau douce disponible en Asie centrale, du Sud, de l'est, et du sud-ouest, particulièrement dans les grands bassins, diminueront à cause des changements climatiques, ce qui pourrait affecter plus d'un milliard de personnes dans les années 2050.
- Les régions côtières, particulièrement les grands deltas très peuplés dans le sud, l'est et le sud-est de l'Asie, vont courir un plus grand risque à cause des inondations accrues dues à la mer et à l'écoulement des fleuves.
- Selon les projections, les changements climatiques vont entraver le développement durable de la plupart des régions en développement d'Asie, en se combinant avec les pressions exercées par l'urbanisation, l'industrialisation et le développement économique. Australie et Nouvelle-Zélande
- Les projections montrent une perte de la biodiversité pour 2020 dans certains sites écologiquement riches comprenant la grande barrière de corail et les Tropiques humides de Queensland.
- Selon les projections pour 2030, la production agricole et forestière va décroître sur une grande partie du sud et de l'est de l'Australie, et sur l'est de la Nouvelle-Zélande, due à l'augmentation de la sécheresse et des incendies. Europe
 - Europe du Sud, les changements climatiques devraient aggraver les conditions dans une région déjà vulnérable à la variabilité climatique, réduire la disponibilité en eau, le potentiel hydroélectrique, le tourisme estival et la productivité des cultures.
 - Les régions montagneuses seront confrontées au recul des glaciers, à une réduction de la couverture neigeuse et du tourisme hivernal et des extinctions d'espèces étendues.
 - En Europe centrale et orientale, les projections montrent une diminution des précipitations en été, avec une augmentation du stress hydrique. Amérique latine
 - Il y a un risque de perte significative de biodiversité dans beaucoup de régions de l'Amérique latine tropicale.
 - Dans les régions sèches, les changements climatiques devraient entraîner la salinisation et la désertification de surfaces agricoles.

- Les projections montrent que la hausse du niveau de la mer augmentera le risque d'inondation dans les régions de faible élévation. Amérique du Nord.
- Dans les montagnes de l'ouest, le réchauffement devrait, d'après les projections, provoquer une diminution du manteau neigeux, une augmentation des inondations hivernales et une diminution du débit de nombreux cours d'eau durant l'été.
- Les villes qui connaissent actuellement des vagues de chaleur devraient faire face à un accroissement du nombre, de l'intensité et de la durée des vagues de chaleur.
- Les communautés et les habitats côtiers subiront des pressions croissantes en raison de l'interaction des changements climatiques avec le développement et la pollution. Régions polaires
- En Arctique, les conséquences supplémentaires comprennent la réduction de l'étendue de la glace marine et du pergélisol, une augmentation de l'érosion des côtes et une augmentation de la profondeur de la fonte saisonnière du pergélisol.
- Dans les deux régions polaires, des habitats et des écosystèmes spécifiques seront vulnérables, d'après les projections, en raison de la réduction des barrières climatiques à l'invasion d'espèces. Petites îles
- Les petites îles, localisées dans les Tropiques ou aux plus hautes latitudes, ont des caractéristiques qui les rendent particulièrement vulnérables aux effets des changements climatiques, de la hausse du niveau de la mer et des phénomènes météorologiques extrêmes.
- Au milieu du XXI^e siècle, les changements climatiques réduiront des ressources en eau dans beaucoup de petites îles, comme dans les Caraïbes et le Pacifique.
- La détérioration des conditions côtières par l'érosion des plages et le blanchissement du corail affectera les ressources locales.

9. Les satellites météorologiques (Fig. 13)

La variabilité météorologique à court terme est très grande. Dans nos régions, elle dépasse largement les pires variations envisagées des conditions climatiques moyennes. Un grand nombre de mesures sur une longue série temporelle sera donc nécessaire pour détecter une évolution du climat et des paramètres de l'environnement qui le conditionnent. Selon la variabilité spatiale ou temporelle du phénomène à suivre, il faudra donc des mesures plus ou moins denses géographiquement et plus ou moins espacées dans le temps. (www8)

Pour tout ce qui demande un suivi quotidien à grande échelle spatiale et temporelle, le satellite est l'observatoire idéal pour autant qu'il ait des instruments capables d'aborder le phénomène étudié. Chaque satellite météorologique géostationnaire permet de suivre environ un tiers de la surface du globe, et ce plusieurs fois par heure. Les satellites à orbite polaire permettent l'observation quotidienne de la quasi-totalité de la surface du globe. Pour des observations de phénomènes limités à une zone géographique donnée (exemple : la mousson), les satellites auront des orbites spécifiques. Outre les satellites météorologiques, des satellites dédiés à l'observation de l'environnement et au suivi d'acteurs du climat (nuages, rayonnement solaire et tellurique, aérosols, gaz à effet de serre...) ont été lancés pour la communauté scientifique.

Si beaucoup de données météorologiques peuvent être mesurées par satellite, il se pose néanmoins le problème de la répartition verticale, qui ne peut être résolue que pour un nombre limité de paramètres.

En outre, le satellite ne peut pas enregistrer un grand nombre de paramètres avec une grande résolution spatiale, sous peine de saturer les transmissions de données et les traitements. Enfin, le satellite est inaccessible une fois lancé, et son bon fonctionnement doit être vérifié et rectifié grâce à des mesures au sol. Celles-ci sont donc un complément indispensable aux mesures par satellite.

Le suivi à long terme et grande fréquence se fera grâce à des stations automatiques judicieusement réparties sur la surface du globe pour assurer une bonne couverture et éviter que le signal recherché ne soit perturbé. Citons les stations météorologiques, les bouées automatiques, les stations de suivi de la composition de l'atmosphère, les spectromètres automatiques... En outre, les météorologues font des mesures quotidiennes par ballons sondes pour avoir la répartition verticale de paramètres météorologiques.

À titre indicatif, l'Organisation météorologique mondiale gérait en 2013 quelques 11 000 stations à terre, 4 000 stations embarquées sur des navires, 1 200 bouées dérivantes en mer, plus de 1 300 radiosondes attachées à des ballons sondes, 3 000 stations à bord d'avions, 03 satellites placés sur des orbites polaires et 06 sur des orbites géostationnaires. (www8)

Pour une connaissance fine limitée géographiquement, des programmes de mesures récurrentes existent, qui peuvent utiliser des transports existants : les mesures de température de la mer sont effectuées quotidiennement par nombre de bateaux marchands, tandis que des mesures atmosphériques sont installées à bord d'avions de ligne.

Enfin, l'étude de phénomènes particuliers peut donner lieu à des campagnes multi-instrumentées, dont les plus importantes se font à l'échelle internationale.



Figure 13. Le satellite, un observatoire idéal pour un suivi quotidien à grande échelle, spatiale et temporelle.

10. Les instruments juridiques des Nations Unies

10.1. La Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC)

Les changements climatiques constituent un problème complexe, qui, bien qu'étant de nature environnementale, a des conséquences sur beaucoup d'issues globales telles que la pauvreté, le développement économique, la croissance de la population, le développement durable et la gestion des ressources. La réponse aux changements climatiques passe par une réduction des émissions. En 1992, des pays ont joint un traité international, - la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) - en vue de considérer ce qui pouvait être fait pour réduire le réchauffement global et faire face à toute hausse inévitable des températures.

Avec 197 Parties, la Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) jouit d'une adhésion presque universelle. La CCNUCC met en place un cadre global de l'effort intergouvernemental pour faire face au défi posé par les changements climatiques.

10.2. Le Protocole de Kyoto

Lorsqu'ils adoptèrent la Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), les gouvernements savaient que leurs engagements ne seraient pas suffisants pour sérieusement faire face aux changements climatiques. En 1995, dans une décision connue sous le nom de Mandat de Berlin, les Parties à la Convention entamèrent un cycle de négociations en vue de décider des engagements plus solides et plus détaillés pour les pays industrialisés. Après deux années et demie d'intenses négociations, le Protocole de Kyoto fut adopté au Japon, le 11 décembre 1997. Le Protocole de Kyoto pose une limite aux grandes économies mondiales sur le rejet total des émissions de gaz à effet de serre (GES). Une première période d'engagements allait de 2008 à 2012. La seconde période d'engagement a démarré le 1er janvier 2013 et s'est terminée en 2020. Le Protocole compte 192 Parties.

10.3. L'Accord de Paris

Convoquée à Paris en décembre 2015 pour sa 21e session, la Conférence des Parties à la Convention-cadre (CCNUCC) a adopté l'Accord de Paris, un accord historique qui rassemble tous ses signataires autour d'efforts ambitieux de lutte contre les changements climatiques.

Cet accord universel s'appuie sur la Convention et rassemble toutes les nations autour d'une cause commune qui vise à accélérer et intensifier les actions et les investissements nécessaires à un avenir durable à faible intensité de carbone et à contenir la hausse de la température mondiale pour le XXIe siècle bien au-dessous de 2 °C, avec pour objectif de limiter la hausse de la température à 1,5 °C au-dessus des niveaux de l'ère préindustrielle.

L'Accord de Paris a été ouvert à la signature le 22 avril 2016 - Jour de la Terre - au Siège des Nations Unies à New York et il est entré en vigueur le 4 novembre 2016.

10.4. Le Sommet Action Climat 2019

Le 23 septembre 2019, le Secrétaire général, António Guterres, a convoqué un Sommet sur le climat afin de réunir les dirigeants mondiaux des gouvernements, du secteur privé et la société civile afin de soutenir le processus multilatéral ainsi que d'accroître et d'accélérer l'action et les ambitions climatiques. Il a nommé Luis Alfonso de Alba, ancien diplomate mexicain, en tant qu'envoyé spécial pour diriger les préparatifs. Le sommet s'est concentré sur les secteurs clés dans lesquels l'action peut faire la plus grande différence - industrie lourde, solutions basées sur la nature, villes, énergie, résilience et financement climatique. Les dirigeants du monde ont présenté un état des lieux de leurs actions et sur ce qu'ils ont l'intention de faire de plus lorsqu'ils se réuniront en 2020 pour la conférence des Nations Unies sur le climat, où les engagements seront renouvelés et pourront être approfondis.

En clôturant le Sommet Action Climat 2019, le Secrétaire général a déclaré : « Vous avez insufflé un nouvel élan, renforcé la coopération et fait preuve d'une ambition renouvelée. Il nous reste cependant encore beaucoup à faire. Nous devons élaborer des projets plus concrets et inciter davantage de pays et d'entreprises à intensifier leurs efforts.

Il est indispensable que toutes les institutions financières, qu'elles soient publiques ou privées, fassent définitivement le choix de l'économie verte. »

10.5. Prix Nobel de la paix

En 2007, le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) et l'ex-Vice-président des États-Unis Albert Arnold (Al) Gore Jr. (de 1993 à 2001) ont reçu conjointement le Prix Nobel de la paix pour leurs efforts de collecte et de diffusion des connaissances sur les changements climatiques provoqués par l'homme, et pour poser les fondements des mesures nécessaires pour lutter contre ces changements.

