

Journal Algérien de Météorologie Appliquée

Mété  Algérie

الديوان الوطني للأرصاد الجوية

Office National de la Météorologie



ISSN 3088-7925

Volume 6, Juillet 2022



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère des Transports
Office National de la Météorologie

JOURNAL ALGÉRIEN DE MÉTÉOROLOGIE APPLIQUÉE

Volume 6 - Juillet 2022

Contact

Adresse Office National de la météorologie
 1, Avenue Mohamed Khemisti, BP. 153
 Dar El Beida , Alger, Algérie
Courriel revue.jama@meteo.dz
Site Web www.meteo.dz

Comité d'édition

Directeur Mr. MOKHTARI Mohamed
Membres Mr. SAHABI ABED Salah
Mr. CHEMROUK Ghiles
Mr. AIT MEZIANE Mohand Ouali

Comité de lecture

Directeur Mr. MOKHTARI Mohamed
Membres Mr. SAHABI ABED Salah

Préambule

La revue JAMA demeure depuis sa création un outil dont le premier objectif est de partager et rendre visible les résultats des activités scientifiques et technologiques connexes des différentes directions métiers de l'ONM. Ce présent numéro évoque une large gamme de spécialités à savoir : la prévision générale, la prévision numérique du temps, l'observation météorologique, la climatologie et le développement des interfaces informatiques pour les besoins opérationnels de MétéoAlgérie, des travaux de recherche qui deviennent de plus en plus importants pour étayer tous les aspects de l'exploitation au sein de l'office ou de la production ciblée.



C'est un grand privilège pour moi de pouvoir saluer aujourd'hui avec gratitude l'équipe d'édition ainsi que le comité de lecture pour ce magnifique travail accompli pour la réalisation de ce sixième numéro de la revue JAMA marqué toujours par des conditions particulières liées à la pandémie.

Aussi, je tiens à rappeler que la production scientifique au sein de l'ONM est absolument nécessaire afin d'assurer la pérennité de notre revue. L'implication des Ingénieurs de l'ONM et des, jeunes chercheurs qui continuent à faire confiance à notre revue JAMA, confirme de plus en plus que le développement passe inéluctablement par la préservation et la valorisation de ce dynamisme instauré au sein des techniciens de l'office depuis la création de cette revue et qui ont trouvé en lui un meilleur moyen à la fois de faire connaître leurs travaux et de contribuer également à la richesse et au développement scientifique de leur office.

J'adresse à nouveau mes vifs remerciements à tous les auteurs et les comités de cette revue, comme je saisis cette opportunité pour encourager les cadres de l'ONM à s'investir davantage dans la recherche et l'innovation. J'informe par la même occasion la communauté scientifique que les articles publiés dans ce numéro seront comme à l'accoutumée accessibles à partir du site internet de Météo Algérie (www.meteo.dz). Bonne lecture

Mr. Brahim. IHADADENE
Directeur Général de l'Office
National de la Météorologie



Sommaire des Articles

Z. BENGHABRIT	Prévision du brouillard sur l'aéroport d'Alger par le modèle COBEL couplé au modèle AROME et forcé par les observations AMDAR	13	19
K. GASSI	Étude des indices d'instabilité atmosphérique en cas des situations d'orages avec fortes précipitations :Application sur l'aéroport d'Alger	20	26
A. HARROUZ	Développement d'une application web permettant l'acquisition des données d'observation depuis une station météorologique de type Vantage pro 2.	27	34
A. BOUCETTA	Prévision saisonnière de l'évolution phénologique des cultures à travers l'indice GDD en Algérie	35	39
I. BOUSRI	Régionalisation des normales annuelles des températures en Algérie par la méthode K-means .	40	46
F. KARTOUCHE	Étude de la variabilité climatique des zones humides au nord de l'Algérie : Cas de Macta, Réghaia et El Mellah.	47	58
N. KERROUMI	Modélisation de rayonnement solaire par le modèle de Bird Hulstrom et le modèle de Atwater & Ball.	59	64
N. KERROUMI	Étude de la variabilité interannuelle des températures et des précipitations dans les hauts plateaux	65	77
A. KHEDIM	Le déficit d'eau en algérie du nord (cas de wilaya d'oran)	78	88
A. TALATIZI	Développement d'une Application de Contrôle des Messages TAFs (CMT)	89	92

Prévision du brouillard sur l'aéroport d'Alger par le modèle COBEL couplé au modèle AROME et forcé par les observations AMDAR

Zakaria BENGHABRIT ^{1*} Abdelhalim Ramzi SMAHI ²

Abstract

Cette étude a pour objectif l'évaluation de la prévisibilité du brouillard du modèle COBEL (Code de Brouillard à l'Échelle Locale) taillé spécialement pour cette tâche, grâce à sa qualité en tant que modèle unidimensionnel à échelle fine. Pour ce faire, deux situations météorologiques de brouillard, survenues au dessous de l'aérodrome d'Alger, ont été simulées en utilisant ce modèle. COBEL a été forcé à la fois par les prévisions AROME (Application à la Recherche Opérationnel à Mésosécherelle) et les observations Aircraft Meteorological Data Relay (AMDAR). Les résultats obtenus dévoilent l'intérêt de l'utilisation de ce modèle conjointement avec les produits disponibles au niveau de la chaîne de prévision pour l'amélioration de la prévision du brouillard.

Keywords

COBEL, AROME-ISBA, AMDAR, Brouillard

¹ Office national de la météorologie, Dar El Beida, Alger

² Institut Hydrométéorologique de Formation et de Recherches (IHFR), Oran

*Correspondant: benghabritzak@gmail.com

Contents

1 Introduction:	1
2 Méthodologie	2
2.1 Le modèle COBEL-ISBA	2
2.2 Le modèle AROME	2
2.3 Données utilisées	2
Observations d'aéronefs AMDAR • Sorties du modèle AROME	
3 Résultats	4
3.1 1 ^{er} cas: la nuit du 23 au 24 mars 2019	4
3.2 2 ^e cas: la nuit du 27 au 28 décembre 2019	4
4 Conclusion	4
References	7

1. Introduction:

Le brouillard constitue l'un des phénomènes météorologiques les plus importants dans le domaine de l'aéronautique et les plus complexes à prévoir, même à très courte échéance. Il a un impact sur la sécurité des personnes et des biens ainsi que sur diverses activités économiques et peut mettre en risque la vie de l'être humain. En effet, quand les conditions de faible visibilité règnent sur une région donnée, toute circulation (routière, maritime ou aérienne) peut devenir dangereuse, et des précautions sont à prendre. Seulement ces précautions sont parfois très coûteuses (retards d'avions, changement d'aéroport d'atterrissage... etc.). De ce fait, la prévision du brouillard de l'heure de sa formation et de sa dissipation s'avèrent d'une grande importance humaine et économique.

Du point de vue de la prévision opérationnelle, le brouillard reste un défi car il met en œuvre des processus de

petite échelle, à la fois horizontale et verticale, et particulièrement des interactions complexes entre les processus dynamiques, turbulents, microphysiques et radiatifs. Ces processus de très petite échelle sont encore mal représentés dans les modèles numériques opérationnels, ce qui impose que ce phénomène est difficile à prévoir, même à très courte échéance.

Plusieurs modèles de prévision du brouillard existent actuellement et sont même utilisés en opérationnel. Certains modèles sont unidimensionnels (1D) et d'autres sont couplés directement aux modèles atmosphériques 3D. On peut citer à titre d'exemple les version 1D des modèles HIRLAM-INM (INM, Espagne) (Terradellas et Cano 2006), HIRLAM-DMI (DMI, Danemark) (N. W. Nielsen et al. 2002), ainsi que la version 1D du modèle Unified Model (Met office, Royaume-Uni) (Clark et Hopwood, 2001).

Dans cet article on s'intéresse au modèle unidimensionnel COBEL-ISBA (COde de Brouillard à l'Échelle Locale - Interactions Soil Biosphere Atmosphere) (Bergot et al. 2005, Noilhan and Planton, 1989). COBEL possède une résolution verticale très fine, ce qui lui permet de gérer les interactions complexes conduisant à la formation ou non du brouillard. Ce modèle pourra être forcé par des données d'observation ou par des données des modèles méso-échelle ou bien combiné à la fois les deux jeux de données, observations et modèles, comme dans notre cas.

Dans une première partie, nous allons présenter une brève description des outils numériques utilisés COBEL-ISBA et AROME (Piet et al. 2018), ainsi que les données utilisées pour l'étude.

En seconde partie, nous allons analyser les résultats des simulations et les comparer avec les observations pour évaluer la qualité de la prévision. Enfin, nous terminerons

par une conclusion générale.

2. Méthodologie

2.1 Le modèle COBEL-ISBA

Le modèle COBEL (Bergot et al. 2005)[1] a été développé au laboratoire d'aérodynamique de l'Université Paul Sabatier, Toulouse, France. Comme à l'origine, il a été conçu pour décrire localement les processus de couche limite nocturne stable. Il possède une paramétrisation du mélange turbulent adaptée pour les stratifications très stables, un schéma de radiations infrarouges de haute résolution spectrale (232 bandes spectrales), une paramétrisation des processus microphysiques (condensation/évaporation, sédimentation gravitationnelle des gouttelettes, précipitation) et un couplage avec un module de surface ISBA (Noilhan and Planton, 1989) pour les échanges de chaleur surface-atmosphère et pour les processus de gelée et de rosée.

Afin de pouvoir représenter correctement le refroidissement nocturne des couches atmosphériques proches de la surface, et donc l'évolution d'une couche de brouillard, il est nécessaire d'avoir une discrétisation très fine de l'atmosphère près du sol (la hauteur de l'inversion nocturne est typiquement de quelques dizaines de mètres). Ainsi, la grille COBEL comporte 30 niveaux entre 50 cm et 1363 mètres, dont 20 dans les 200 premiers mètres de l'atmosphère. Ces niveaux sont les suivants :

Table 1. grille du modèle COBEL

Rang	Hauteur (m)	Rang	Hauteur (m)	Rang	Hauteur (m)
1	0.5	11	31.9	21	242.17
2	1.65	12	39.63	22	293.94
3	3.05	13	48.98	23	356.54
4	4.74	14	60.29	24	432.27
5	6.78	15	73.97	25	523.85
6	9.25	16	90.51	26	634.61
7	12.24	17	110.52	27	768.54
8	15.85	18	134.71	28	930.58
9	20.22	19	163.97	29	1126.52
10	25.51	20	199.36	30	1363.5

Le modèle de surface ISBA (Noilhan and Planton, 1989) a été développé au Centre National de Recherche Météorologique (CNRM) pour caractériser les échanges sol-végétation-atmosphère. Les nombreux coefficients intervenant dans la diffusion de la chaleur et de l'eau sont déterminés à partir des caractéristiques du sol (texture du sol, type de végétation, profondeur racinaire ...)[2].

Plusieurs versions du modèle ISBA ont été développées afin de couvrir les différents besoins. Cependant, c'est la version multicouche d'ISBA qui est couplée à COBEL. Cette dernière version utilise un schéma de résolution multicouche des transferts de chaleur et de masse dans un milieu poreux. ISBA calcule le bilan de d'énergie dans le sol

afin de transmettre des flux de chaleurs sensible et latente au module atmosphérique COBEL.

Table 2. grille du modèle ISBA

Couches	1	2	3	4	5	6	7
Profondeur (cm)	-0.5	-2.5	-8.5	-20.5	-44.5	-94.5	-116

Le modèle COBEL-ISBA intègre également des forçages de méso-échelle provenant d'un modèle de prévision de méso-échelle afin d'inclure l'influence de l'échelle régionale sur l'échelle de prévision locale en tenant compte des advections horizontales de température et d'humidité, du vent géostrophique et de la couverture nuageuse. Ces forçages sont obtenus en couplant COBEL avec un modèle de méso-échelle, en l'occurrence ici AROME (Piet et al., 2018)[3].

2.2 Le modèle AROME

AROME (Seity et al. 2011), est le modèle de prévision numérique du temps à maille fine non hydrostatique. Il a été conçu pour améliorer la prévision de phénomènes extrêmes et dangereux de petite échelle tels que les orages, les précipitations intenses, le brouillard ou les îlots de chaleur urbains en période de canicule. AROME est développé conjointement par Météo-France et les services météorologiques des pays européens et nord-africains du consortium ALADIN. L'hypothèse hydrostatique généralement utilisée dans les modèles à plus grande échelle n'est pas utilisée dans AROME. En effet, AROME utilise le système d'équations non-hydrostatiques pleinement compressibles d'Euler (nécessaires à la représentation explicite des processus convectifs par exemple). Cela signifie que les vitesses verticales sont notamment calculées de manière pronostique dans le modèle.

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques opérationnelles de la version export du cycle 43 du modèle AROME, celle dont les données ont été utilisées pour notre étude [4].

Table 3. Caractéristiques du modèle AROME

Modèle	AROME
Version	CY43T2bf.10
Modèle LBC	ALADIN
Fréquence de couplage	1h
Intervalles entre échéances	1h
Résolution horizontale	3km
Nombre de niveaux	41
Résolution temporelle	60 _s
Latitude	28 °N -40 °N
Longitude	03 °E - 0.9 °E
Nombre de points de grille	500*500
Réseaux	00h, 12h UTC
Durée de la prévision	48h

2.3 Données utilisées

Pour cette étude nous avons utilisé :

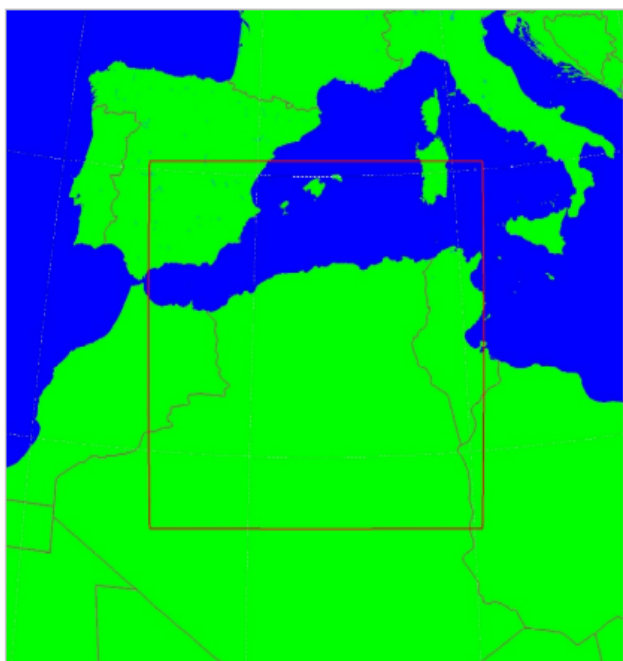


Figure 1. Domaine du modèle AROME Algérie

- Les observations issues des messages METAR pour la station « Aérodrome de Dar El Beida-DAAG » sont utilisées.
- Les observations du mâât pour la température, l'humidité et le rayonnement : Ces données ne sont pas disponibles. Donc, elles sont compensées par les prévisions du modèle AROME, tandis que pour le vent, les données sont remplacées par les observations AMDAR.
- Les données dans le sol (température et humidité) : indisponibles également, ces données sont calculées par COBEL par la méthode offline. C'est-à-dire que les valeurs manquantes de l'observation au sol sont forcées par des observations et des prévisions disponibles.

2.3.1 Observations d'aéronefs AMDAR

AMDAR est un système d'observation météorologique par aéronefs. L'objectif d'AMDAR est la récupération et la valorisation des données aérologiques collectées par les avions de ligne. Les données prises pour cette étude sont la force du vent transformée en composantes zonale (u) et méridienne (v), ainsi que les altitudes correspondantes.

En effet, les mesures AMDAR et les autres observations provenant d'aéronefs utilisées dans le système d'assimilation des modèles de PNT augmentent la qualité de la prévision de ces derniers en diminuant l'erreur de 15 à 20 %.

En termes d'amélioration des prévisions, ces observations arrivent au deuxième rang, juste derrière les données satellitaires obtenues en grand volume.

Les données AMDAR sur le vent et la température présentent une qualité similaire (sur le plan de l'exactitude ou de

l'incertitude) aux observations effectuées par radiosondage. Les données sont recueillies à une fréquence ou un taux très élevé, ce qui affine énormément les profils verticaux.

Ces profils verticaux sont établis toutes les 3 heures ou moins, en raison de la fréquence de décollage et d'atterrissage des aéronefs à de nombreux aéroports.

Ces profils verticaux sont établis toutes les 3 heures ou moins, en raison de la fréquence de décollage et d'atterrissage des aéronefs à de nombreux aéroports.

Les données disponibles sur la base sont de 2009 à 2020 à l'échelle du globe téléchargeables sur le site de CEDA Archives après requête.

<https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/354d245bb70a44678d533b2ef586cf24> Le domaine extrait pour l'étude s'étale de 2.75°E et 3.75°E en longitudes et de 36°N et 38°N en latitudes, et verticalement du sol à 1363.5 m (sommet de la grille COBEL). Ce traitement a été fait grâce à un script du langage R.

L'objet de cette observation est de créer un profil de vent vertical observé pour des décollages ou atterrissages et montrer son importance à alimenter les modèles numériques pour la prévision du brouillard, qui se base sur le comportement des différents paramètres météorologiques sur la verticale.

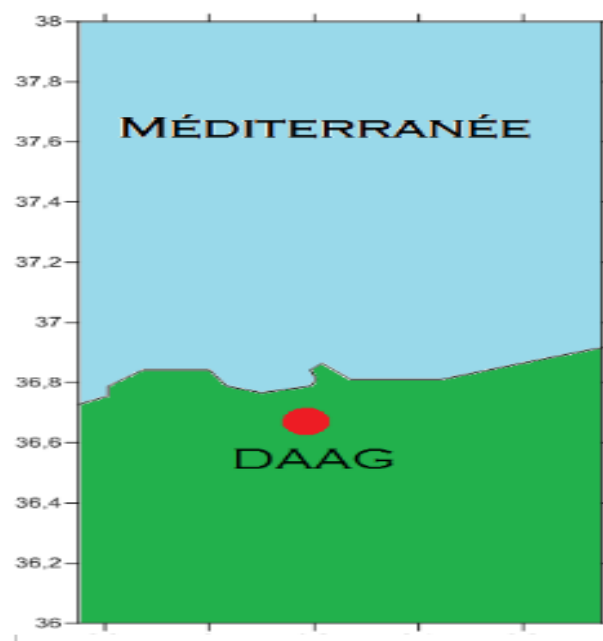


Figure 2. Domaine des observations AMDAR

2.3.2 Sorties du modèle AROME

Pour le forçage de méso-échelle, COBEL fait appel à des prévisions d'un modèle 3D (ici on a choisi AROME) sur 36h pour le réseau de 00h du 23/03 et du 27/12 pour les paramètres suivants : La pression réduite au niveau de la mer, la température, le rapport de mélange, la température potentielle, les 2 composantes du vent réel, les 2 com-

posantes du vent géostrophique, l'advection de la température, la température potentielle et les 2 composantes du vent réel, calculées sur un rayon de 6km.

Ces données sont fournies au modèle sur les niveaux altitudes suivants :

20, 50, 100, 250, 500, 700, 1000, 1250, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000m.

Comme les données AROME fournies par l'Office National de Météorologie (ONM) sont sur des niveaux de pression, il a été nécessaire, à partir des prévisions de géopotential, de faire une interpolation linéaire avec le langage R.

COBEL a aussi besoin de données de rayonnement et de nébulosité issues d'AROME, mais comme COBEL lit les 2 en même temps, on a dû se passer des données de nébulosité en raison de non disponibilité de celles du rayonnement.

3. Résultats

Le modèle COBEL a été testé sur deux situations de brouillard, l'une en hiver survenue la nuit de 23 au 24 Mars 2019 et l'autre produite au printemps dans la nuit de 27 au 28 Décembre 2019.

Les résultats des simulations sont présentés ci-dessous. Les courbes en rouge présentent l'évolution semi-horaire de différents paramètres prévus par COBEL, tandis que les courbes en bleu présentent l'évolution de ces mêmes paramètres observés.

3.1 1^{er} cas: la nuit du 23 au 24 mars 2019

Pour ce premier cas, le brouillard s'est formé très tôt la nuit (23h00) en raison de la réunion de conditions favorables au sol et dans les premiers mètres de la couche atmosphérique : refroidissement, vent faible ainsi qu'une humidité relative très élevée (>90%). Sa dissipation a commencé à 4h00 du matin où il a laissé place à une brume à cause d'un réchauffement qui a conduit à une évaporation des gouttelettes constituant le brouillard.

COBEL a plutôt bien prévu l'ensemble des paramètres, avec une surestimation de la température (et donc une sous-estimation de l'humidité) et du vent dans la deuxième moitié de la nuit, tandis que la visibilité (donc le brouillard) a été correctement prévue avec un retard d'1h pour l'apparition et une avance d'1h30 pour la dissipation.

3.2 2^e cas: la nuit du 27 au 28 décembre 2019

Pour le deuxième cas, le brouillard s'est formé très tôt la nuit également (23h00) en raison de la réunion de conditions favorables au sol et dans les premiers mètres de la couche atmosphérique : refroidissement, vent faible ainsi qu'une humidité relative très élevée (>93%). Sa dissipation a commencé à 5h30 du matin où il a laissé place à une brume pendant que le reste des paramètres restent quasiment stables jusqu'à 8h00 où on observe un réchauffement sous l'effet du soleil qui a provoqué l'assèchement.

COBEL a très bien prévu l'ensemble des paramètres pour ce cas également, avec une légère surestimation de la température dans la première moitié de la nuit et une surestimation du vent dans la globalité, tandis que la visibilité (donc le brouillard) a été prévue avec un retard de 2h pour l'apparition. Par contre pour la dissipation, COBEL a maintenu la situation de visibilité basse au-delà de 9H.

Les résultats des deux simulations montrent que COBEL a l'air de surestimer les paramètres de température et du vent et de sous-estimer l'humidité. Ceci est dû aux conditions dans lesquelles les simulations ont été réalisées et les simplifications imposées. Nous pouvons mentionner le manque des données relatives au sol nécessaires pour le schéma ISBA, la résolution verticale du modèle AROME qui n'était pas suffisamment fine pour représenter le profil vertical, le manque des données du mat qui sont recommandés pour la modélisation des transferts radiatifs et hydriques dans les basses couches et enfin la qualité des données de rayonnement et de nébulosité issues du modèle AROME. En effet, c'est au niveau du sol que démarrent les processus de refroidissement radiatifs nocturnes et où s'effectuent les principaux transferts hydriques tel que l'évaporation et le dépôt de rosée.

L'occurrence du brouillard a été bien simulée par COBEL dans les deux cas d'étude mais avec une certaine insuffisance concernant le début et la dissipation du phénomène.

4. Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'évaluer la prévisibilité du brouillard du modèle unidimensionnel COBEL. Les simulations réalisées ont pu mettre en évidence l'efficacité de ce dernier à prévoir le phénomène de brouillard en dépit du manque de données d'observation dans les basses couches. Nous pouvons donc conclure que COBEL, par sa qualité de modèle unidimensionnel à maille fine qui lui permet de simuler les phénomènes physiques qui entrent en jeu dans la formation, l'évolution et la dissipation du brouillard de manière précise, est un outil très efficace qui peut grandement contribuer à l'amélioration de la prévision locale et à courte échéance du brouillard notamment au niveau des zones où l'impact du brouillard est conséquent, en premier lieu les aéroports. Un autre point fort du modèle COBEL-ISBA est sa souplesse en termes de ressources de calcul. Il pourra être exécuté sur un simple ordinateur. Donc son utilisation en mode opérationnel est très recommandée.

Cependant, pour son utilisation efficace, il est recommandé de renforcer les données d'entrées par les paramètres de température, humidité et rayonnement issues du Mat ainsi que les données d'observation dans le sol (température et humidité) et valoriser les données AMDAR afin de mieux exploiter les profils verticaux du vent et de température.

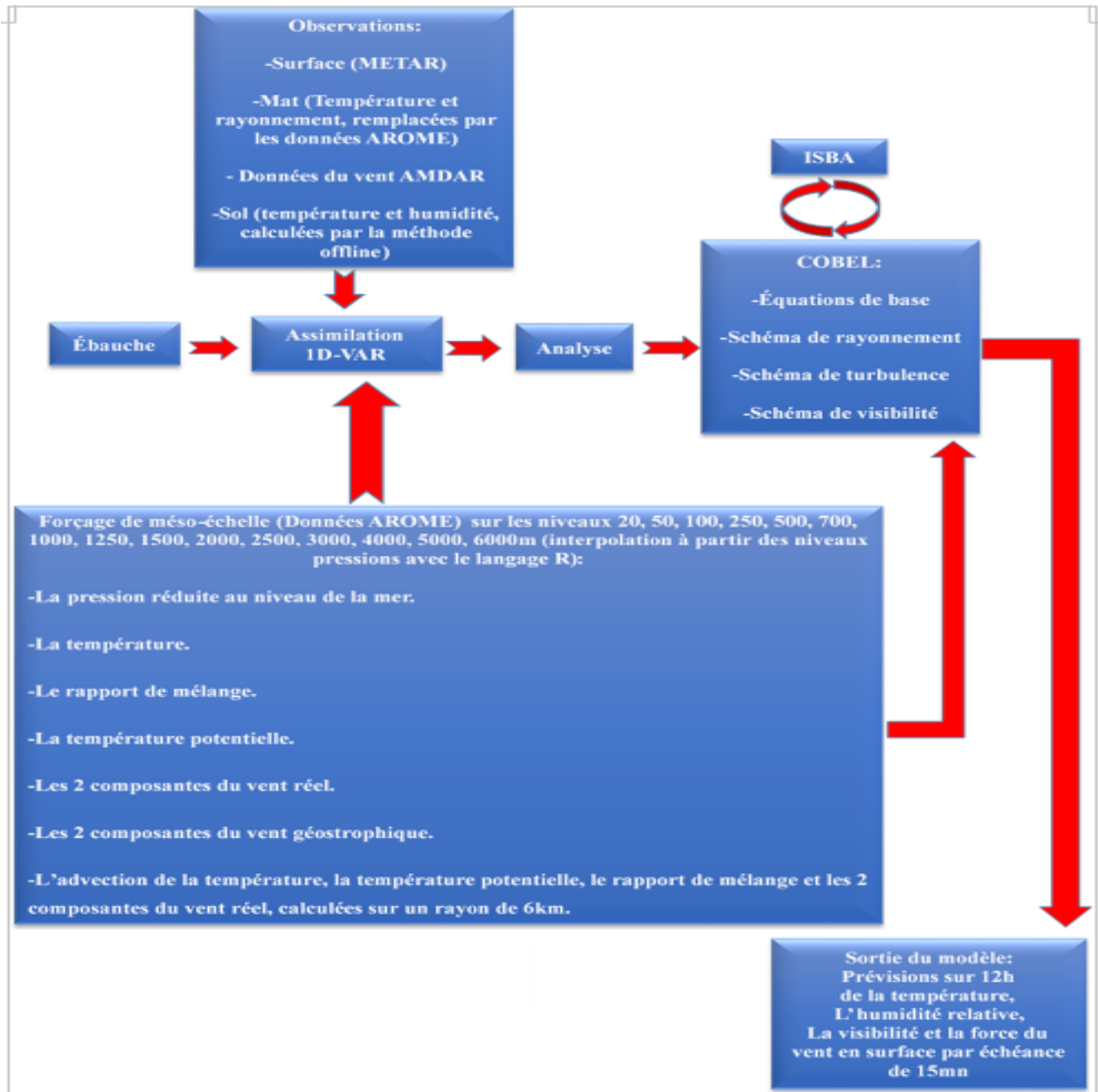


Figure 3. Schéma représentant le fonctionnement de COBEL

Prévision du brouillard sur l'aéroport d'Alger par le modèle COBEL couplé au modèle AROME et forcé par les observations AMDAR — 6/7

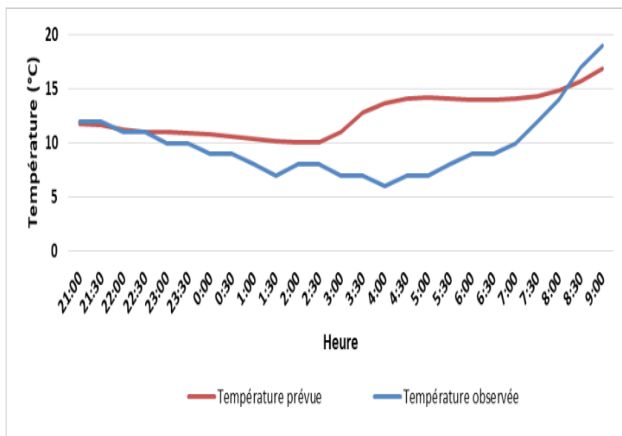


Figure 4. Comparaison entre les températures prévues et observées pour le 23-24 /03/2019

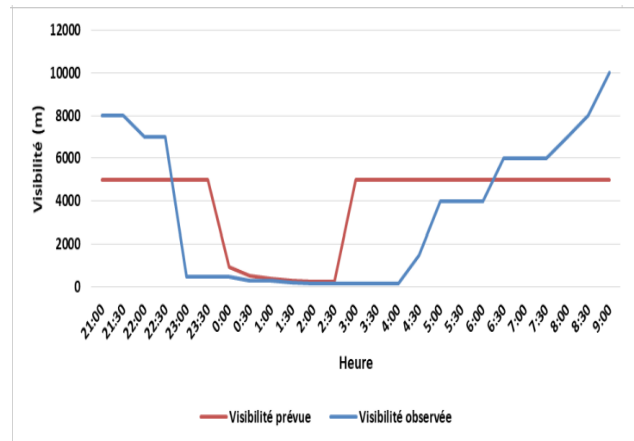


Figure 7. Comparaison entre les visibilités prévues et observées pour le 23-24/03/2019

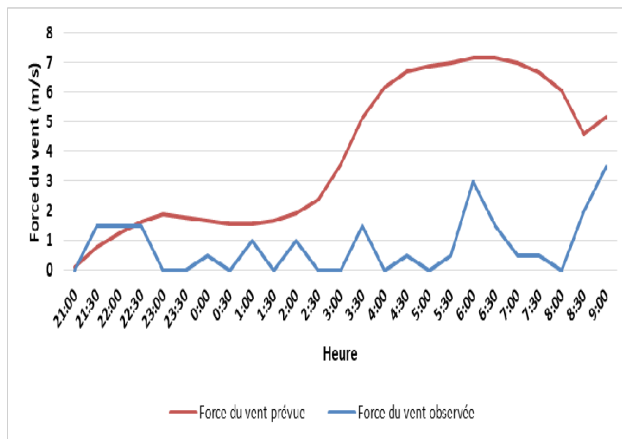


Figure 5. Comparaison entre les forces du vent prévues et observées pour le 23-24/03/2019

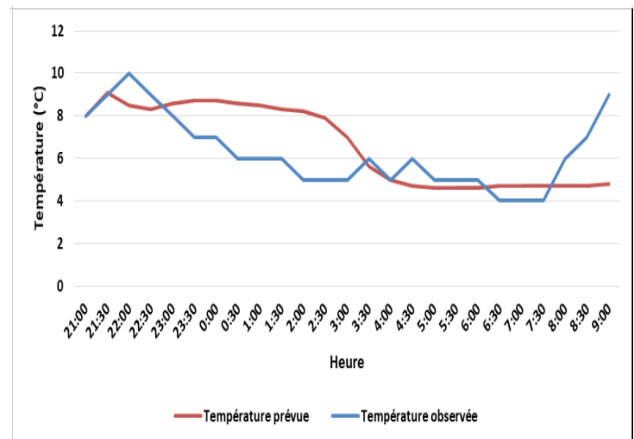


Figure 8. Comparaison entre les températures prévues et observées pour le 27-28/12/2019

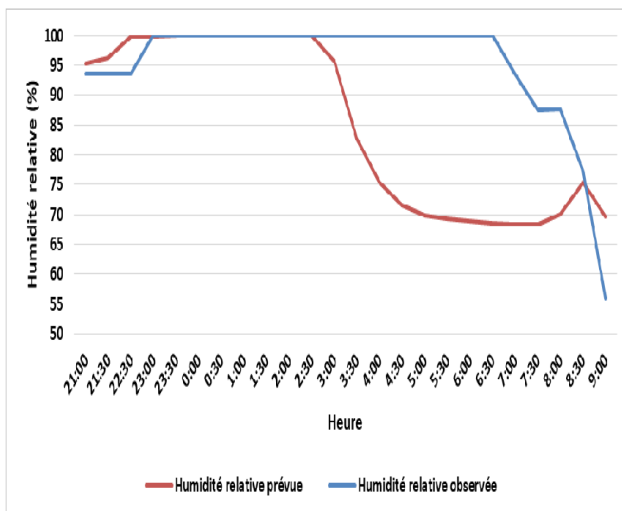


Figure 6. Comparaison entre les humidités relatives prévues et observées pour le 23-24/03/2019

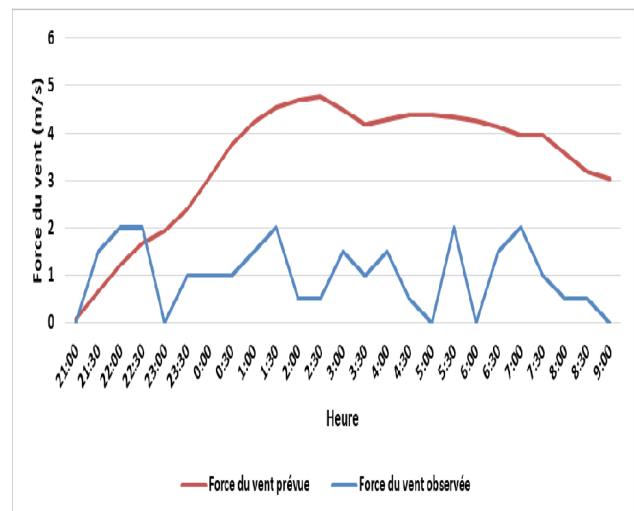


Figure 9. Comparaison entre les forces du vent prévues et observées pour le 27-28/12/2019

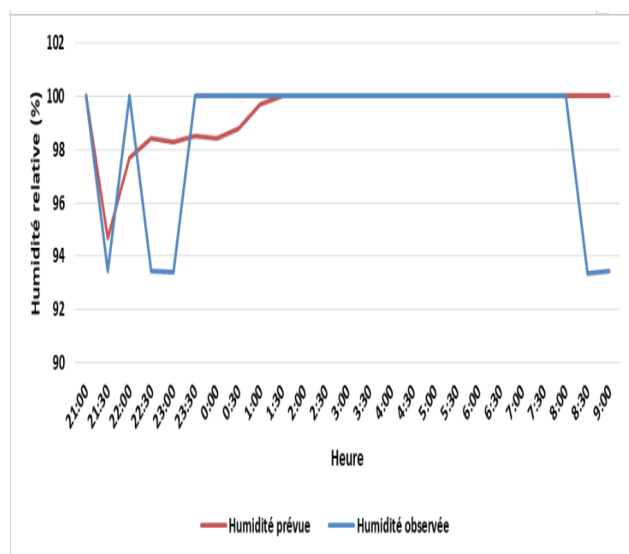


Figure 10. Comparaison entre les humidités prévues et observées pour le 27-28/12/2019

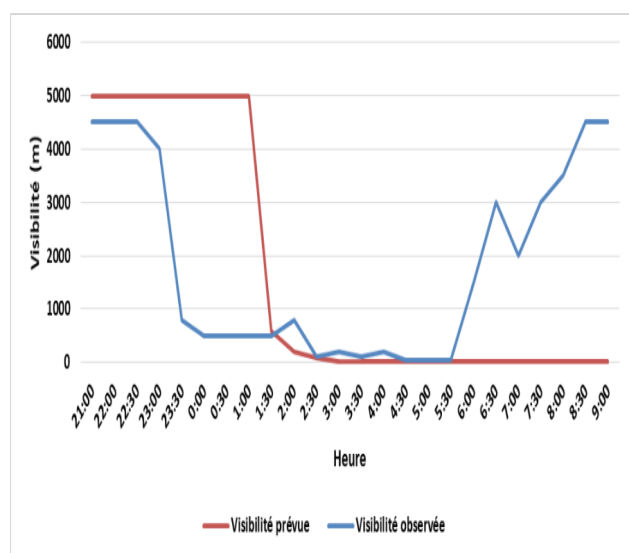


Figure 11. Comparaison entre les visibilités prévues et observées pour le 27-28/12/2019

References

- [1] Thierry Bergot and Daniel Guedalia. Evaluation de la qualité de la prévision du brouillard par un modèle numérique. *La Meteorologie*, 1996.
- [2] Stevie Roquelaure. *Prévision d'ensemble locale des brouillards et nuages bas à l'aéroport international de Roissy Charles de Gaulle*. PhD thesis, Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2007.
- [3] D Bari. La chaîne cobel-isba, description succincte, implémentation et réalisation des simulations. *Advances in Meteorology*, 2018, 2018.

- [4] Piet Termonia, Claude Fischer, Eric Bazile, François Bouyssel, Radmila Brožková, Pierre Bénard, Bogdan Bochenek, Daan Degrauwe, Mariá Derková, Ryad El Khatib, et al. The aladin system and its canonical model configurations arome cy41t1 and alaro cy40t1. *Geoscientific Model Development*, 11(1):257–281, 2018.

Étude des indices d'instabilité atmosphérique en cas des situations d'orages avec fortes précipitations : Application sur l'aéroport d'Alger

Khaled Abd El fattah GASSI ^{1*}

Abstract

Le tour d'horizon exposé à travers le présent article doit donner des seuils significatifs des indices d'instabilité atmosphérique déduits de radiosondage Météorologique élaborés par la station Météorologique aéroportuaire d'Alger Dar El Beida. Ces seuils peuvent être utilisés comme indicateurs afin de contribuer à l'amélioration de la prévision opérationnelle notamment dans les cas de situations orageuses.

L'étude se focalise sur les situations pluvio-orageuses durant une période de 22 ans [2000-2022], avec une séquence de 8 mois par an, répartis en deux saisons hivernale et transitoire [novembre-février] et [avril-mai ; août-septembre], respectivement. Soit un nombre de 625 situations retenues au-dessus de la aéroportuaire d'Alger Houari Boumediene.

Des différences ont été constatées entre les seuils de sévérité recommandées par les scientifiques et nos seuils calculés pour ces situations pluvio-orageuses considérées pour des situations pluvio-orageuse en période transitoire. Ce qui nous a permis de proposer des nouvelles fourchettes de seuil, en fonction de la saison.

Keywords

Indices d'instabilité, Orage, radiosondage, indice de Showalter, K-indice, l'indice de Galway, indice SWEAT, indice total des totaux, CAPE.

¹ Département de la prévision numérique du temps, DEM, ONM, Dar El Beida, Alger.

*Correspondant: khaledgassi0@gmail.com

Contents

1 Introduction:	1
1.1 Indices d'instabilité	2
1.2 Indice de Showalter	2
1.3 Indice de Galway	2
1.4 Indice de menace de temps violent (ou l'indice Sweat)	2
1.5 L'indice K (Indice de George)	2
1.6 Indice Total-total	4
1.7 CAPE	4
2 Méthodologie	4
2.1 Données utilisées	4
2.2 Analyse et traitement des données	4
3 Résultats et interprétations	5
3.1 Saison hivernale	5
3.2 Saison de transition	5
4 Conclusion	6
References	7

1. Introduction:

La prévision d'orage fait partie des enjeux majeurs de la prévision opérationnelle, vue la complexité de ce phénomène et son impact très fort sur les activités socio-économiques, en particulier celles liées au transport aérien.

Les systèmes orageux violents naissent dans la couche limite atmosphérique. Ils peuvent se développer rapidement avec des mouvements verticaux puissants et gagner progressivement la tropopause. Ces systèmes ont la capacité de se manifester sévèrement avec de la grêle, des vents destructeurs et des tempêtes de pluies torrentielles.

Pour la région nord-centre de l'Algérie, on peut distinguer deux types de systèmes orageux :

- Les systèmes classiques associés à une perturbation durant la période hivernale de l'année entre novembre et mars (Véronique D et al, 2020)[1].
- Les systèmes transitoires durant la saison de transition s'étalant entre mai et juin; et entre août et septembre (Véronique D et al, 2020)[1].

Ces systèmes sont associés à des convections diurnes suivies par une atmosphère suffisamment humide, ce qui provoque la naissance des mouvements verticaux avec des rafales et favorise ainsi la formation des nuages de type cumulus et cumulonimbus qui donnent des fortes précipitations sous forme d'averses.

Afin de faciliter aux prévisionnistes leurs tâches opérationnelles notamment dans des situations critiques, les chercheurs ont établi un ensemble d'indices d'instabilité simplifiant ainsi l'état de stabilité de l'atmosphère. Parmi ces indices nous citerons l'indice de Showalter (A. K. Showalter, 1943)[2], l'indice de Galway (J. G. Galway, 1956)[3], l'indice de menace de temps violent (Miller, 1972)[4], l'indice K (Indice de George) d'instabilité atmosphérique (Joseph J.

George, 1960)[5], l'indice Total-Total (Miller, 1972)[4] et la Cape (M. Z. Woncrieff et al, 1976)[6] qui font l'objet de cette étude. Cependant, la majorité de ces indices ont été développés par des chercheurs américains qui ont procédé à leur validation au niveau de la région de l'Amérique du nord. Notre travail consiste à adapter ces indices à notre région qui est l'Algérie.

Pour se faire, nous allons opter pour une étude statistique sur un échantillon de 625 situations pluvieuses-orageuses enregistrées durant une période de 22 ans, réparties sur deux saisons distinctes : hivernale et transitoire [novembre-février] et [avril-mai ; août-septembre], respectivement. La sélection de ces situations pluvieuses-orageuses a été faite en utilisant les données d'observation SYNOP et METAR enregistrées par la station aéroportuaire de Houari Boumediene. Pour différencier entre le régime de pluies relatif aux deux saisons hivernale et transitoire, deux seuils de précipitations 20 mm/24h et 10 mm/24h, respectivement, ont été imposés pour ces deux saisons. Pour distinguer les deux saisons, on s'est basé sur l'étude d'Isnard Hildebert (1950)[7] qui propose une répartition des pluies annuelles, avec un pourcentage de 25% pour les saisons de transition, et 75% pour la saison d'hiver.

Puis, nous allons calculer les indices d'instabilité correspondants à ces situations en utilisant les observations de radiosondage enregistrées par la même station. Ensuite, nous allons confronter ces indices calculés avec les seuils recommandés par les scientifiques pour chaque catégorie d'orage considérée afin d'identifier les indices les mieux adaptés à notre région.

1.1 Indices d'instabilité

Le tableau 1, récapitule les six (6) indices d'instabilité considérés dans cette étude avec leurs formules mathématiques.

1.2 Indice de Showalter

Albert K. Showalter s'est basé sur une étude empirique des événements convectifs (A. K. Showalter, 1943)[2] en effectuant une classification sur 4 catégories : orages peu probables, orages probables, potentiel élevé d'orages violents et extrêmement instable. Il a proposé un indice SI qui donne une indication sur la possibilité de déclenchement d'orages ainsi que sur le potentiel de génération de phénomènes violents. A l'issue de son étude, il a proposé les seuils présentés dans le tableau 2:

Showalter indice	Caractère des orages
SI >3	Orages peu probables
0 < SI <3	Orages probables
-3 < SI < 0	Potentiel élevé d'orages violents
SI < -3	Extrêmement instable

Tableau 2 : Valeurs standards de l'indice SI proposées par Albert K. Showalter (A. K. Showalter, 1943).

1.3 Indice de Galway

De la même manière que l'indice précédent, Joseph G. Galway (1956) a aussi proposé d'autres seuils pour son indice LI, en se basant sur des valeurs calculées empiriquement. Les nouveaux seuils proposés sont présentés dans le tableau 3:

Indice de Galway	Caractère des orages
LI > 3	air très stable avec aucune convection possible.
3 > LI > 1	air stable, très faible probabilité de voir un orage avec un très fort soulèvement de l'air (front, réchauffement diurne, etc.).
1 > LI > 0	air potentiellement instable donnant des orages dispersés s'il y a un mécanisme de soulèvement.
0 > LI > -2	air légèrement instable donnant des orages plus fréquents, surtout avec un mécanisme de soulèvement.
-2 > LI > -6	air moyennement instable nombreux orages.
-6 > LI	air très instable, orage violent.

Tableau 3 : Valeurs standard de l'indice LI proposés par Galway (J. G. Galway, 1956)

1.4 Indice de menace de temps violent (ou l'indice Sweat)

En 1972, Miller a proposé l'indice de menace de temps violent, appelé aussi l'indice SWEAT (Severe WEather Threat). Miller précise clairement que les termes de cisaillement qui sont utilisés dans son indice visent à exclure tout orage « ordinaire » et que SWEAT n'est destiné qu'à la prévision d'orages violents. Par la suite, suite à une étude empirique effectuée par le centre météorologique canadien (Marie, 2009), des seuils pour les catégories d'orage ont été proposés pour cet indice (Tableau 4):

Sweat indice	Caractère des orages
SWEAT < 300	activité convective comme des averses ou des orages faibles
300 < SWEAT < 400	orages avec risque d'orages violents
SWEAT > 400	possibilité d'orages violents avec même tornade.

Tableau 4 : Guide d'interprétation de l'indice SWEAT (Miller, 1972).

1.5 L'indice K (Indice de George)

L'indice K, développé par J. George en 1960,[5] sert à mesurer le potentiel d'orage et à prévoir les fortes pluies. Cet indice dépend principalement de la température et de l'humidité. George a proposé un seuillage standard pour l'interprétation de cet indice (Tableau 5).

Indice	Formule	Interprétation
Showalter indice	$SI = T_{500} - T_{parcel}$	T_{500} = Température à 500 hPa. T_{parcel} = Température d'une parcelle d'air soulevée adiabatiquement de 850 à 500 hPa.
Indice de Galway	$LI = T_{500} - T_{part}$	T_{500} = température de l'environnement à 500 hPa. T_{part} = température d'un parcelle d'air soulevée adiabatiquement depuis la surface à 500 hPa.
Indice de menace de temps violent	$SWEAT = 12T_{d850} + 20 (TT - 49) + 2f_8 + f_5 + 125 (S + 0.2)$	T_d : température de point de rosé à 850hpa TT: L'indice Total-Total f_8 :force de vent à la 800 hpa exprimé en nœuds f_5 :force de vent à la 500hpa exprimé en nœuds S:sinus l'angle de direction de vent entre la 500 hpa et la 850 hpa.
K-Indice (Indice de George)	$K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T_{500} - T_{d500})$	T_{d850} = Points de rosé à 850 hPa. T_{850} = Température à 850 hPa. T_{500} = Température à 500 hPa. ($T_{700} - T_{d700}$) : la dépression du point de rosée à 700 hPa. ($T_{850} - T_{500}$) : fournit l'information sur le gradient vertical de la température.
Total-total	$TOTL = (T_{850} - T_{500}) + (T_{d850} - T_{d500})$	T_{850} = Température à 850 hPa. T_{500} = Température à 500 hPa. T_{d850} = Points de rosé à 850 hPa.
CAPE	$CAPE = \int_{NCL}^{NE} g \frac{T_{Vpar} - T_{Vev}}{T_{Vev}}$	NE= Niveau d'équilibre NCL= Niveau de convection libre g= accélération de la pesanteur T_{Vpar} = Température virtuelle de la parcelle T_{Vev} = Température virtuelle environnementale

Tableau 1 : Les indices d'instabilité atmosphérique.

K-Indice	Caractère des orages	Probabilité d'orages
K < 15	Aucun	0
15 < K < 20	Peu probables	20
20 < K < 25	Isolés	20-40
25 < K < 30	Très épars	40-60
30 < K < 35	Épars	60-80
35 < K < 40	Nombreux	80-90
K > 40	Certains	100

Tableau 5 : Valeurs standards de l'indice K proposées par George (J. J. George, 1960).

CAPE	Type de phénomène associé
0 < CAPE < 1000	Marginalement instable donnant des averses ou des orages ordinaires .
1000 < CAPE < 2500	Modérément instable donnant des orages qui peuvent être violents.
2500 < CAPE < 3500	Très instable donnant des orages violents.
3500 < CAPE	Extrêmement instable et très favorable à des orages violents

Tableau 7 : Valeurs standards de l'indice CAPE (<https://www.weather.gov/mfl/analysisinfo>) [8].

1.6 Indice Total-total

L'indice d'instabilité total-total (TT) a été proposé aussi par Robert C. Miller en 1972 (Miller, 1972). Cet indice est en fait la somme de deux indices distincts, le total vertical (VT) et le total transversal (CT). Le total vertical représente le profil de la température verticale, tandis que le total transversal donne une image du profil d'humidité. Miller a fait une étude approfondie de l'indice TT et de ses deux composantes. Ceci a mené à la définition des seuils suivants (Tableau 6) :

Indice de TT	Type de phénomène associé
TT < 40	Aucun orage
40 < TT < 43	Risque d'orage faible
44 < TT < 45	Quelques orages faibles
46 < TT < 47	Quelques orages modérés, orages faibles épars
48 < TT < 49	Orages violents isolés, orages modérés épars
50 < TT < 57	Quelques orages violents, tornades isolées
58 < TT < 59	Quelques orages violents, tornades
TT > 59	Orages violents épars, tornades

Tableau 6 : Valeurs standards de l'indice TT proposées par Miller (Miller, 1972).

1.7 CAPE

L'Énergie Potentielle Convective Disponible (CAPE) est une mesure de l'instabilité à travers la profondeur de l'atmosphère. Elle est liée à la force de courant ascendante dans les orages. Plus la valeur de cet indice est élevée, plus le risque de phénomène météorologique est violent, comme l'orage. Les seuils standards, définis par le service météorologique américain appartenant au NOAA (<https://www.weather.gov/mfl/analysisinfo>) [8], sont résumés dans le tableau 7:

localisée à 36.43 N et 3.15 E, et se trouvant à une altitude de 20 m par rapport au niveau de la mer. Les données utilisées sont des données quotidiennes avec une chronique de 22 ans (2000 à 2021). La fréquence des messages SYNOP est tri-horaire et celle des messages METAR est horaire. Par contre, nous disposons d'un seul message TEMP de radiosondage établi par la station d'aérodrome d'Alger à 00 TU chaque jour.

Pour avoir une idée sur la densité de notre échantillon de données utilisé et sa continuité, on a trié tous les données des fortes pluies sur notre période d'étude et à partir de ces résultats, on a obtenu les 625 situations. Nous avons constaté quinze (15) jours de non-disponibilité de données RS répartis comme suit : 12 jours de manque pour la saison hivernale et 3 jours de manque pour la saison transitoire. Nous avons éliminé les cas où les RS sont indisponibles. Cependant, ces cas ne peuvent pas être récupérés à cause d'interruption de l'information. Toute fois ces données éliminées présentent une marge d'erreur de 2,4%. Donc on peut définir un seuil de confiance de 97,6% ce qui est largement suffisant pour le cas de notre étude.

2.2 Analyse et traitement des données

La première sélection des données est faite sur la base saisonnière. Dans chaque année, nous avons pris un échantillon de 8 mois de données qui correspondent aux deux saisons hivernale et transitoire, [novembre-février] et [avril-mai; août-septembre], respectivement. Nous avons procédé, ensuite, à la sélection des situations pluvio-orageuses en utilisant les observations SYNOP et METAR enregistrées par la station aéroportuaire de Houari Boumediene. Des seuils de précipitations, 20 mm/24h et 10 mm/24h, ont été imposés pour les deux saisons, hivernale et transitoire, respectivement. Le choix des seuils est basé sur la nature des pluies orageuses. En hiver, généralement les pluies sont sous forme stratiforme à caractère continu et régulier. En saison transitoire, elles sont sous forme convective à caractère discontinu, isolé et irrégulier. La figure 1 montre, à titre illustratif, la répartition annuelle des cumuls de précipitations mensuels enregistrés par la station d'Alger durant la période 1991-2020.

La figure 2, schématise le processus d'analyse et de traitement suivi pour identifier toutes les situations pluvio-

2. Méthodologie

2.1 Données utilisées

Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé les données SYNOP, METAR et radiosondage élaborées par la station météorologique aéroportuaire d'Alger Houari-Boumediene;

orageuses survenues durant la période 2000-2021.

Cette étape de sélection a permis d'identifier 625 situations pluvieux-orageuses durant toute la période d'étude.

Puis, nous allons calculer les indices d'instabilité correspondants à ces situations en utilisant les observations de radiosondage enregistrées par la même station. Nous avons utilisé, pour cela, un script développé par le département des sciences atmosphériques de l'Université du Wyoming aux États-Unis

(<https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)[9].

Ce script permet aussi d'accéder à tous les radiosondages disponibles via le réseau SMT (Système Mondial de Transmission) de l'OMM. Pour s'assurer de la fiabilité des indices calculés par ce script, nous avons opté à la vérification d'un échantillon de données arbitrairement choisi en appliquant les formules mathématiques décrite dans le Tableau 1.

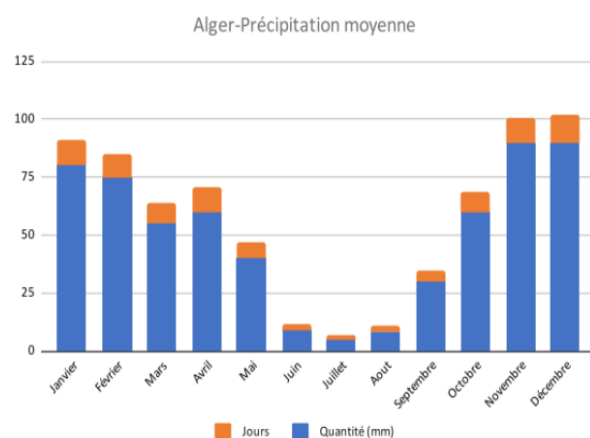


Figure 1. Répartition annuelle des cumuls de précipitations mensuels enregistrés durant la période 1991-2020 sur la station d'Alger

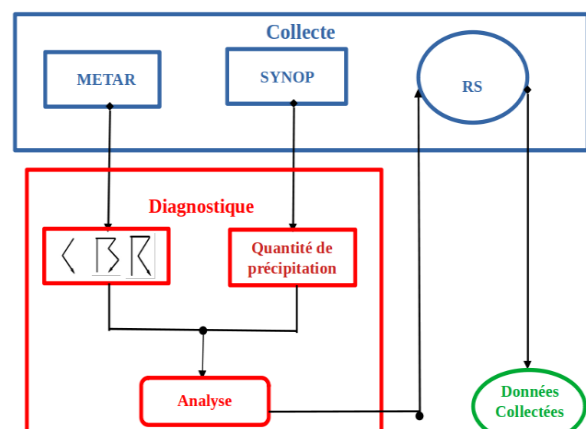


Figure 2. Schéma d'analyse et de traitement de données suivi pour la sélection des situations pluvieux-orageuses

3. Résultats et interprétations

3.1 Saison hivernale

Pour faciliter l'analyse des résultats et prendre en compte le degré de sévérité du phénomène, nous avons répartis les situations pluvio-orageuses recensées durant cette saison en trois classes en fonction de cumul de pluie en 24 heures, 40 mm, 30 mm et 20 mm. Le tableau 8 résume les valeurs des indices d'instabilité calculées pour les trois classes de situations considérées durant la saison hivernale.

Pour une quantité de précipitation de 40 mm ou plus qui sont considérées comme des situations sévères, les valeurs de l'indice Showalter varient entre 3.59 et 0.92. Ces valeurs sont très loin de celle proposées par Showalter dans le tableau 2 (< -3) pour de telles situations. L'indice de Galway varie entre -1.24 à 3.68 contre -6 valeur standard proposée par Galway dans le tableau 3 pour des situations de ce type. De même pour les valeurs de SWEAT, et CAPE qui oscillent entre 155.03 à 299.40 et 0 à 155, respectivement, qui sont très loin de celles définies dans les tableaux 4 et 7. Les valeurs de l'index K et TT sont relativement proche de ceux définis dans les tableaux 5 et 6, respectivement.

Pour une pluviométrie moyenne entre 40 à 30 millimètres, les valeurs des indices calculées SI, LI, SWEAT et CAPE sont très loin des valeurs standards proposées par les auteurs, pour ce type de situation, dans les tableaux 2, 3, 4 et 7. Cependant, les indices K et TT calculés sont plus raisonnables en les comparant avec ceux proposés. Le même constat est observé pour la troisième classe de situation (30 à 20 mm), avec toujours des indices SI, LI, SWEAT et CAPE plus loin de ceux proposés et des valeurs de K et TT plus raisonnables.

3.2 Saison de transition

De même, nous avons réparti les situations pluvio-orageuses recensées durant cette saison en trois classes, différentes de la précédente saison, en fonction de cumul de pluie en 24 heures, 30 mm, 20 mm et 10 mm. Le tableau 9 résume les valeurs des indices d'instabilité calculées pour les trois classes de situations considérées durant la saison de transition.

Pour la première classe de situation (< 30 mm), toutes les valeurs des indices SI, LI, SWEAT, K, TT et CAPE calculées sont raisonnables par rapport à celles proposées par les auteurs.

Les indices d'instabilité SI, SWEAT, K, TT et CAPE calculés pour la deuxième classe de situation sont relativement proches de ceux proposés par les auteurs. À l'exception de l'indice LI qui s'éloigne de la valeur proposée par Galway dans le tableau 3.

En ce qui concerne la troisième catégorie de situation, nous constatons des faibles différences entre les indices SI, LI, K et TT calculés et ceux définis pour ce type de situations. Par contre, les écarts constatés pour les deux autres indices SWEAT et CAPE, sont importants. Le tableau 10 récapitule les intervalles de variations des indices d'instabilité calculés

RR (mm)	N. cas	Showalter indice	Indice de Galway	SWEAT indice	K-Indice	Total-total	CAPE
$RR \geq 40$	12	$0.92 < SI < 3.59$	$-1.24 < LI < 3.68$	$155.03 < SWEAT < 299.41$	$21.3 < K < 32$	$38.2 < TT < 52.4$	$0 < CAPE < 158.79$
$40 > RR \geq 30$	13	$3.59 < SI < 5$	$3.68 < LI < 6.87$	$95.2 < SWEAT < 155.03$	$16.4 < K < 21.3$	$32.9 < TT < 38.2$	$0 < CAPE < 39.3$
$30 > RR \geq 20$	35	$5 < SI < 11.8$	$6.87 < LI < 11.05$	$43.07 < SWEAT < 95.2$	$-42.1 < K < 16.4$	$27.8 < TT < 32.9$	$0 < CAPE < 123.99$

Tableau 8 : les valeurs obtenues des indices durant la saison hivernale.

RR (mm)	N. cas	Showalter indice	Indice de Galway	SWEAT indice	K-Indice	Total-total	CAPE
$RR \geq 30$	5	$-4.88 < SI < 0$	$-5.88 < LI < 2.55$	$155.62 < SWEAT < 420.02$	$26.9 < K < 43.3$	$44.4 < TT < 55.9$	$1228.46 < CAPE < 1638.95$
$30 > RR \geq 20$	10	$0 < SI < 3.61$	$2.55 < LI < 3.61$	$98.42 < SWEAT < 155.62$	$24.3 < K < 26.9$	$40.8 < TT < 44.4$	$282.905 < CAPE < 1228.46$
$20 > RR \geq 10$	18	$3.61 < SI < 5.92$	$3.61 < LI < 4.86$	$43.19 < SWEAT < 98.42$	$17.9 < K < 24.3$	$26.9 < TT < 40.8$	$0 < CAPE < 282.905$

Tableau 9 : les valeurs obtenues des indices durant les saisons transitoires.

relatifs à chaque saison et les seuils standards proposés par la littérature. En effet, nous remarquons, en général, que les seuils relatifs aux indices calculés pour la saison transitoire sont plus proches à ceux recommandés par la littérature. Par contre, pour la saison hivernale, des différences importantes ont été constatées. Il est important de mentionner que le moment de la prise de l'observation du phénomène orage relevé dans le METAR, ne coïncide pas forcément à l'heure de lâcher de radiosonde. Ceci pourra constituer une source d'incertitude dans cette étude. Ceci, peut être, était à l'origine des incompatibilités constatés entre les seuils calculés et ceux proposés par la littérature.

D'après ces résultats nous pourrions avancer que l'utilisation de ces six indices d'orage dans la prévision opérationnelle est plus pratique et fiable durant les saisons de transition printanière et automnale. Par contre en hiver, il est très difficile de porter un jugement ferme sur la fiabilité de ces indices. Car les lâchers radiosondages, dans notre cas d'étude, s'effectuent une fois par jour à 00h et les pluies peuvent être générées par des orages plus tard dans la nuit.

4. Conclusion

Dans cet article, nous avons étudié six indices d'instabilité atmosphérique en relation avec l'apparition d'orages accompagnés de fortes précipitations sur la station aéroportuaire d'Alger. L'objectif principal était de mettre en évidence

la compatibilité des seuillages établis par la littérature pour ces six indices et ceux calculés pour notre région afin d'offrir aux prévisionnistes une bonne information sur leurs fiabilité et comportement pour chaque saison.

Les résultats ont montré que l'utilisation de ces six indices d'orage dans la prévision opérationnelle est plus pratique et fiable durant les saisons de transition printanière et automnale. Par contre en hiver, il est très difficile de porter un jugement ferme sur la fiabilité de ces indices. Car les lâchers radiosondages, dans notre cas d'étude, s'effectuent une fois par jour à 00h et les pluies peuvent être générées par des orages plus tard dans la nuit.

Nous avons réussi à proposer un nouveau seuillage pour certains indices d'instabilité notamment nnel. Aussi, afin de consolider ces résultats, il est recommandé d'élargir spatialement pour la saison de transition mais qui nécessitent d'être évalués et validés en opérant le domaine de cette étude en utilisant davantage données RS disponibles en Algérie (Tamanrasset, Béchar, Constantine et Oran) ou en utilisant les sorties de modèles de la PNT à haute résolution verticale. Aussi pour un bon diagnostic d'orage, il est nécessaire de se baser sur un réseau de détection de foudre et l'imagerie satellitaire. Ceci constituera l'une des perspectives à mener à court terme.

Indices		Min		Max	
		Hiver	Transitoire	Hiver	Transitoire
Showalter (SI)	Standards	-3		3	
	Calculés	0,92	<u>-4,88</u>	11,8	<u>5,92</u>
Galway (LI)	Standards	-6		3	
	Calculés	-1,24	<u>-5,88</u>	11,05	<u>4,46</u>
SWEAT	Standards	300		400	
	Calculés	43,07	43,19	155,03	<u>420,02</u>
K	Standards	15		40	
	Calculés	-42,1	<u>17,9</u>	32	<u>43,3</u>
Total-total (TT)	Standards	40		59	
	Calculés	27,8	26,9	52,4	<u>55,9</u>
CAPE	Standards	0		3500	
	Calculés	0	0	158,79	<u>1638,95</u>

Tableau 10 : Tableau récapitulatif des indices d'instabilités calculés et définis par les auteurs.

References

- [1] Véronique Ducrocq, P Drobinski, K Béranger, F Carlotti, C Claud, G Delrieu, A Doerenbecher, F Dulac, X Durrieu de Madron, F Elbaz, et al. Hydrological cycle in the mediterranean experiment (hymex): Towards a major field experiment in 2010-2012.
- [2] AK Showalter. The tornado—an analysis of antecedent meteorological conditions. *Preliminary Report on Tornadoes*, pages 3–139, 1943.
- [3] Joseph G Galway. The lifted index as a predictor of latent instability. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 37(10):528–529, 1956.
- [4] N Umakanth, G Ch Satyanarayana, B Simon, MC Rao, M Tanooj Kumar, and N Ranga Babu. Analysis of various thermodynamic instability parameters and their association with the rainfall during thunderstorm events over anakapalle (visakhapatnam district), india. *Acta Geophysica*, 68(5):1549–1564, 2020.
- [5] Mohinder S Grewal and Angus P Andrews. Applications of kalman filtering in aerospace 1960 to the present [historical perspectives]. *IEEE Control Systems Magazine*, 30(3):69–78, 2010.
- [6] M W Moncrieff and M J Miller. The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 102(432):373–394, 1976.
- [7] Hildebert Isnard. La répartition saisonnière des pluies en algérie. In *Annales de géographie*, volume 59, pages 354–361. JSTOR, 1950.
- [8] <https://www.weather.gov/mfl/analysisinfo>. In *Department of Atmospheric Science*, volume 1. analysisinfo, 2022.
- [9] <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>. In *Department of Atmospheric Science*, volume 1. Department of Atmospheric Science, 2022.

Développement d'une application web permettant l'acquisition des données d'observation depuis une station météorologique de type Vantage pro 2.

Abdelhadi HARROUZ ^{1*}, Mourad KROUR ²

Abstract

Dans le cadre de ce travail une application web permettant l'acquisition des données météorologiques observées par une station automatique de type Vantage pro 2 a été développée. Cette application permet de récupérer, analyser puis stocker les données d'observation envoyées par le datalogger dans une base de données appropriée et structurée. En outre, elle offre une possibilité d'afficher ces données sous un format texte ou graphique. Elle génère aussi d'une manière automatique des rapports climatiques mensuels.

Keywords

application web, station météorologique automatique, Vantage pro 2, datalogger

¹ Office national de la météorologie (DCC/DSO-ONM), Dar El Beida, Alger.

² Institut Hydrométéorologique de Formation et de Recherches (IHFR), Oran

*Correspondant: abdelhadiharrouz@outlook.com

Contents

1	Introduction:	1
2	Description de la station météorologique Vantage pro 2	1
3	Développement	2
3.1	Objectifs	2
3.2	Outils et logiciels utilisés	2
3.3	Processus de réalisation de l'application web	4
3.4	Mise en ligne de l'application	4
4	Application web	4
5	Conclusion	8
6	Remerciements	8
	References	8

1. Introduction:

Depuis quelques décennies, la qualité et la diversité des services météorologiques ont marqué d'immenses progrès grâce aux avancées impressionnantes survenues dans la recherche, la modélisation numérique, les capacités d'observation (in-situ et par télédétection), l'informatique et les communications. L'Organisation Mondiale de la Météorologie par ses fonctions a été la locomotive de ces progrès essentiellement par l'intégration plus poussée de son nouveau Système Mondiale d'Observation WIGOS intégrant le Système mondial d'observation (SMO) de l'OMM et des systèmes d'observation coparrainés par l'Organisation tels que le Système mondial d'observation de l'océan (GOOS), le Système mondial d'observation terrestre (SMOT) et le Système mondial d'observation du climat (SMOC).

Les échanges réguliers de données météorologiques sous forme numérique entre les différents services météorologiques et hydrologiques nationaux (SMHN) ont permis à un grand nombre de centres de données météorologiques et de données connexes de saisir l'occasion d'enregistrer des données et de stocker dans leurs bases de données climatiques.

Actuellement, les utilisateurs accèdent plus facilement aux données par les différents systèmes de gestion de bases de données.

En ce qui concerne la gestion des données et les services fournis aux clients, le recours à l'usage des réseaux de télécommunication en particulier l'internet améliorent considérablement les capacités d'accès aux données où les questions de sécurité sont considérées bien maîtrisées.

Dans ce travail, nous nous intéressons à la mise en place d'une application de gestion à distance de la base de données d'une station d'observation météorologique de type Vantage Pro2. Cette application, en liaison avec la station automatique, permettra l'acquisition des données et leur archivage dans une base de données structurée. Ce qui facilitera ensuite la consultation, le téléchargement, l'analyse et la génération des bulletins et rapports de tous types.

Dans cet article nous exposerons les différentes étapes suivies, les outils et les moyens mobilisés pour réaliser cette application. Enfin une discussion sur les résultats obtenus, l'expérience acquise et les perspectives feront l'objet de la conclusion générale.

2. Description de la station météorologique Vantage pro 2

La station **Vantage pro2**[1] utilisée et qui est installée à l'IHFR dispose de plusieurs capteurs de mesure, en l'occur-

rence (Fig. 1 et 2) :

- Une girouette
- Un anémomètre à coupelle
- Un pluviomètre à auget basculeur
- Un niveau à bulle intégré permet une installation plus précise et une meilleure collecte de données
- Un abri météorologique miniaturisée
- Un capteur (sonde) Température / Humidité
- Un capteur de rayonnement solaire (Pyranometre)
- Une antenne sans fil (La radio à spectre étalé)
- Un panneau solaire (alimentation autonome)
- Une unité d'acquisition et de communication

Installation facile et rapide avec le kit de matériel de montage inclus. La suite de capteurs se monte sur des poteaux de 2.54cm à 1.45po(1.00po à 1.45po)



Figure 1. Station automatique Vantage pro2



Figure 2. Schéma conceptuel d'une station météorologique

3. Développement

3.1 Objectifs

Les données et métadonnées transmises par la station seront récupérées, stockées, puis archivées sur une machine (un pc). Ces informations doivent être consultées sous format textuelle et graphique à partir d'un poste distant (client) utilisant un navigateur web. L'accès aux données est possible soit à partir d'un réseau local (Intranet), ou bien à partir d'un réseau WAN (internet) comme il est illustré dans la figure 3. La solution développée offrira alors beaucoup des services à savoir :

- Le suivi en temps réel de l'évolution de l'état de l'atmosphère sur le site.
- La consultation textuelle et graphique de l'archive.
- La création des alertes météorologiques.
- La rédaction des rapports météorologiques mensuels.

La figure 3 montre le schéma général de la station météorologique connectée pour la réalisation de cette recherche

3.2 Outils et logiciels utilisés

La **station Vantage pro2** représente l'élément principal de notre projet car on a besoin de la mesure des paramètres météorologiques d'une façon permanente afin d'alimenter notre base des données qu'on va l'exploiter par la suite. Cette station est en communication directe avec la console

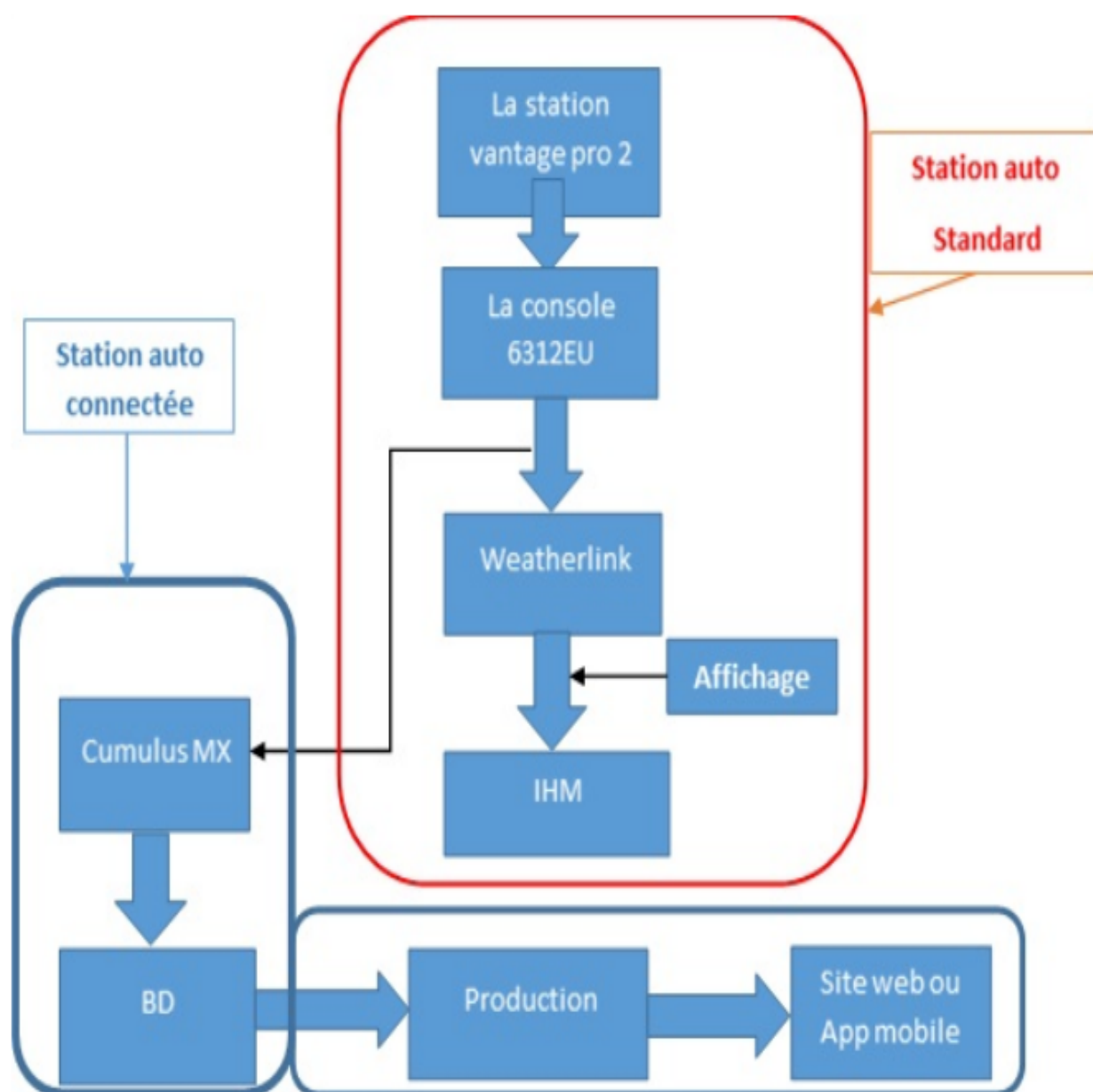


Figure 3. Schéma général de la station météorologique connectée

via une transmission radio de 868MHz de fréquence (une technologie FHSS). La console a pour rôle d'afficher sur son écran LCD les différents paramètres reçus.