11. Conclusion

Les tendances actuelles de réchauffement climatique sont incontestables. Il est très probable que les gaz à effet de serre émis par les activités humaines constituent la principale cause du réchauffement observé au cours de ces cinquante dernières années. Selon les prévisions, ces tendances devraient se poursuivre et s'intensifier au cours du XXI^e siècle et au-delà.

Le changement climatique a déjà des effets mesurables sur de nombreux systèmes naturels et

humains. On prévoit qu'à l'avenir ces effets seront plus nombreux et plus graves à mesure que les températures augmenteront.

Certaines mesures d'adaptation ont déjà été prises et ce type de mesures sera indispensable pour faire face aux conséquences prévues. L'adaptation a cependant ses limites ; des mesures d'atténuation seront également nécessaires afin de réduire la gravité des impacts du changement climatique.

Les mesures d'atténuation visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre peuvent contribuer à éviter, atténuer ou retarder de nombreux impacts du changement climatique. Des instruments politiques pourraient en courage les producteurs et les consommateurs à investir fortement dans des produits, des technologies et des processus qui émettent moins de gaz à effet de serre. En l'absence de nouvelles politiques d'atténuation, les émissions mondiales de gaz à effet de serre continueront à augmenter au cours des décennies à venir et au-delà. Afin de stabiliser la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, des investissements dans des technologies d'atténuation et un déploiement rapide de celles-ci à l'échelle mondiale seront nécessaires, tout comme la recherche de nouvelles sources d'énergie.

Des recherches supplémentaires visant à combler les lacunes dans les connaissances actuelles permettraient de réduire les incertitudes et faciliteraient par conséquent la prise de décision liée au changement climatique.

Le chapitre suivant, chapitre trois, une brève présentation des différents paramètres environnementaux, qui nécessitent un suivi minutieux.

Chapitre-III:

Paramètres de changement à suivre

1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les différents paramètres qui affectent l'état de la surface (climatologie, végétation, gaz à effet de serre), ainsi que le modèle de projection de la température jusqu'à l'an 2100. Les différents fournisseurs de données satellitaires, terrestres et les outils utilisés seront abordés dans ce chapitre. Sous la contrainte du temps nous nous sommes limités sur les paramètres sous-mentionnés après.

2. Paramètres de la biosphère

Afin de garantir un suivi spatiotemporel du changement de l'état de la surface dans la région d'El Oued, nous proposons les paramètres et indices suivants :

2.1. L'indice normalisé de végétation (NDVI)

L'indice de végétation peut nous renseigner sur l'état de surface de la terre, que ce soit dans le cas de dégradation du sol ou de progression végétale. Les indices de végétation les plus simples sont basés sur des opérations arithmétiques entre deux bandes spectrales, généralement le rouge et le proche infrarouge. On trouve le l'indice normalisé de différence de végétation (*Normalized Difference Vegetation Index*, en anglais). Sa formule est comme suit (Rouse and Haas, 1973) (Eq. 01):

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R}) \quad (01)$$

Où :

PIR : canal proche infrarouge.

R : canal rouge.

La normalisation par la somme des deux bandes permet de réduire les effets d'éclairement. Le NDVI conserve une valeur constante quelque soit l'éclairement global, contrairement à la simple différence qui est très sensible aux variations d'éclairement (www1). Les images du NDVI sont disponibles sur la plateforme de Google Earth Engine (GEE), et sont issues du satellite MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). L'instrument Terra de MODIS, avec une résolution de 500 mètres, assure des images synthèse de 16 jours du NDVI, de l'année 2000 jusqu'à 2021.

2.2. Le climat

Comme on a présenté dans le premier chapitre le climat de la région d'El Oued, qui est caractérisé par une température très élevée dans la période estivale (climat sec et aride) et froid et sec en hiver. Etant donné que la seule source de données climatologiques est la station de Guemar (aéroport), la chose qui présente une vraie contrainte de données. La seule solution était de faire appel aux données grilles (mailles) disponibles dans la plateforme de Google Earth Engine (GEE). Dans notre projet on a utilisé les paramètres de températures et de précipitations.

2.2.1. La température (LST)

La région d'El Oued est une région désertique, Souvent la température est très élevée en été. La plateforme Google Earth Engine (GEE) présente une source précieuse de données satellitaires et grilles, ainsi que d'autres modèles de projection. Pour notre projet, on a utilisé la température de surface de la terre (ou *Land Surface Temperature*) du satellite MODIS, de son instrument embarqué Terra (produit MOD11A1). Avec une résolution spatiale de 1km, les images de MODIS assurent une couverture quotidienne de la zone d'étude. L'équation 02 donne l'algorithme du calcul de la température de surface (McClain et al., 1985).

$$LST = T4 + (1/(a-1)) * (T4-T5) - b/(a-1) \quad (02)$$

Où :

T4 et T5 : canal thermique 31 et 32 respectivement.

a et b : coefficients de corrélation.

2.2.1. Les précipitations (PP)

Suite au manque de données climatologiques dans la région du Souf (une seule station climatologique pour un étendu spatial important), la plateforme GEE présente un grand avantage. Les données de précipitations sont disponibles en continu depuis 1981 jusqu'à 2021 par le groupe non gouvernemental *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS, États-Unis). L'idée se base sur les données terrestres ensuite créer une grille (maille) de 0.05°x0.05° de résolution spatiale.

2.3. Les gaz à effet de serre (GES)

Plus d'une quarantaine de gaz à effet de serre ont été recensés par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC). En raison de limite du temps nous sommes limité dans notre étude sur trois GES, notamment le méthane (CH₄), le monoxyde du carbone (CO) et le dioxyde d'azote(NO₂). Le suivi de ces trois GES nous permet de faire le suivi spatiotemporel de la qualité de l'air (ou plutôt santé de l'aire), dans notre région. Les données sont disponibles dans GEE et livrées par le satellite européen Sentinel 5P, avec une résolution spatiale de 1100 kmx1100 km, à partir l'année 2018 pour les gaz CO et NO₂ et de l'année 2019 pour le CH₄.

2.3.1. Le méthane (CH₄)

Le méthane (CH₄) est essentiellement généré par l'agriculture (rizières, élevages) (www2).

- Est créé par la décomposition de matières végétales en milieux humides.
- Un peu plus de la moitié des émissions totales de méthane est provoquée par les activités humaines :
- L'agriculture (rizières, fermentation dans l'intestin des ruminants, utilisation de fumier et de lisier),
- Le traitement des déchets ménagers (versages, compostage),
- L'exploitation, la distribution et la consommation de gaz naturel (fuites, gaz insuffisamment ou non brûlé).
- La concentration en méthane a augmenté de près de 150 % depuis 1750, de 700 à 1774 ppb en 2005 (ppb = parts per billion - nombre de particules par milliard) ; ce gaz est responsable d'environ 20 % de l'effet de serre actuel. Les émissions de méthane sont demeurées assez stables au cours de la dernière décennie.
- Le méthane a un "pouvoir de réchauffement global" (GWP = *Global Warming Potential*) 25 fois supérieur à celui du CO₂.

2.3.2. Le monoxyde de carbone (CO)

Gaz inodore, incolore et inflammable, le monoxyde de carbone CO se forme lors de la combustion incomplète de matières organiques (gaz, charbon, fioul ou bois, carburants).

La source principale est le trafic automobile. Des taux importants de CO peuvent être rencontrés quand un moteur tourne au ralenti dans un espace clos ou en cas d'embouteillages dans des espaces couverts, ainsi qu'en cas de mauvais fonctionnement d'un appareil de chauffage domestique.

Le CO participe aux mécanismes de formation de l'ozone troposphérique. Dans l'atmosphère, il se transforme en dioxyde de carbone CO₂ et contribue à l'effet de serre. Le monoxyde de carbone a un effet toxique à partir d'une concentration en volume inférieure à 0.1%, en exposition prolongée. Le CO se fixe sur l'hémoglobine pour former une molécule stable, la carboxyhémoglobine. L'hémoglobine s'associe préférentiellement avec le CO plutôt qu'avec l'oxygène, et cette fixation est irréversible. Pour une concentration de 800 ppm de CO dans l'air, 50% de l'hémoglobine se bloque sous forme de carboxyhémoglobine. Il en résulte une diminution de l'oxygénation cellulaire, nocive en particulier pour le système nerveux central. Le CO est responsable de 300 à 400 décès par an en France, en milieux clos, et de plus de 5000 hospitalisations (www3).

2.3.3. Le dioxyde d'azote (NO₂)

Le dioxyde d'azote est un composé chimique de formule NO₂. Il s'agit d'un gaz brun-rouge toxique suffocant à l'odeur âcre et piquante caractéristique. Il constitue le polluant majeur de l'atmosphère terrestre. Il est notamment produit par les moteurs à combustion interne et les centrales thermiques. Le dioxyde d'azote (NO₂) se forme dans l'atmosphère à partir du monoxyde d'azote (NO) qui se dégage essentiellement lors de la combustion de combustibles fossiles, dans la circulation routière par exemple. Le dioxyde d'azote se transforme dans l'atmosphère en acide nitrique, qui retombe au sol et sur la végétation. Cet acide contribue, en association avec d'autres polluants, à l'acidification des milieux naturels. Les concentrations de NO et de NO₂ augmentent en règle générale dans les villes aux heures de pointe. Les émissions anthropiques de NO₂ proviennent principalement de la combustion (chauffage, production d'électricité, moteurs des véhicules automobiles et des bateaux) (www4).

Dans l'air, le NO₂ a les effets suivants :

- C'est un gaz toxique entraînant une inflammation importante des voies respiratoires à des concentrations dépassant 200 µg/m³, sur de courtes durées.
- C'est le principal agent responsable de la formation des aérosols de nitrates, qui représentent une proportion importante des PM_{2.5} et d'ozone, en présence de rayons ultraviolets.

Les études épidémiologiques ont montré que les symptômes bronchitiques chez l'enfant asthmatique augmentent avec une exposition de longue durée au NO₂. On associe également une diminution de la fonction pulmonaire aux concentrations actuellement mesurées (ou observées) dans les villes d'Europe et d'Amérique du Nord (www4).

2.4. Le modèle de prévision de température NEX-GDDP

L'ensemble de données *NASA Earth Exchange - Global Daily Downscaled Climate Projections* (NEX-GDDP) de la NASA comprend des scénarios climatiques à échelle réduite pour le globe qui sont dérivés des exécutions du Modèle de Circulation Générale (GCM), menées dans le cadre de la phase 5 du projet d'intercomparaison de modèles couplés (CMIP5) et à travers deux des quatre scénarios d'émissions de gaz à effet de serre connus sous le nom de *Representative Concentration Pathways* (RCPs). Les exécutions du CMIP5 GCM ont été développées à l'appui du cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC AR5) (GEE).

Cet ensemble de données a été préparé par le *Climate Analytics Group* et le *NASA Ames Research Center* à l'aide du *NASA Earth Exchange*, et distribué par le *NASA Center for Climate Simulation* (NCCS). Débutant de l'année 1950, les données du modèle NEX-GDDP donnent une projection de température jusqu'à l'année 2100.