La réalisation de ce projet a nécessité l'utilisation et la manipulation des moyens logiciels, à savoir:

L'application **WeatherLink** assure la configuration des paramètres, la communication entre la console et l'ordinateur, la gestion de sa propre base de données, ainsi que l'affichage et la visualisation des données sur une interface Home Machine (IHM).

Le flux de données émis par la console (6312EU) est récupéré pour la création d'une nouvelle base de données servant à répondre aux différentes requêtes (demandes) formulées par les clients web.

Cette tâche est réalisée par l'outil **CumulusMX**.

CumulusMX [2] est un logiciel gratuit développé par **Steve Loft** permettant de récupérer, de stocker et d'afficher les données d'une station météorologique automatique.

Son rôle principal est d'assurer le lien intermédiaire entre la console de la station, la machine et le site web afin de faciliter la circulation et l'affichage en temps réel des données observées par la station. Une des difficultés rencontrées dans notre projet est que le CumulusMX utilise le mode de communication série de type RS232 alors que la console est reliée avec l'ordinateur par une liaison série de type USB. Pour contourner ce problème, nous avons opté à une solution software pour la conversion USB – RS232.

En ce qui concerne le processus de production, nous avons utilisé les logiciels suivants:

- **WampServer** pour mettre en place l'environnement de création du site et l'utilisation des scripts PHP
- **Adobe Dreamweaver** pour la conception (version gratuite)
- Langage de programmation **PHP** pour la dynamique et la connexion entre la base de données et le serveur web
- Logiciel **MySQL** pour la création et la gestion de la base de données.

3.3 Processus de réalisation de l'application web

Le processus de réalisation peut être en trois étapes :

- L'installation de WampServer est considérée comme la première étape pour la réalisation du site web. Après l'installation ; le programme PHP (pour le développement back-end) devrait être automatiquement installé et configuré avec le serveur web. La dernière chose dont WampServer a besoin pour être opérationnel est la configuration de l'accès au réseau afin que toute personne connectée au même réseau puisse accéder à la page.
- L'étape suivante consiste à configurer le logiciel responsable de la forme et de la conception du site web adobe Dreamweaver.

- La dernière étape est la création de la base de données dans le logiciel MySQL et la création du lien entre cette dernière et l'application web.

3.4 Mise en ligne de l'application

Jusqu'à cette étape, l'application est prête et opérationnelle sur un réseau local. Elle est alors accessible à partir de tout appareil connecté à ce réseau.

Cependant, pour rendre l'application web accessible par un réseau étendu WAN, nous devons l'héberger en ligne et pour cela, il suffit de trouver un hébergeur en ligne offrant les services d'hébergement appropriés pour notre plateforme.

4. Application web

Dans cette partie nous présenterons quelques fonctionnalités de l'application web MetAgro développée dans le cadre de cet article. La figure 4 constitue la page principale de l'application. Les paramètres météorologiques observés en temps réel sont : humidité, précipitations, force et direction du vent, pression et la température.

On retrouve sur la page d'accueil, la barre d'icônes en haut qui regroupe les principales icônes suivantes :

« Stations vue pro » et « station vue text » : ces deux icônes permettent l'affichage des paramètres observés en temps réel sous deux formats avec horloge et format texte.

L'icône graphes montre le graphe d'évolution des paramètres observés durant les trois dernières heures.

L'icône « Aujourd'hui/Hier » affiche les paramètres météorologiques observés pour les journées actuelle et précédente.

L'icône « Enregistrement » permet l'accès aux données archivées.

Les deux icônes « Data/mois » et « Data/jour » permettent la consultation des données mensuelles et journalières.

Les deux icônes « Noaa Rapport mensuel » et « Noaa Rapport Annuel » affiche les rapports mensuel et annuel selon le format de la Noaa.

L'icône « Données et prévision » donne la possibilité d'afficher simultanément sur un même graphe les données d'observation et de prévision. Ceci permet de contrôler en temps réel la dérive du modèle par rapport à l'observation.

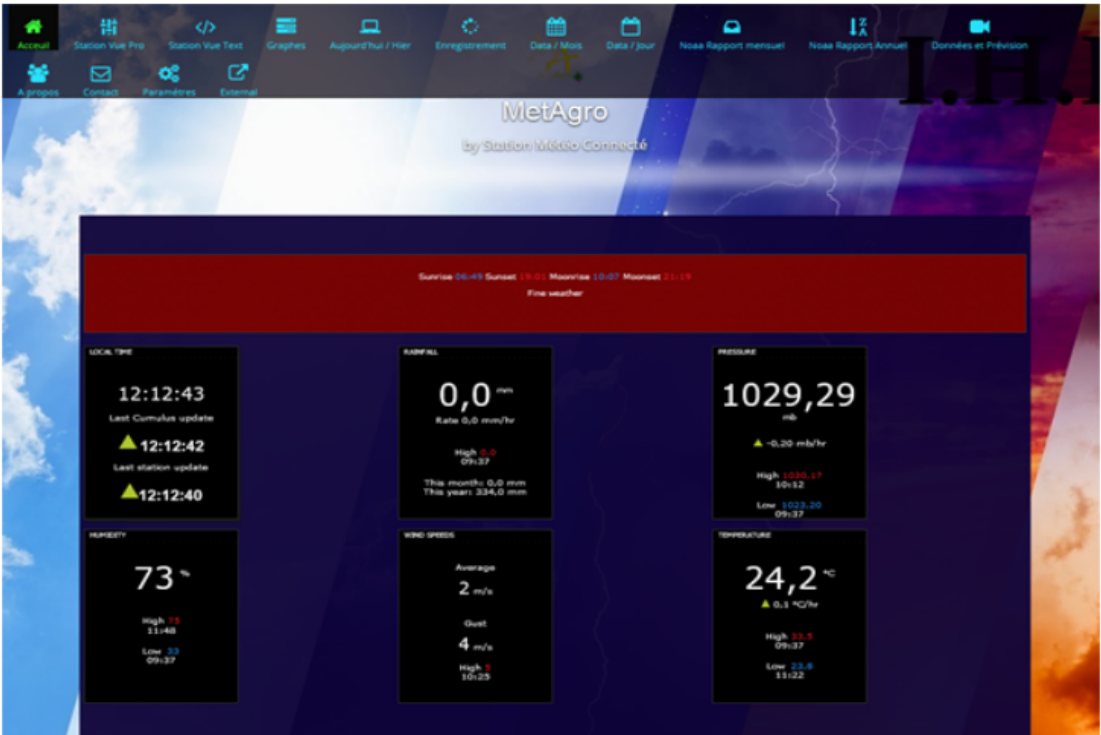


Figure 4. Page d'accueil de l'application web MetAgro

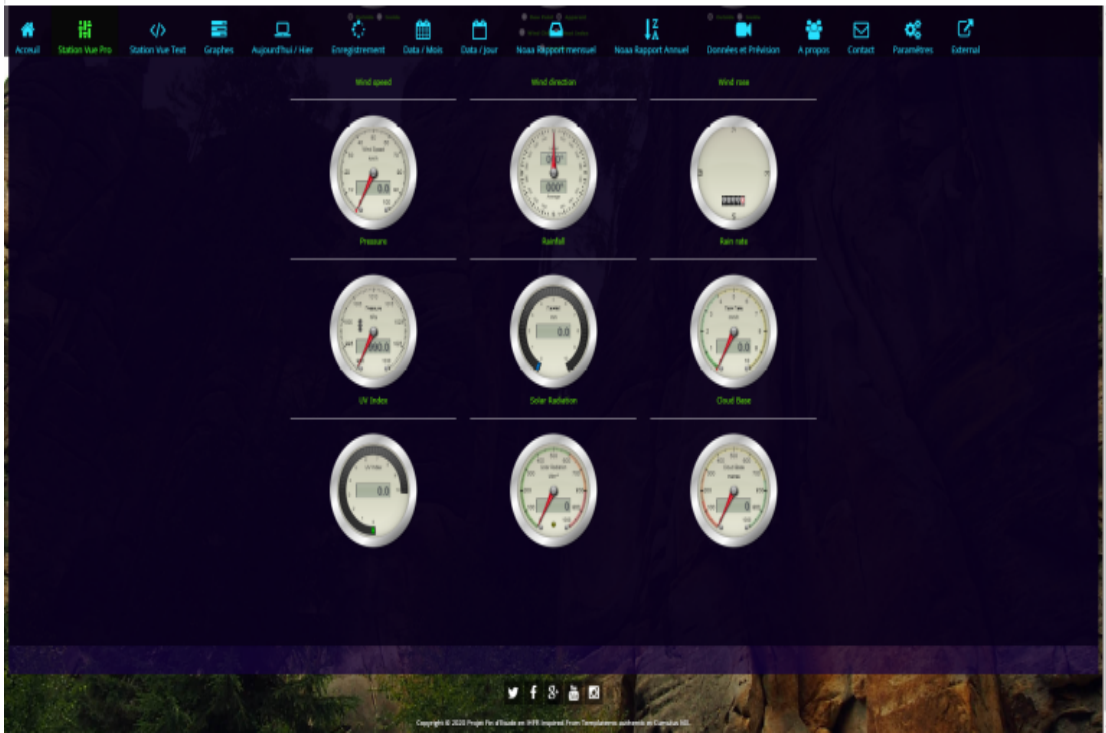


Figure 5. Fonctionnalité de l'icône « Station vue pro »

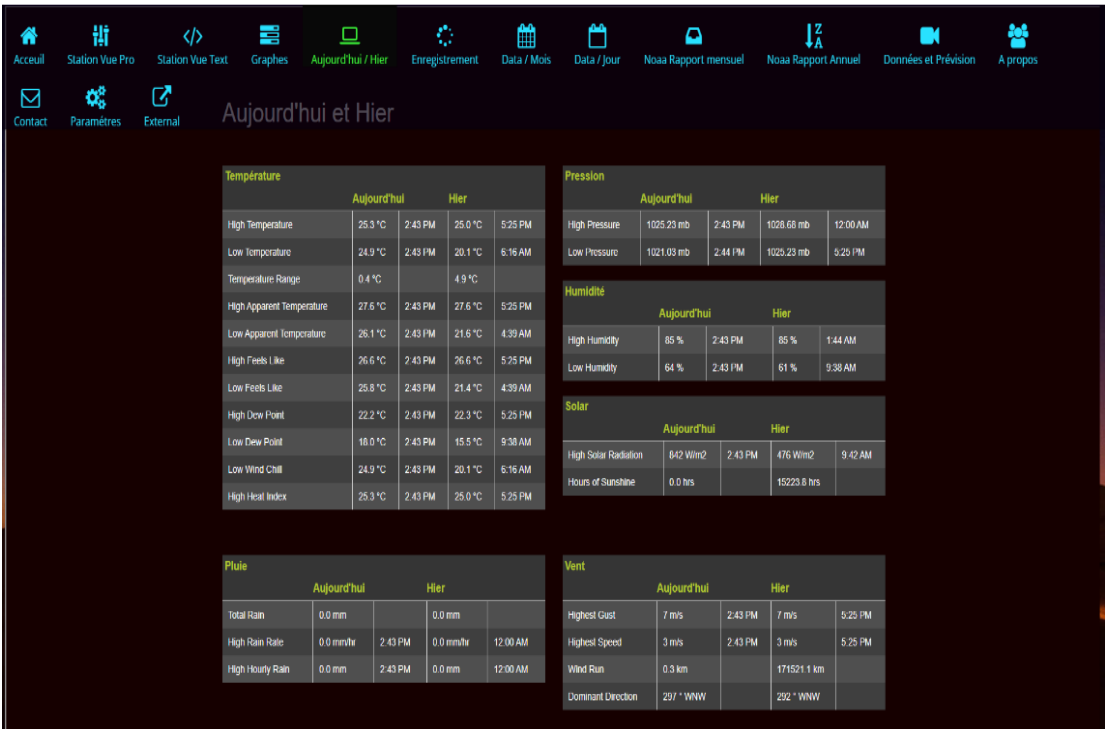


Figure 6. Fonctionnalité de l'icône « Aujourd'hui/hier»; affichage des données du jour courant et du jour précédent.

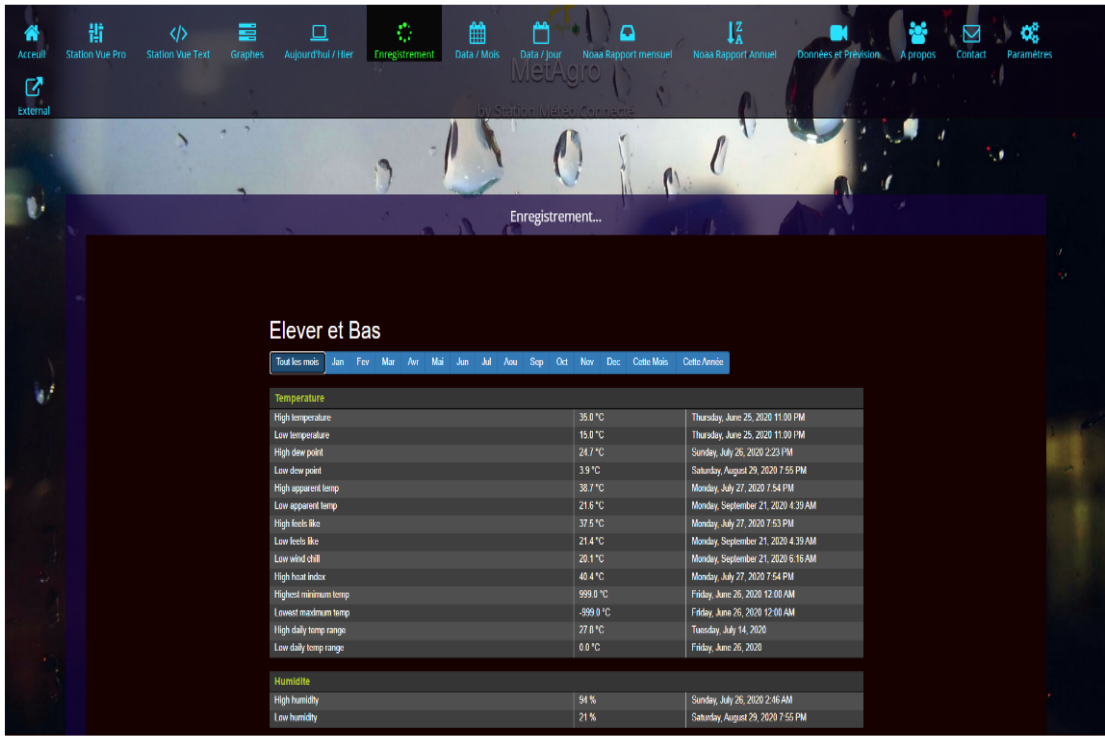


Figure 7. Fonctionnalité de l'icône « Enregistrement » ; affichage des paramètres par mois.

Développement d'une application web permettant l'acquisition des données d'observation depuis une station météorologique de type Vantage pro 2. — 7/8

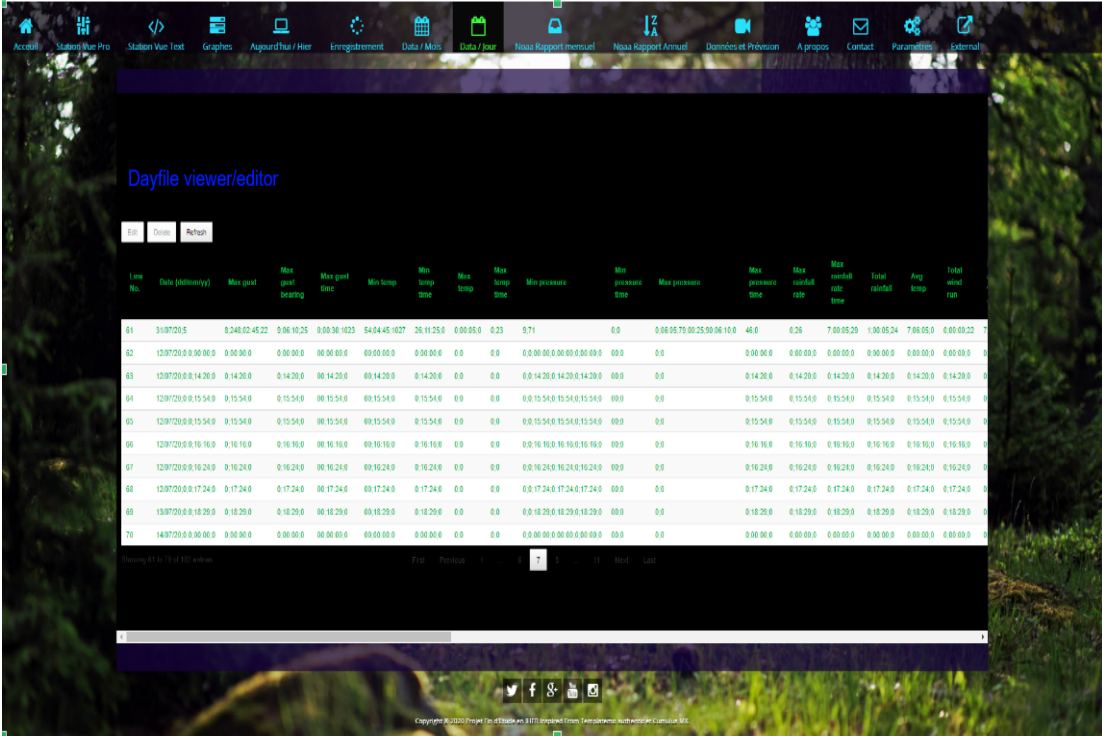


Figure 8. Fonctionnalité de l'icône « Data/jour » ; affichage des données du jour avec détail.

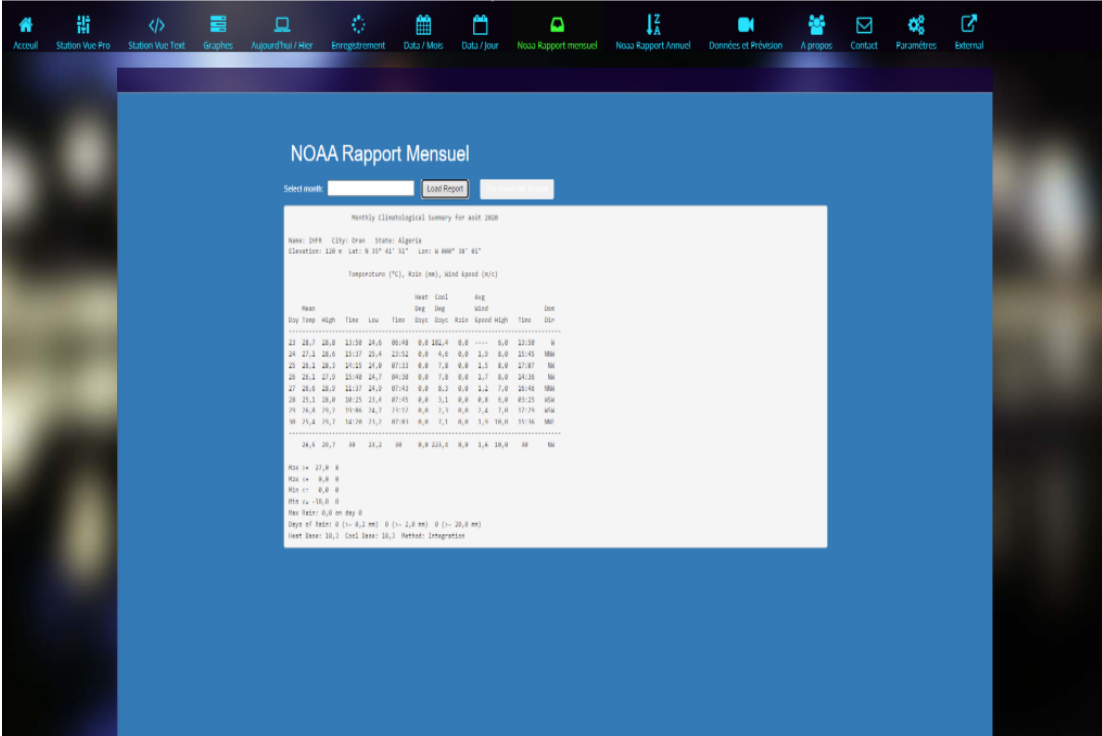


Figure 9. Fonctionnalité de l'icône « Noaa Rapport mensuel » ; élaboration du rapport mensuel.



Figure 10. Fonctionnalité de l'icône « Données et prévision » ; courbe d'évolution des paramètres observés et prévus.

5. Conclusion

L'application web MetAgro développée dans le cadre de cet article assure la communication permanente directe entre une station automatique de type Vantage pro 2 et un serveur inter-connectés. De ce fait, elle permettra l'acquisition continue des données météorologiques observées par la station et leur archivage dans une base bien structurée. MetAgro offre la possibilité d'afficher ces données sous un format texte ou graphique. Elle génère aussi d'une manière automatique des rapports climatiques mensuels et annuels.

Elle offre aussi la possibilité d'affichage, simultanément, les paramètres observés et ceux prévus par des modèles numériques. Ceci donnera la possibilité d'évaluer les modèles en question en temps réel. MetAgro a été mise à l'essai au niveau de l'IHFR d'Oran durant la saison estivale de 2020 sans interruption et avec des performances et disponibilité satisfaisantes. De ce fait leur déploiement au niveau de l'ONM est recommandée pour surveiller et extraire des données en temps réel des station Vantage Pro 2. Par contre pour les autres types de stations automatiques, quelques adaptations au niveau de back-end de l'application sont nécessaires. Ceci constituera la suite évidente de ce travail dans le proche avenir.

6. Remerciements

Nous tenons à remercier les deux enseignants de l'IHFR, Mr. Berberia Mohammed et Mr. Addou Ahmed pour leur constante disponibilité et leurs orientations durant toute la phase de réalisation de cette application.

References

- [1] Davis-INS. Vantage pro2 groweather wireless sensor suite with 24-hour fan www.davisnet.com. Doc, / (0), 2022.
- [2] software. 2- https://cumuluswiki.org/a/softwareby_steve. Doc, 2022.

Prévision saisonnière de l'évolution phénologique des cultures à travers l'indice GDD en Algérie

Amina BOUCETTA ^{1*}, Salah SAHABI-ABED ¹², Islam BOUSRI ²

Abstract

La Prévision de l'indice Growing Degree Day (GDD) est un outil très important dans la prise de décision en agriculture, car il permet de réaliser le suivi phénologique des cultures sur une échelle régionale voire même locale pour assurer un meilleur rendement possible. Il est utilisé également comme un indicateur agro météorologique pour l'évaluation de l'impact des changements climatiques futurs en agriculture, notamment sur le suivi de l'évolution des phases phénologiques. Quelques exemples de cultures sont étudiés à savoir le blé, la tomate et les agrumes, démontrant ainsi l'intérêt de la connaissance préalable de la vigueur de l'indice GDD saisonnier et ses impacts sur les rendements. La prévision de l'indice GDD demeure ainsi un outil d'aide important pour la sécurité alimentaire du pays.

Keywords

Growing Degree Day, Agriculture, Changements Climatiques, Suivi phénologique.

¹ Direction de la Climatologie et de la Coordination, Office National de la Météorologie, Dar El Beida, Alger

² Direction de l'Exploitation Météorologique

*Correspondant: aminabctt@gmail.com

Contents

1	Introduction	1
2	Donnés et Méthodes	1
2.1	Prévision saisonnière du GDD pour la culture du Blé en Algérie	2
2.2	La prévision saisonnière des GDD pour différentes cultures stratégiques en Algérie	3
3	Conclusion	5
	References	5

1. Introduction

L'agriculture est un des secteurs clés de l'économie algérienne, qui est menacé de plus en plus par le changement climatique et ses conséquences qui peuvent être dévastatrices, à savoir : l'augmentation des températures, le changement du régime pluviométrique, les événements extrêmes, le décalage saisonnier. Le pays est exposé et reste très vulnérable aux aléas climatiques, où Le degré de vulnérabilité change d'une région à une autre, et d'une culture à une autre[1], d'où la nécessité d'élaborer des stratégies de surveillance du développement des cultures selon chaque type et région par les décideurs et les agriculteurs.

La prévision du climat est un outil très important dans la prise de décision et notamment dans la réalisation des stratégies efficaces de ce secteur[2], à travers cette étude, nous avons exploité les sorties du modèle climatique Arpège-climat afin de réaliser une prévision de l'évolution phénologique des cultures basée sur la mesure d'un indicateur agro météor-

ologique qui est le Growing Degree Day(GDD) qui relie à la fois les conditions météorologiques ainsi que les processus biologiques et physiologiques du développement des végétaux[3].

Le but principal étant d'introduire un modèle climatique servant à prévoir les phases phénologiques de ces processus depuis le semis jusqu'à la récolte, afin de suivre de près le développement de ses cultures et intervenir au moment adéquat en cas de risques menaçants biotiques (insectes) et/ou abiotiques (conditions climatiques défavorables).

Le GDD est utilisé également pour déterminer et quantifier la durée entre les phases phénologiques des cultures, vu que les études des projections climatiques futures ont signalé un changement très probable dans la durée de ses phases pour les années à venir, par conséquent, une prévision mensuelle ou saisonnière de cet indice va informer l'agriculteur sur la durée probable de la phase phénologique d'une culture donnée.

2. Donnés et Méthodes

La température est un paramètre déterminant pour le développement des cultures spécialement dans les zones des moyennes latitudes, toute perturbation de ce paramètre engendrera des conséquences directes sur le développement biologique des cultures (la croissance, le rendement et la qualité des cultures) ainsi que certains mécanismes essentiels de leur survie comme la photosynthèse, l'évapotranspiration. . . etc.

Elle est également essentielle pour la détermination du taux de développement des insectes, car une prévision des GDD donnera une information cruciale sur la survie de

ces derniers, ce qui facilite la gestion des parasites (la date d'apparition, la lutte).

L'indice GDD est une mesure d'accumulation de chaleur, il est utilisé pour prédire le taux de développement des plantes et des ravageurs, par exemple la date à laquelle une culture atteint sa maturité ce qui représente une information cruciale pour l'agriculteur ; l'indice GDD est appelé également unité de chaleur.

Il existe plusieurs méthodes de calcul de l'indice GDD, la formule la plus simple du GDD est donnée par :

$$GDD = \sum \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_{base} \quad (1)$$

Où Si $T_{base} > T_{max} + T_{min}/2$ alors $GDD = 0$ Dans cette étude, nous avons réalisé une prévision saisonnière de cet indice GDD avec le modèle Arpège-climat où :

T_{max} : Température maximale prévue (°C).

T_{min} : Température minimale prévue (°C).

T_{base} : Température de base de la plante (°C).

Table 1. Les températures de base des différentes cultures en (°C)

Culture	Blé-Orge	Pomme de terre	Maïs	Tomate	Agrumes
T de Base °C	0	6	6	12	13

Le tableau ci-dessous (tableau 1) représente la température de base (zéro de végétation) des différentes cultures, qui signifie la température minimale à partir de laquelle une plante se développe c'est-à-dire en dessous de laquelle aucun développement n'est possible, elle est spécifique pour chaque type de culture.

L'accumulation des GDD commence depuis le lendemain de la date de semis jusqu'à la veille de la date de récolte où chaque phase phénologique lui correspond des valeurs de GDD adaptées.

Une Prévision de l'indice GDD peut alors renseigner sur les bonnes pratiques de gestion et d'intervention au moment opportun afin d'éviter les dommages qui peuvent affecter les cultures (parasites, irrigation...).

2.1 Prévision saisonnière du GDD pour la culture du Blé en Algérie

Le développement du blé est intimement lié aux températures, ce dernier se développe plus rapidement lorsque les températures sont élevées et plus lentement lorsque celles-ci baissent[4]. A titre d'expérimentation nous avons réalisé dans cette étude la prévision saisonnière de l'indice GDD pour la culture de blé en Algérie avec les sorties du modèle Arpège-climat et la température de base du blé qui correspond à 0°C pour la saison Décembre - Janvier - Février 2022 (hivernale). Nous observons sur la carte (figure 1) la variabilité spatiale de la distribution du GDD sur l'ensemble du pays.

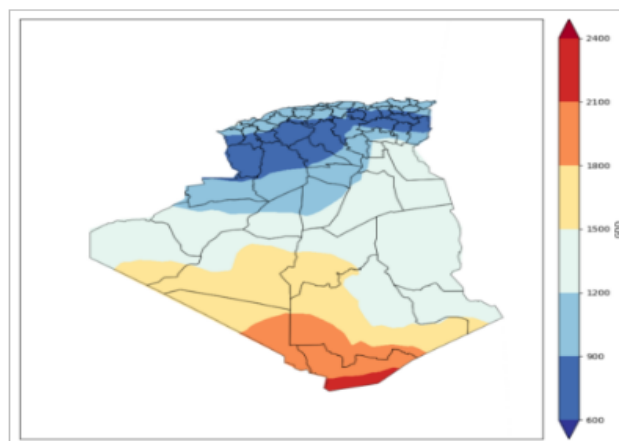


Figure 1. La Prévision saisonnière des GDD pour le Blé pour la saison Décembre - Janvier - Février 2022 avec le modèle Arpège-climat

- Phases phénologiques du développement du blé :

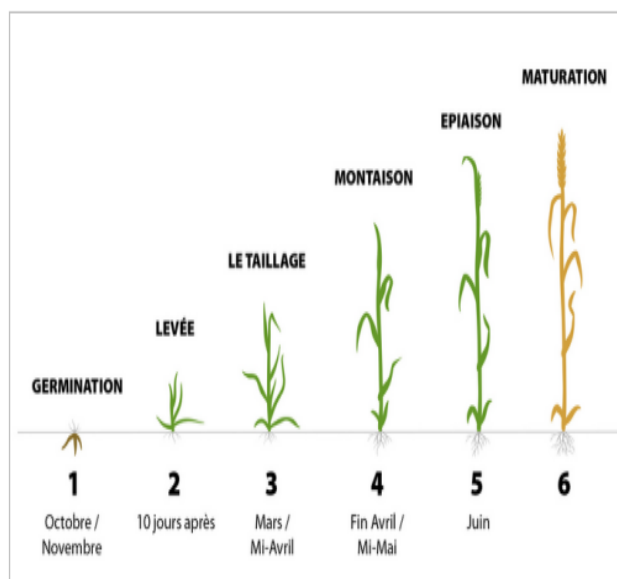


Figure 2. les phases phénologiques du développement de blé

La figure 02 représente les différentes phases phénologiques du développement normal de blé, à partir de la date de semis qui sera fixée [3] par l'agriculteur (selon sa stratégie de semis). Les phases phénologiques prévues seront ensuite exprimées en unités de chaleur (GDD) et comparées aux seuils suivants (tableau 02) qui seront adaptés pour notre région après avoir tourné ce modèle pour une longue durée[5].

- Une prévision saisonnière des GDD aidera l'agriculteur dans le processus de suivi et la gestion de son champ de blé.
- Nous avons réalisé une prévision des différentes phases

Table 2. stade de développement du blé en fonction des seuils de GDD

Stade de développement	GDD
Semi - Levée	180-200
Semi - Début tallage	550
Semi- épi 1 cm	1100
Semi – 2 nœuds	1300
Semi- épiaison	2000
Semi- grain pâteux	2800

phénologiques du blé en Algérie pour l'année 2021 avec le modèle Arpège-climat où nous nous servons des résultats de l'étude de Nacira Chourghal et Tarik Hartani intitulée : Quelle stratégie de semis du blé dur en Algérie pour s'adapter au changement climatique [6]? et ce, afin de fixer la date de semis et la durée de chaque phase phénologique du blé en Algérie en nombre de jours.

- Les cartes suivantes représentent les GDD prévues pour la première phase allant du **Novembre 2020** jusqu'au **28 Janvier 2021** (semis-début de tallage) et la deuxième phase depuis **28 Janvier 2021** au **12 Mars 2021** (début de tallage- floraison) :

Les phases phénologiques ont été résumées en deux phases principales : **Phase végétative** et **phase reproductive** ; chacune est dévisée en deux phases secondaires compris **P1** (début de la phase végétative), **P2** (fin de la phase végétative) et **P3** (début de la phase reproductive), **P4** (fin de la phase reproductive).

Pour les phases P1 et P2, les valeurs des GDD dépassent les seuils recommandés pour cette phase (GDD = 550) sur la majeure partie du pays, et cela est dû au fait que l'année 2021 a été l'année la plus chaude parmi les dix dernières années, de point de vue températures moyennes avec une anomalie de +1.1°C comparée à la normale climatologique calculée sur la période 1981-2010.

Les cartes suivantes représentent la troisième phase allant du 12 Mars 2021 au 12 Mai 2021 (début de montaison – floraison) et la quatrième phase de 12 Mai 2021 au 28 Juin 2021 (floraison – récolte) : D'après les cartes précédentes des GDD prévues pour le cycle du blé de l'année 2021 en Algérie, nous avons constaté des seuils élevés des GDD pour chaque phase, donc les phases phénologiques étaient courtes, car les températures étaient très élevées (des scores ont été enregistrés sur la partie nord de l'Algérie pour 2021 où se situent les champs de la culture de blé), donc le cycle biologique a été accéléré.

2.2 La prévision saisonnière des GDD pour différentes cultures stratégiques en Algérie

Dans un second volet de cette étude nous nous sommes intéressés au calcul des indices GDD saisonniers pour quelques cultures stratégiques en Algérie, à l'instar de la tomate, la pomme de terre et les agrumes.

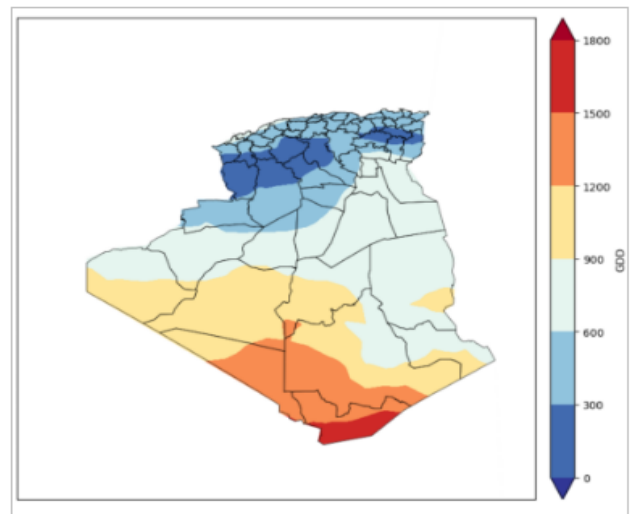


Figure 5. Prévision saisonnière des GDD pour la pomme de terre en Algérie pour la saison Décembre - Janvier - Février 2022 avec le modèle Arpège-climat

Les GDD sont également prévus avec des échéances saisonnières, pour la culture de la pomme de terre, comme indiqué dans la figure 5 ci-dessus. La figure 5 représente la prévision saisonnière des GDD pour la pomme de terre pour la saison Décembre - Janvier - Février 2022 avec le modèle Arpège-climat. Les valeurs de l'indice GDD seront ensuite comparées avec des seuils propres à la culture de la pomme de terre.