3. Données et logiciels utilisés

3.1. Les logiciels

- ArcGIS 10.5, pour la visualisation, lecture, extraction des informations et édition cartographique des différentes cartes thématiques.
- MS Office Excel 2007, pour les statistiques et réalisations des différents graphes et courbes.

- Langage de programmation Python, un script utilisé dans la plateforme GEE pour la visualisation et l'extraction des données.

3.2. Les données

Toutes les données utilisées dans ce projet sont issues de la plateforme GEE. Nous citons :

- L'évolution du couvert végétal dans la région du Souf par le satellite MODIS et le produit MODIS/MCD43A4_006_NDVI.
- L'historique des températures est calculé à partir du satellite MODIS, dont le produit est MOD11A1.
- La climatologie des précipitations du modèle *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS, États-Unis).
- Les gaz à effet de serre (GES) : CH₄, CO et NO₂ à partir du satellite européen Sentinel 5P, à partir des produits : COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CH4, COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_CO et COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_NO2, respectivement.
- La projection de la température dans les années futures par le modèle NASA/NEX-GDDP.

4. Objectifs escomptés

Nous cherchons à caractériser les changements qui ont affecté le milieu naturel dans la région d'El Oued, notamment :

1. Le suivi des changements du couvert végétal (dans quel sens ?) et déterminer les causes possibles derrière.
2. Les variations historiques des températures et des précipitations peuvent nous expliquer la tendance climatique de notre région d'étude.
3. La région du Souf est-elle influencée par les gaz à effet de serre ? et à quel point ? la réponse sera donnée par le traitement des trois GES sélectionnés.
4. On est concerné par le changement climatique et l'augmentation des températures, dans les années à venir ? le modèle NASA/NEX-GDDP va nous répondre.

5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents produits et paramètres utilisés dans notre mémoire de fin d'étude, ainsi que les objectifs escomptés de ce mémoire. Les principaux paramètres qui caractérisent l'évolution ou le changement climatique dans notre étude comme les précipitations, les variations de la température, l'évolution du couvert végétal, puis quelques gaz qui reflètent l'effet de serre, comme le Méthane (CH₄), le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Sachant qu'il y a d'autres principaux gaz d'effet de serre comme le dioxyde de carbone (CO₂), l'ozone (O₃) et autres, mais à cause de la limite de temps on s'est limité pour les trois premiers gaz. Le chapitre suivant exposera les résultats des différents traitements effectués, ainsi que les interprétations connexes.

Chapitre IV:

Résultats et discussions

1. Introduction

A travers ce chapitre nous allons présenter les différents résultats obtenus, à partir des images satellitaires traitées ou des analyses statistiques effectuées. Des commentaires et interprétations seront détaillées par la suite.

2. L'état du couvert végétal

Comme la Wilaya d'El Oued est une région désertique, la plupart des surfaces présentent des régions de sable. Les dernières années, cette Wilaya a connu une révolution agraire, surtout dans l'agriculture maraichère. La figure 14 montre l'évolution du couvert végétal de la W. d'El Oued depuis l'année 2000 jusqu'à 2021. On peut constater deux grandes périodes de diminution: la première en 2009 (entre 24 et 29 janvier, NDVI = 0.076) et la deuxième entre 2011 (26 et 28 décembre, NDVI = 0.084) et 2012 (15 et 31 décembre, NDVI = 0.088).

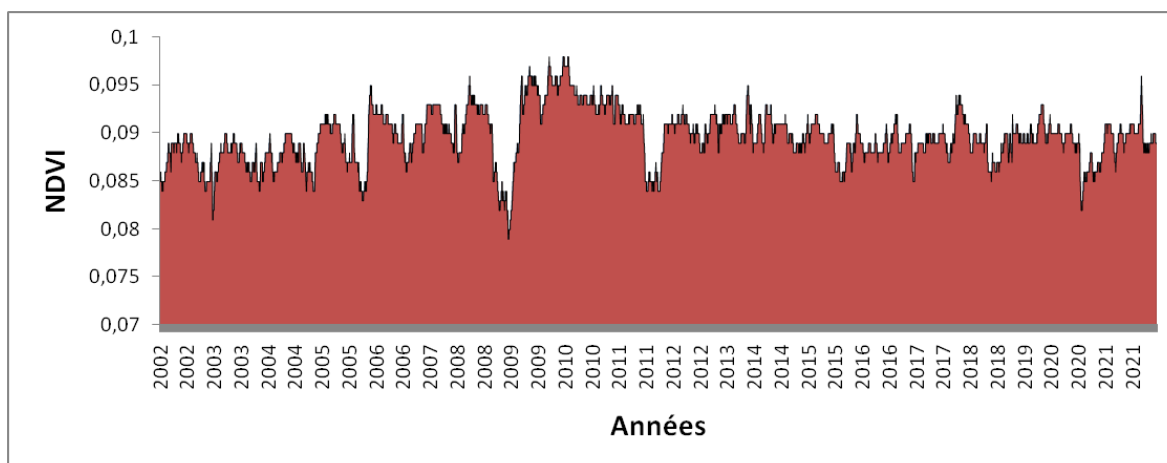


Figure 14. Évolution du couvert végétal entre 2000 et 2021 (source : GEE).

Nous remarquons que les périodes de diminution du couvert végétal est marquée dans la période hivernale. L'analyse des enregistrements des précipitations peuvent nous donner plus de renseignements. Le tableau 3 illustre les enregistrements des précipitations sur toute la région du Souf.

Tableau 3. Précipitations enregistrées entre 2000 et 2021 (source : GEE).

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Précipitations (mm)	66,5	69,2	69,1	101,8	116,2	74,1	88,9	82,2	78,1	123,5	83,3	73,0
Année	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021		
Précipitations (mm)	78,4	91,1	72,8	68,1	73,9	113,2	73,2	89,0	73,5	71,7		

Pour expliquer la faible densité du couvert végétal en 2009 et en 2011 et 2012 on remarque les taux des précipitations enregistrés une année avant. En 2008 on trouve un total de 78.1 mm. Egalement en 2011 (73.0 mm) et en 2012 (78.4). Ces faibles quantités de pluies expliquent la diminution du couvert végétal une année ou moins après. C'est ce qu'on appelle la réponse végétative tardive. La chose qui confirme cette hypothèse c'est la phase d'explosion végétale, marquée surtout en 2010. Nous remarquons que les totaux des précipitations enregistrés en 2009 avoisinent les 123.5 mm.

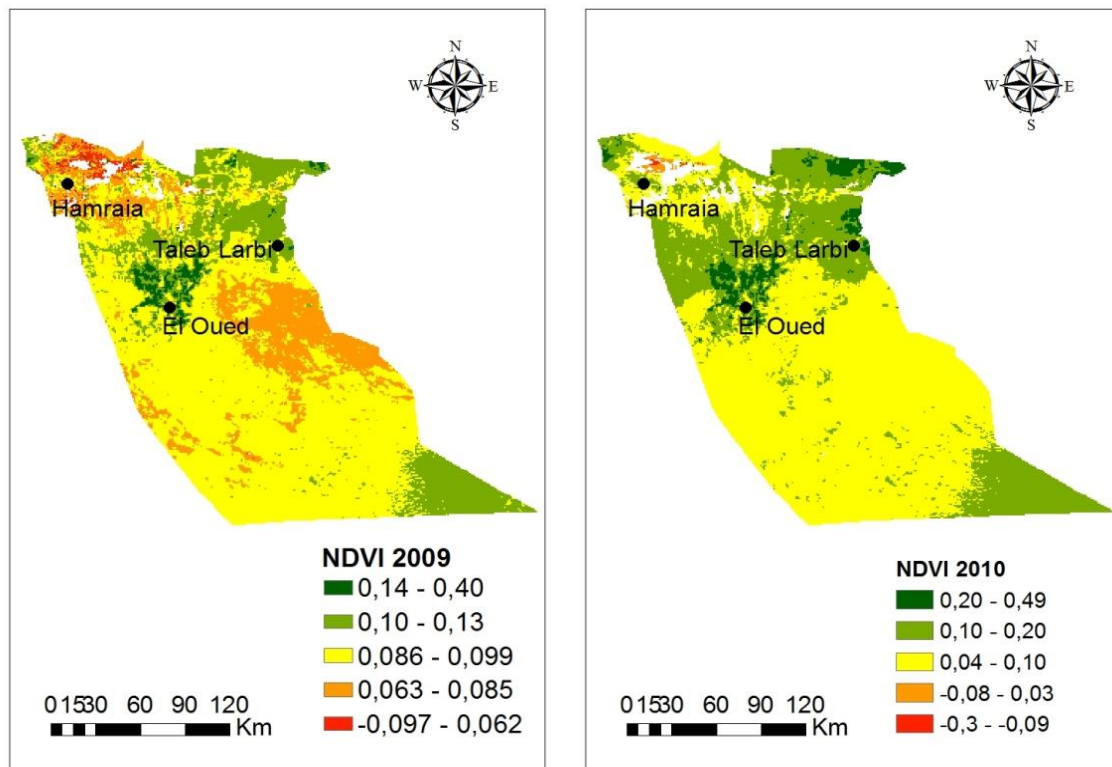


Figure 15. Couvert végétal de la zone d'étude (A : 2009, B : 2010).

Pour bien cerner les régions touchées par l'évolution/dégradation du couvert végétal on a effectué une analyse diachronique entre les années 2009 et 2010. L'analyse de la différence est illustrée dans la figure 16. Les régions en vert représentent les régions qui ont connu une augmentation de la végétation. Les zones en jaune représentent les régions dégradées. Le rouge indique une zone où le couvert végétal est stable (pas de changement). En conclusion, après une années pluvieuse (2009), le couvert végétal a pris croissance concrète dans les régions nord de la zone d'étude, et surtout dans ces régions de pâturage.

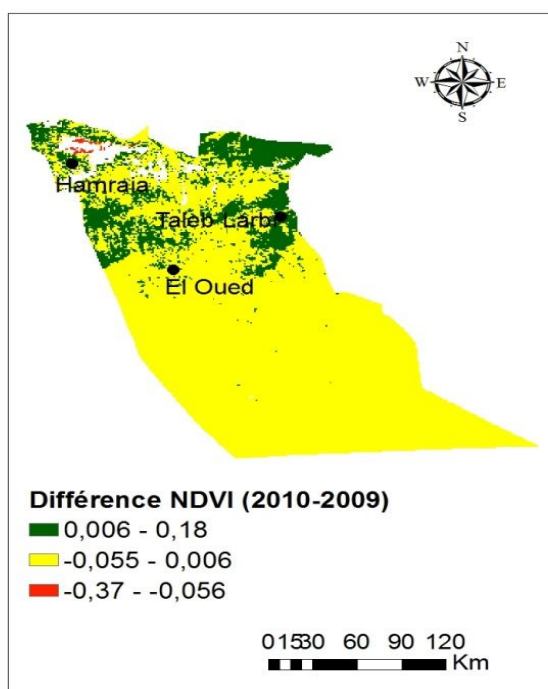


Figure 16. Couvert végétal de la zone d'étude entre 2009 et 2010.