Ci-dessous les cartes des GDD saisonniers prévus pour la Tomate et les Agrumes :

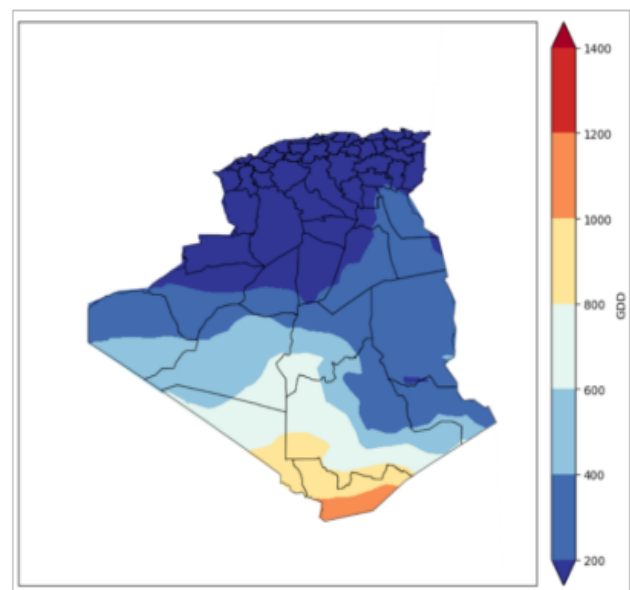


Figure 6. Prévision saisonnière des GDD pour la Tomate en Algérie pour la saison Décembre – Janvier - Février 2022 avec le modèle Arpège-climat

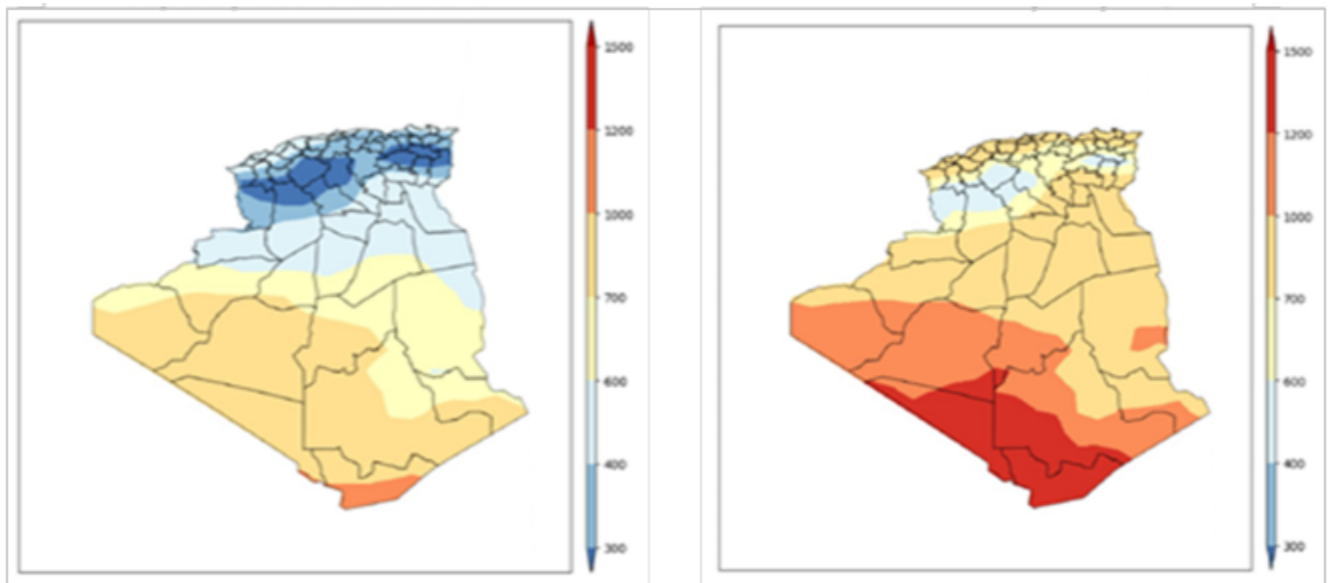


Figure 3. L'indice GDD pour les phases phénologiques 01 et 02 de développement du blé en Algérie avec le modèle Arpège-climat prévus pour l'année 2021.

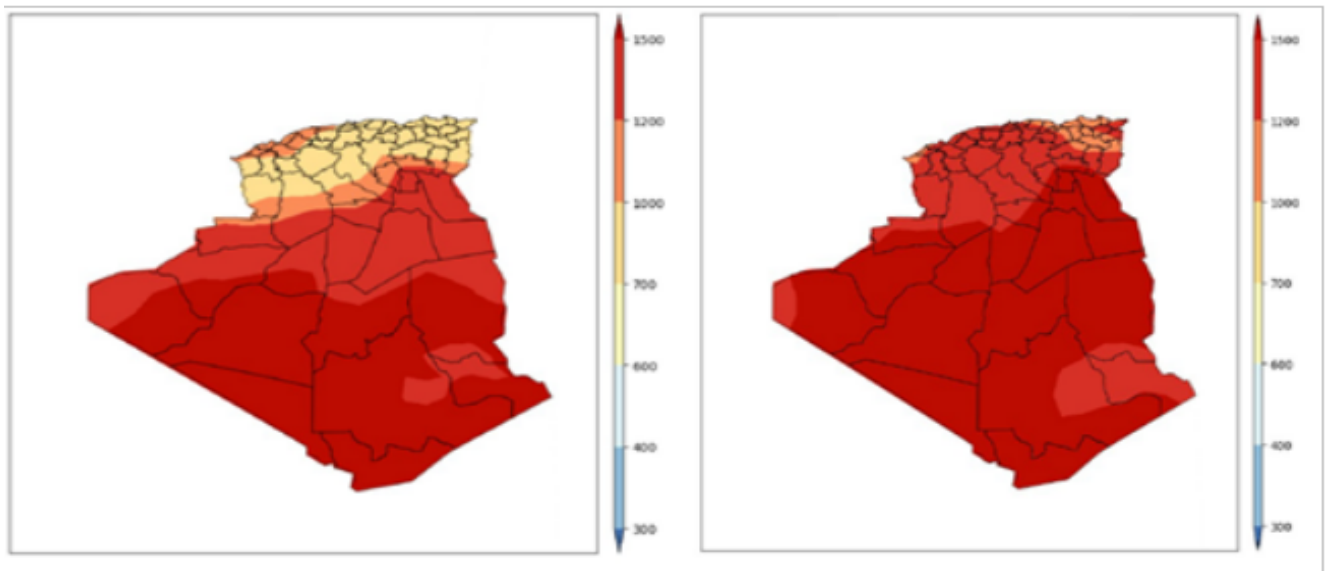


Figure 4. L'indice GDD cumulés des phases phénologiques 03 et 04 du développement du blé en Algérie avec le modèle Arpège-climat prévus pour l'année 2021.

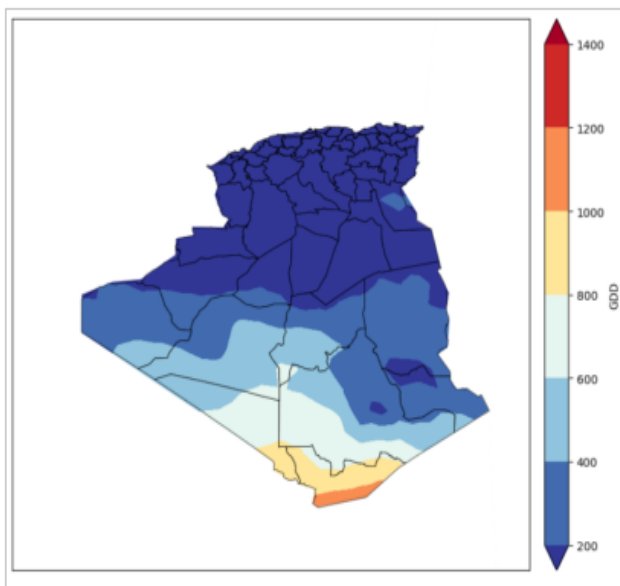


Figure 7. Prévision saisonnière des GDD pour les Agrumes en Décembre - Janvier - Février 2022 avec le modèle Arpège-climat

3. Conclusion

Les modèles climatiques représentent un outil très précieux dans la prise de décision en agriculture, car les situations météorologiques et climatologiques conditionnent toujours les processus de développement des végétaux. Les modèles de prévision climatiques saisonnière sont devenus un outil incontournable dans la gestion des cultures depuis le processus de développement, jusqu'au rendement voire même la qualité des cultures.

Le modèle proposé dans cette étude est appelé modèle phénologique des végétaux, il est fondé sur la prévision de l'indice Growing Degree Day (GDD), autrement dit, basé sur l'accumulation thermique. Il prévoit l'évolution des phases phénologiques des cultures et assiste l'agriculteur dans le suivi de sa culture depuis le semis jusqu'à la récolte. La prévision du GDD permet en outre la comparaison avec des seuils préalablement définis pour chaque culture, ce qui donnera à l'agriculteur une connaissance sur la date d'une récolte optimale par exemple. Un GDD prévu permettra aussi de prévoir l'arrivée probable des ravageurs ce qui aidera l'agriculteur à réagir au moment opportun et prendre ses dispositions afin

l'intervenir et éviter les dégâts menaçant sa culture.

Le modèle utilisé dans cette étude nécessitera une validation avec les données d'observation et les feedbacks des agriculteurs demeurent par conséquent cruciaux avant de réajuster les modèles de prévision des GDD à l'avenir.

Comme nous avons pu montrer l'intérêt capital de l'utilisation des produits météorologiques pour le suivi des cultures stratégiques pour le pays. L'usage des indicateurs prévus contribuent fortement dans l'orientation de l'agriculteur ainsi que les services chargés du domaine agricole pour le choix des cultures adaptées aux conditions météorologiques et climatiques prévues et de dresser par conséquent des programmes d'intervention selon l'évolution de celles-ci et ce, afin d'optimiser et d'assurer les meilleurs rendements agricoles.

L'application ainsi que la validation de cette application agro-météorologique et l'étude d'une possible extension à d'autres cultures nécessiteront une collaboration étroite entre les services météorologiques et ceux de l'agriculture.

References

- [1] EA Grigorieva, A Matzarakis, and CR De Freitas. Analysis of growing degree-days as a climate impact indicator in a region with extreme annual air temperature amplitude. *Climate Research*, 42(2):143–154, 2010.
- [2] MP Lepage and G Bourgeois. Modèles bioclimatiques pour la prédiction de la phénologie, de la croissance, du rendement et de la qualité des cultures, 2012.
- [3] Perry Miller, Will Lanier, and Stu Brandt. Using growing degree days to predict plant stages. *Ag/Extension Communications Coordinator, Communications Services, Montana State University-Bozeman, Bozeman, MO*, 59717(406):994–2721, 2001.
- [4] MH Ali, MR Hoque, AA Hassan, and MA Khair. Photo-thermal unit requirement of wheat under different levels of irrigation. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 2(452-2018-3790):351–360, 2004.
- [5] Hari Ram, Neha Gupta, and Johar Singh Saini. Growing degree day requirements and yield ability of irrigated durum wheat as influenced by sowing time. *Agric. Res. J*, 53:303–306, 2016.
- [6] Nacira Chourghal and Tarik Hartani. Which sowing strategy for durum wheat in algeria to adapt to climate change? *CAHIERS AGRICULTURES*, 29, 2020.

Régionalisation des normales annuelles des températures en Algérie par la méthode K-means .

Islam BOUSRI ^{1*}, Amina BOUCETTA ², Salah SAHABI-ABED ¹²

Abstract

L'objectif d'une régionalisation ou du zonage climatique est d'obtenir un découpage d'un territoire en zones homogènes, à l'intérieur desquelles le comportement climatique est similaire au paramètre étudié, ce qui représente une information cruciale pour les différentes applications nécessitant une minimisation de la variabilité spatiale du paramètre analysé.

La régionalisation dispose également d'une grande importance dans le contrôle des modèles de prévision numérique par rapport à l'observation (données climatologiques), puisqu'elle permet de visualiser le comportement du modèle par région homogène en termes de paramètre de découpage. Vu l'importance des données utilisées sur l'étude du paramètre concerné, notre choix dans cette étude s'est porté sur un ensemble de données comprenant les normales climatiques annuelles des températures (minimales, maximales et moyennes), les altitudes, les coordonnées géographiques (latitude et longitude), les distances par rapport à la mer et par rapport à la forêt de l'ensemble des stations du réseau professionnel.

Une régionalisation par rapport au paramètre température a été élaborée par la méthode du Kmeans, où nous avons utilisé la méthode d'Elbow pour la détermination du paramètre k qui va représenter le nombre de régions (clusters).

Ensuite, nous avons réalisé une analyse en composantes principales (ACP) afin de visualiser clairement les séparations des régions sur les principaux axes factoriels.

En final, grâce à cette méthode nous avons réussi à obtenir cinq régions, qui ont été représentées par des nuages de points et visualisées sur la carte de l'Algérie.

Keywords

K-means, La méthode de Elbow, clusters, ACP, Régionalisation, zonage

¹ Direction de l'Exploitation Météorologique

² Direction de la Climatologie et de la Coordination Réseaux, Office National de la Météorologie, Dar El Beida, Alger

*Correspondant: bousri.islam@gmail.com

Contents

1	Introduction	1
2	Aspect théorique	2
2.1	k-means	2
2.2	La méthode du coude	2
2.3	Analyse en composantes principales (ACP)	2
3	Données utilisées	3
3.1	Analyse descriptive des variables	3
4	Résultats et discussion	3
4.1	Interprétation de la matrice de corrélation	3
4.2	Synthèse de l'Interprétation de la matrice de corrélation	3
4.3	Application K-means	4
4.4	Application ACP	4
5	Conclusion	6
	References	7

1. Introduction

L'Algérie étant le plus grand pays de l'Afrique, est caractérisé par trois types de climat : le climat méditerranéen le long de la côte ainsi que la majeure partie nord, le climat de transition sur la bande collinaire et montagneuse du nord, qui est semi aride (modérément pluvieux) et enfin le climat désertique sur la grande surface occupée par le Sahara.

Par conséquent, il est intéressant d'étudier comment le climat et les zones climatiques en Algérie ont évolué dans le passé récent et vérifier leurs déplacements.

L'importance de la régionalisation climatique est diverse. Elle a pu mettre en évidence dans certains pays comme en France par exemple la réglementation thermique de 2012 qui a utilisé la notion de zones climatiques pour déterminer la consommation moyenne d'un bâtiment en énergie. Pour le contrôle des modèles de prévision numérique par rapport à l'observation, la régionalisation nous aidera à visualiser le comportement des modèles dans les régions qui dispose du même climat.

La régionalisation des paramètres météorologiques basée sur les outils statistiques renferme plusieurs approches et méthodes. DeGaetano et Shulman(1990)[1] ont appliqué

une technique de regroupement flexible aux trois premières composantes principales de plusieurs variables climatologiques afin d'identifier les régions de résistance cohérentes des plantes. Fovell et Fovell (1993) [2] ont utilisé K-means afin d'identifier les zones climatiques du territoire des Etats-Unis d'Amérique en fonction de la température et des précipitations.

En Algérie, A. Medjerab et L. Henia 2005 [3] ont réalisé une étude de régionalisation des pluies annuelles sur le Nord-Ouest de l'Algérie en utilisant l'analyse en composante principale (ACP), et S. TAIBI 2013 [4] a fait une évolution et régionalisation des précipitations au nord de l'Algérie sur la période 1936–2009 par l'ACP.

En 2020, Wu Zeng a utilisé également l'algorithme de regroupement K-means pour identifier et exprimer l'agrégation régionale des données temporelles et spatiales dans les événements de température extrême à l'échelle nationale, ce qui fournit une nouvelle idée et une nouvelle méthode pour l'étude des événements climatiques extrêmes [5].

Dans la présente étude, nous avons réalisé une régionalisation des températures normales annuelles par la méthode k-means.

2. Aspect théorique

2.1 k-means

Le « k-means » a été utilisé pour la première fois par James MacQueen en 1967 [6], bien que l'idée originale a été proposée par Hugo Steinhaus en 1957 [7] c'est l'un des algorithmes de "clustering" les plus populaires. Cet algorithme est basé sur le concept que chaque groupe peut être représenté par son centre.

Dans l'objectif de trouver ces groupes, k-means commence par attribuer aléatoirement des K-centres puis tente de rattacher les points les plus proches à ces centres.

Algorithme K-means :

Les principales fonctionnalités de cet Algorithme sont :

- 1. Il Initialise les centroïdes des clusters.
- 2. Il Affecte les points de données aux clusters dont le centroïde est le plus proche, sur la base de la distance euclidienne.
- 3. Il permet la mise à jour des centroïdes des clusters : Pour chaque cluster, la moyenne des valeurs de tous les points qui y appartiennent, devient la nouvelle valeur du centroïde.

Enfin, la procédure consiste à répéter les étapes 2-3 jusqu'à ce que les centroïdes cessent d'être mis à jour.

2.2 La méthode du coude

L'une des tâches les plus difficiles que nous pouvons rencontrer lors de l'utilisation des K-means est le choix du nombre de clusters. Une des méthodes utilisées pour déterminer la meilleure valeur K est la méthode du coude Elbow qui

Un ensemble d'apprentissage $x(1), \dots, x(m)$, l'objectif est de prédire les centroïdes k et une étiquette $c(i)$ pour chaque point de données :

Step 1. Initialiser les centroïdes des clusters $u_1, u_2, \dots, u_k$ de façon aléatoire,
Step 2. Répétez jusqu'à la convergence : {

For every i , set

$$c^i := \operatorname{argmin}_j \|x^i - u_j\|^2$$

For each j , set

$$u_j := \frac{\sum_{i=1}^n I\{c^i = j\} x^i}{\sum_{i=1}^n I\{c^i = j\}}$$

Tableau 1: Algorithme de K-means.

est basée sur l'idée que pour avoir une bonne qualité d'un cluster, il faut que l'observation attachée à ce cluster soit aussi proche que possible du centre du cluster.

Nous utiliserons la SSE (Sum Squared Error) dans cette méthode pour déterminer la somme de la différence au carré entre le centre du cluster et chaque observation liée à ce cluster.

Il est donc logique de supposer que nous allons essayer de minimiser la SSE.

L'idée de la méthode Elbow est d'exécuter le clustering k-means sur l'ensemble de données pour une gamme de valeurs de k et pour chaque valeur de k de calculer la SSE.

Le nombre optimal de clusters correspond à la valeur minimale optimale de SSE qui représenterait une articulation du coude.

2.3 Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) introduite par K. Pearson en 1901 [8] et développée par H. Hotelling en 1933 [9] qui est une méthode très puissante pour explorer la structure d'un grand nombre p de données quantitatives par élément observé. L'analyse de ces données doit prendre en compte leur caractère multidimensionnel et révéler les connexions existantes entre leurs composantes.

Dyer (1975) [10] et Richman (1986) [11] ont démontré l'apport de la procédure de rotation, qui redistribue l'information contenue dans les K premières composantes entre K nouvelles composantes : la composante principale (CP) dérivée d'une ACP avec rotation individualise et stabilise davantage les structures spatiales.

Par conséquent, l'ACP développe de nouvelles variables artificielles et des représentations graphiques qui permettent de visualiser les relations entre les différentes composantes et les relations entre les groupes variables et les

individus.

3. Données utilisées

3.1 Analyse descriptive des variables

Les données utilisées sont des normales climatiques annuelles des températures (min, max et moy), le paramètre altitude et les coordonnées géographiques latitude et longitude, les distances par rapport à la mer et par rapport à la forêt de 60 stations sélectionnées du réseau professionnel de l'Office National de la Météorologie (ONM).

4. Résultats et discussion

4.1 Interprétation de la matrice de corrélation

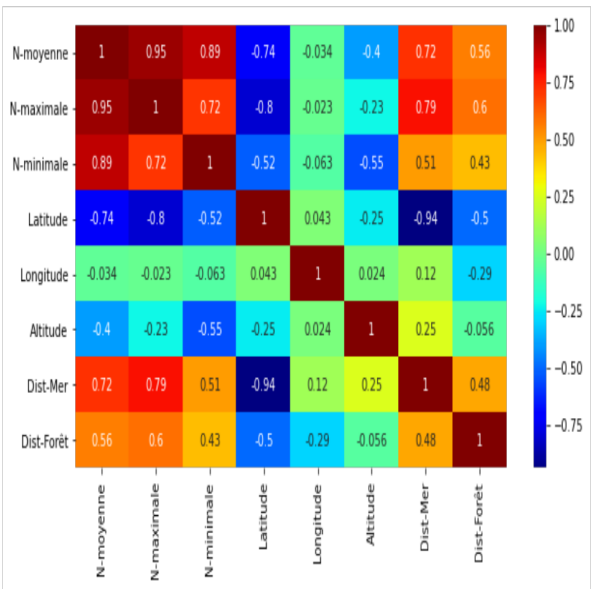


Figure 1. La Représentation de la matrice de corrélation

Nous constatons d'après la figure 01 que : les normales climatiques de la température **moyenne** sont **fortement et positivement** corrélées avec les températures normales maximales, minimales et la variable distance mer. En revanche, elles sont fortement et négativement corrélées avec la latitude. Elles sont aussi corrélées moyennement négativement avec l'altitude et **moyennement positivement** avec la distance mer.

Concernant les normales maximales, nous remarquons que celles-ci sont **fortement et positivement** corrélées avec les normales minimales, la distance par rapport à la mer et la distance par rapport à la forêt et plutôt négativement fortement corrélées avec la latitude et **moyennement négativement** avec l'altitude.

Sur la figure 01, on constate que les normales minimales présentent une corrélation moyenne positive avec la distance mer, la distance forêt et **moyenne négative** avec la

variable altitude. Les latitudes sont **négativement corrélées** avec l'altitude, la distance mer, la distance forêt et présente une corrélation moyenne avec la distance forêt et l'altitude et significative avec la distance mer.

Les longitudes sont **moyennement corrélées** avec les deux distances, **négativement** par rapport à la mer et positivement pour la forêt.

Les altitudes présentent une **corrélation positive** et moyenne avec la distance mer. Les distances mer et forêt sont moyennement positivement corrélées entre elles.

4.2 Synthèse de l'Interprétation de la matrice de corrélation

On remarque dans la matrice de corrélation que toutes les variables sont **fortement à Moyennement** corrélées entre elles, soit positivement ou négativement, contrairement à la variable longitude qui ne présente pas de corrélation avec les autres variables sauf une corrélation moyenne positive avec la variable distance mer et négative avec la variable distance forêt. La variable altitude aussi présente des corrélations moyennes avec toutes les autres variables à l'exception des variables distance forêt et longitude qui montrent des corrélations très faibles ou quasi nulles.

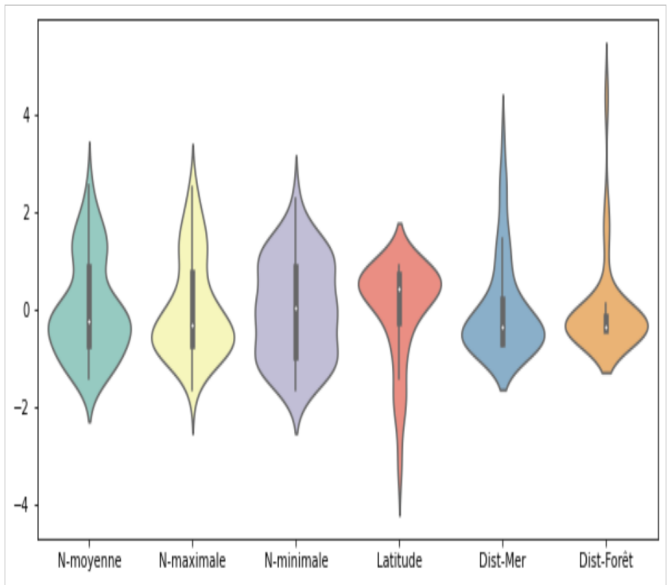


Figure 2. La Représentation de la matrice de corrélation

Les distributions des températures maximales montrent que la queue de haut est plus longue, ce qui signifie la présence d'une **asymétrie positive** ; on voit aussi que la courbe de densité de probabilités des températures moyennes a presque la même allure que celle des normales maximales. Contrairement au minimales, on voit plutôt une symétrie avec une courbe plus plate que la normale.

La distance forêt présente une courbe très pointue, ce qui signifie une **dispersion très faible** avec une queue de haut très longue, cette variable comme le reste des autres par rapport aux stations de notre réseau, la distance forêt

ne varie presque pas sauf pour quelques stations, qui sont généralement celles du Sahara comme elles se trouvent vraiment très loin des forêts.

Pour les courbes des latitudes et des distances mer, on observe pratiquement la même courbe, mais inversée. Cela peut être confirmé dans la matrice de corrélation où on a enregistré des corrélations avec l'ensemble des variables plus au moins les mêmes avec des signes différents. Ce qui est parfaitement logique parce qu'à chaque fois que la latitude diminue en allant vers le sud, la distance par rapport à la Méditerranée augmente à l'exception de quelques stations qui se trouvent au sud-ouest algérien et qui sont plus proches de l'océan Atlantique qu'à la mer méditerranée.

4.3 Application K-means

En mettant dans un graphique les différents nombres de clusters K en fonction de SSE, on retrouve le nombre de classes à sélectionner. En effet, on remarque sur ce graphique,

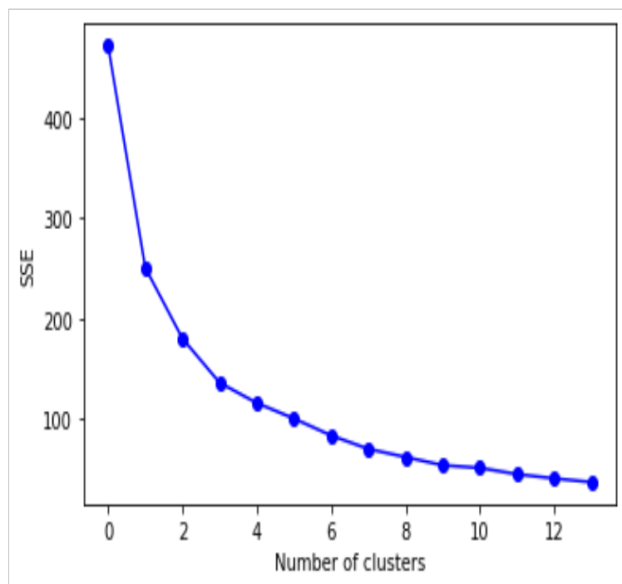


Figure 3. Représentation de la méthode du Elbow

la forme d'un bras où le point le plus haut représente l'épaule et le point où K vaut 13 représente l'autre extrémité de la main. Le nombre optimal de clusters est le point représentant le coude. Ici le coude peut être représenté par un K équivalent à 4 ou 5 ou 6 : Il s'agit du nombre optimal de clusters. Généralement, le point du coude est celui du nombre de clusters à partir duquel la SSE ne se réduit plus significativement. En effet, la chute de la courbe de la SSE entre 1 et 6 clusters est significativement plus grande que celle entre 8 clusters et 13 clusters.

Comme il n'y a pas de solution unique à un problème de classification, nous avons choisi la valeur médiane entre les trois valeurs associées aux coudes 4, 5 et 6.

Nous allons visualiser les régions sur l'ensemble des variables à l'exception de :

Table 1. Répartition des stations par région.

Régions	Nombre de stations
Region1	22
Region2	22
Region3	6
Region4	5
Region5	5

- La normale des moyennes est similaire à la normale des maximales
- La latitude est similaire à la Dist-Mer (distance par rapport à la mer)
- La distance par rapport à la forêt ou Dist-Forêt présente une très faible dispersion ce qui implique que les clusters seront moins visibles

4.4 Application ACP

Pour les valeurs propres, nous avons montré dans la figure 5 les valeurs propres associées à chaque vecteur propre qui représente un axe factoriel comme suite :

[ax1 ,ax2 ,ax3 ,ax4 ,ax5 ,ax6 , ax7 ,ax8]
[0.559 , 0.199 , 0.143 , 0.06 ,0.024 ,0.008 ,0.005 , 0.0]

Concernant le taux d'inertie observée sur le premier plan factoriel, il est à 75.81 % et le taux d'inertie sur un plan factoriel 3D est à 90.16 %.

Une représentation graphique sur un plan factoriel 3D qui combine les trois principaux axes factoriels et qui représente 90.16 % de l'information permet de visualiser la séparation des clusters plus clairement.

Généralement, lorsque nous disposons d'un grand jeu de données contenant des variables continues, une ACP est utilisée pour réduire uniquement la dimension des données avant la classification hiérarchique des données avec l'approche HCPC (Hierarchical Clustering on Principal Components ou Classification Hiérarchique sur Composantes Principales). Dans notre cas, nous avons travaillé avec l'approche K-means sans passer par une réduction des axes.

Comme nous avons utilisé l'ACP seulement pour visualiser plus clairement la séparation des groupes.

D'après la carte de répartition des régions climatiques en Algérie, réalisée avec cette méthode, nous avons constaté l'apparition de cinq différentes régions :

Région 01 : Le Littoral (zone côtière) avec un climat méditerranéen, en plus d'une zone contenue M'Sila, Bousaâda et Barika vu qu'il y a plusieurs paramètres en commun.

Région 02 : Hauts plateaux, caractérisé par des étés plus chauds et moins humides, les températures minimales sont très importantes la nuit.

Région 03 : pré Saharienne, caractérisée par des étés secs et chauds.

Région 04 et 05 : Sahara Orientale, Occidentale, caractérisée par des étés plus secs et plus chauds que la région

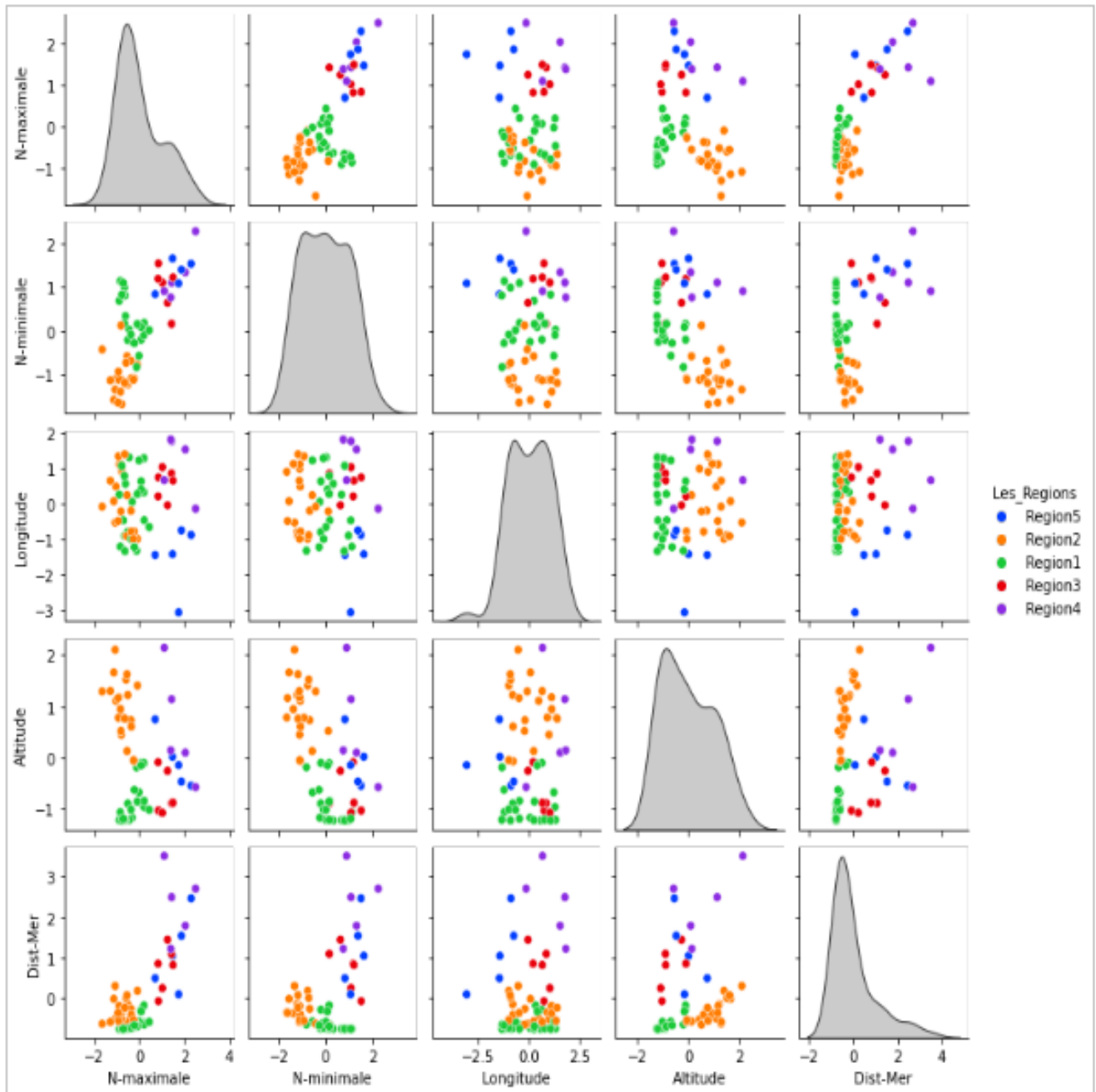


Figure 4. Les différentes régions dans des nuages de points.

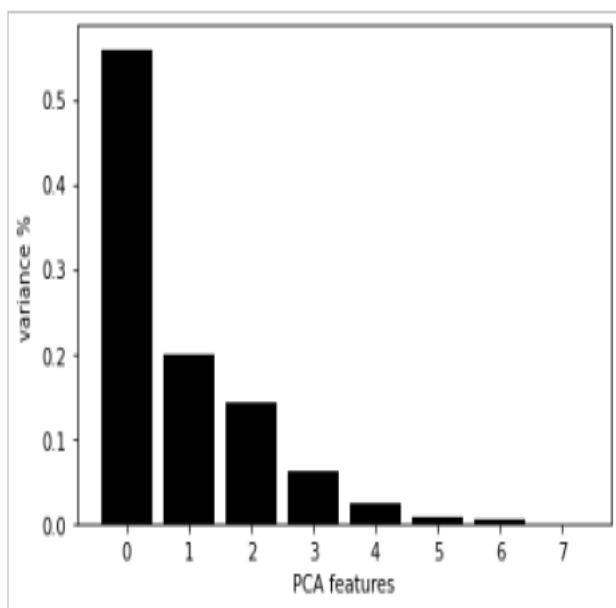


Figure 5. Le pourcentage de l'inertie par axe factorielle

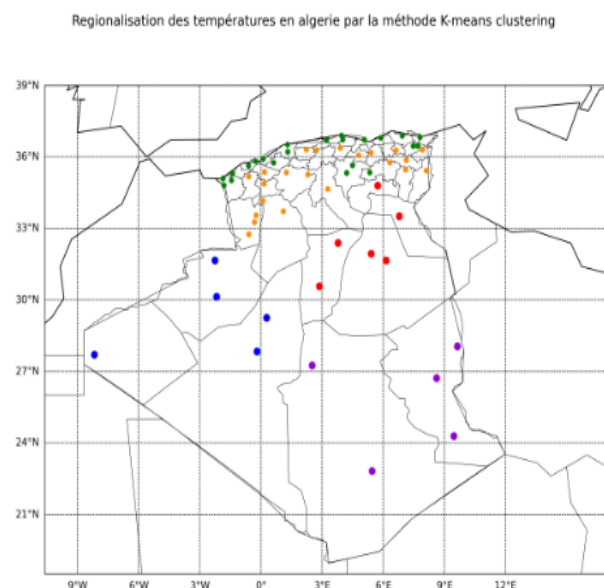


Figure 7. Répartition des régions sur la carte de l'Algérie

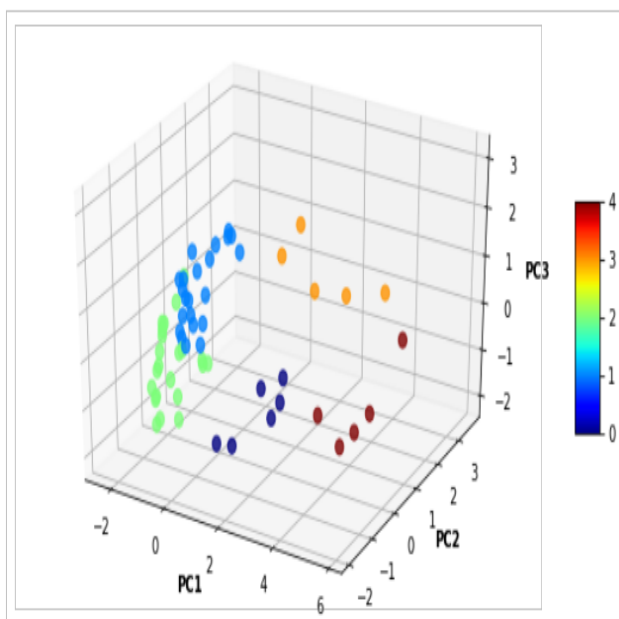


Figure 6. Projection des clusters sur les trois premiers axes factoriels

5. Conclusion

Une étude de régionalisation des normales annuelles de température par la méthode du Kmeans a été réalisée. L'utilisation de la méthode de Elbow a révélé l'existence de cinq régions.

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée afin de visualiser clairement les séparations des régions sur les principaux axes factoriels.

Nous avons illustré les cinq régions déduites par l'analyse de la méthode appliquée dans cette étude par des nuages de points et sur une carte. Cette régionalisation a permis de mettre en évidence des zones climatiques homogènes du point de vue températures annuelles ; Cette régionalisation présentera un intérêt important pour une utilisation au bénéfice de beaucoup de secteurs socio- économiques (énergie, agriculture...). Il sera également intéressant d'utiliser cette technique pour régionaliser d'autres paramètres météorologiques pertinents (comme les précipitations).

précédente, avec un climat désertique et sec, une légère différence de température entre ces deux régions, due au paramètre distance à la mer, que nous avons pris en considération dans notre zonage, comme la région 05 est plus proche à l'océan Atlantique.