3. Les précipitations

La région d'El Oued est une région désertique. Les totaux annuels des précipitations en général ne dépassent pas les 130 mm. Malgré ce faible taux mais reste des fois une on enregistre des valeurs extrêmes. La figure 17 présente les totaux annuels de précipitations entre 1981 et 2021. En 2009 El Oued enregistre un cumul de 123.5 mm, comme étant la valeur la plus élevée dans cette période. Cette année humide a marqué l'année suivante (2010) par une croissance importante du couvert végétal.

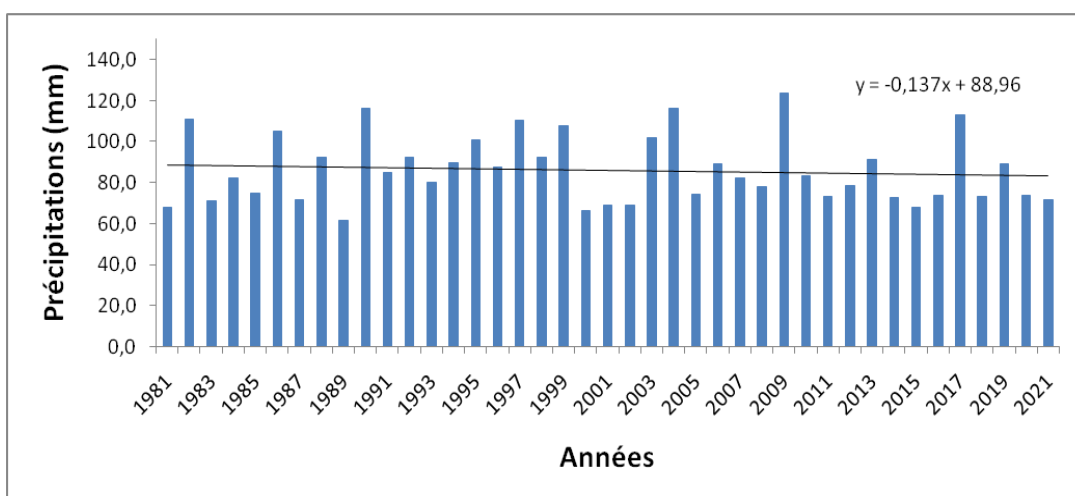


Figure 17. Totaux des précipitations entre 1981 et 2021 (source : GEE).

Nous remarquons aussi (Fig. 17) que les précipitations tendent vers la régression, d'après la courbe de tendance. Le traitement des images des totaux annuels des précipitations, sous ArcGIS, montrent clairement que l'année 2009 est l'année la plus pluvieuse, notamment sur le chef-lieu de la Wilaya (Fig. 18), la chose qui explique l'explosion végétale constatée en 2010. C'est la réponse tardive de la végétation. Il est clair que les précipitations sont en relation de corrélation directe avec les latitudes. Lorsqu'on monte en latitude les précipitations augmentent et vice versa.

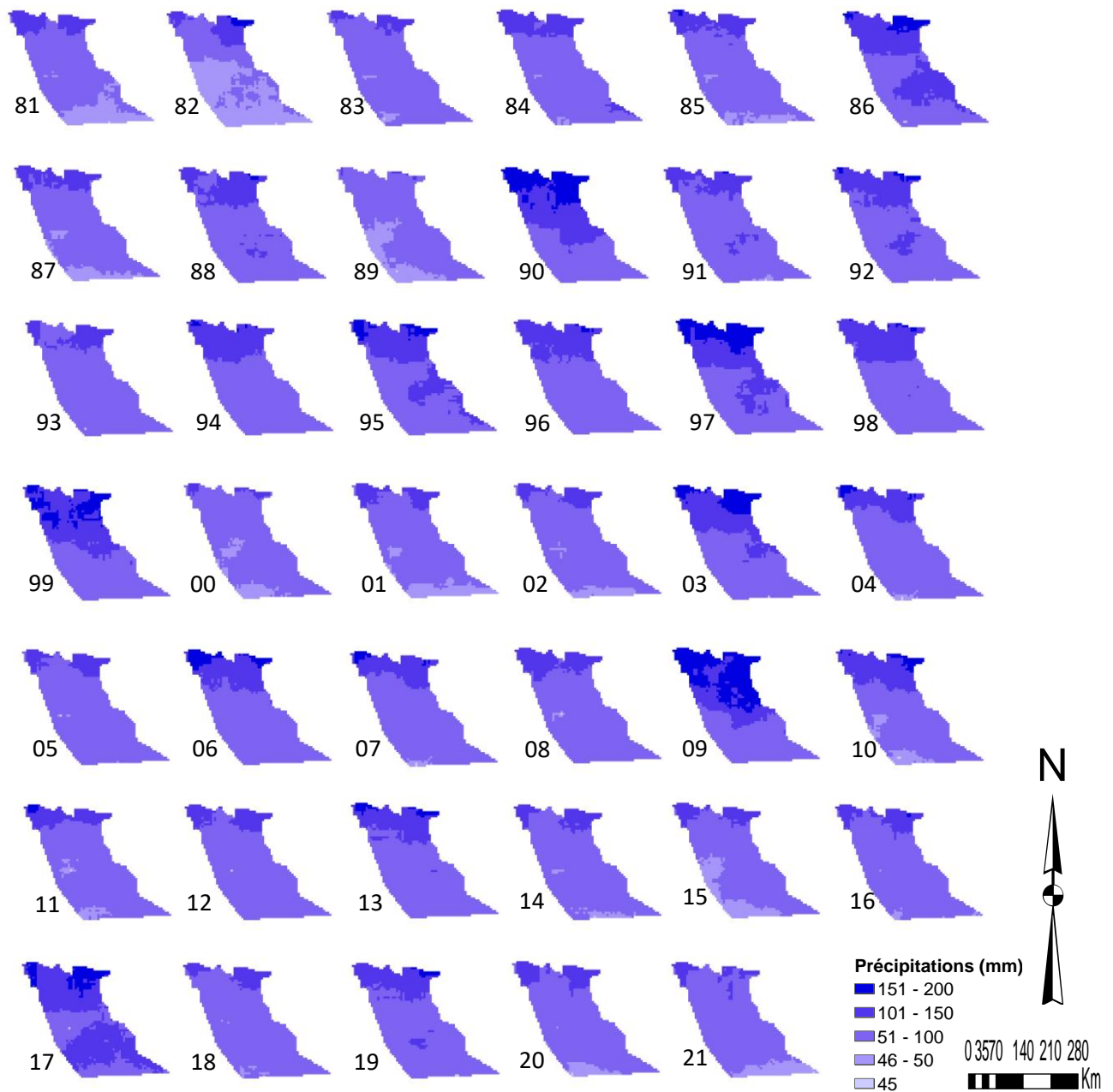


Figure 18. Précipitations moyennes annuelles entre 1981 et 2021.

4. Les températures

Le deuxième paramètre climatique à étudier c'est la température. La figure 19 expose les températures moyennes enregistrées entre l'année 2000 et l'année 2021, sur l'ensemble du territoire étudié d'un côté et sur la ville d'El Oued, d'un autre côté. Nous remarquons que la tendance des températures est en hausse. A signaler que les deux années les plus chaudes, enregistrées dans la ville d'El Oued, sont 2011 et 2012 (35.40 °C et 35.39 °C, respectivement).

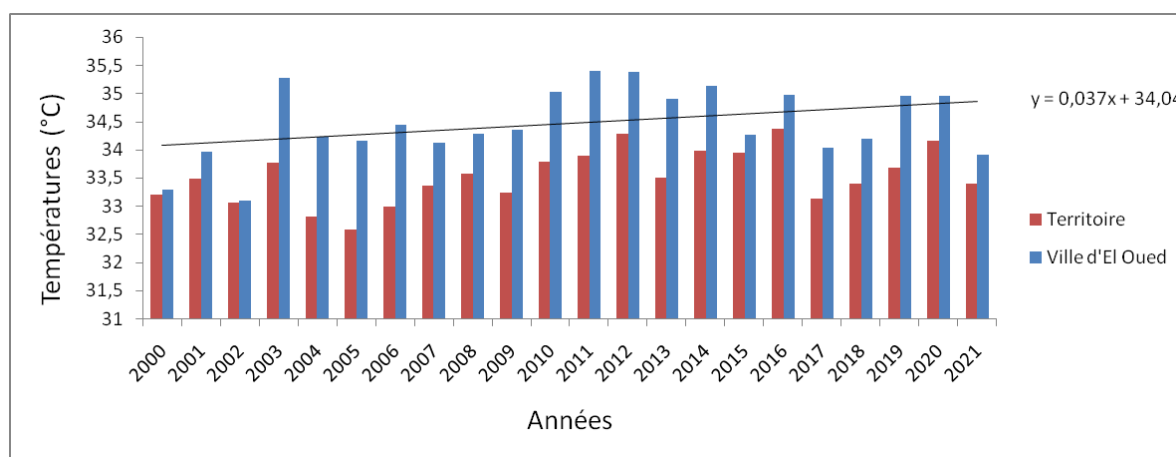


Figure 19. Températures moyennes annuelles entre 2000 et 2021 (source : GEE).

Comme l'ensemble du territoire de la zone d'étude est constitué de sable, on peut expliquer l'écart de températures moyennes annuelles entre celles enregistrées à la ville d'El Oued et celles enregistrées sur l'ensemble du territoire. L'écart entre les températures minimales et maximales enregistrées sur le sable est plus significatif que celui enregistré dans un milieu urbain. La courbe de tendance montre une progression apparente des températures, une augmentation en continue.

Pour mieux comprendre la distribution des températures moyennes annuelles, pendant la période d'étude (2000 - 2021), sur la ville d'El Oued, on a pris trois zones tests : centre-ville d'El Oued, sable et forêt. La figure 20 illustre cette distribution. D'après la figure 20 la température enregistrée au centre-ville d'El Oued commence à augmenter à partir de l'année 2019 et rester en hausse pendant les années qui suivent, en 2020 et 2021.

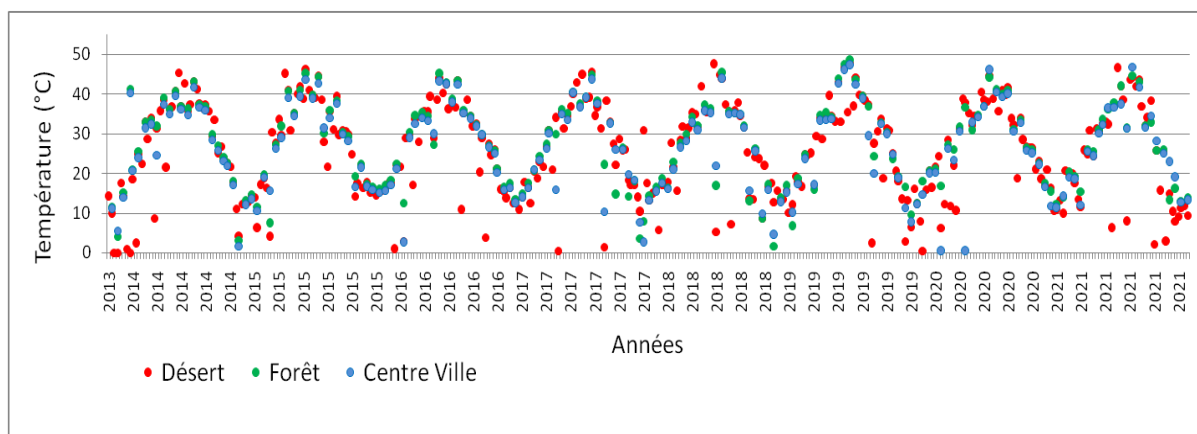


Figure 20. Températures des zones tests entre 2000 et 2021 (source : GEE).

On remarque aussi les faibles températures enregistrées dans la zone test désert, en périodes hivernales. Ça confirme ce que nous avons dit sur les écarts importants marqués entre les températures minimales et maximales. Les températures enregistrées dans la zone forêt (palmiers) restent dans les moyennes.

5. Relation NDVI-PP-LST

Une corrélation possible sur la relation entre les trois paramètres : indice de végétation (NDVI), précipitations (PP) et la température de surface (LST), peut être confirmée par la figure 21. Cela va nous permettre de bien comprendre la relation entre ces trois paramètres et interpréter son évolution sur l'écosystème local.

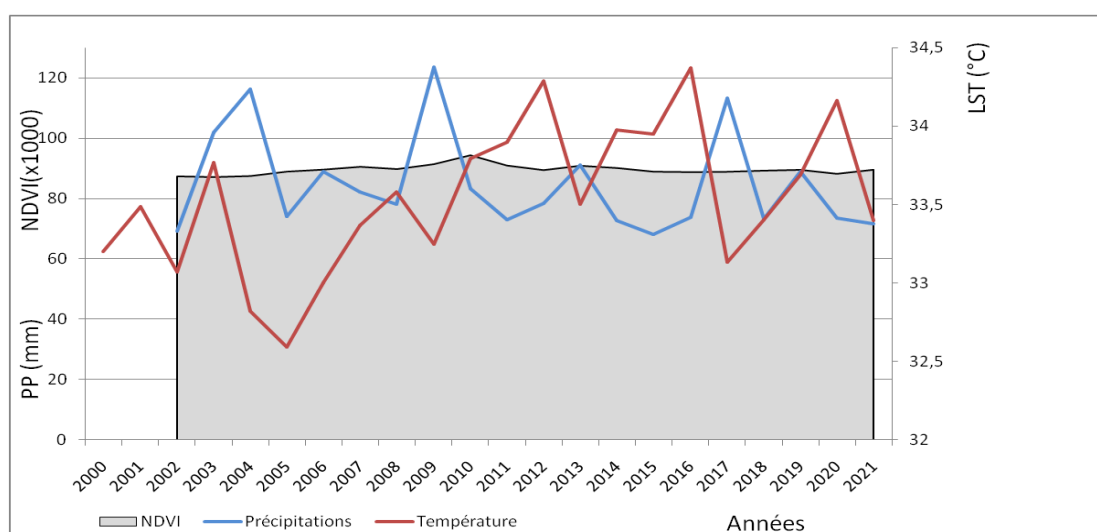


Figure 21. Relation NDVI – PP - LST (source : GEE).

La figure 21 montre clairement que l'année 2009 était une année humide et pluvieuse par excellence (un total de 123.5 mm). Cette année est marquée aussi par une baisse des températures moyennes sur l'ensemble de la région d'étude. Ce qui explique un indice de végétation important marqué l'année suivante (2010). C'est une relation optimale entre les précipitations, les températures et l'indice de végétation. Une deuxième année qui semble pluvieuse (2004, un total de 116.2 mm) mais nous constatons une faible augmentation du couvert végétal l'année suivante. Cela est dû probablement à un recul des activités agricoles en cette année (2005). Sinon, on constate que les températures sont en hausse progressive et diminution des précipitations avec la diminution du couvert végétal dans le temps.

6. Les gaz à effet de serre (GES)

Le traitement des différentes traces de gaz à effet de serre (GES) nous permet de confirmer l'existence des signes d'un changement climatique probable, dans notre région d'étude.

6.1. Le méthane (CH₄)

La figure 22 expose l'analyse des images mensuelles du Méthane (CH₄), depuis février 2019 jusqu'à décembre 2021. On peut constater en premier lieu que les zones d'activité agricole enregistrent un taux élevé du CH₄. Le chef-lieu de la Wilaya, Magrane, Hassi Khalifa et Ourmes, sont les communes les plus exposées à cette augmentation. Ces communes font l'objet d'une activité agricole intense, la chose qui explique cette augmentation du gaz CH₄. Un manque d'enregistrement des données a été marqué sur les images des mois 04-19 au 07-19, 04-20 au 09-20 et les mois 05 et 06 de l'année 2021. On peut dire que c'est un problème technique lié au satellite Sentinel 5P, surtout dans les premières années de son observation. Une chose souvent connue chez les nouveaux satellites. A fur et à mesure avec le temps, l'instrument va prendre son équilibre dans l'observation et l'enregistrement des données. D'après les normes seuils mentionnées par l'IPCC, le méthane dans l'époque préindustrielle était compris entre 600 et 700 ppb. En 2018, le CH₄ a atteint un nouveau pic : 1 869 ppb (www5). Les valeurs enregistrées dans notre zone d'étude dépassent celles de 2018.

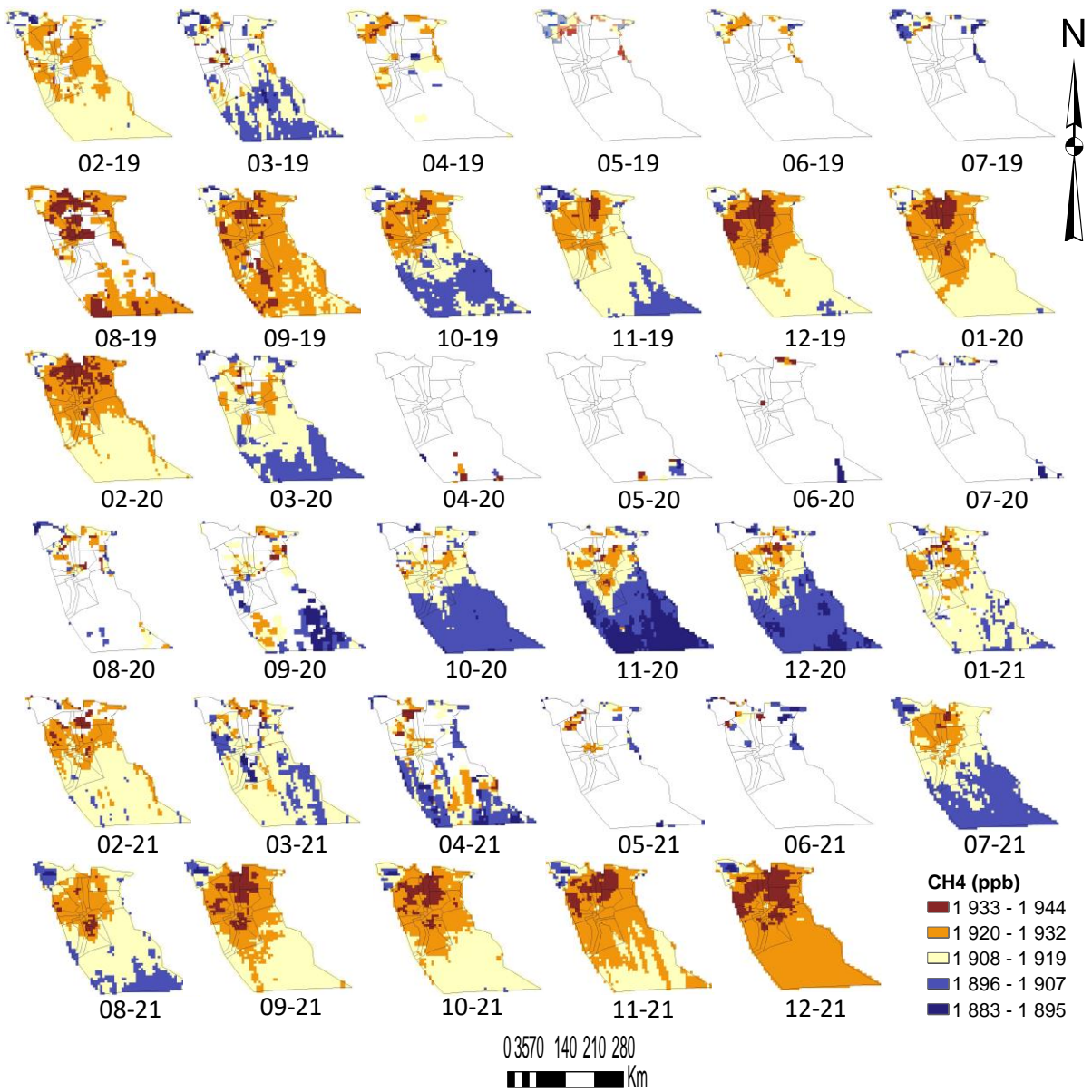


Figure 22. Évolution du méthane (2019 - 2021).

Pour évaluer les concentrations du CH₄ sur la ville d'El Oued, la figure 23 expose ces enregistrements. D'après la courbe de tendance, les concentrations augmentent progressivement avec le temps, d'une façon accélérée. On a enregistré un maximum de 1939 ppb, en mois de novembre de l'année 2021. L'extension urbaine de la ville d'El Oued avec les activités agricoles voisinant le périmètre urbain font que les concentrations du CH₄ augmentent. L'élevage des bétails et l'utilisation intensive et non contrôlé des engrais organiques accélèrent d'une manière concrète ces concentrations.

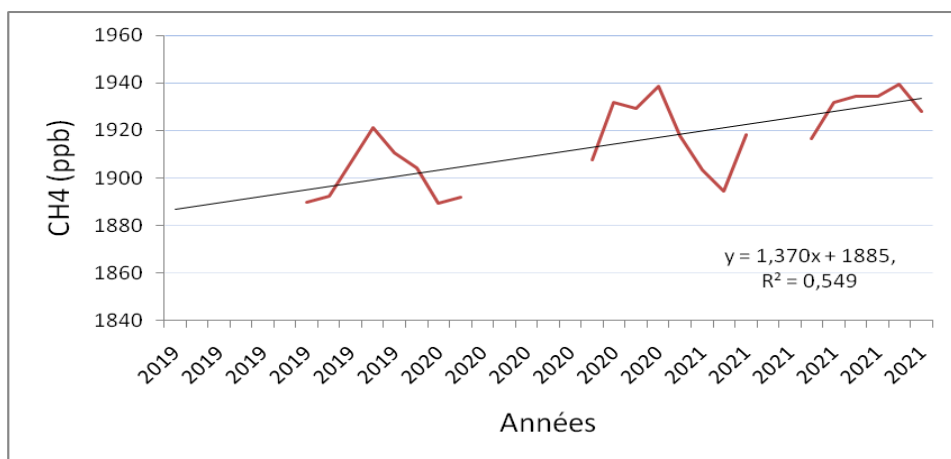


Figure 23. Évolution du méthane sur la ville d'El Oued (2019 - 2021) (source : GEE).