Ci-dessous un tableau représentatif des stations météorologiques catégorisées selon la région climatique d'après les résultats issus de la classification :

Table 2. Répartition des stations météorologiques et leurs appartenances dans leurs régions climatiques

Région 1	Région 2	Région 3	Région 4	Région 5
ALGER DAR-EL-BEIDA	AIN-SEFRA	BISKRA	DJANET	ADRAR
ANNABA	BATNA	EL-GOLEA	ILLIZI	BECHAR
ARZEW	B-B-ARRERIDJ	EL-OUED	IN-AMENAS	BENI ABBES
BARIKA	BOUIRA	GHARDAIA	IN-SALAH	TIMIMOUN
BEJAIA-AEROPORT	CONSTANTINE	HASSI-MESSAOUD	TAMANRASSET	TINDOUF
BENI SAF	DJELFA	OUARGLA		
BOU CHEGOUF	EL KHEITER			
BOU SAADA	EL-BAYADH			
CHLEF	KHENCHELA			
DELLYS AFIR	KSARCHELLALA			
GHAZAOUET	MASCARA			
GUELMA	MATEMORE			
IJEL AEROPORT	MECHERIA			
MAGHNIA	MEDEA			
MOSTAGANEM	MILIANA			
MSILA	NAAMA			
ORAN SENNIA	OUM EL			
RELIZANE	BOUAGHI			
SKIKDA	SAIDA			
TENES	SETIF AIN-SFIHA			
TIZI OUZOU	SIDI BEL ABBES			
TLEMCEN ZENATA	SOUK AHRAS			
	TEBESSA			
	TIARET			

References

- [1] Arthur T DeGaetano and Mark D Shulman. A climatic classification of plant hardiness in the united states and canada. *Agricultural and Forest Meteorology*, 51(3-4):333–351, 1990.
- [2] Robert G Fovell and Mei-Ying C Fovell. Climate zones of the conterminous united states defined using cluster analysis. *Journal of climate*, 6(11):2103–2135, 1993.
- [3] Abderrahmane Medjerab and Latifa Henia. Régionalisation des pluies annuelles dans l’algérie nord-occidentale. *Revue Géographique de l’Est*, 45(2), 2005.
- [4] SABRINA Taibi, MOHAMED Meddi, DOUDJA Souag, and Gil Mahé. Évolution et régionalisation des précipitations au nord de l’algérie (1936–2009). *Climate and land surface changes in hydrology, IAHS Publ*, 359:191–197, 2013.
- [5] Wu Zeng, YingXiang Jiang, ZhanXiong Huo, and Kun Hu. Clustering analysis of extreme temperature based on k-means algorithm. In *International Conference on Artificial Intelligence and Security*, pages 523–533. Springer, 2020.
- [6] James MacQueen et al. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, volume 1, pages 281–297. Oakland, CA, USA, 1967.
- [7] Hugo Steinhaus et al. Sur la division des corps matériels en parties. *Bull. Acad. Polon. Sci*, 1(804):801, 1956.
- [8] Karl Pearson. Liii. on lines and planes of closest fit to systems of points in space. *The London, Edinburgh, and Dublin philosophical magazine and journal of science*, 2(11):559–572, 1901.
- [9] Harold Hotelling. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of educational psychology*, 24(6):417, 1933.
- [10] Thomas GJ Dyer. The assignment of rainfall stations into homogeneous groups: an application of principal component analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 101(430):1005–1013, 1975.
- [11] Michael B Richman. Rotation of principal components. *Journal of climatology*, 6(3):293–335, 1986.

Étude de la variabilité climatique des zones humides au nord de l'Algérie : Cas de Macta, Réghaia et El Mellah.

Fatima KARTOUCHE ^{1*}

Abstract

Cet article présente l'étude de la variabilité climatique des trois zones humides situant au nord de l'Algérie Macta, Réghaia et El Mellah durant la période de 1981 à 2019. Dans cette optique nous avons adopté deux objectifs principaux : Dans un premier temps, nous avons étudié la variabilité climatique de ces zones humides dans laquelle nous avons utilisé les méthodes de traitement statistique basées sur des séries mensuelles et annuelles des précipitations et des températures maximales et minimales tout en s'intéressant à des éventuelles tendances.

Dans un second temps, nous avons fait une classification supervisée basée sur un algorithme « Maximum de Vraisemblance » pour nous informer sur l'évolution de l'occupation des différentes classes du sol pour ces trois zones et sa relation avec la variabilité climatique.

Keywords

Variabilité climatique, Zone humide, occupation des sols

¹ Office national de la météorologie, Dar El Beida, Alger

*Correspondant: aminakartouche31@gmail.com

Contents

1	Introduction:	1
2	Description des zones d'étude	2
3	Matériels et Méthodes	2
3.1	Données et outils	2
4	Méthodologie	3
5	Classification par Maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood)	3
6	Résultats	4
6.1	Evolution des températures moyennes et des cumuls des précipitations	4
6.2	Evolution de l'occupation des sols	9
7	Conclusion	11
	References	12

1. Introduction:

De nos jours, le changement climatique est considéré comme un problème majeur qui menace la vie et l'environnement sur la planète. Il désigne l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques qui correspond à une modification durable (de la décennie au millions d'années) des paramètres statistiques du climat global de la terre. Plusieurs espèces « végétales et animales » tendent à disparaître à cause de cette instabilité des climats et des biocénoses, qui touche plusieurs secteurs comme l'agriculture, la dégradation des écosystèmes. etc.

Les zones humides sont classées par le GIEC (2007) parmi les habitats les plus sensibles aux changements cli-

matiques. Elles sont généralement définies comme des espaces de transition entre terre et eau. Par leur position d'interface entre milieu terrestre et milieu aquatique, les zones humides sont considérées comme de véritables réservoirs de la biodiversité et figurent parmi les écosystèmes les plus riches d'un point de vue écologique. A la fois lieux d'abri, d'approvisionnement et de reproduction.

Leurs fonctions biologiques, hydrologiques et biogéochimiques permettent également d'assurer un certain nombre de services parmi lesquels la régulation du régime hydrologique, l'atténuation des crues et des sécheresses, l'alimentation en eau, l'épuration de l'eau, la maîtrise de l'érosion, le captage des matières nutritives, des sédiments et des polluants, ou encore la séquestration et le stockage de carbone, qui jouent un rôle essentiel dans le contexte actuel des changements climatiques (Costanza et al., 1997)[1].

L'Algérie est riche en zones humides, qui font partie des ressources les plus précieuses sur le plan de la diversité biologique et de la productivité naturelle. Aujourd'hui, nous savons qu'elles jouent un rôle important dans les processus vitaux, entretenant des cycles hydrologiques et constituent également un habitat privilégié pour une flore et une faune importante, particulièrement les oiseaux d'eau migrateurs (Mélanie, 2009).[2]

Depuis des dizaines d'années les écosystèmes dans les zones humides de l'Algérie sont en dégradation accélérée. Est-ce que cela est dû à la variabilité climatique ou existe un autre facteur qui influence sur ces zones ?

L'objectif principal de notre travail est d'étudier la variabilité climatique et son impact sur les trois zones humides Macta, Réghaia et El-Mellah durant la période de 1981 à 2019. Plusieurs travaux ont fait l'objet de ces zones humides

: MIRA, Z. M. (2008) [3], BEGHDAI, F. (2017) [4], SAIFOUNI, A. (2009) [5].

Dans la première partie nous allons mettre l'accent sur le comportement des paramètres météorologiques face à la variabilité climatique. Nous allons examiner les tendances de ces paramètres à l'échelle annuelle et saisonnière puis nous validerons ces deniers par le biais de test de Mann-Kendall.

La deuxième partie sera consacrée au traitement d'imagerie satellitaire consistant en la classification supervisée basée sur un algorithme « Maximum de Vraisemblance ». Nous calculerons les surfaces de l'occupation du sol pour chaque classe en utilisant le logiciel Arcgis (système d'information géographique) dans le but d'avoir l'évolution de l'occupation du sol et sa relation avec le changement climatique. Nous analyserons les principaux résultats et conclusions.

2. Description des zones d'étude

Pour notre étude, nous avons choisi trois zones humides représentées dans la figure 1.

La zone humide de Macta localisée dans le nord-ouest de l'Algérie, se trouvant à environ 15 Km au Nord-ouest de Mohammédia Wilaya de Mascara et environ 50 Km à l'Est d'Oran. Cette zone représente une dépression triangulaire délimitée au Nord par le cordon dunaire par rapport au golf d'Arzew, au Nord-ouest par le massif de la Sebkhia d'Arzew, au Nord-est par la retombée sud du plateau de Mostaganem. La plaine de Sig et de l'Habra qui la prolonge s'élargit fortement dans le sens Est-ouest et atteint au Sud les contreforts de l'Atlas Tellien, les Monts de Ouled Ali et de Béni Chougrane à Mohammédia (BEGHDADI, 2017) [4]. Les coordonnées géographiques sont les suivantes : 00°07'W-00°07'E et 35°33'N-35°42'N.

La zone humide de Réghaia s'étend sur une superficie totale de 842 ha. Elle se situe à 30 km à l'est d'Alger formant ainsi le débouché naturel de la plaine de la Mitidja. Elle est bordée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par la route nationale 24 reliant Alger à Constantine, à l'Est par la ville de Boudouaou et à l'Ouest par la ville d'Ain-Taya (FDR, 2003) [6]. Les coordonnées géographiques de cette zone sont : 3°19'E-3°21'E et 36°45'N-36°48'N.

Le Lac El-Mellah est situé dans la wilaya d'EL-Taref. Il est limité au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par les forêts des Deux Lacs et d'Aïn Khiar, à l'Est par la Forêt de Boumalek et l'agglomération du Pont de la République (Melha) et, à l'Ouest, par les plaines de Boutheldja et de Ben M'hidi. Le lac El Mellah, situé à une distance de 10 Km à l'Est de Cap-Rosa, et à 15 Km à l'Ouest de la ville d'El Kala (MIRA, M. Z. 2008) [3]. Les coordonnées géographiques sont les suivantes : 8° 20'E et 36°53'N.

3. Matériels et Méthodes

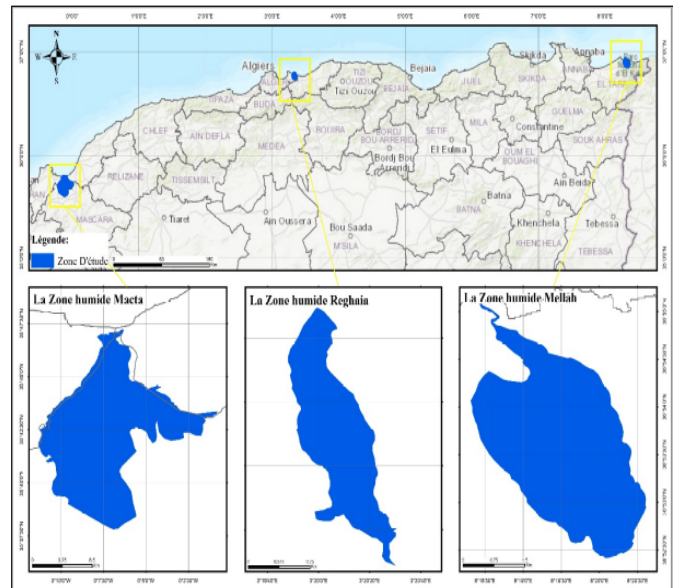


Figure 1. Localisation géographique des trois zones humides considérées : Macta, Réghaia et Mellah.

3.1 Données et outils

Les données climatiques utilisées dans le cadre de cette étude sont basées sur les produits du modèle d'assimilation MERRA-2 (Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications) du Goddard's Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) et sur les produits en temps quasi réel GEOS 5.12.4 du GMAO Forward Processing - Instrument Teams (FP-IT). Ces données ont une résolution de ½° de latitude et ° de longitude. Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé trois paramètres météorologiques les précipitations mensuelles, les températures maximales et minimales mensuelles. Ces données sont projetées sur une grille globale de résolution horizontale 0.5° x 0.625°.

Les images satellitaires utilisées ont été téléchargées depuis la base de données de service géologique des Etats Unis (USGS) <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-data-access>. En effet, les produits des données Landsat conservés dans les archives de l'USGS peuvent être recherchés et téléchargés gratuitement à partir de divers portails de données. Ces produits sont archivés et classés en collection.

Nous avons utilisé les données de la première collection (N°1). Ce sont des produits de données de niveau 1 générés par les satellites Landsat 8 Operational Land Imager (OLI)/Thermal Infrared Sensor (TIRS), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM), la série Landsat 1-5 ayant en commun l'instrument Multispectral Scanner (MSS). Cette collection renferme presque cinquante images satellitaires, très utiles aux études diachroniques.

Afin d'étudier l'évolution de l'occupation du sol pour les trois zones humides durant la période d'étude, nous avons pris trois échantillons de données soigneusement répartis sur toute la période d'étude 1986, 2013 et 2019. Nous avons

choisi le mois d'août à cause de la disponibilité des données satellitaires dans les archives (USGS) et leur qualité.

Les données Landsat ont été traitées par Arcgis afin d'élaborer les cartes d'occupation du sol. Nous avons aussi utilisé les deux logiciels Excel et XLSTAT pour la visualisation des graphiques et l'approche statistique. Les corrections des images satellites ont été effectuées à l'aide du logiciel de traitement d'image ENVI (Environment for Visualizing Images).

Année	Satellite Scène	Résolution	Bands names
2019	Landsat 8 OLI-TIRS Date : 23/08/2019 Level L1TP	- 30m Mode multi spectrale. - 15m Panchromatique.	- 8 Bandes (de 0.43 à 2.3µm), 2 bandes (de 10.4 à 12.4µm et de 11.5 à 12.5µm). - Cycle : 16 jours.
2013	Landsat 8 OLI-TIRS Date : 03/08/2013 Level L1TP		
1986	Landsat 5 TM Date : 16/08/1986 Level L1TP	-2.5 m (fusion of 10m MS with 2,5m Pan).	- 6 Bandes (de 0.45 à 2.35µm), 1 bande (10.4-12.4µm). Cycle : 16 Jours.

Tableau 1: Caractéristiques des images satellitaires utilisées.

4. Méthodologie

En premier lieu, nous allons examiner pour chaque zone humide les tendances annuelles et saisonnières des températures moyennes maximales et minimales, les tendances des cumuls annuels de précipitations, ainsi que les tendances des cumuls saisonniers de précipitations. Puis, nous validerons ces tendances par le biais d'un test statistique dit test de Mann-Kendall. Le test non-paramétrique de Mann-Kendall permet d'étudier la présence ou l'absence de tendance dans une série chronologique donnée. Soit la série $X_t = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, cette méthode définit la normale standard multi variable comme (H. B.MANN, 1945)[7]:

$$U_{MK} = \frac{S}{\sqrt{Var(s)}} \quad (1)$$

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(X_j - X_i) \quad (2)$$

$$sgn = \begin{cases} 1 & \text{si } x > 0 \\ 0 & \text{si } x = 0 \\ -1 & \text{si } x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$Var(S) = \{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i i(i-1)(2i+5)\} / 18 \quad (4)$$

Où S désigne la relation entre le nombre de paires d'observation et n est le nombre total d'échantillons. Lorsque la p - value calculée est inférieure au niveau de signification $\alpha = 0.05$, l'hypothèse nulle 0 (Il n'y a pas de tendance dans la série) est rejetée et l'hypothèse alternative 1 (Il existe une tendance dans la série) est retenue.

Le sens de la tendance est défini par le coefficient statistique de Mann-Kendall[7] " U_{MK} ".

Si U est positif, la tendance est à la hausse, mais si U est négatif, alors la tendance est à la baisse.

Dans la deuxième partie, nous avons effectué une classification supervisée basée sur un algorithme de maximum de vraisemblance grâce au traitement d'imagerie. Tout d'abord, nous avons prétraité les images satellites pour l'extraction du domaine relatifs aux trois zones d'études. Ensuite, nous avons effectué un traitement d'image basé sur trois corrections:

- La correction radiométrique qui a consisté à modifier les valeurs radiométriques aberrantes présentes sur les images satellitaires.
- La correction géométrique qui a consisté à corriger les déformations géométriques d'une image pour la rendre superposable à un document de référence.
- La correction atmosphérique qui a consisté à corriger les effets effectués au cours des deux trajets (descendant du Soleil vers la surface, et ascendant de la surface vers les capteurs) par le rayonnement solaire à travers l'atmosphère pour extraire la véritable information.

5. Classification par Maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood)

Cette classification est basée sur l'algorithme de « **maximum de vraisemblance** » qui consiste à comparer la signature spectrale de chaque pixel dans les bandes choisies avec celle des Régions d'intérêts, puis affecter chaque pixel à la classe dont laquelle la signature spectrale est proche (DERJINI, 2017)[8]. Pour effectuer cette classification nous avons adopté les étapes suivantes:

Tout d'abord, nous avons déterminé l'ensemble des catégories de l'occupation des sols suivant les objectifs visés par cette présente étude en croisant tous les plans d'informations

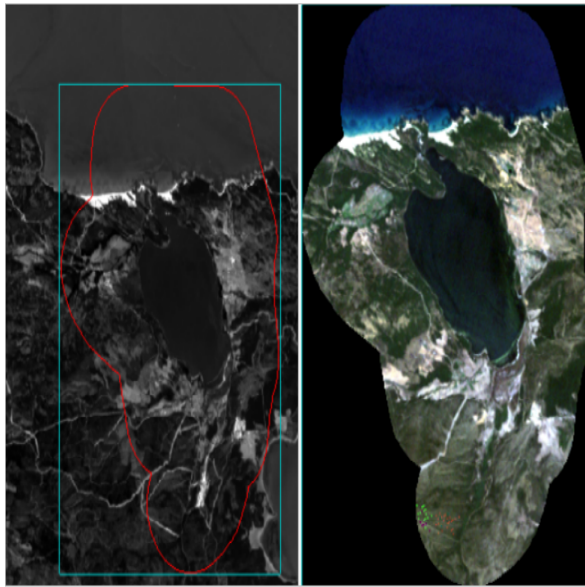


Figure 2. Prétraitement des images satellitaires

déjà élaborés. Puis nous avons pris des échantillons précis en numérisant les polygones sur l'ensemble de l'image. Cette étape prend beaucoup de temps et de précaution. Car la qualité de la carte d'occupation des sols se rapporte directement et proportionnellement avec la qualité d'échantillonnage qui a été fait à priori. Ces échantillons doivent être reclassés en deux groupes : le premier, sert à l'établissement des signatures spectrales (zone d'entraînement), alors que la deuxième est utilisée pour les tests de vérification (zones de tests). Ensuite nous avons appliqué l'algorithme maximum de vraisemblance et l'évaluation des résultats en traitant des graphes (histogrammes et courbes des signatures). A la fin on validera les cartes de classification.

Pour détecter le changement, nous avons calculé les surfaces de l'occupation du sol pour chaque classe en utilisant Arcgis à partir des résultats obtenus de la classification supervisée (des fichiers en format Shapefile) dans le but d'avoir l'évolution de l'occupation du sol et sa relation avec le changement climatique.

6. Résultats

Les figures 3.a, 3.b et 3.c représentent les cartes d'occupation du sol des trois zones humides Macta, Réghaia et Mellah, respectivement, établies pour trois dates différentes 1986, 2013 et 2019.

La carte d'occupation du sol de la zone de Macta (Fig. 3.a) montre une augmentation significative des terres agricoles et de la végétation dense du 1986 à 2019. Nous remarquons également une diminution des terres arides en 2019 par rapport à 2013.

Les cartes d'occupation du sol de la zone de Mellah sont caractérisées par une augmentation importante des surfaces occupées par la végétation dense et la diminution des

sols nus

6.1 Evolution des températures moyennes et des cumuls des précipitations

Nous avons traité les données mensuelles de température maximale, température minimale et les cumuls de précipitation enregistrées durant la période 1981-2019. Ces données projetées sur une grille de $0.5^\circ \times 0.625^\circ$ soit une maille de superficie approximative de 50 km x 62 km. La surface de la maille est largement supérieures aux surfaces occupées par les trois zones humides considérées dans cet article. C'est pour cela nous avons pris un point représentatif situé à l'intérieur de chaque zone humide. Sur la base de ces données, nous avons ensuite calculé les moyennes annuelles des quatre paramètres considérés.

Nous nous sommes intéressés à la présentation des résultats relatifs aux variations annuelles et saisonnières des trois paramètres considérés. Nous nous limitons à l'affichage des figures qui représentent des fluctuations importantes durant la période d'étude pour les trois zones humides.

Les graphiques de la figure 4 représentent les variations des moyennes annuelles des températures minimales pour les deux zones humides Macta et Réghaia durant la période de 1981 à 2019. Les courbes de la figure 4-a et figure 4-b affichent des tendances positives des températures minimales moyennes respectivement sur El Macta et Réghaia. Le réchauffement est estimé localement à $+0.4^\circ\text{C}$ pour la zone de Macta et $+0.5^\circ\text{C}$ pour la zone de Réghaia avec un niveau de signification du test de Mann Kendell de 0.05.

A l'échelle de la saison, les moyennes saisonnières des températures minimales enregistrées en été (Juin-Juillet-Aout) (Fig. 5) affichent des variations significatives avec des réchauffements dépassant 1°C sur Macta et Réghaia. Toutefois, l'année 2003 marque une exception durant toute la période avec des moyennes annuelles minimales avoisinant 23°C . De même pour les températures maximales, les moyennes saisonnières observées en été (Fig. 6) sur la zone de Macta affichent des tendances positives de l'ordre de 0.6°C durant toute la période avec une valeur moyenne maximale dépassant 31°C enregistré en été 2003. En effet, l'été 2003 a été exceptionnel en terme des températures. Il a marqué une vague de chaleur de grande ampleur survenue de juin à août touchant toute la région de l'Afrique du nord et l'Europe. Plusieurs records de températures ont été enregistrés durant la première quinzaine de août.

La figure 7 représente la variation des moyennes annuelles des cumuls des précipitations enregistrées à Mellah du 1981 à 2019. La figure montre l'existence d'une tendance à la hausse des cumuls de pluie avec une variation importante observée durant 2000 à 2010. La valeur maximale est 1074 mm enregistrée en 2009 et une valeur minimale de 356 mm observée en 1983.

A l'échelle saisonnière, les courbes des cumuls des précipitations moyennes obtenues en hiver (Décembre-Janvier-Février) et en automne (Septembre-Octobre-Novembre)

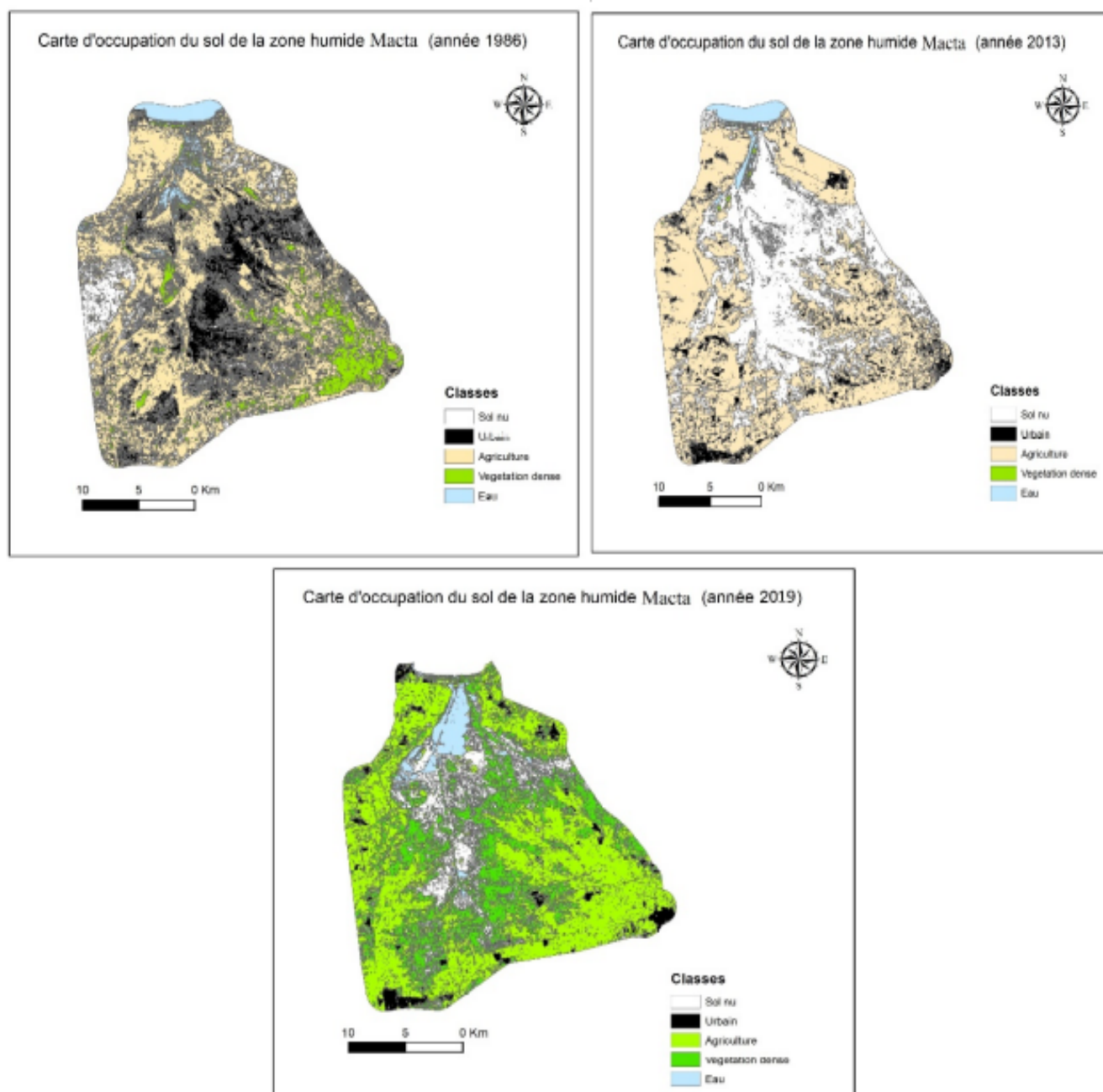


figure 3.a Cartes d'occupation du sol de la zone humide de Macta pour les différentes dates (1986, 2013, 2019).

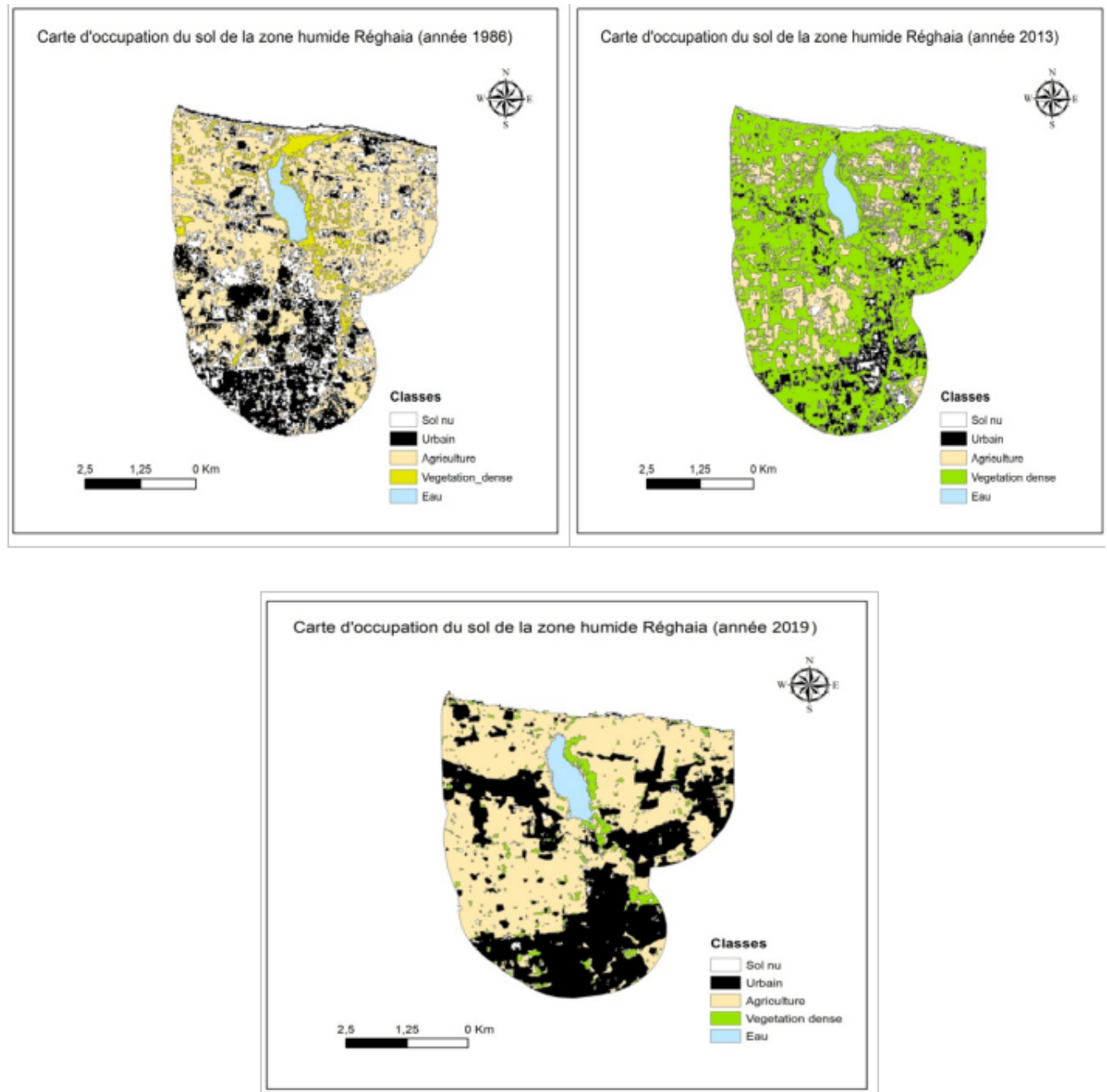


figure 3.b Cartes d'occupation du sol de la zone humide de Réghaia pour les différentes dates (1986, 2013, 2019).

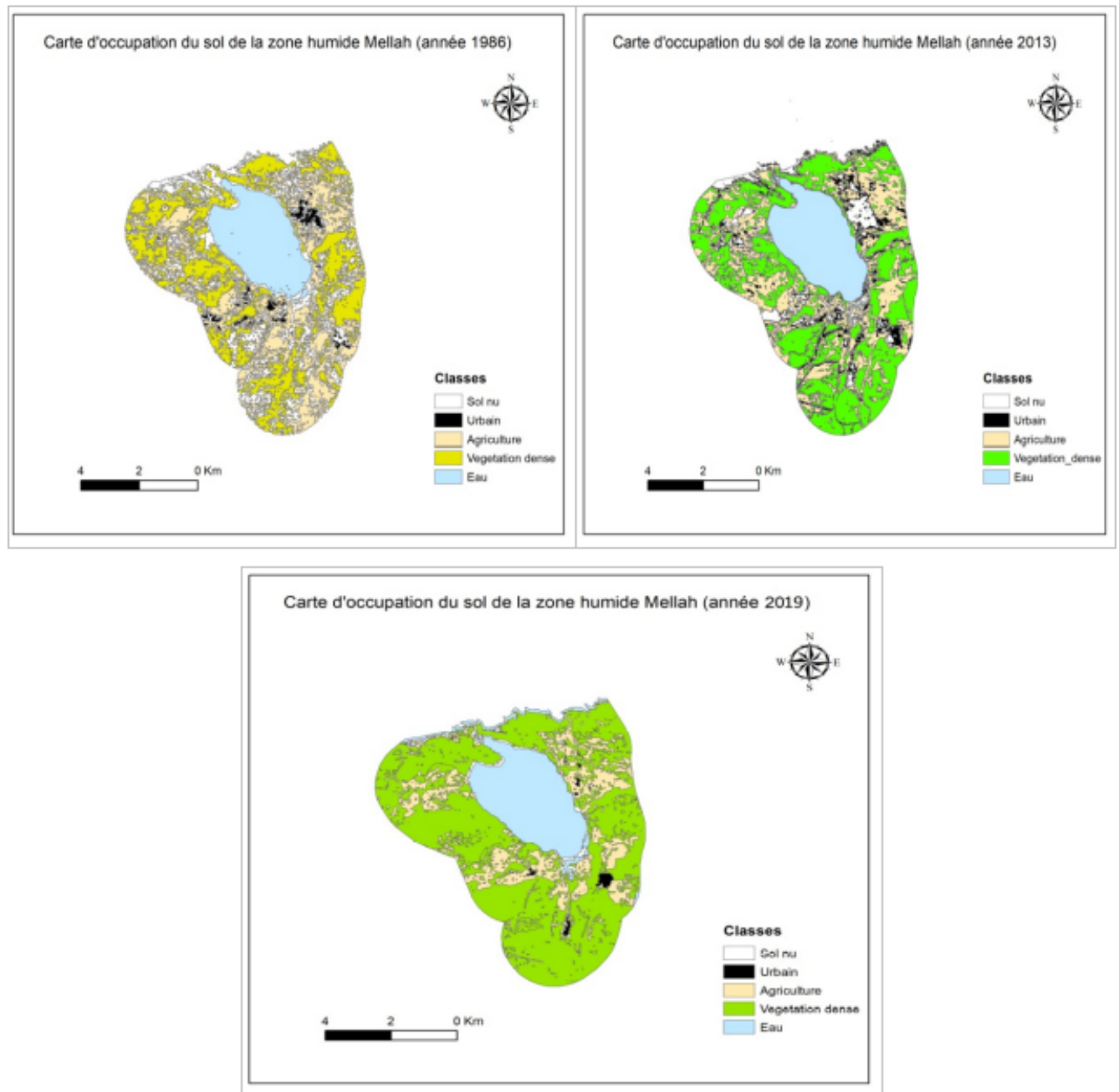


figure 3.c Les classifications de la zone humide de Mellah pour les différentes dates (1986, 2013, 2019).

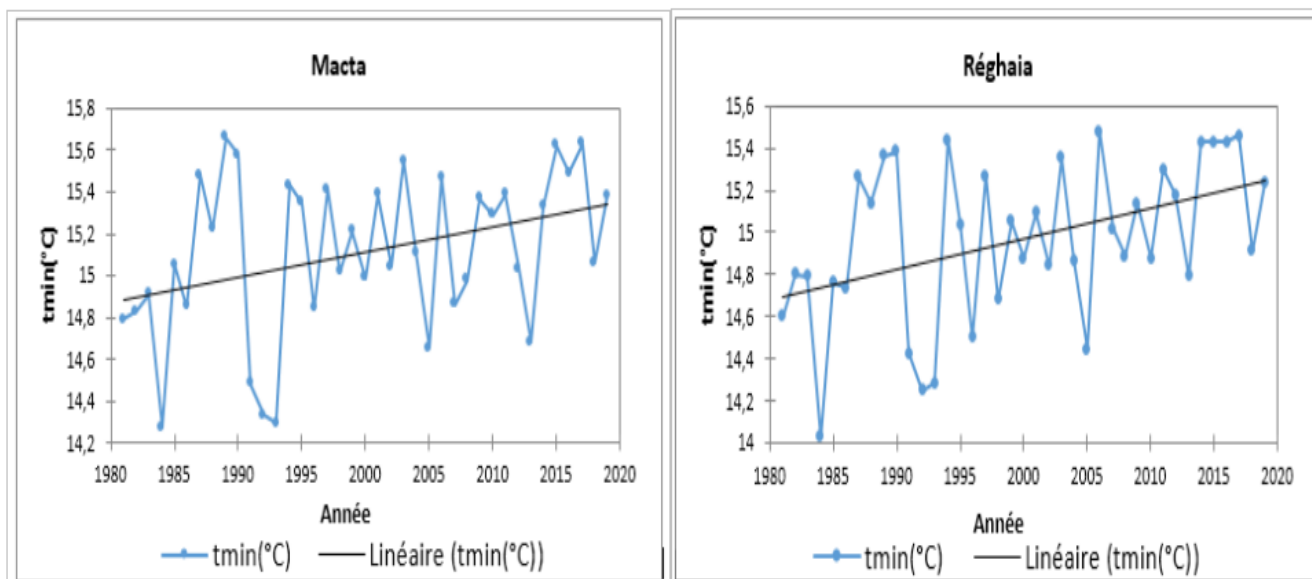


figure 4 Variations des moyennes annuelles des températures minimales pour les deux zones humides Macta et Réghaia durant la période 1981-2019.