Le méthane est un gaz à effet de serre, et a la capacité de chauffer l'atmosphère 25 fois plus intensément que le dioxyde de carbone (CO).

6.2. Le monoxyde de carbone (CO)

La source principale du gaz monoxyde de Carbone (CO) c'est le trafic automobile, notamment les gaz d'échappement des voitures et des camions. Le CO participe aux mécanismes de formation de l'ozone troposphérique, cette couche artificielle qui fait bloquer l'énergie émise de la surface terrestre (la chaleur) à s'échapper vers l'espace extra-atmosphérique, joue le rôle d'une serre. Ce blocage d'énergie ainsi résulte une augmentation de la température moyenne de la Terre. La figure 24 présente les variations mensuelles moyennes des concentrations du CO, depuis novembre 2018 jusqu'à décembre 2021. La première remarque à signaler est que les concentrations du CO sont marquées dans la partie nord de la zone d'étude. Cette partie nord qui connaît une activité routière importante, sachant que la densité majeure du réseau routier se trouve dans cette région. La valeur maximale enregistrée était en mois d'avril de l'année 2019 (3.7 ppm, d'où 1 ppm = 1,146 mg/m³). Avec cette valeur, qui reste inférieure à la norme (6 ppm/jour) déclarée par l'Organisation Mondiale

de la Santé (OMS) on peut dire que notre région d'étude est loin de risque de contamination par une concentration élevée du CO.

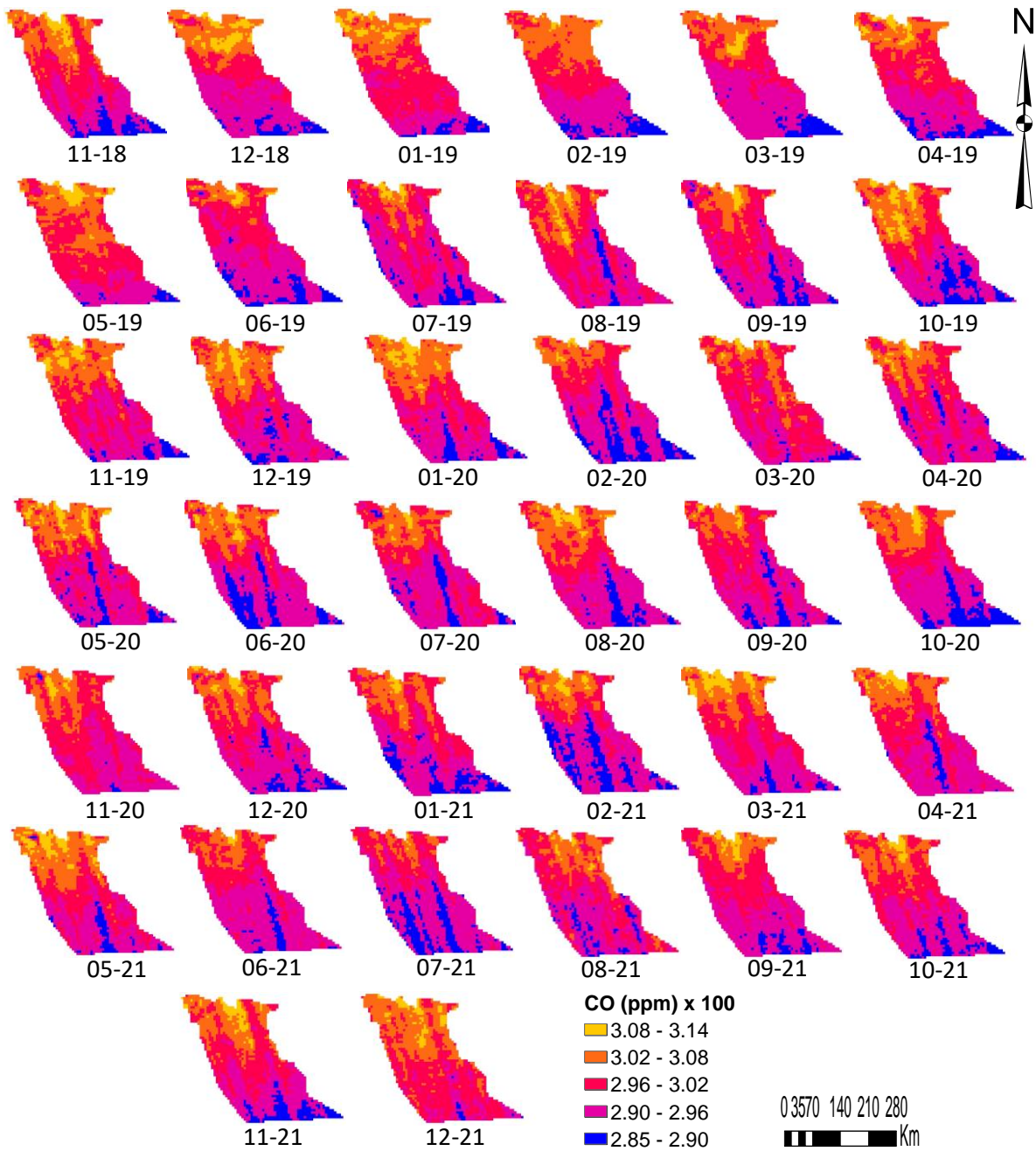


Figure 24. Variation moyenne du monoxyde de carbone entre 2018 et 2021.

La même chose constatée pour les valeurs enregistrées au centre-ville d'El Oued. La figure 25 présente les enregistrements du CO pour la même période (2018 - 2021). La valeur maximale enregistrée est de 3.59 ppm, en mois d'avril de l'année 2019. La courbe de tendance nous renseigne sur une stabilité des concentrations. Le trafic routier actuel ou l'activité industrielle pour le moment ne présentent aucun risque potentiel. La vigilance des collectivités locales est toujours demandée.

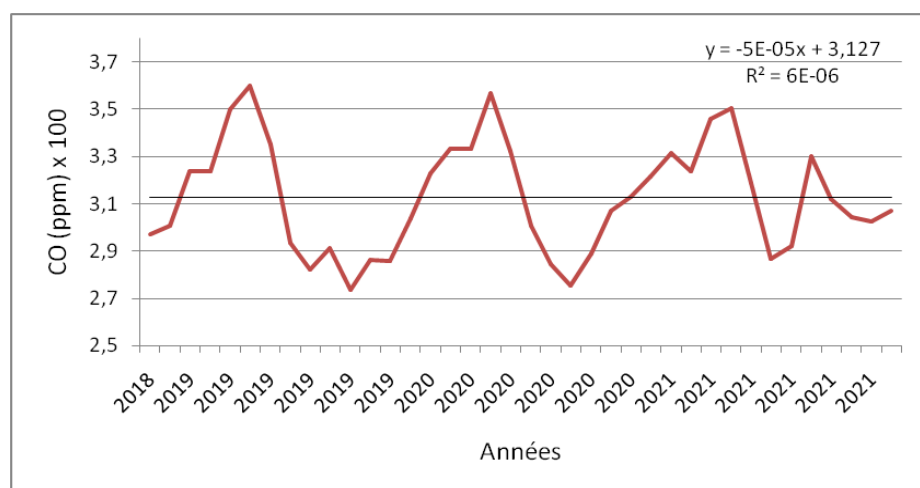


Figure 25. Variation des moyennes mensuelles du CO de la ville d'El Oued entre 2018 et 2021 (source : GEE).

6.3. Le dioxyde d'azote (NO₂)

Le NO₂ est principalement émis par le trafic routier et les activités industrielles. Le seuil recommandé par l'OMS est inférieur à 10 µg/m³ par an. L'analyse des images moyennes mensuelles du NO₂ est présentée par la figure 26. La première remarque qu'on peut constater est que la valeur la plus élevée concerne toujours le chef-lieu de la Wilaya, la ville d'El Oued. Une valeur maximale a été enregistrée en deux mois : mois de juillet de l'année 2019 (8.2) et la même valeur en mois de juillet de l'année 2021.

Nous remarquons que dans la période estivale (surtout les mois de juillet et août) les concentrations du NO₂, dans la ville d'El Oued, tendent vers les minimas. Cela est dû normalement au moment des vacances, d'un côté et à la température élevée d'un autre côté, ces deux causes expliquent la baisse du trafic routier d'une manière générale.

Sur une échelle de 10, la ville d'El Oued se trouve dans une situation alarmante (8.2). Sachant que la ville d'El Oued connaît une extension urbaine accélérée, les projets d'investissement économique et agricoles progressent en parallèle, les autorités locales doivent prendre au sérieux ses observations concernant les concentrations du NO₂, et la qualité de l'air en général.

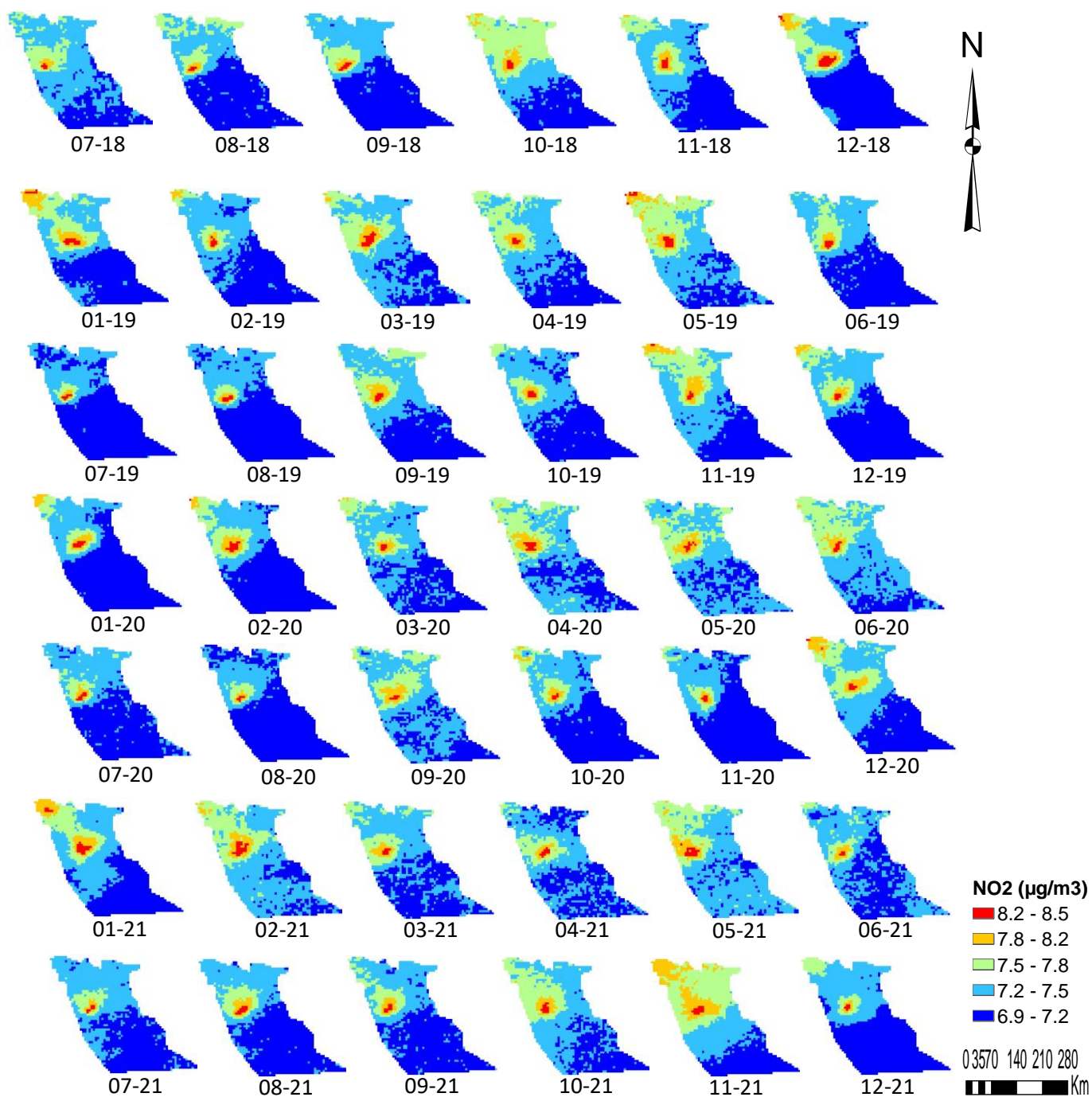


Figure 26. Variation des moyennes mensuelles du NO₂ entre 2018 et 2021.

La figure 27 expose les concentrations du NO₂ dans la ville d'El Oued. Les deux pics ont été enregistrés en mois de juillet pour les deux années 2019 et 2021. Le risque d'aller aux

concentrations de risque (entre 8 et 10), dans le proche futur, est toujours présent. La vigilance est autorités locales est très sollicitée.

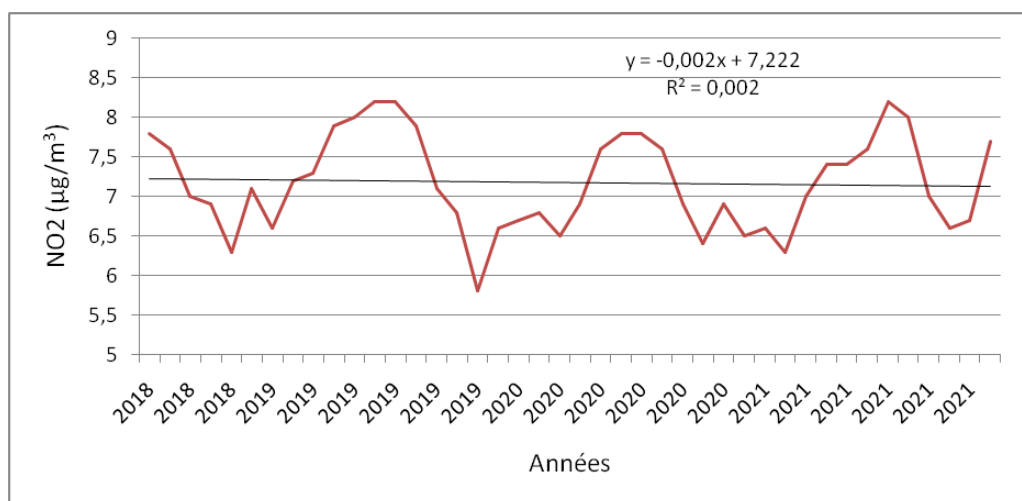


Figure 27. Variation des moyennes mensuelles du NO2 (ville d'El Oued, entre 2018 et 2021) (source : GEE).

7. Le modèle de projection de température NASA/NEX-GDDP

L'ensemble de données NEX-GDDP de la NASA comprend des scénarios climatiques à échelle réduite pour le globe qui sont dérivés des exécutions du modèle de circulation générale (GCM) menées dans le cadre de la phase 5 du projet d'inter comparaison de modèles couplés (CMIP5) et à travers deux des quatre scénarios d'émissions de gaz à effet de serre connus sous le nom de *Representative Concentration Pathways* (RCPs)(Thrasher et al. 2011). Les exécutions du CMIP5 GCM ont été développées à l'appui du cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC, AR5).

Le modèle NEX-GDDP génère des données climatiques historiques (reconstruction des données), débutant de l'année 1950 et faisant une projection future jusqu'à l'année 2100, afin de vérifier son efficacité. Pour cela on a effectué une analyse comparative entre les données du modèle climatologique CHIRPS (données stations terrestres en plus des images satellitaires) et le modèle NEX-GDDP. La figure 28 présente le résultat de comparaison.

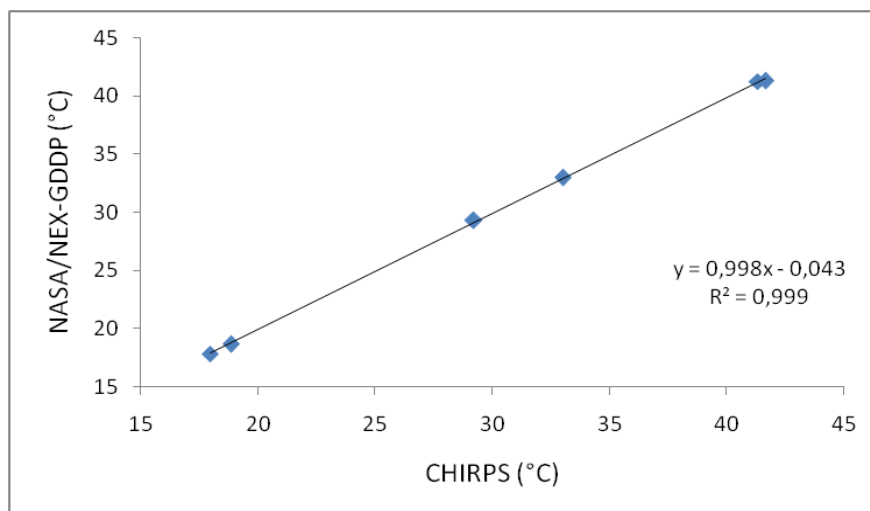


Figure 28.Degré de corrélation entre les données CHIRPS et NEX-GDDP.

La figure 28 illustre un degré de corrélation très concluant (0.99), entre les deux données des modèles CHIRPS et NEX-GDDP. En se basant sur cette analyse de comparaison, les données de NEX-GDDP ont été exploitées. La figure 29 présente les projections de température, sur la ville d'El Oud, à partir de l'année 2025 jusqu'à 2100.

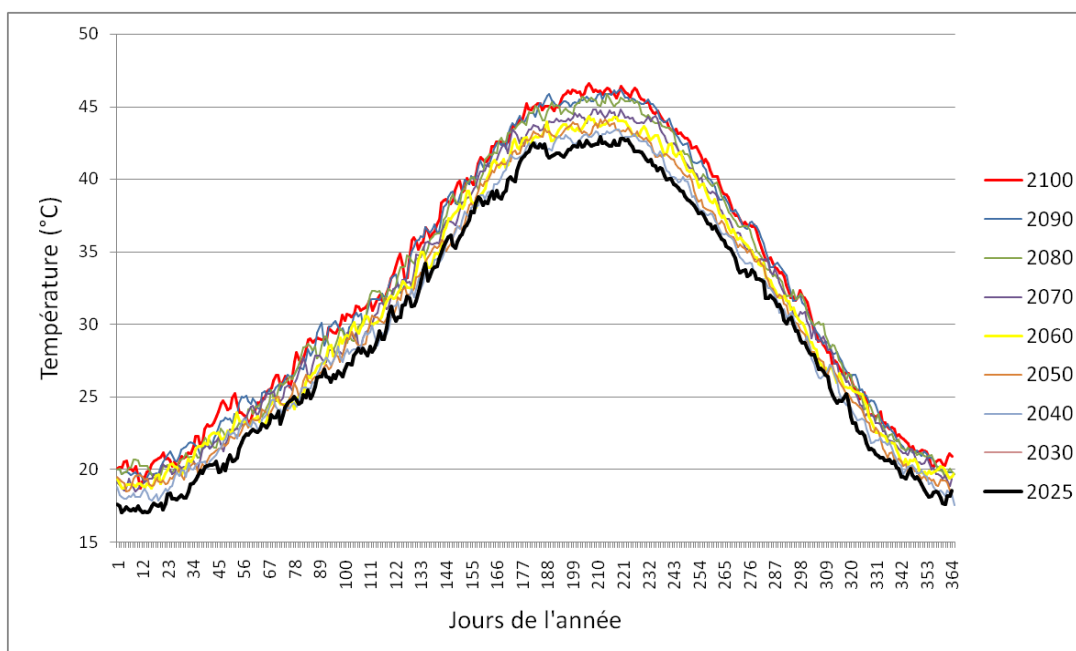


Figure 29. Projection des températures de NEX-GDDP sur la ville d'El Oued (source : GEE)

D'après la figure 29 nous constatons que les températures qui seront enregistrées sur la ville d'El Oued, supposées s'élever d'une manière progressive avec le temps. On enregistre un maximum de température de 42.9 °C, en 2025, et un maximum de 46.5 °C en 2100. Un écart de 3.6 °C, considéré comme très important. Si on allons plus profondément dans l'analyse des températures, la figure 30 exprime l'évolution des températures à partir de l'année 2025 jusqu'à l'année 2100, pour les deux mois de janvier et août, pour chaque année.