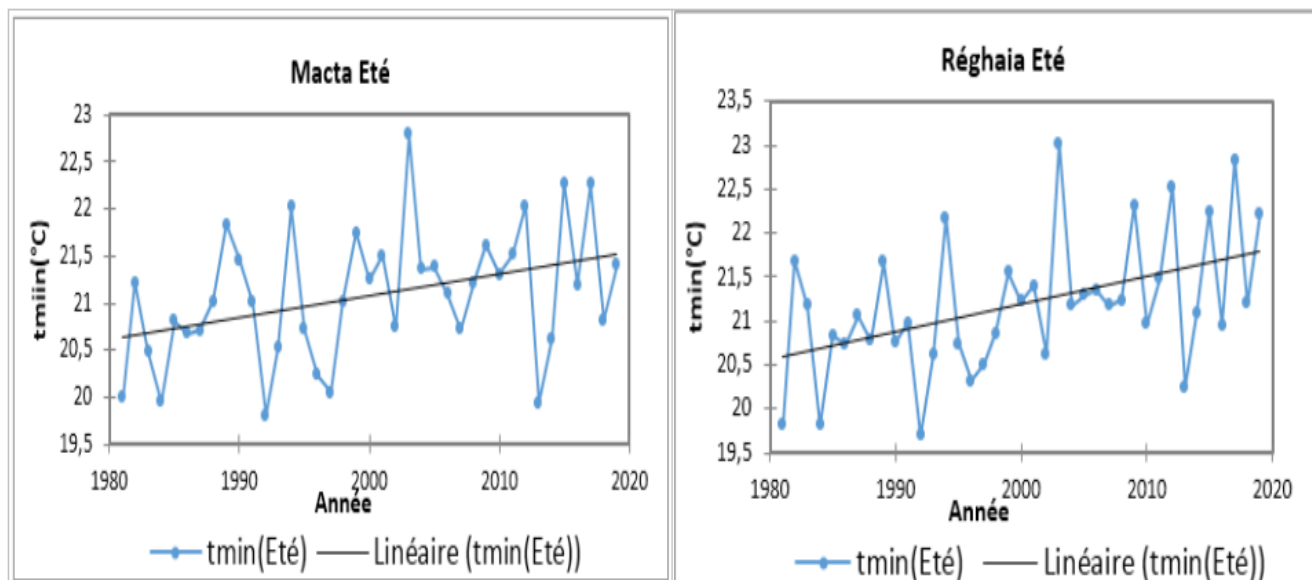


figure 5 Variation des moyennes des températures minimales observées en été pour les deux zones humides Macta et Réghaia du 1981 à 2019.

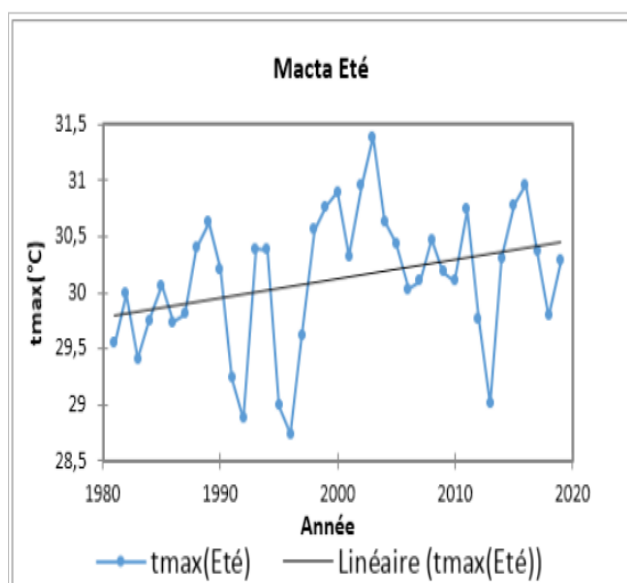


figure 6 Variation des moyennes des températures maximales observées durant l'été pour la zone humide Macta du 1981 à 2019.

pour le site d'El Mellah (Fig. 8) affichent des tendances à la hausse durant toute la période d'étude. Le cumul maximal est enregistré en hiver 2003 avec une valeur dépassant 580 mm. La moyenne saisonnière maximale relevée en automne atteint 328 mm et elle est observée en 1997.

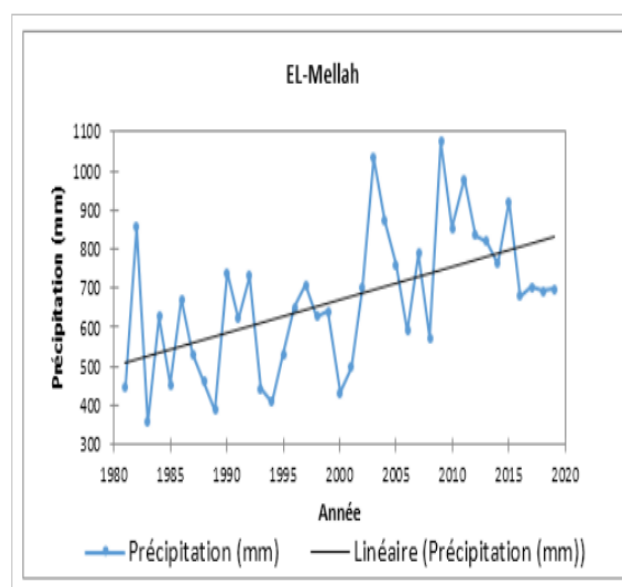


figure 7 Variation des moyennes annuelles des cumuls des précipitations sur la zone humide Mellah du 1981 à 2019.

Les résultats du test de Mann-Kendall mentionnés dans le tableau 3 confirment les tendances significatives enregistrées pour le paramètre Tmin sur les deux zones Macta

et Réghaia pour la saison estivale ainsi que le paramètre Tmax pour la zone Réghaia et également les tendances significatives des précipitations obtenues sur El-Mellah pour la saison hiver et l'automne.

6.2 Evolution de l'occupation des sols

Nous avons représenté l'évolution de l'occupation des sols par les trois classes considérées végétation dense, eau et agriculture à partir des trois échantillons de données choisis qui correspondent aux années 1986, 2013 et 2019.

Pour la zone de Macta (Fig. 9), l'augmentation de la surface de végétation en 2019 est très remarquable. Elle passe de 5000 hectares en 1986 à 28000 hectares en 2019. Par contre une légère diminution de la surface occupée par l'eau est enregistrée en 2019. La surface occupée par l'agriculture représente 48 % de la surface totale. Cette surface a connu une augmentation progressive constante du 1986 à 2019 en 2019.

Quant à la zone de Raghia (Fig 10), la surface occupée par l'eau a connu une baisse constante du 1986 à 2019. Cette surface passe de 8000 hectares en 1986 à 163 hectares en 2019. En contre partie, la surface agricole a augmenté d'une manière considérable en 2019. Elle représente plus de 53 % de la surface totale en 2019. La variation de la surface végétale est relativement faible durant la période d'étude. Pour la zone humide d'El Mellah (Fig. 11), l'augmentation importante de la surface occupée par la végétation dense est très perceptible du 1986 à 2019 pour atteindre une superficie de 4084 hectares en 2019. Soit 63% de la superficie totale. Pour les deux autres catégories de surface, nous avons observé une légère diminution de la superficie de ces deux surfaces en 2019 par rapport aux années précédentes.

Les figures d'occupation du sol ont montré une modification importante de la surface des zones humides Macta, Réghaia et Mellah, pendant la période de 1986 à 2019. Cette modification est probablement causée par les tendances positives significatives des paramètres de température et de précipitation constatées durant cette période.

Également nous avons remarqué l'augmentation des terres agricoles, notamment pour les zones de Macta et Réghaia, au détriment des surfaces occupées par l'eau. Ceci est dû à l'exploitation de ces dernières pour l'irrigation des terres agricoles.

Par ailleurs, l'augmentation importante de la superficie de végétation dense de la zone humide de Mellah résulte de la présence des cours d'eau au niveau de cette zone qui alimentent en continue ces surfaces en favorisant ainsi le développement, la croissance et la reproduction de la végétation.

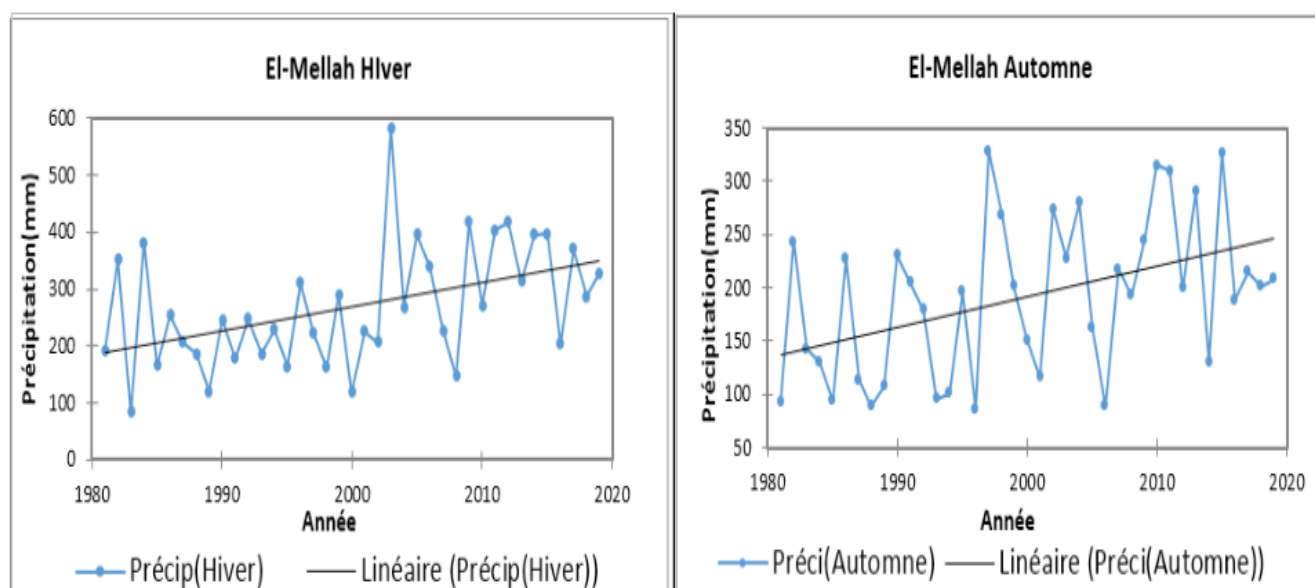


figure 8 Variation des cumuls des précipitations moyennes observées sur El Mellah durant l'été et l'automne du 1981 à 2019.

Saisons		Hiver			Printemps			Eté			Automne		
Zone	Humides	Macta	Réghaia	El-Mellah	Macta	Réghaia	El-Mellah	Macta	Réghaia	El-Mellah	Macta	Réghaia	El-Mellah
Tmax	P-value	0,564	0,848	0,683	0,070	0,471	0,293	0,047	0,102	0,829	0,631	0,516	0,506
	H1	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Acceptée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée
	Taux de Kendall	0,066	0,023	-0,047	0,204	-0,082	0,119	0,223	0,184	-0,026	0,055	0,074	-0,076
Tmin	P-value	0,564	0,943	0,818	0,119	0,373	0,079	0,011	0,008	0,208	0,172	0,168	0,564
	H1	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Acceptée	Acceptée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée
	Taux de Kendall	0,066	0,009	0,027	0,176	0,101	0,197	0,282	0,293	0,142	0,154	0,155	0,066
Précipitations	P-value	0,665	0,597	0,005	0,597	0,427	0,128	0,631	0,073	0,471	0,755	0,516	0,014
	H1	Rejetée	Rejetée	Acceptée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Acceptée
	Taux de Kendall	0,050	0,061	0,314	-0,061	0,090	0,171	-0,055	-0,201	0,082	0,036	0,074	0,274

Tableau 3: Résultat à l'échelle de la saison du test de Mann-kendell

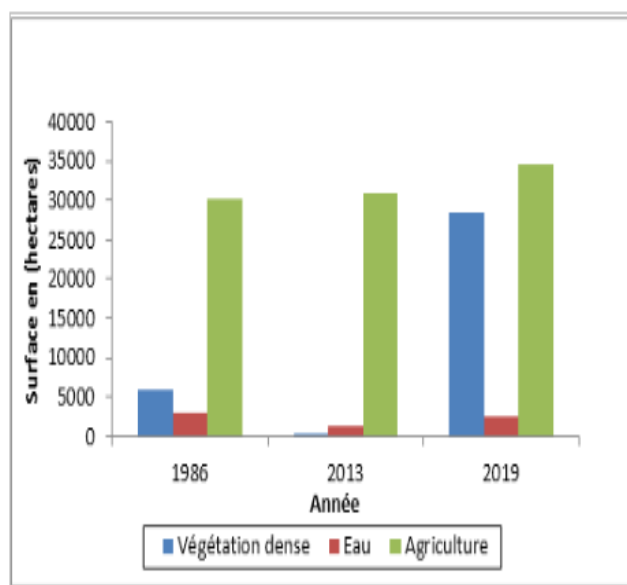


figure 9 Evolution de l'occupation du sol (en hectares) pour la zone de Macta pour les dates 1986, 2013 et 2019.

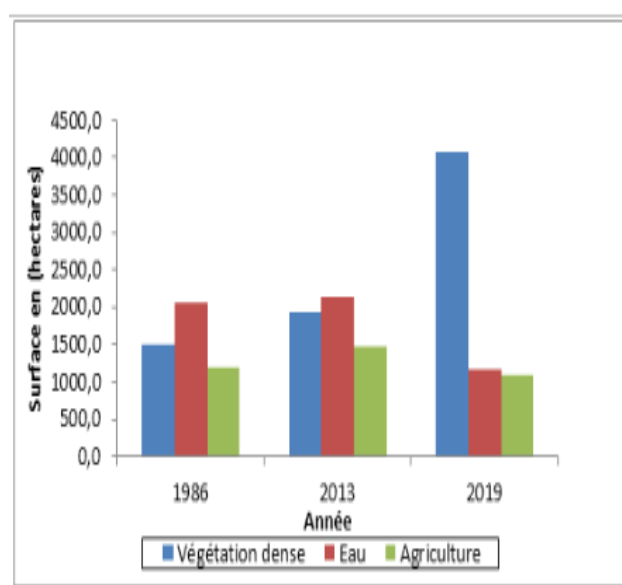


figure 11 Evolution de l'occupation du sol (en hectares) pour la zone de Mellah pour les dates 1986, 2013 et 2019.

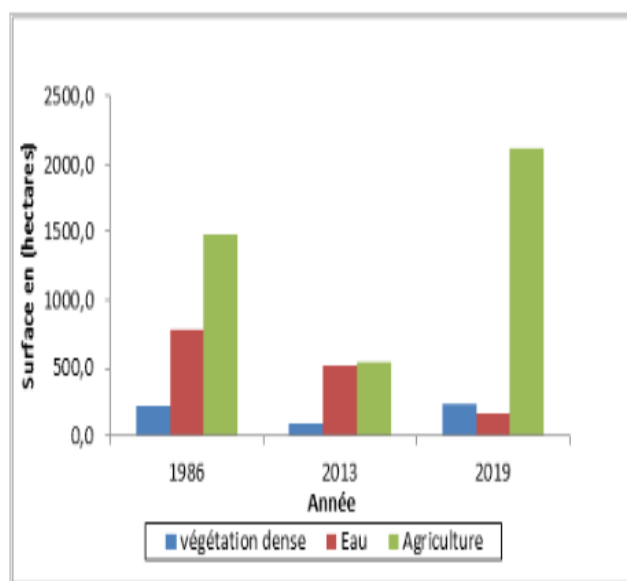


figure 10 Evolution de l'occupation du sol (en hectares) pour la zone de Réghaia pour les dates 1986, 2013 et 2019.

7. Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré que chacune des trois zones humides Macta, Réghaia et Mellah est affectée par les tendances positives de températures et de précipitations enregistrées pendant la période de 1981 à 2019.

Également, l'analyse des résultats saisonniers pour les paramètres température et précipitation a montré que les

saisons les plus affectées sont : la saison estivale pour les deux zones humides Macta et Réghaia et la saison hivernale et l'automne pour la zone humide de Mellah.

Selon les résultats de la classification, il paraît évident qu'il existe un changement sur l'occupation du sol de ces trois zones humides durant la période d'étude, surtout d'après ce qu'on a remarqué comme diminution de la superficie de ces zones ainsi qu'une augmentation importante des terres agricoles. Cependant, plusieurs statistiques ont montré que ces zones humides ont perdu de nombreux types de plantes ces derniers temps (C. Gherzouli, 2013)[9]. Ce qui nous fait à penser à l'existence d'un autre facteur en plus que la variabilité climatique, qui a un effet direct sur ces milieux humides à priori le facteur anthropique. À titre d'exemple nous citons le labour intensif dans les environs immédiats des zones humides. S'ajoute à cela, le développement urbain et la densification de réseau routier à proximité de ces zones comme le cas de dédoublement de la Route Nationale n° 11 entre Oran et Mostaganem, qui a touché la zone de Macta.

Contrairement à ce qui est connu, il n'y a pas que le changement climatique qui a un impact sur l'occupation des sols de ces zones humides mais également le facteur anthropique autrement dit l'effet de l'homme qui continue notamment à développer ses infrastructures urbaine et industrielle aux dépens des terres agricoles et des couvertures végétales.

References

- [1] Robert Costanza, Ralph d'Arge, Rudolf De Groot, Stephen Farber, Monica Grasso, Bruce Hannon, Karin Limburg, Shahid Naeem, Robert V O'Neill, Jose Paruelo, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 387(6630):253–260, 1997.
- [2] Echaima BELLA and Yasmina GHERABI. *Etude comportementale du Grand cormoran Phalacrocorax carbo dans le barrage El K'sob (M'sila)*. PhD thesis, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA, 2020.
- [3] Z. M. (2008) MIRA. *Mise en place d'une base de données" SIG" sur la willaya d'EL TAREF*. PhD thesis, Institut national des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral willaya d'EL TAREF, 2008.
- [4] F. (2017) BEGHDAI. *Importance des zones humides de la Macta (Nord-ouest algérien) pour l'avifaune aquatiques*. PhD thesis, UNIVERSITÉ 8 MAI 1945 - GUELMA ,p:11-22., 2017.
- [5] A. (2009). SAIFOUNI. *État des lieux des zones humides et des oiseaux d'eau en Algerie*. PhD thesis, École Nationale Supérieure Agronomique (E.N.S.A.) El Harrach, Alger,p: 17-19., 2009.
- [6] DIRECTION GENERALE DES FORETS. Fiche descriptive sur les zones humides ramsar. 2003.
- [7] Henry B Mann. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, pages 245–259, 1945.
- [8] DERDINI. artographie des changement de l'occupation du sol dans la plaine de la mitidja. *ÉCOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE*, pages 6–7, 2017.
- [9] Chahrazed Gherzouli. *Anthropisation et dynamique des zones humides dans le nord-est-algérien: apport des études palynologiques pour une gestion conservatoire*. PhD thesis, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II, 2013.

Modélisation de rayonnement solaire par le modèle de Bird Hulstrom et le modèle de Atwater & Ball.

Nour El Isslam KERROUMI ^{1*}

Abstract

Le rayonnement solaire global horizontal (GH) est l'une des principales variables utilisées pour la gestion des installations solaires. La connaissance de sa répartition géographique et de sa variation temporelle est d'une importance primordiale pour de nombreuses applications. Le cas du GH pour un ciel clair est utilisé comme fonction de normalisation dans de nombreuses prévisions de production solaire. Afin de contourner le manque de mesures au sol, diverses techniques de modélisation peuvent être appliquées pour estimer la composante globale pour ciel clair. Dans ce travail, nous avons évalué deux modèles théoriques du calcul de rayonnement solaire à savoir le modèle de Bird & Hulstrom et celui d'Atwater & Ball. Les résultats ont été comparés par rapport aux données radiométriques observées par la station de l'Unité de Recherche en Energie Renouvelables en Milieu Saharien (URER-MS) d'Adrar. L'évolution du rayonnement global sur un plan horizontal a été représentée pour des journées typiques caractérisées par un ciel clair durant l'année 2018. Les résultats obtenus ont montré que le modèle Atwater-Ball présente une meilleure estimation des composantes directe, diffus et global par rapport au modèle de Bird-Hulstrom avec une faible erreur relative par rapport aux données observées ($rMBE \approx -0.17\%$, $MAPE \approx 1.42\%$, $rRMSE \approx 1.71\%$ pour Atwater-Ball et $rMBE \approx 4.37\%$, $MAPE \approx 4.60\%$, $rRMSE \approx 5.58\%$ pour Bird-Hulstrom).

Keywords

Variation temporelle, rayonnement solaire globale GH, modelisation, model de BIRD & HULSTON, modele d'ATWATER & BULL

¹ Office national de la météorologie, Dar El Beida, Alger

*Correspondant: kerrouminourelislam2019@gmail.com

Contents

1	Introduction:	1
2	Modélisation de rayonnement Solaire	2
	Modèle de Bird & Hulstrom	
2.1	Modèle de Atwater & Ball	3
3	Résultats et Discussions	3
4	Conclusion	6
	References	6

1. Introduction:

Le rayonnement solaire est à l'origine de plus de 90% de l'énergie consommée. L'homme, pour ses besoins, puise dans le cycle énergétique naturel (hydro-électricité, biomasse). Les problèmes engendrés par l'utilisation des énergies fossiles produites à des époques lointaines (charbon, gaz, pétrole) sont bien connus : pollution de l'air, effet de serre, production d'aérosols, etc. Face à cela, un effort accru existe depuis ces dernières décennies pour développer l'utilisation directe de l'énergie solaire afin de la transformer en chaleur, en électricité ou en une forme d'énergie chimique plus facilement stockable (hydrogène par exemple).

Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans l'espace. Une moyenne de 1367 Watts atteint chaque mètre carré du bord externe de

l'atmosphère terrestre. La part d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser. Une connaissance précise de la distribution de l'irradiation solaire sur un site géographique particulier est d'une grande importance pour le développement des systèmes photothermiques ou photovoltaïques. Le manque de moyens de mesure et la faible densité du réseau d'observation météorologiques à l'échelle globale, représentent des difficultés qui ont obligé les chercheurs à penser à une mise au point des modèles permettant d'estimer les différentes composantes du rayonnement solaire. L'Algérie dispose l'un des gisements les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara [1].

Les systèmes de conversion d'énergie PV dépendent étroitement de la composante globale GH qui est sensible aux processus d'atténuations atmosphériques. Cependant, le GH peut être exprimé en fonction du rayonnement global par ciel clair. Par conséquent, le choix de modèles est impératif pour une utilisation optimale des centrales PV, ainsi que des réseaux électriques intelligents. De nombreux modèles GH basés sur des mesures spectrales ont été développés, tels que ceux de Atwater-Ball [2], Hulstrom-Bird [3] et Mc-Davis-McKay [4]. Il existe également d'autres modèles de ciel clair récemment élaborés, comme ESRA [5], Solis [6], REST2 [7] et McClear [8].

Dans ce travail, nous allons évaluer les performances des deux modèles Bird-Hulstrom et Atwater-Ball par rapport aux observations. Pour ce faire, nous avons tout d'abord codé ces deux modèles en langage machine en utilisant le logiciel R (<http://www.r-project.org>). Puis, pour faire les tests de validation, nous avons comparé les simulations par rapport aux mesures de rayonnement global horaire prises par la station de l'Unité de Recherche en Energie Renouvelables en Milieu Saharien (URER-MS) d'Adrar durant des journées typiques de ciel clair durant toute l'année de 2018. En premier lieux, nous avons pris un échantillon de données de rayonnement de quatre jours de ciel clair soigneusement choisis : une en hiver (13/01/2018), une au printemps (15/04/2018), une en été (25/06/2018) et une en automne (29/09/2018) et nous avons représenté les résultats sous forme de courbes d'évolution horaire afin de mettre en évidence le comportement des deux modèles pour chaque saison. Ensuite, nous avons généralisé la méthode sur les douze mois en prenant une journée de ciel clair pour chacun, soit douze jours de simulation. Puis nous avons calculé les scores.

2. Modélisation de rayonnement Solaire

Pour l'estimation du rayonnement solaire il est nécessaire de bien préciser les paramètres géométriques du lieu qui sont la latitude, la longitude et l'altitude et aussi des paramètres du capteur qui sont l'inclinaison et l'orientation. Le rayonnement dépend aussi des mouvements de la terre qui sont la rotation et la translation et le mouvement apparent du soleil dans le ciel qui est caractérisé par sa hauteur et sa déclinaison.

Nous allons présenter dans ce paragraphe les principales formules des deux modèles choisis :

2.0.1 Modèle de Bird & Hulstrom

Le modèle de Bird-Hulstrom [9] est l'un des modèles de rayonnement par ciel clair les plus utilisés dans des travaux scientifiques [10] et [11]. Ce modèle a été conçu en 1987 par Bird et Hulstrom. Les formules utilisées dans ce modèle sont les suivantes : L'éclairement dû au rayonnement direct sur un plan horizontal est donné par la relation :

$$I_d = 0.9751 * I_o * \tau_r * T_q * \tau_o * \tau_w * T_A * \cos(h * \pi / 180) \quad (1)$$

où, le coefficient d'absorption par la couche d'ozone τ_o est donné par :

$$\tau_o = 1 - 0.1611 * X_o (1 + 139.48 * X_o)^{-0.3035} - 0.002715 * X_o * (1 + 0.044 * X_o + 0.0003 * X_o^2)^{-1} \quad (2)$$

et, τ_o est l'épaisseur de la couche d'ozone corrigée par le trajet optique du rayonnement solaire à travers cette couche et définie par l'équation suivant:

$$X_o = U_o * M \quad (3)$$

où, M est la masse d'air optique relative donnée par l'équation :

$$M = |\cos * (h * \pi / 180) + 0.015 * (93.885 - h)^{1.25}|^{-1} \quad (4)$$

Et, U_o représente la quantité d'ozone à la verticale du lieu (épaisseur de la couche d'ozone réduite (cm): Avec : $U_o = 0.3$ Le coefficient de transmission après absorption du rayonnement solaire par la vapeur d'eau est donné par :

$$\tau_w = 1 - 2.4959 X_w [(1 + 79.034 X_w)^{0.6828} + 6.385 X_w]^{-1} \quad (5)$$

X_w est l'épaisseur d'eau condensable corrigé à la verticale du lieu (cm) donnée par l'équation suivant :

$$X_w = U_w * M \quad (6)$$

avec : $U_w = 1.5$ Le coefficient de transmission après absorption par les gaz permanents (CO_2 et O_2) s'exprime en fonction de la masse d'air corrigée à l'aide de l'équation :

$$T_{UM} = \exp(-0.0127 M^{0.26}) \quad (7)$$

où, M est la masse d'air corrigée exprimée par l'équation suivant :

$$M = (MP) / (1013.25) \quad (8)$$

Le coefficient de transmission après la diffusion moléculaire s'exprime aussi en fonction de la masse d'air par :

$$\tau_r = \exp(-0.090 M^{0.84} |1 + M - M^{1.01}|) \quad (9)$$

Et le coefficient de transmission après la diffusion par les aérosols peut se calculer par :

$$T_A = \exp[-\tau_a^{0.873} (1 + \tau_a - \tau_a^{0.7088}) M^{0.9108}] \quad (10)$$

Où : $\tau_a = 0.2758 \tau_{a,0.38} + 0.35 \tau_{a,0.5}$ Avec : $\tau_{a,0.38}$ et $\tau_{a,0.5}$ sont des coefficients d'atténuation déterminés à partir des mesures expérimentales: $\tau_{a,0.38} = 0.38 \mu m$ et $\tau_{a,0.5} = 0.5 \mu m$

Dans ce modèle aussi, le rayonnement diffus sur un plan horizontal est composé de trois types de diffusion du rayonnement solaire (Rayleigh, Aérosols et phénomènes multi réflexion terre-atmosphère), la relation générale est donnée par :

$$I_{diff} = 0.79 * I_o * \cos(h * \pi / 180) * \tau_o * T_{UM} * \tau_w * T_{AA} \quad (11)$$

où, T_{AA} est donnée par l'expression suivante :

$$T_{AA} = 1 - K_l (1 - M + M^{1.06}) (1 - T_A) \quad (12)$$

Avec : K_l est le coefficient de réflexion unitaire relatif à la diffusion par les aérosols : Le calcul du rayonnement global GH est exprimé par :

$$GH = (I_d - I_{diff}) / (1 - r_s r_g) \quad (13)$$

avec, r_g est l'albédo terrestre, et r_s est l'albédo du ciel clair donné par :

$$r_s = 0.0685 + (1 - B_A)(1 - T_{AS}) \quad (14)$$

avec : r_g où, B_A est le coefficient de dispersion de l'atmosphère.
Avec : $B_A = 0.85$

Et T_{AS} est donné par la relation suivante :

$$T_{AS} = T_A / T_{AA} \quad (15)$$

2.1 Modèle de Atwater & Ball

D'après ce modèle, l'éclairement dû au rayonnement direct et totale sur un plan horizontal sont donnés respectivement par :

$$I_d = I_o * \cos\left(\frac{h * \pi}{180}\right) * (T_{Md} - a_w) * T_A \quad (16)$$

$$I_d = I_o * \cos\left(\frac{h * \pi}{180}\right) * (T_M - a_w) * T_A / (1 - r_s r_g) \quad (17)$$

Où, Les différents coefficients d'absorption sont donnés par : La relation du coefficient de transmission direct de tous les effets moléculaires sauf de la vapeur d'eau est donnée par :

$$T_{Md} = 1.041 - 0.16[M(949 * 10^{-6}P + 0.051)]^{0.5} \quad (18)$$

Où, M est la masse d'air optique relative donnée par l'équation :

$$M = 35 / [(1224 \cos^2 h) + 1]^{0.5} \quad (19)$$

La relation du coefficient de transmission globale de tous les effets moléculaires sauf de la vapeur d'eau est donnée par :

$$T_M = 1.021 - 0.0824[M(949 * 10^{-6}P + 0.051)]^{0.5} \quad (20)$$

Le coefficient de l'absorption de la vapeur d'eau est donné par :

$$a_w = 0.077(U_w M)^{0.3} \text{ avec : } U_w = 1.5$$

La relation du coefficient de transmission de l'absorption et la diffusion des aérosols est donnée par :

$$T_A = \exp(-\tau_a M) \quad (21)$$

Où, M est la masse d'air corrigée exprimée par l'équation suivant :

$$M = PM / (1013.25) \quad (22)$$

Avec : $\tau_a = 0.2758\tau_{a,0.38} + 0.35\tau_{a,0.5}$

$$\tau_{a,0.38} = 0.38 \mu m, \tau_{a,0.5} = 0.5 \mu m$$

Et r_g est l'albédo terrestre, et r_s est l'albédo du ciel clair donné par :

$$r_g = 0.0685, r_s = 0.35$$

3. Résultats et Discussions

Pour donner une idée générale sur l'évolution horaire du rayonnement, nous avons tracé les courbes du rayonnement global calculés par les deux modèles Bird & Hulstrom et Atwater & Ball et observés par la station de l'URER-MS d'Adrar pour un échantillon de 4 jours de ciel clair soigneusement choisis : une en hiver (13/01/2018), une au printemps (15/04/2018), une en été (25/06/2018) et une en automne (29/09/2018). Ces courbes du rayonnement sont représentées par les figures 1, 2, 3 et 4.

Le premier constat qu'on peut tirer de ces quatre figures est que les courbes de l'évolution horaire du rayonnement global calculées par les deux modèles suivent la même allure que celle de l'observation. En terme de quantité, nous constatons des écarts et des différences entre les valeurs du rayonnement calculés et observés selon les journées et selon la période dans la journée.

Pour la journée du 13 janvier 2018 (Fig. 1), le rayonnement estimé par les deux modèles sont très proches de l'observation durant la période matinale et vers le couché de soleil avec une légère sous-estimation. Du 10h à 15h, les deux courbes du rayonnement calculé commencent à se détacher entre elles et les écarts par rapport aux observations se distinguent. Le rayonnement maximal mesuré est 741 w/m^2 , par contre les valeurs maximales du rayonnement calculées par les deux modèles, Bird & Hulstrom et Atwater & Ball sont: 649 w/m^2 et 689 w/m^2 , respectivement, soit une sous estimation de 178 w/m^2 et 52 w/m^2 , respectivement.

Pour le cas de la journée du 15 avril 2018 (Fig. 2), le même comportement par rapport aux observations est constaté pour les deux modèles mais avec des valeurs du rayonnement relativement fortes. Le rayonnement maximal mesuré atteint 1075 w/m^2 à midi, par contre les valeurs maximales du rayonnement calculées par les deux modèles, Bird & Hulstrom et Atwater & Ball sont: 974 w/m^2 et 1035 w/m^2 , respectivement.

Pour la journée du 25 juin 2018 (Fig. 3), l'écart entre le rayonnement maximal mesuré et calculé par le modèle de Atwater & Ball est relativement faible, soit 1088 w/m^2 contre 1068 w/m^2 , respectivement. Mais cet écart reste très fort pour le cas du modèle de Bird & Hulstrom avec une valeur de 1009 w/m^2 .

De très bons résultats ont été obtenus pour la journée du 29 septembre 2018 avec le modèle Atwater & Ball. Nous avons observé des valeurs de 926 w/m^2 contre 925 w/m^2 calculées par ce modèle. La valeur maximale calculée par le modèle de Bird & Hulstrom est sous-estimée (871 w/m^2).

Nous avons, ensuite, calculé quelques indicateurs de performance à savoir : le biais (MBE), l'erreur absolue moyenne (MAE), l'erreur quadratique moyenne (RMSE), le score de menace (TS) et le coefficient de corrélation (R). Cette fois ci, nous avons pris une journée de ciel clair pour chaque mois de l'année. Les résultats sont donnés dans le tableau 1. Deux remarques majeures peuvent être tirées de tableau 1 :

Les biais obtenus avec les deux modèles sont tou-

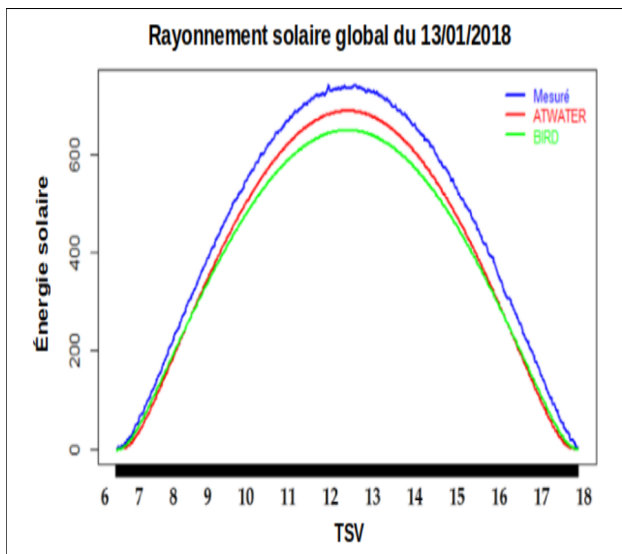


Figure 1. Evolution horaire du rayonnement solaire global (en w/m²) mesuré (ligne bleue) et calculé par les deux modèles : Bird & Hulstrom (BRD) en vert et Atwater & Ball (ATWATER) en rouge pour la journée du 13/01/2018.

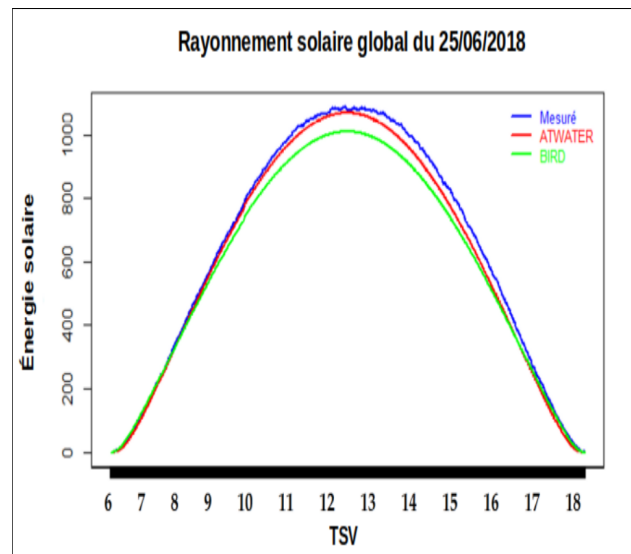


Figure 3. Evolution horaire du rayonnement solaire global (en w/m²) mesuré (ligne bleue) et calculé par les deux modèles : Bird & Hulstrom (BRD) en vert et Atwater & Ball (ATWATER) en rouge pour la journée du 25/06/2018.

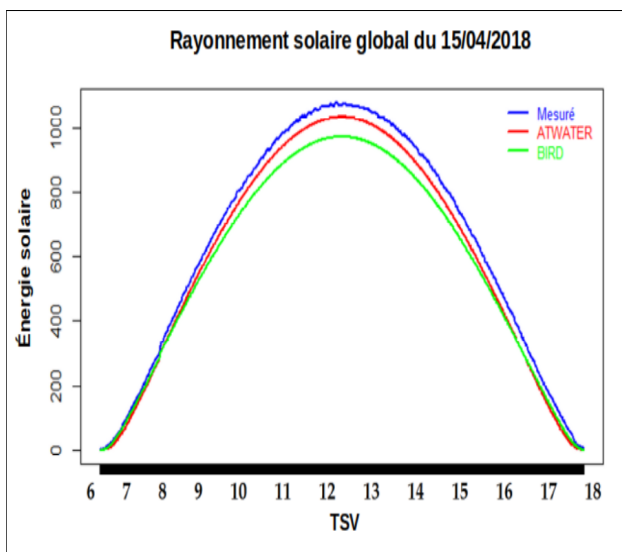


Figure 2. Evolution horaire du rayonnement solaire global (en w/m²) mesuré (ligne bleue) et calculé par les deux modèles : Bird & Hulstrom (BRD) en vert et Atwater & Ball (ATWATER) en rouge pour la journée du 15/04/2018.

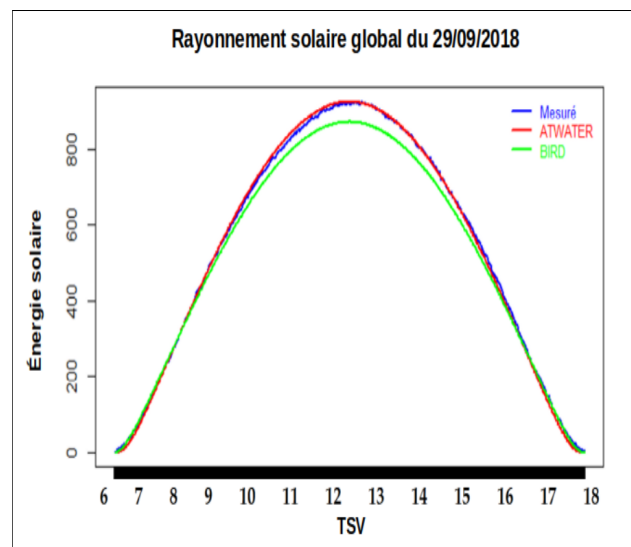


Figure 4. Evolution horaire du rayonnement solaire global (en w/m²) mesuré (ligne bleue) et calculé par les deux modèles : Bird & Hulstrom (BRD) en vert et Atwater & Ball (ATWATER) en rouge pour la journée du 29/09/2018.

jours négatifs pour tous les mois de l'année. Ce que nous permet d'avancer que les deux modèles sous-estiment le rayonnement global.

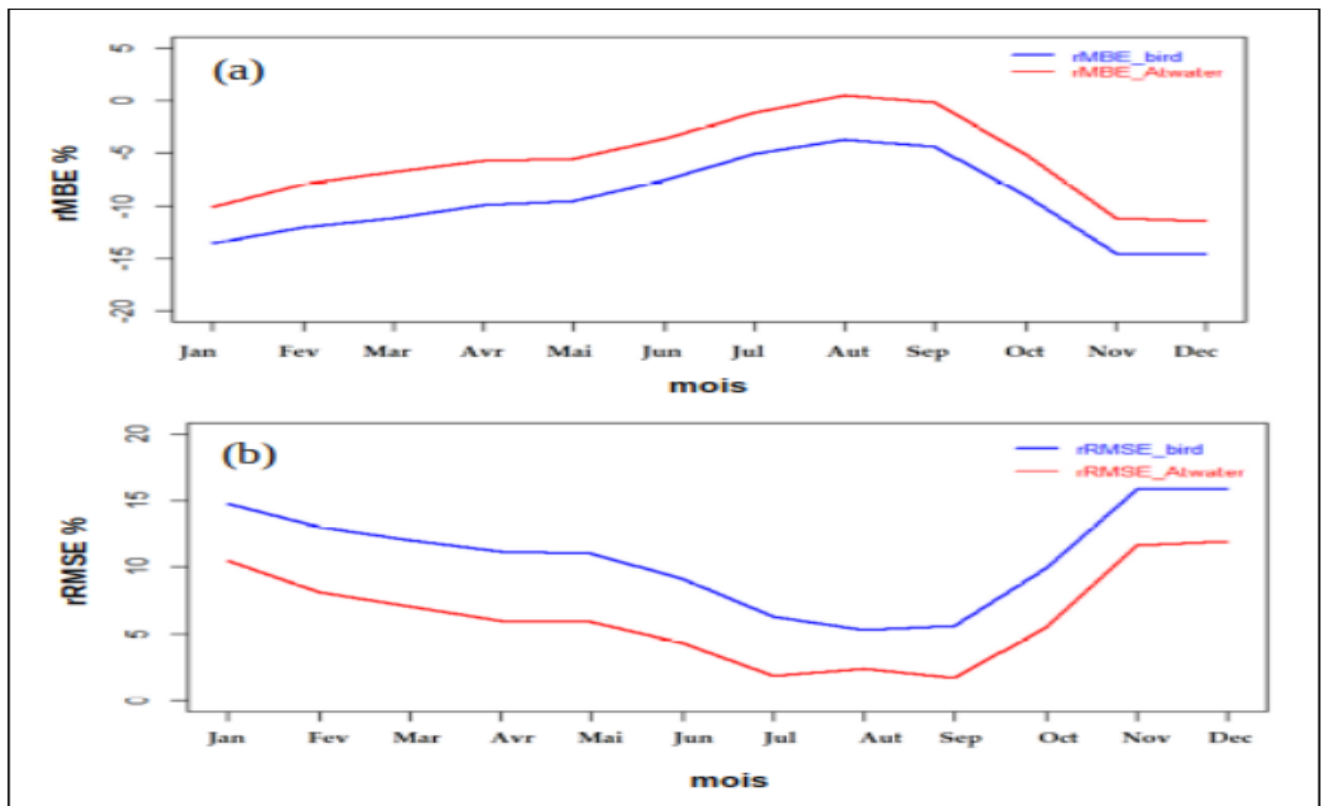
Pour toutes les situations, le modèle Atwater & Ball semble être plus meilleur que le modèle Bird & Hulstrom.

Afin de donner plus d'illustration aux scores obtenus, nous avons représenté dans la figure 5 la variation du biais nor-

malisé (rMBE) et de l'erreur quadratique moyenne normalisée (rRMSE). Les scores confirment bien la qualité du modèle Atwater-Ball par rapport à celui de BirdHulstrom. Il est aussi bien de noter que les deux modèles se comportent mieux durant la période estivale (juillet, août et septembre) que d'autre période de l'année.

Table 1. Résultat d'évaluation statistique de quelques jours de l'année 2018.

Date	Modèle	MBE	MAE	RMSE	TS	R
13/01/2018	BIRD	-60.816	60.816	66.079	59.163	0.9994
	ATWATER	-45.336	45.336	46.943	93.592	0.9990
18/02/2018	BIRD	-63.604	63.604	68.849	62.739	0.9997
	ATWATER	-41.762	41.762	42.837	113.833	0.9995
12/03/2018	BIRD	-65.179	65.179	70.417	65.121	0.9997
	ATWATER	-39.854	39.854	41.006	109.978	0.9995
15/04/2018	BIRD	-64.108	64.108	71.995	54.117	0.9997
	ATWATER	-36.772	36.772	38.328	94.090	0.9996
18/05/2018	BIRD	-63.167	63.348	72.730	49.994	0.9996
	ATWATER	-36.328	36.394	38.710	77.528	0.9995
25/06/2018	BIRD	-48.466	49.604	58.889	41.768	0.9993
	ATWATER	-23.659	23.660	27.795	46.747	0.9992
19/07/2018	BIRD	-31.738	32.916	39.178	39.495	0.99973
	ATWATER	-6.968	10.023	11.389	22.111	0.99975
26/08/2018	BIRD	-22.391	27.569	31.969	27.176	0.9992
	ATWATER	2.756	12.618	14.131	5.508	0.9993
29/09/2018	BIRD	-23.884	25.126	30.462	33.752	0.9996
	ATWATER	-0.915	7.757	9.340	2.632	0.9997
14/10/2018	BIRD	-48.389	48.393	52.931	59.253	0.9995
	ATWATER	-27.481	27.481	29.379	69.479	0.9993
11/11/2018	BIRD	-70.864	70.943	29.379	59.152	0.9989
	ATWATER	-54.319	54.344	56.709	84.694	0.9986
16/12/2018	BIRD	-63.517	63.517	68.902	59.318	0.999
	ATWATER	-49.932	49.932	51.813	90.006	0.998

**Figure 5.** Variation mensuelle du : (a) biais normalisé (rMBE) et (b) de l'erreur quadratique moyenne normalisée (rRMSE).

4. Conclusion

Ce travail a permis d'évaluer les performances de deux modèles à ciel clair, Bird-Hulstrom et Atwater-Ball pour estimer la composante globale du rayonnement solaire par rapport aux mesures au sol du site URER-MS d'Adrar. Les résultats ont montré que les deux modèles reproduisent avec satisfaction l'allure de la courbe d'évolution du rayonnement global mais avec des valeurs sous-estimées par rapport aux observations. Par ailleurs, il est bien de noter que le modèle de Atwater-Ball simule mieux le rayonnement global par rapport à celui de Bird-Hulstrom notamment durant la période estivale. De ce fait, dans des conditions de ciel clair et en absence des mesures réelles, nous recommandons fortement pour un usage opérationnel (parque photovoltaïque) l'utilisation du modèle Atwater-Ball pour l'estimation du rayonnement global.

References

- [1] Benbouza Naima. *Etude du rayonnement solaire dans la région de Batna*. PhD thesis, Batna, Université El Hadj Lakhder. Faculté des sciences de l'ingénieur, 2008.
- [2] M A_ Atwater and JT Ball. A numerical solar radiation model based on standard meteorological observations. *Solar Energy*, 21(3):163–170, 1978.
- [3] Richard E Bird and Roland L Hulstrom. Simplified clear sky model for direct and diffuse insolation on horizontal surfaces. Technical report, Solar Energy Research Inst., Golden, CO (USA), 1981.
- [4] John A Davies and Donald C McKay. Estimating solar irradiance and components. *Solar Energy*, 29(1):55–64, 1982.
- [5] Christelle Rigollier, Olivier Bauer, and Lucien Wald. On the clear sky model of the esra—european solar radiation atlas—with respect to the heliosat method. *Solar energy*, 68(1):33–48, 2000.
- [6] Pierre Ineichen. A broadband simplified version of the solis clear sky model. *Solar Energy*, 82(8):758–762, 2008.
- [7] Christian A Gueymard. Rest2: High-performance solar radiation model for cloudless-sky irradiance, illuminance, and photosynthetically active radiation—validation with a benchmark dataset. *Solar Energy*, 82(3):272–285, 2008.
- [8] Zhipeng Qu, Armel Oumbe, Philippe Blanc, Bella Espinar, Gerhard Gesell, BENOÎT GSCHWIND, Lars Klüser, Mireille Lefèvre, Laurent Saboret, Marion Schroedter-Homscheidt, et al. Fast radiative transfer parameterisation for assessing the surface solar irradiance: The heliosat-4 method. *Meteorologische Zeitschrift*, 26(1):33–57, 2017.
- [9] Richard E Bird. A simple, solar spectral model for direct-normal and diffuse horizontal irradiance. *Solar energy*, 32(4):461–471, 1984.
- [10] Pierre Ineichen. Validation of models that estimate the clear sky global and beam solar irradiance. *Solar Energy*, 132:332–344, 2016.
- [11] Mustapha Koussa, Djohra Saheb-Koussa, and Seddik Hadji. Experimental investigation of simple solar radiation spectral model performances under a mediterranean algerian's climate. *Energy*, 120:751–773, 2017.

Étude de la variabilité interannuelle des températures et des précipitations dans les hauts plateaux

Nour El Isslam KERROUMI ^{1*}

Abstract

La compréhension et la caractérisation de la variabilité climatique aux échelles spatiales réduites s'avèrent fondamentales pour la compréhension des impacts des changements climatiques, de la vulnérabilité locale et pour les projets de développement.

La présente étude a pour objectif d'analyser la variabilité interannuelle des températures et des précipitations et la classification du climat de la zone des hauts plateaux sur deux périodes consécutives 1981-2000 et 2001-2020 par l'utilisation de la méthode graphique et d'indices climatiques.

Les résultats obtenus montrent un réchauffement perceptible d'environ 0.5°C au niveau de toutes les stations de la région d'étude. L'écart le plus conséquent est observé au niveau de la station de Laghouat et l'écart le plus faible est enregistré à la station de Bordj Bou Arreridj.

Une hausse des précipitations dans la 2^{ème} période est observée sur la majorité des stations des hauts plateaux surtout à l'ouest. Ces résultats montrent également que le climat a connu de fortes fluctuations interannuelles caractérisées par une succession de périodes sèches et humides.

L'application des différents indices d'aridité de koppen-geiger, les formules et les critères de subdivisions climatiques sur les données de température et de précipitation recueillies révèlent différentes répartitions d'ouest en Est. Ceci nous a conduit à recommander une classification interactive de 3 à 4 classes.

Keywords

variabilité climatique, indices climatiques, fluctuations interannuelles, analyse spatiale, tendance.

¹ Office national de la météorologie, Dar El Beida, Alger

*Correspondant: kerrouminourelislam2019@gmail.com

Contents

1	Introduction:	1
2	Méthodologie	2
2.1	Données utilisées	2
2.2	Descriptions de la méthodologie appliquée:	2
2.3	La Classification Automatique Hiérarchique C.A.H	2
3	Résultats et discussion	3
3.1	Régime thermique	3
	Tendances des températures moyennes annuelles	
3.2	Régime pluviométrique	3
	Moyennes annuelles des précipitations • Précipitations moyennes saisonnières	
3.3	Classification Automatique Hiérarchique	5
	Indices d'aridité • Classification de Koeppen_Geiger	
4	Conclusion	5
	References	5

1. Introduction:

Les problèmes liés aux changements climatiques occupent une importante place parmi les préoccupations majeures contemporaines. Dans cette optique, l'Organisation Météor-

ologique Mondiale (OMM) et le Groupe Intergouvernemental des Experts du Climat (GIEC) estiment qu'il est nécessaire actuellement, d'entreprendre des études de diagnostic pour déterminer empiriquement et statistiquement les caractéristiques du système climatique et sa variabilité pour différentes régions du globe [1].

En général, la variabilité climatique se réfère à la variation naturelle intra et interannuelle du climat. Alors que les changements climatiques désignent un changement du climat attribué directement ou indirectement aux activités humaines qui altèrent la composition de l'atmosphère globale et qui s'ajoutent à la variabilité climatique naturelle observée sur des périodes de temps comparables.

L'Algérie fait partie des régions les plus sensibles à cette variabilité. Sa partie nord a été un sujet d'intérêt pour plusieurs chercheurs qui ont tenté d'étudier la variabilité de son climat ainsi que sa relation avec la circulation atmosphérique générale. Nous citons à titre d'exemple les travaux de DERRADJI Sarah HADJEM Afifa [2], BENYETTOU Mohamed BOUKLIKHA Abdellah [3], Rhissa AG Bilal [4] et Farah Abdelhafid [5]. Ces travaux sont focalisés principalement sur la classification climatique et la variation des températures et des précipitations au nord de l'Algérie. Cependant, la partie sud de l'Algérie reste toujours peu étudiée. C'est pour cela notre travail se focalise sur la zone des hauts plateaux. Il vient pour renforcer et compléter les différents travaux précédents. Ses objectifs principaux :

- Détermination de variabilité temporelle des températures et des précipitations durant les deux périodes 1981-2000 et 2001-2020.
- Détermination des types de climat de la zone des hauts plateaux sur ces deux périodes d'étude.

Pour ce faire, nous utiliserons les méthodes graphiques, les indices de classification climatiques et la classification automatique.

Après cette introduction, nous allons décrire les données utilisées et expliciter la méthode adoptée. Ensuite, nous présenterons les différents résultats obtenus afin de comparer la variabilité climatique entre les deux périodes d'étude. Enfin, nous terminerons par une conclusion générale.

2. Méthodologie

2.1 Données utilisées

Nous avons utilisé, pour notre étude, les données des précipitations et des températures au pas de temps journalier sur la période allant de 1981 à 2020.

La NASA, à travers son programme de recherche en sciences de la Terre, soutient depuis longtemps les systèmes satellitaires et la recherche fournissant des données importantes pour l'étude du climat et des processus climatiques. Ces produits satellitaires sont basés sur des modèles d'assimilation qui sont avérés suffisamment précis pour fournir des données fiables sur les ressources solaires et météorologiques dans des régions où les mesures de surface sont rares ou inexistantes (White et Hoogenboom, 2008 [6]).

Les données météorologiques de POWER Release-8 sont basés sur un modèle d'assimilation unique du Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) de Goddard [10]. Elles sont mises à jour et dérivées des modèles d'assimilation de GMAO Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications (MERRA-2) et des produits GMAO Forward Processing - Instrument Teams (FP-IT) GEOS 5.12.4 en temps quasi réel et fournies sur une grille globale avec une résolution spatiale de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$. La couverture temporelle des données MERRA-2 va de 1981 à quelques mois en temps réel et celle des données GEOS 5.12.4 s'étale de la fin du flux de données MERRA-2 à quelques jours en temps réel. Les versions MERRA-2 et GEOS 5.12.4 sont essentiellement les mêmes et les discontinuités qui apparaissent entre les différents modèles d'assimilation sont minimisées. Cela montre que ces données sont homogènes et ne nécessitant pas de tests d'homogénéisations [7].

2.2 Descriptions de la méthodologie appliquée:

Ce travail a été effectué par un ensemble des logiciels tel que le logiciel R pour télécharger les données météorologiques, le logiciel excel qui permet de tracer les graphiques de manière rapide et précis et le logiciel Surfer pour la représentation cartographique de notre zone d'étude

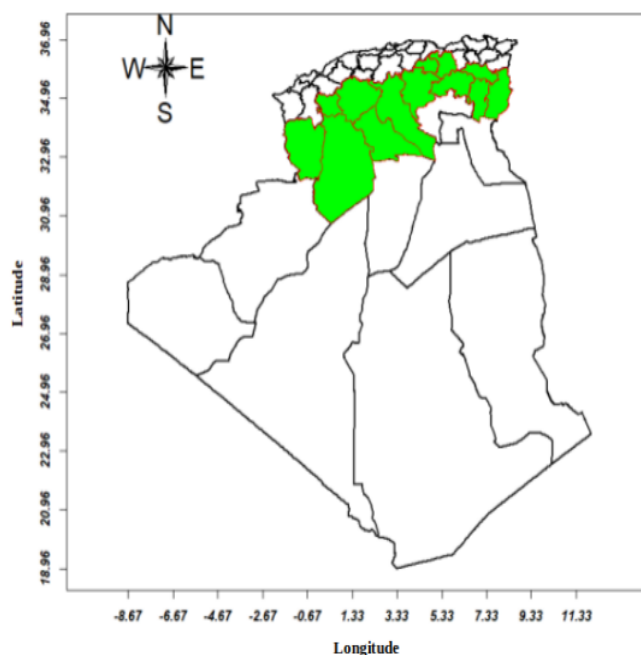


Figure 1. Localisation des Hauts Plateaux

Pour mieux couvrir la région d'étude, nous avons choisi 19 stations implantées au niveau des hauts plateaux (Figure 1). Les deux périodes définies sont : [1981-2000] et [2001-2020] et les paramètres sont les précipitations et la température.

2.3 La Classification Automatique Hiérarchique C.A.H

Après le calcul des indices de classification climatiques, nous avons utilisé, ensuite, la méthode de classification automatique hiérarchique (méthode de Ward) pour choisir à chaque étape le regroupement de classes tel que l'augmentation de l'inertie Intra-classe, utilisée comme indice de niveau, soit minimum.

De ce fait des multiples packages et fonctions du logiciel R ont été utilisés pour exécuter cette partie. Nous citons NbClust « la fonction hclust » pour déterminer le nombre de grappes et propose à l'utilisateur le meilleur schéma de regroupement des différents résultats obtenus en faisant varier les combinaisons de nombre de grappes, des mesures de distance, et les méthodes de classification.

Pour le choix du nombre de classes, nous avons utilisé la fonction de R « sort » et enfin pour visualiser les différentes partitions directement sur le dendrogramme nous avons fait appel à la fonction « fviz_dend » de R. Nous avons tracé, ensuite, les cartes des classes du climat en utilisant le logiciel SURFER11.

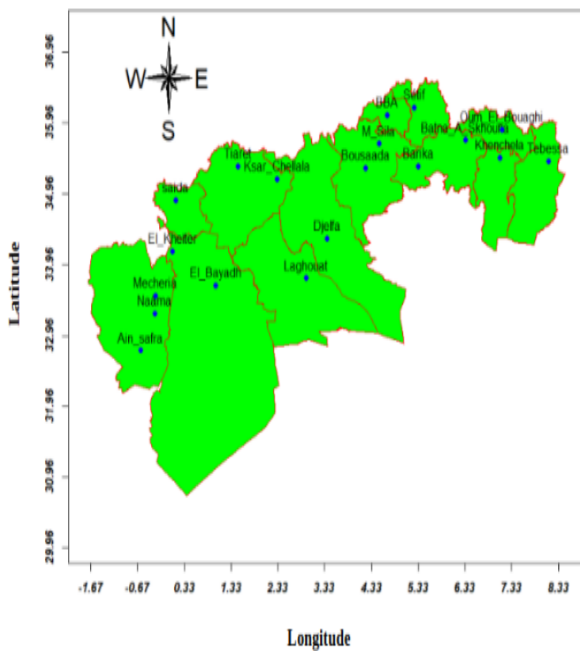


Figure 2. Répartition géographique des stations de la zone d'étude.

3. Résultats et discussion

3.1 Régime thermique

3.1.1 Tendances des températures moyennes annuelles

Nous avons tracé les tendances des températures moyennes annuelles du 1981 à 2020 (Fig.4). Nous constatons que les droites tendanciennes des températures moyennes sur toutes les stations présentent une allure à la hausse avec des pentes positives accompagnées des variations importantes autour d'elles. Cette hausse de température s'accorde avec les derniers rapports du GIEC qui signalent un réchauffement depuis le début de l'année 1990. Quant à la variation annuelle, nous pouvons facilement remarquer que l'année 1991 est l'année la plus froide pour les stations de la région ouest et l'année 2019 est l'année la plus chaude avec des températures moyenne dépassant 17°C.

Nous avons ensuite représenté les moyennes annuelles des températures pour les deux périodes 1981-2000 et 2001-2020 (Fig. 5). Le réchauffement est perceptible au niveau de toutes les stations de la région d'étude. L'écart le plus important entre les deux périodes choisies dans cette étude est enregistré au niveau de la station de Laghouat avec 0.46 °C et la station présentant l'écart le plus faible est la station de Borj BouArreridj (BBA) avec 0.13°C (Table 1)

Stations	Écarts de température en °C
Tiaret	0,18
Tebessa	0,15
Sétif	0,18
Saida	0,21
Oum El Bouaghi	0,22
Naama	0,38
M'Sila	0,20
Mecheria	0,31
Laghouat	0,46
Ksar Chellala	0,20
Khenchela	0,22
El Kheiter	0,26
Elbayadh	0,36
Djelfa	0,42
Bousaada	0,27
BBA	0,13
Batna A.Skhouna	0,29
Barika	0,27
Ain safra	0,40

Table.1: Écarts des températures entre les deux périodes 1981-2000 et 2001-2020.

3.2 Régime pluviométrique

3.2.1 Moyennes annuelles des précipitations

Sur la figure 6, nous remarquons que les moyennes des précipitations enregistrées durant la deuxième période (2001-2020) sont supérieures à celles enregistrées pour la première période et cela pour toutes les stations à l'exception des deux stations Djelfa et Laghouat. Parfois l'écart entre les deux périodes dépasse 100 mm comme pour le cas de la station de Borj B.Arreridj.

3.2.2 Précipitations moyennes saisonnières

La Fig.7 représente la variation saisonnière des moyennes des précipitations pour les périodes 1981-2000 et 2001-2020. Spatialement, les pluies moyennes saisonnières présentent une dissymétrie entre les différentes stations de notre région d'étude. En hiver les quantités pluviométriques moyennes sont importantes par rapport aux autres saisons. Les stations les plus arrosées sont celles de Sétif et Borj B.Arreridj. Les hauteurs moyennes saisonnières des précipitations enregistrées sur les hauts plateaux fluctuent entre 50 mm et 250 mm. En printemps et en Automne, les moyennes saisonnières sont à la baisse sur toutes les stations et fluctuent entre 50 mm et 200 mm, avec un maximum au niveau de la station de Sétif et Bordj Bou Arreridj. En été, les moyennes pluviométriques oscillent entre 30 mm et 72 mm avec un maximum enregistré à Oum El Bouaghi.

D'après cette figure, nous remarquons aussi dans les quatre saisons que la 2^{ème} période est plus pluvieuse que la première pour la majorité des stations.

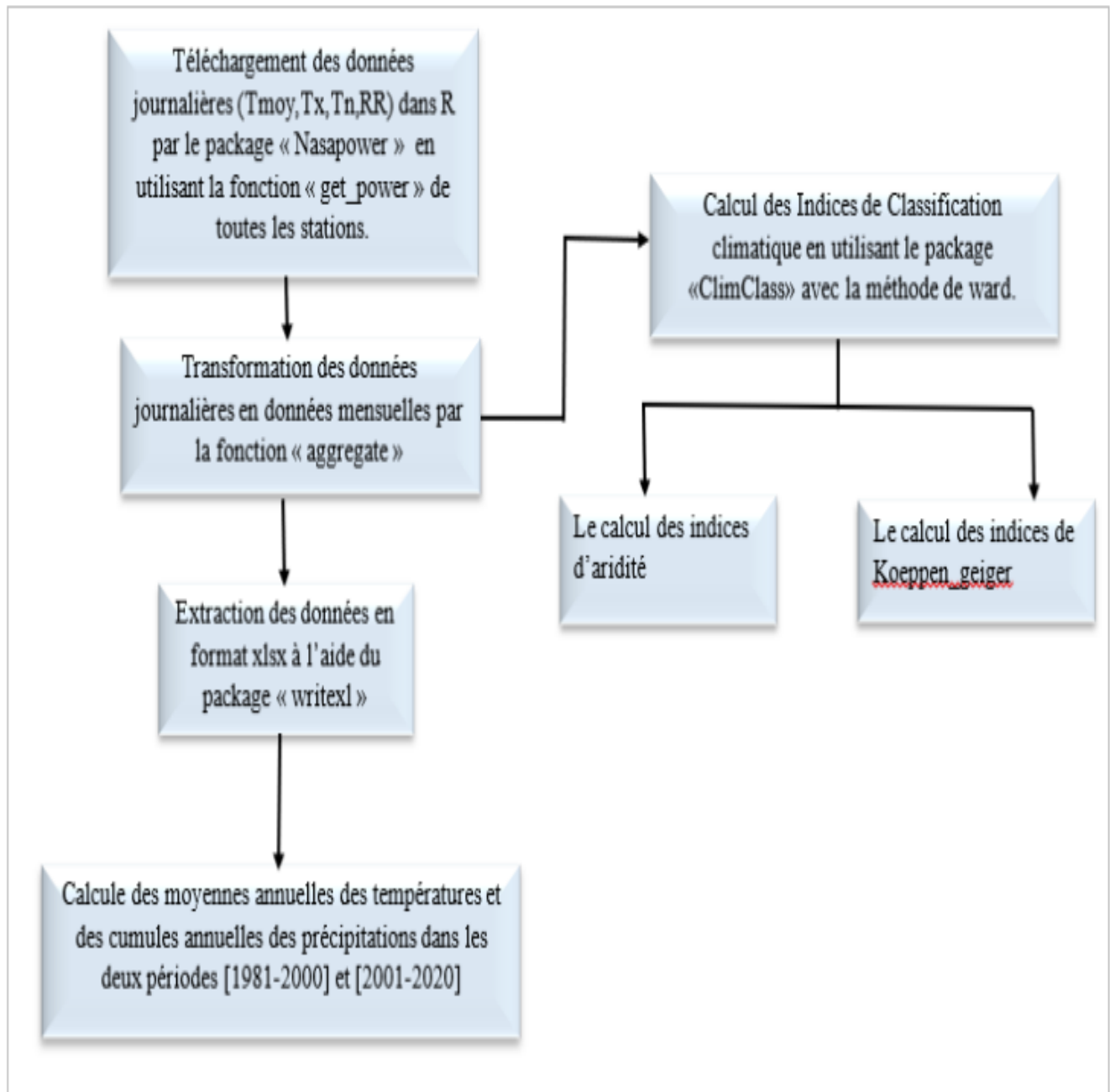


Figure 3. Organigramme explicatif à la méthodologie appliquée.

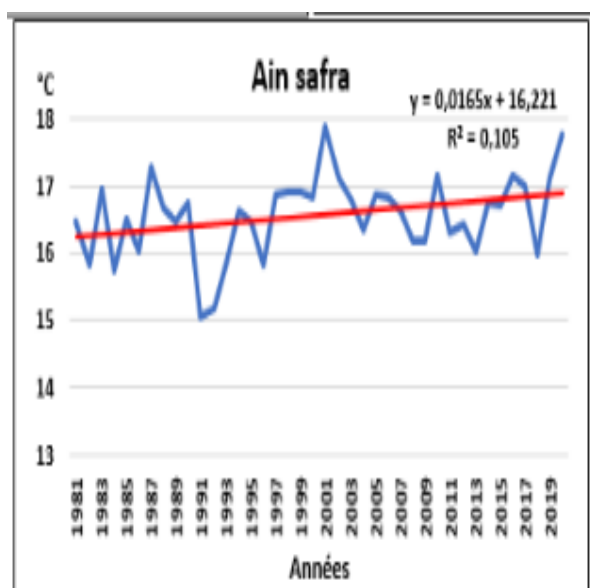


Figure 4. Tendances des températures moyennes annuelles pour la période 1981-2020.

3.3 Classification Automatique Hiérarchique

Les résultats de la classification climatique basée sur certains indices nous permettront de bien comparer entre les deux périodes 1981-2000 et 2001-2020 et d'identifier le passage d'une station d'une classe à une autre. Pour mieux visualiser la répartition de ces classes pour les deux périodes, nous avons choisi de les présenter sous forme des cartes en utilisant le logiciel cartographique Surfer.

3.3.1 Indices d'aridité

C'est un indicateur numérique du degré de sécheresse du climat, il permet d'identifier, de localiser ou de délimiter les régions qui souffrent d'un déficit d'eau disponible [8]. La classification selon l'indice d'aridité (Fig. 8) montre que les stations Barika, Boussaâda, Laghouat, Ain Safra, Naâma, Mecheria, Djelfa, El Bayadh appartiennent à la classe «ARIDE» pour les deux périodes d'étude. On remarque que la station d'El kheiter devient «SEMI-ARIDE» durant la période 2001-2020 après qu'elle était dans la classe «ARIDE» durant la première période.

Également, nous notons le changement de classe pour les stations Oum El Bouaghi, Tiaret et Batna A.Skhouna en passant de la catégorie « SEMI-HUMIDE » durant la période 1981-2000 à la catégorie SEMI-ARIDE durant la période 2001-2020. Nous signalons aussi que « Tebessa, Ksar Chellala, Khenchela, M'Sila et Saida » appartiennent à la classe «SEMI-ARIDE» alors que les stations de de Borj B.Arerridj et Sétif sont incluses dans la catégorie «SEMI-HUMIDE».

3.3.2 Classification de Koeppen_Geiger

La classification de Köppen-Geiger est une classification des climats fondée sur les précipitations et les températures. C'est la plus courante des classifications climatiques dans sa version présentée par "Rudolf Geiger" en 1961 [8]. Un climat,

selon cette classification, est repéré par un code de deux ou trois lettres, la première indique le type du climat, la deuxième indique le régime pluviométrique et la troisième indique la variation des températures.

La figure 9 montre les cartes de classification de Köppen-Geiger pour les deux périodes étudiées. Nous remarquons une apparition d'une catégorie (Bsh) relative au catégorie Semi-aride pour la deuxième période alors qu'elle n'existait pas durant la première période. Cette catégorie concerne la station de Barika.

La répartition spatiale des classes montre que les stations de Naâma, Laghouat et Ain Sefra ont un climat Désertique (BWk) et que les stations de Sétif, Tiaret, Oum El Bouaghi, Batna A.Skhouna et Borj Bou Arerridj ont un climat Méditerranéen (Csa). Tandis que le climat Semi-aride (BSk) est la caractéristique des stations de : El bayadh, El Kheiter, Khenchela, Ksar Chellala, Tebessa, M'Sila et Bousaada.

par contre, nous remarquons le passage de la station de Mecheria de la catégorie Désertique ou aride (BWk) en première période 1981-2000 à la catégorie Semi-aride (BSk) en deuxième période 2001-2020. De même pour la station de Djelfa qui a passé de la classe Semi-aride (Bsk) à la classe désertique (Bwk) en deuxième période. Selon la règle de dénomination des classes adoptée dans la classification de Koeppen-Geiger précitée, ce passage d'une classe à une autre remarqué pour ces deux cas précédents concerne le changement dans le régime pluviométrique puisque c'est la deuxième lettre du nom de la classe qui, uniquement, a changé.

4. Conclusion

Ce travail a été consacré à l'étude de la variabilité des températures et des précipitations sur 19 stations situées dans les hauts plateaux algériens durant la période 1981-2020. Les courbes d'évolution des températures montrent des tendances positives pour la totalité des stations étudiées. Cette tendance atteint +0.45 °C à la station de Laghouat. Cela est en accord avec les projections de GIEC qui affichent les hausses des températures dans le proche avenir sous l'impact de réchauffement climatique.

Les moyennes des précipitations enregistrées pour les 19 stations durant la deuxième période 2001-2020 affichent une nette augmentation de ces dernières par rapport à la première période 1981-2000. Parfois la différence atteint 100 mm comme le cas des stations de Borj Bou Arerridj et Sétif.

Les variations des températures et précipitations enregistrées pour les deux périodes ont amené dans certains cas à modifier la répartition des classes climatiques identifiées dans les hauts plateaux. C'est le cas par exemple des stations d'El Kheiter, Borj B.Arerridj, Sétif et Mecheria.

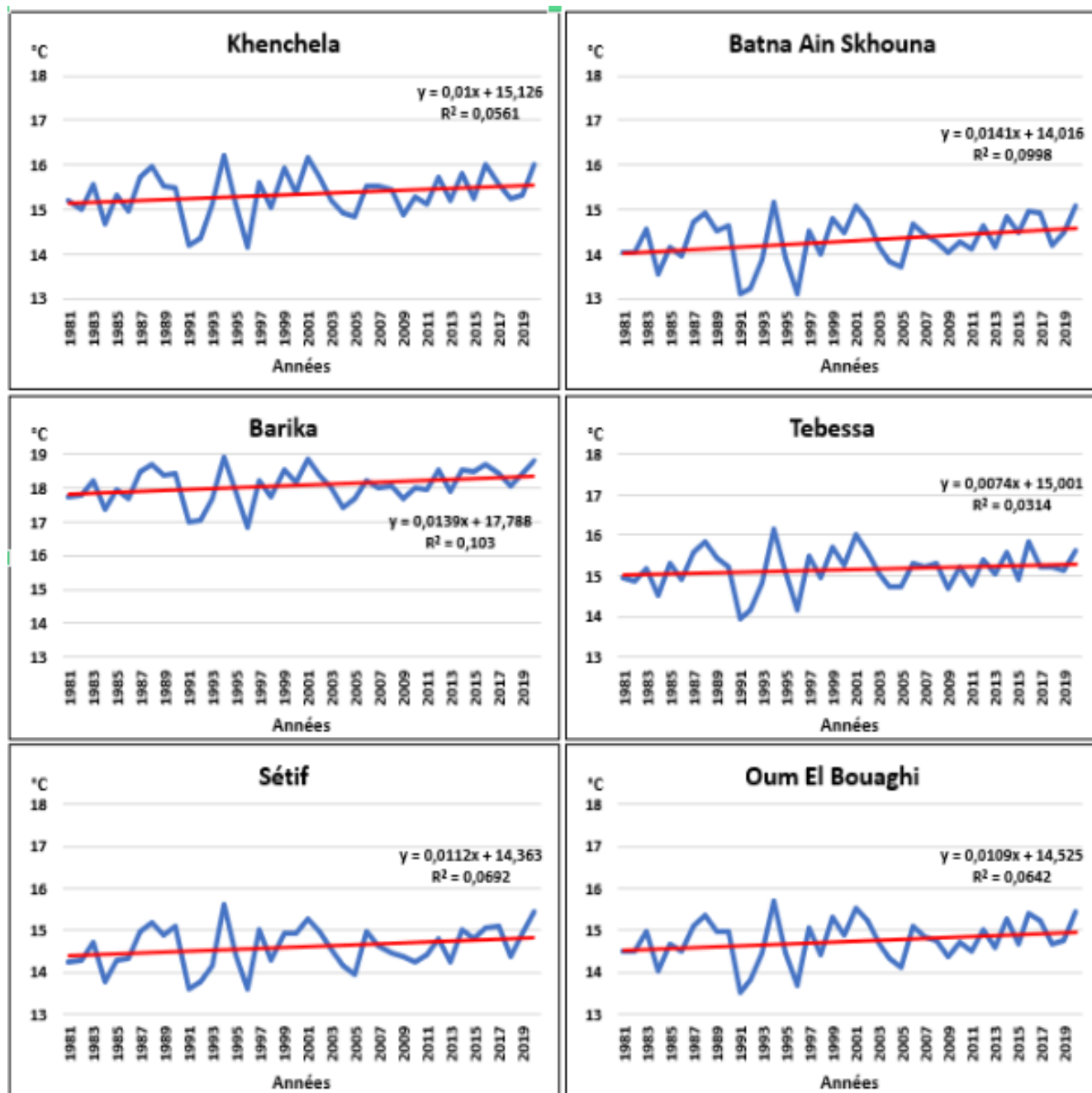


figure 4 :Tendances des températures moyennes annuelles pour la période 1981-2020.