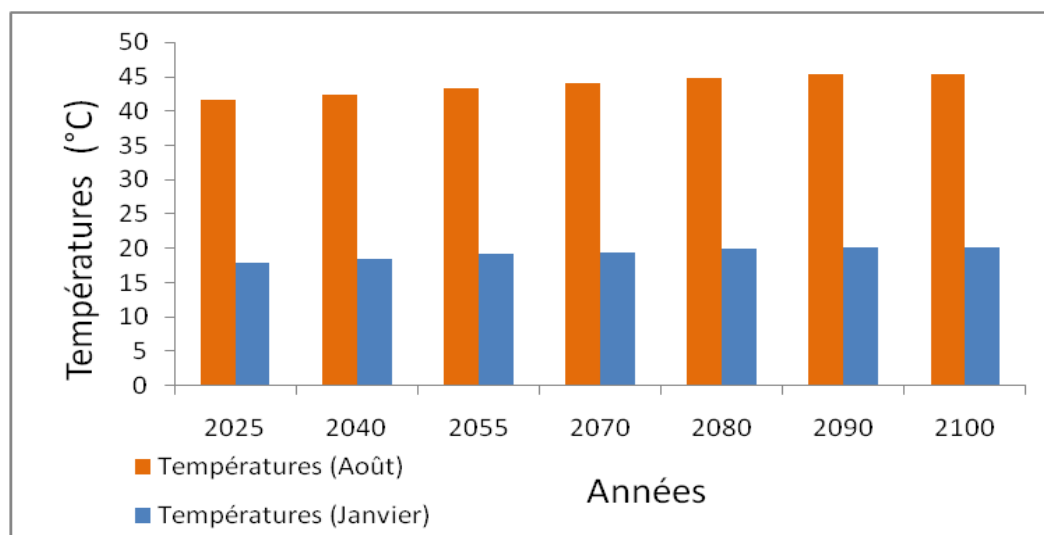


Figure 30. Évolution des températures pour les mois de janvier et d'août sur la ville D'El Oued (source : GEE)

On remarque que les températures continuent à progresser régulièrement, quel que soit le mois d'enregistrement (froid ou chaud). La figure 31 résume cette progression.

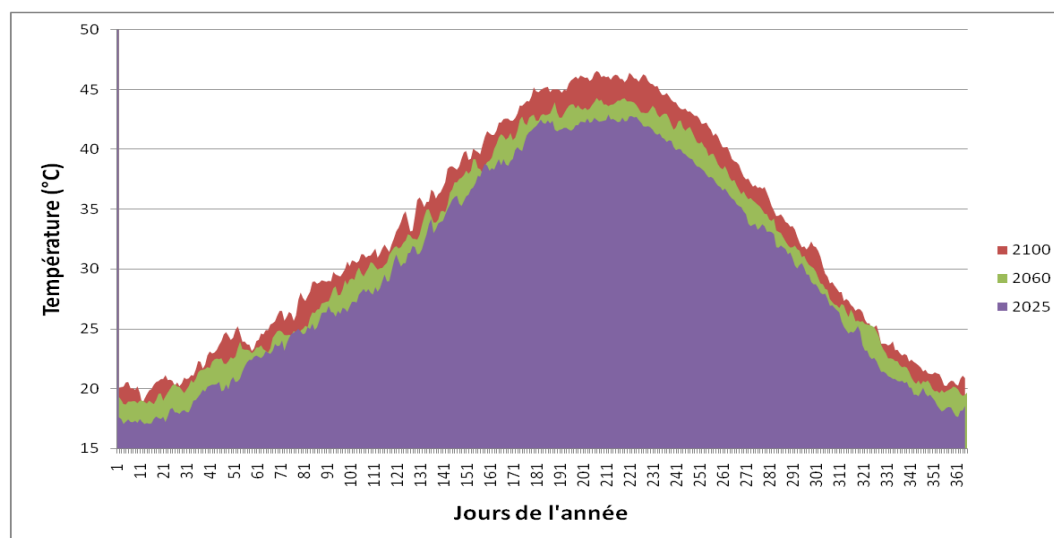


Figure 31. Projection des températures sur la ville d'El Oued pour les années 2025, 2060 et 2100 (source : GEE)

Le modèle NEX-GDDP de circulation générale concerne tout le globe et pas uniquement la ville d'El Oued. Cela veut dire, qu'on est, autant qu'habitant de la ville d'El Oued, concerné par le changement climatique global. Malgré qu'on n'est pas considéré comme un agent majeur de pollution (ou concerné par des activités économiques intenses), comme les pays développés, mais ce phénomène de changement climatique impose sur les pays en voie de développement, dont l'Algérie fait partie, de prendre les mesures et précautions nécessaires pour atténuer son impact sur l'humain, l'animal et le sol, et préserver un futur sein pour les générations futures.

8. Conclusions

Dans ce chapitre on a abordé plusieurs paramètres qui peuvent affecter l'environnement local de notre région, de point de vue ment climatique et environnemental. L'indice de végétation a montré que son évolution dépend directement aux précipitations. La plupart du couvert végétal est constitué de cultures irriguées et saisonnières, ce qui nécessite la présence permanente de l'eau. L'analyse des données de précipitations indique son régression avec le temps. Par contre, les températures continuent à progresser graduellement. Quant aux gaz à effet de serre, on a constaté l'augmentation fatale du CH₄, suite aux activités agricoles intenses, surtout dans les saisons de cultures et la présence des engrais organiques. Tandis que les deux autres gaz CO et NO₂ confirment une présence dans les normes, mais qui nécessitent un suivi permanent et vigilant (surtout pour le NO₂, pour la ville d'El Oued).

Le modèle NEX-GDDP a montré que notre région d'étude n'est pas à l'abri de l'augmentation des températures futures, comme le cas pour les autres régions du globe.

Conclusions générales

1. Conclusions générales

A travers ce projet de mémoire de fin d'étude on a abordé plusieurs paramètres qui peuvent affecter l'environnement local de notre région, de point de vue changement climatique et évolution environnemental. Parmi les paramètres étudiés c'est l'indice normalisé de végétation. L'indice de végétation a montré que son évolution dépend directement aux précipitations. La plupart du couvert végétal est constitué de cultures irriguées et saisonnières, malgré la faible densité du palmier dattier, ce qui nécessite la présence permanente de l'eau. L'analyse des données de précipitations indique son régression avec le temps. Ce qui influe sur la densité du couvert végétal.

D'autre part, les températures enregistrées continuent à progresser graduellement, malgré le climat désertique de la région d'étude. Concernant les gaz à effet de serre, on a constaté l'augmentation fatale et hors norme du méthane (CH₄), précisément dans chef-lieu de la Wilaya et les communes concernées par l'activité agricole permanente, suite aux manœuvres agricoles intenses, surtout dans les saisons de cultures et la présence des engrais organiques. Tandis que le gaz monoxyde de carbone (CO) l'analyse des images montre sa stabilité dans les standards internationaux. Concernant le dioxyde d'azote (NO₂) le suivi spatiotemporel de son évolution depuis 2018 jusqu'à 2021 montre une augmentation significative et en continu, expliquant des concentrations alarmantes, notamment dans la ville d'El-Oued. Ce gaz (NO₂) nécessite un suivi permanent et vigilant des autorités locales.

La plateforme de Google Earth Engine (GEE) nous a permis de manipuler une masse importante de données climatologiques et images satellitaires gratuites. Le modèle NEX-GDDP a montré que notre région d'étude n'est pas à l'abri de l'augmentation des températures futures, comme le cas pour les autres régions du globe. Malgré que son climat est désertique, notre région d'étude doit prendre des mesures sérieuses et efficaces pour diminuer l'impact du réchauffement planétaire.

2. Recommandations

Suite aux différents résultats obtenus, et face aux changements qui vont affecter l'eau, le sol et l'homme, les autorités locales doivent penser sérieusement à trouver des solutions ou trouver les moyens pour en s'adapter. On peut proposer les interventions et recommandations dans l'immédiat afin de sensibiliser les décideurs.

- Programmer des séances, ateliers et conférences pour informer/former les responsables/ écoliers sur les risques que peuvent causer le changement climatique.
- Préserver les ressources en eaux disponibles et veiller à les protéger contre les gaspillages et les pertes.
- Penser à densifier le couvert végétal, dans notre région, comme le cas pour le barrage vert, dans les hauts plateaux. Cela peut significativement aider à baisser les températures, surtout en milieu urbain et éviter les « îlots de chaleur urbains ».
- Proposer d'autres alternatives pour les engrais organiques disponibles dans le marché, afin de minimiser les émissions des gaz à effet de serre (GEF).
- Utiliser des matériaux de construction « Verts », aidant ainsi à minimiser la consommation de l'énergie électrique, la chose qui va diminuer les émissions des GEF.
- Le suivi et la mesure permanente des émissions gazeuses dans l'atmosphère (qualité de l'air), dans la mesure de prendre les meilleures décisions dans les meilleurs moments

Références bibliographiques

A.N.R.H : (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la Wilaya d'Ouargla).

A.N.R.H : (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de Touggourt).

Cornet 1964, Bel 1968. Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Géog. Phys. et Géol.Dyn., vol. VI.fasc. 1,5-72

S.C.C : Support de cours Climatologie pour les étudiants en licence hydrogéologie Dr.Bersi Mohand| mbersi@univ-setif.dz,

Godard, A., & Tabeaud, M. 1998 : sont professeurs de géographie physique à l'Université de Paris-I. (Projet des études LES CLIMATS. Mécanismes et répartition, 2ème édition 1998).

Gorczyński, L. 1920 : Calcul Du Degré Du Continentalisme Et Son Application Dans La Climatologie en 1920 par [Ladislav Gorczyński](#)

Medjerab A., 2005: Etude pluviométrique de l'Algérie Nord-Occidentale, approche statistique et cartographie automatique. Thèse de Doctorat d'Etat. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. FST-GAT. 1200 pages + annexes.

McClain, E. P., W. G. Pichel, and C. C. Walton, (1985) "Comparative performance of AVHRR-based multi Channel sea surface temperatures" J. Geophys. Res., vol. 90, no. C6, pp. 11587-11601, 1985.

Rouse, J.W. and Haas, R.H. (1973) "Monitoring vegetation systems in the great plain with ERTS". Third ERTS Symposium, 1973, 1, 309-317. - Washington DC: NASA

Thrasher, B., Maurer, E. P., McKellar, C., & Duffy, P. B.(2012)"Technical Note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping". Hydrology and Earth System Sciences, 16(9), 3309-3314. doi:10.5194/hess-16-3309-2012.

McClain et al., 1985 Comparatives performances of AVHRR-based multichannel sea surface temperatures J. Geophys. Res., 90

Sites Web:

www1: <https://youmatter.world/fr/ecosystemes-biodiversite-milieux-naturels/>

www2: <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/envcal/html/vegetation/indices/qques-indices/indices-simples.html>

www3: <https://climat.be/changements-climatiques/causes/gaz-a-effet-de-serre>

www4: https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/monoxyde_de_carbone_co.php4

www5: <https://www.respire-asso.org/dioxyde-dazote-no2/>

www6: <https://public.wmo.int/fr/medias/communiqu%C3%A9s-de-presse/la-tendance-%C3%A0-la-hausse-se-poursuit-les-concentrations-de-gaz-%C3%A0-effet>
<https://www.un.org/fr/global-issues/climate-change>

<https://www.greenfacts.org/fr/changement-climatique-re4/climate-change-ar4-foldout-fr.pdf>

www7 : <http://www.atmo-grandest.eu/changement-climatique>
Changement climatique | ATMO Grand Est (atmo-grandest.eu)

www8 : <http://aaapocasi.cz/podnebne-klimaticke-pasy/>

www9 : <https://www.cea.fr/comprendre/Pages/climat-environnement/climat.aspx?Type=Chapitre&numero=8>