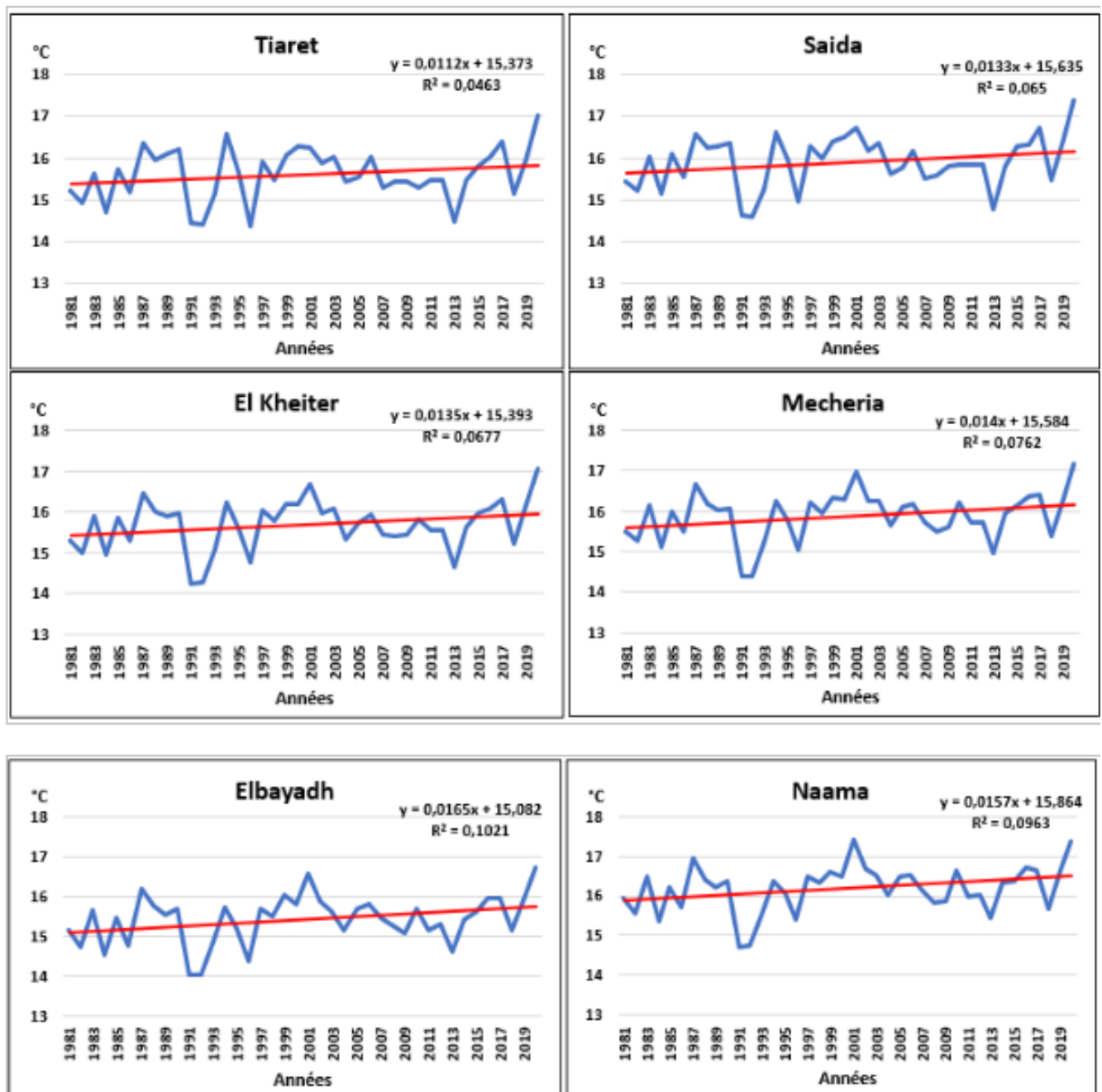


figure 4 : Tendances des températures moyennes annuelles pour la période 1981-2020.

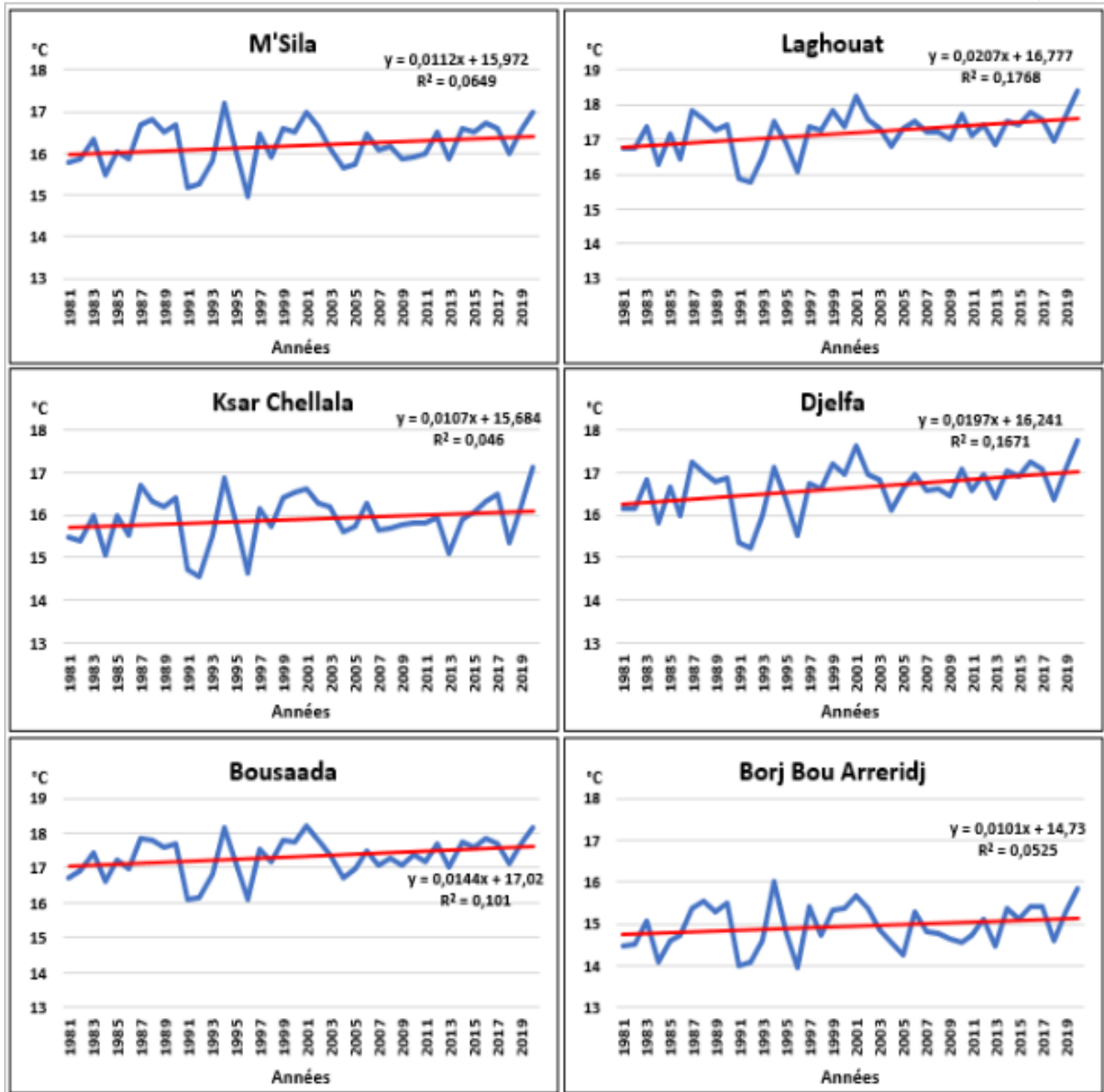


figure 4: Tendances des températures moyennes annuelles pour la période 1981-2020.

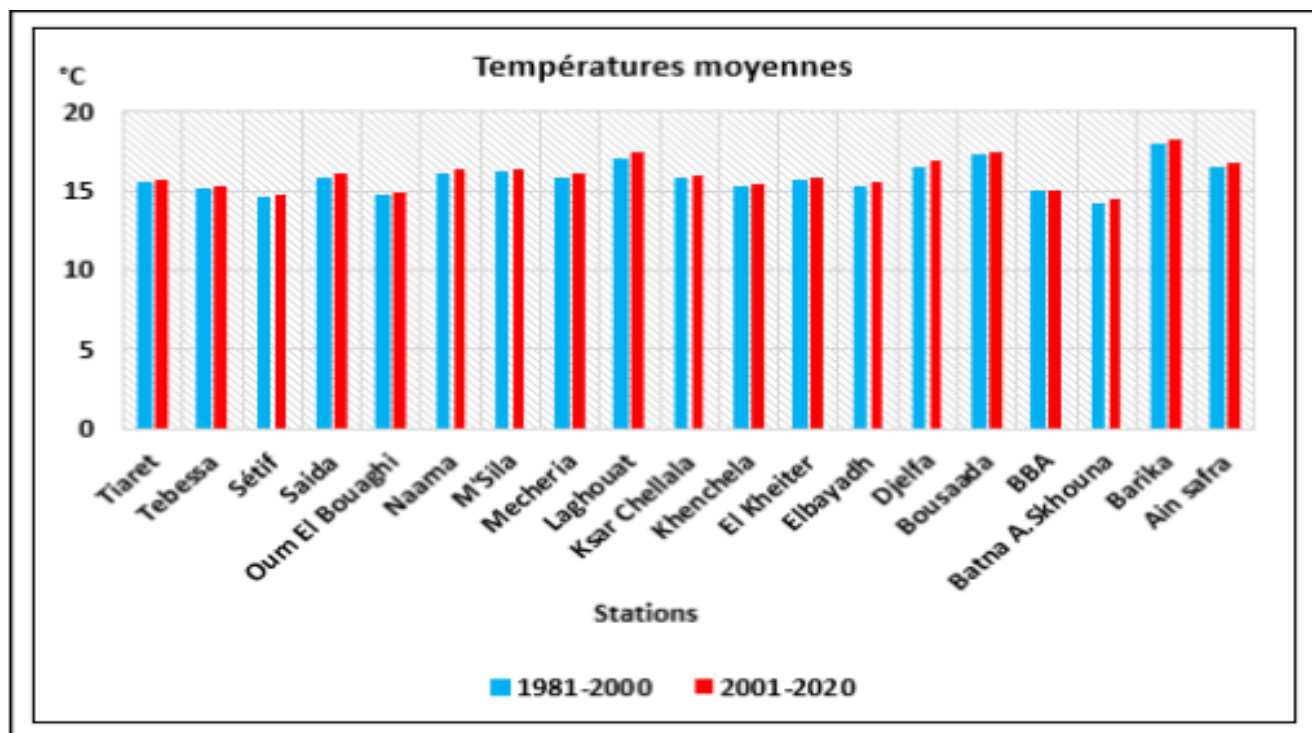


Figure 5. Température moyenne enregistrées pour les deux périodes d'étude (1981-2000) et (2001-2020).

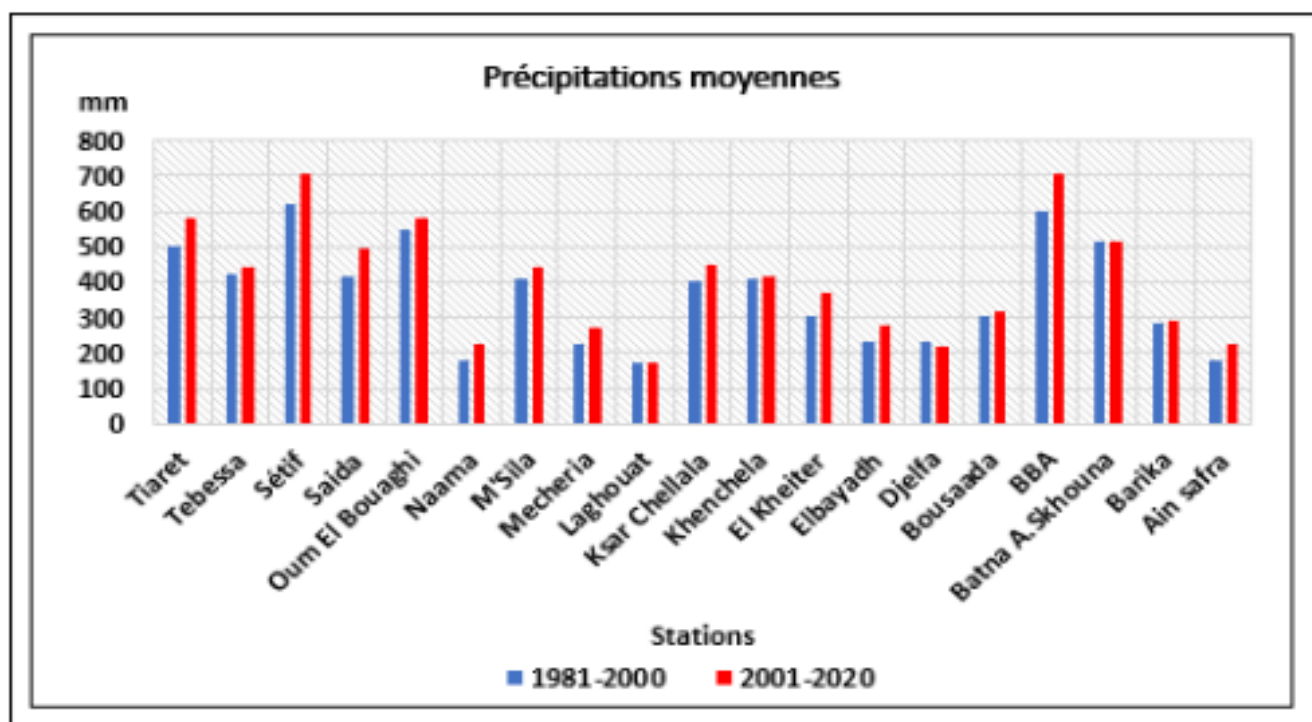


Figure 6. Précipitations moyennes enregistrées pour les deux périodes d'étude

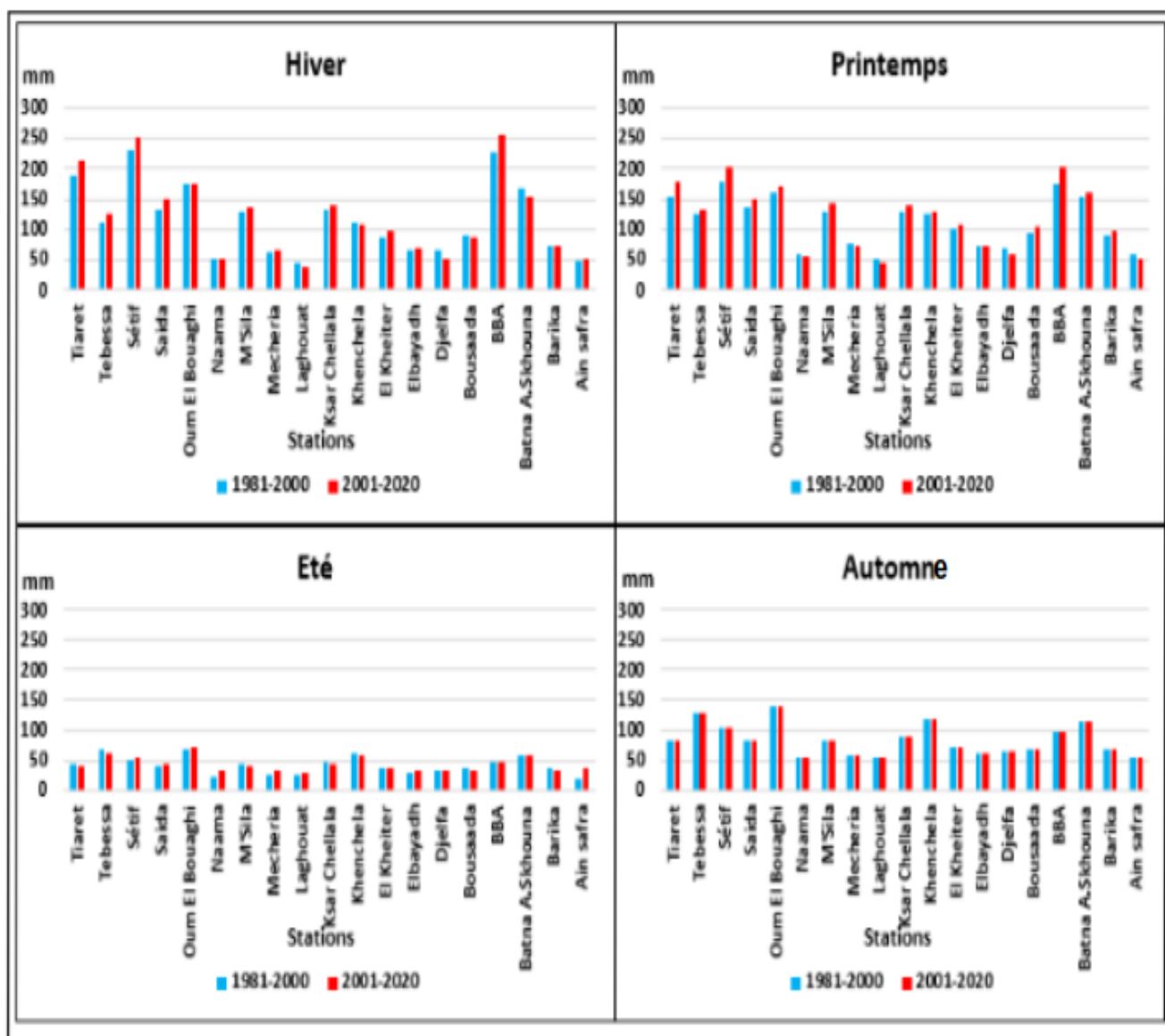


Figure 7. La variation saisonnière des précipitations des périodes (1981-2000)-(2001-2020).

Stations	Hiver	Printemps	Été	Automne
Tiaret	26,4	23,2	-4,0	34,1
Tebessa	13,2	4,1	-5,8	9,8
Sétif	18,7	24,5	2,1	36,9
Saida	19,7	13,7	1,8	44,7
Oum El Bouaghi	1,9	9,3	3,1	18,6
Naama	-0,1	-5,5	10,4	36,2
M'Sila	6,0	14,0	-2,4	14,6
Mecheria	3,2	-3,5	8,2	40,4
Laghouat	-9,4	-7,1	4,0	8,3
Ksar Chellala	9,0	12,6	-1,9	27,5
Khenchela	-2,8	4,1	-2,9	9,8
El Kheiter	11,1	5,5	3,1	44,5
Elbayadh	3,2	0,8	4,8	35,3
Djelfa	-11,4	-10,1	-1,4	8,3
Bousaada	-5,4	8,4	-2,5	8,9
Borj Bou Arreridj	29,2	28,2	1,6	41,9
Batna Ain Skhouana	-13,5	6,8	-0,6	11,0
Barika	-1,4	7,5	-4,5	4,1
Ain safra	0,2	-5,5	15,7	35,3

Table 2: Écarts des précipitations moyennes entre les deux périodes 1981-2000 et 2001-2020 en mm

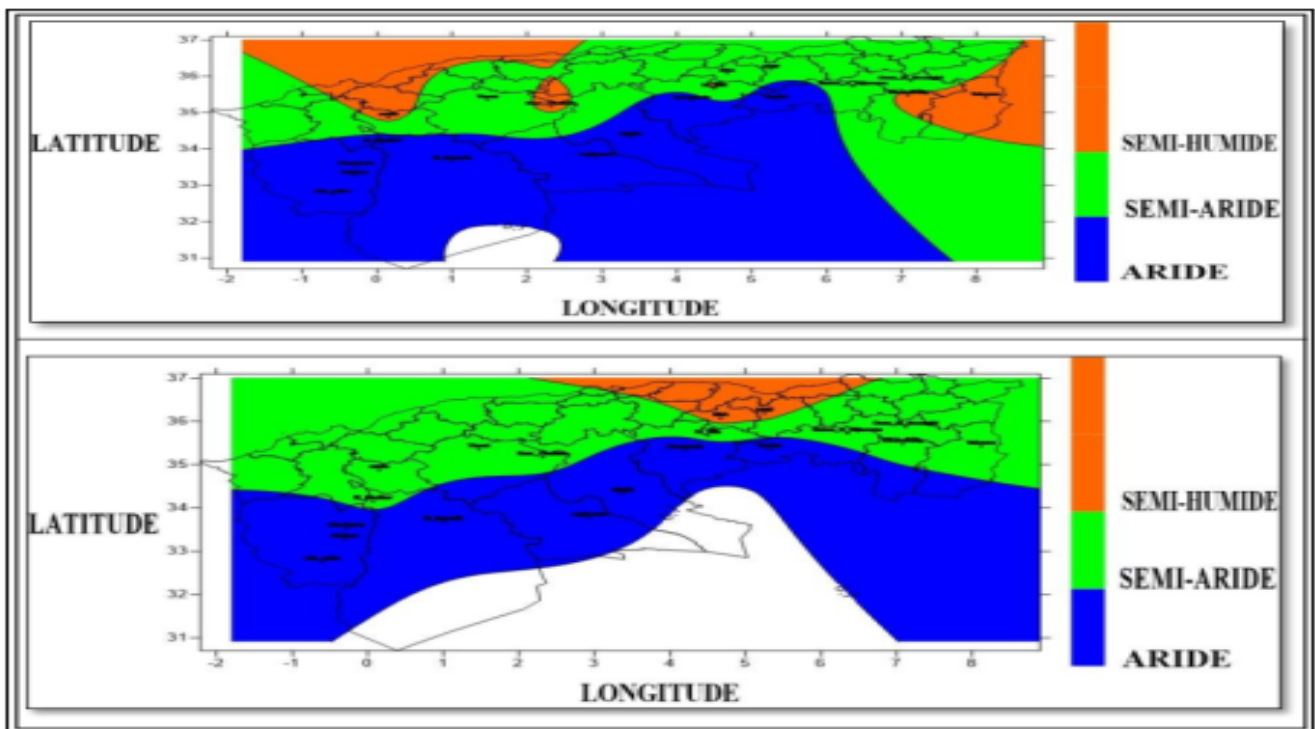


Figure 8. Cartes de la classification climatique selon les indices d'aridité des stations étudiées période (1981-2000) en haut et période (2001-2020) en bas.

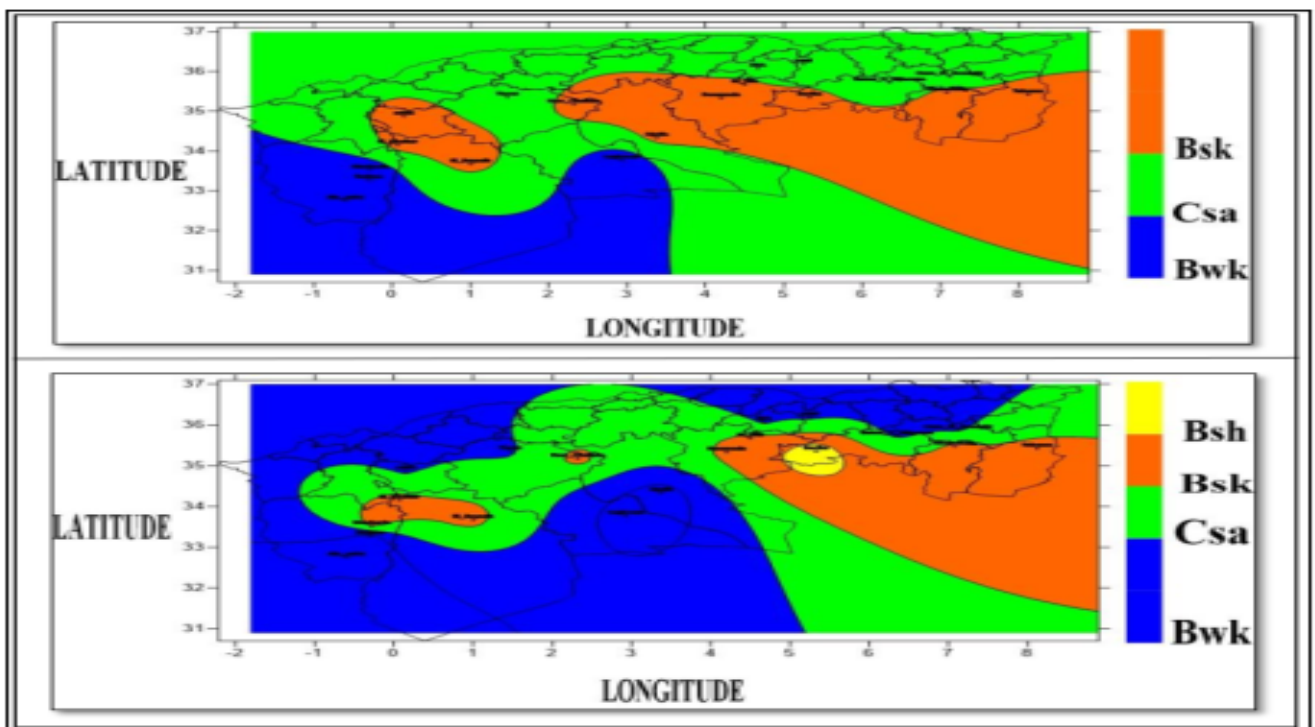


Figure 9. Classification climatique selon les indices de Koppen Geiger des stations étudiées. Période (1981-2000) en haut et Période (2001-2020) en bas.

References

- [1] GROUPE D'EXPERTS INTER GOUVERNEMENTAL. Le giec et le sixième cycle d'évaluation. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/05/2020-AC6_fr.pdf, pages 1–2, 2022.
- [2] DERRADJI Sarah HADJEM Afifa. Classification climatique de l'algerie. *Mémoire de fin d'études d'ingénieur d'état de la météorologie, IHFR Oran, juin 2016.*, pages 1–2, juin 2016.
- [3] Mohamed Abdelkader Benyettou and Abdellah Boulikha. Variations et tendances des températures et des précipitations journalières en algérie. *Mémoire Projet de Fin d'Etudes Master en Hydraulique Option: Eau Sol et Aménagement*, 2017.
- [4] RHISSA AG BILLAL. Etude de changement climatique au nord-est algérien. *Mémoire de Master*, 2018.
- [5] Abdelhafid Karim Farah. Changement climatique ou variabilité climatique dans l'est algérien. 2014.
- [6] Jeffrey W White, Gerrit Hoogenboom, Paul W Stackhouse Jr, and James M Hoell. Evaluation of nasa satellite- and assimilation model-derived long-term daily temperature data over the continental us. *agricultural and forest meteorology*, 148(10):1574–1584, 2008.
- [7] GROUPE D'EXPERTS INTER GOUVERNEMENTAL. Meteorological data overview. <https://power.larc.nasa.gov/docs/methodology/meteorology/>, pages 1–2, 2020.
- [8] Amar Rouabhi, Abdelmalek Laouar, Abdelhamid Mekhlouf, and Boubaker Dhehibi. What are the factors affecting no-till adoption in the farming system of sétif province in algeria? *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(6):636–641, 2018.

Le déficit d'eau en algérie du nord (cas de wilaya d'oran)

Khedim Amine ^{1*}

Abstract

La région d'Oran est considérée comme une région pauvre en ressources hydriques. Elle demeure ainsi malgré le recours à d'autres ressources d'eau régionales (l'adduction d'ouest et l'adduction d'est) et à des stations de dessalement d'eau de la mer et d'épuration des eaux usées qui produisent 540000m³ d'eau potable par jour mais avec un taux des fuites très important estimé à 143205m³/j selon les statistiques établies en 2020 par la direction de ressource d'eau de la wilaya d'Oran..

Le présent projet est dédié à l'étude des principales causes du déficit hydrique ainsi que l'estimation future des besoins en eau pour les différents secteurs de la wilaya d'Oran.

Les résultats obtenues dans cette étude montrent que cette région enregistrera un déficit d'eau dépassant 1,2 million m³/j d'ici l'année 2050. Ce déficit est dû principalement à l'étage bioclimatique semi-aride et la sécheresse qui a frappé cette région avec 21 années sèches durant la période (1982-2020), provoquant une baisse progressive des précipitations avec une diminution importante du taux de ruissellement des eaux de surface d'une part, d'autre part l'élargissement des terres irriguées et la croissance démographique entraînent des contraintes aiguës pour satisfaire les besoins en hausse de la population et les secteurs : économique, industriel et l'agriculture. Ce phénomène sera aussi accentué avec la problématique du changement climatique et donc contribuera au stress hydrique et la sécheresse qui risque d'affecter profondément le secteur de l'agriculture, l'exploitation des sols, les ressources en eau et tous les écosystèmes selon le 6-ème rapport du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat 'GIEC'.

Keywords

déficit d'eau, alimentation d'eau potable, les ressources conventionnelles, les ressources non conventionnelles, terre irriguée, besoin d'eau.

¹ Office national de la météorologie, Dar El Beida, Alger

*Correspondant: khedimamine9@gmail.com

Contents

1 Introduction:	2	4.3 Evolution de la demande d'eau des secteurs « domestiques et l'industrie » en fonction de la population	6
2 Méthodologie	2	4.4 Evolution de bilan de la mobilisation d'eau dans la wilaya d'Oran	6
2.1 La collecte des données	2	4.5 Le déficit d'eau de la wilaya d'Oran comparée à des wilayas limitrophes	6
2.2 Logiciels et le package utilisés	3	4.6 L'évolution de la demande en eau de secteur domestique et d'industrie de la wilaya d'Oran comparée à des wilayas limitrophes	7
3 Caractéristiques hydrauliques de la wilaya d'Oran	3	5 Estimation des besoins en eau de la wilaya d'Oran pour les années 2030-2040-2050	7
3.1 Ressources conventionnelles et non conventionnelles de la wilaya d'Oran	3	5.1 Estimation de la population	7
3.2 Situation actuelle de l'alimentation d'eau potable « AEP » de la Wilaya d'Oran	3	5.2 Estimation future des besoins d'eau	8
4 Résultats et discussion	3	5.3 Le débit journalier maximal	9
4.1 Variabilité des facteurs climatiques	3	5.4 Bilan hydraulique (Ressource-Besoin)	11
Evolution annuelle des températures moyennes et des cumuls des précipitations durant la période « 1982-2020 » • Quotient pluviométrique d'emberger • Indice standardisé des précipitations « SPI »		6 Conclusion	11
4.2 Evolution des terres agricoles utiles (S.A.U) irriguées de la wilaya d'Oran	6	References	11

1. Introduction:

L'eau est une source vitale, Elle est indissociable de tout développement socio-économique, car aucune société dans le monde ne peut aujourd'hui prétendre à une croissance, voire même à une survie sans qu'elle ne dispose en qualité et quantité suffisante de cette richesse naturelle. Pour cela l'eau constitue un enjeu majeur pour le développement durable, d'où selon l'ONU « L'eau est étroitement liée à la santé, l'agriculture, l'énergie et la biodiversité. Sans progrès dans le domaine de l'eau, il sera difficile voire impossible d'atteindre les autres objectifs pour le développement ». Au cours du 20^{ème} siècle, les activités humaines ont entraîné une dégradation croissante de cette richesse naturelle, au point où la capacité de réponse aux besoins des écosystèmes et des générations futures s'en trouve menacée. En parallèle, un grand nombre de besoins en eau demeurent toujours insatisfaits, malgré la multiplication des interventions visant à accroître la disponibilité de l'eau.

Le déficit d'eau est l'un des problèmes majeurs du monde d'aujourd'hui, c'est un phénomène à la fois naturel et d'origine humaine. Bien qu'il y ait suffisamment d'eau douce sur la planète pour la population mondiale, cette ressource est inégalement répartie dans le temps et dans l'espace et une grande partie d'eau est gaspillée, polluée et gérée de façon non durable.

La wilaya Oran, qui s'étend sur une superficie de 2144km², se trouve au bord de la rive sud du bassin méditerranéen situé au nord-ouest de l'Algérie, à 432km de la capitale d'Alger [1]. Elle possède un climat ayant une variabilité interannuelle assez importante, semi-aride avec un hiver froid, et sec et un été chaud. Les températures dans la région d'Oran varient en moyenne entre 5 à 15°C en hiver et de 15 à 30°C en été et les précipitations y sont irrégulières et atteindront en moyenne 450mm/an [2]. Cette région est confrontée à un déficit d'eau dû à la semi-aridité de son territoire, sa localisation géographique et l'augmentation de la population et les terres irriguées qui puisent les réserves d'eau disponible. Ce déficit est aussi dû aux faibles précipitations, à la sécheresse et au changement climatique, ainsi que les problèmes hydrauliques telles que manque de techniques de mobilisation d'eau pluviale, le mauvais recyclage de l'eau. et le mauvais recyclage de l'eau. Ces causes ont un impact négatif sur les ressources en eau qui peuvent entraîner une véritable crise d'eau à la wilaya d'Oran.

L'étude de la projections future du climat d'Oran selon le scénario A1B du GIEC dans le cadre de projet CIRCE 'Climate Change and Impact Research - the Mediterranean Environment' (2007-2010) en utilisant des sorties de modèles : INGV, ENEA, CNRM, IPSL et MPI, montre que cette région sera aride à l'horizon 2050. Durant la période 2021-2050, elle connaîtra un réchauffement significatif par rapport à la période 1961-1990 de l'ordre de 1.6°C pour les températures moyennes, 1.5°C pour les températures minimales et 1.8°C pour les températures maximales. Par contre, pour les précipitations, les modèles estimeront une diminution de

l'ordre de 13% sur les quantités annuelles[2]. Cela aura, par conséquent, un effet important sur l'envasement et l'évaporation des lacs des barrages ainsi que la diminution du ruissellement des eaux de surface et donc l'accentuation de déficit d'eau dans cette région.

L'objectif de l'étude porte sur le bilan ressource-besoin et a pour but d'évaluer la demande en eau dans la wilaya d'Oran. Elle est touchée plus que les autres wilayas de l'Ouest Algérien qui souffrent d'un déficit d'eau important. Nous présenterons en premier temps la variabilité du facteur climatique (Température et Précipitation) ainsi que l'évolution des terres irriguées et la démographie au sens propre, l'extension de l'espace urbain et l'accroissement des besoins en eau. Nous montrerons que ces facteurs pèsent lourd sur la disponibilité et la gestion de l'eau.

L'exemple de la wilaya d'Oran nous semble être l'exemple typique qui pourrait faire ressortir l'ensemble des problèmes entre les ressources et les besoins. Une question importante peut être posée : les quantités mobilisées sont-elles suffisantes et comment les prévisions en matière de population affectent-elles l'équilibre entre l'offre et la demande dans l'avenir ?

Cet article est organisé comme suit :

Dans la première partie, nous allons présenter un bref aperçu sur le déficit d'eau. Ensuite, nous allons définir notre zone d'étude qui est la wilaya d'Oran et ses caractéristiques hydrauliques et expliquer la méthodologie utilisée dans ce travail.

Dans la deuxième étape, nous allons interpréter les résultats obtenues. Enfin, nous terminerons par une conclusion générale.

2. Méthodologie

2.1 La collecte des données

Notre étude repose sur un recueil de données au niveau des différents organismes :

- Les données mensuelles et annuelles des précipitations et des températures moyennes de la station Es-Senia « Oran » durant la période « 1982-2020 ». Le choix des données de ce package est justifié par leur accessibilité sur une longue période (de 1981 à quelques mois en temps réel)[3], leur homogénéité (après les résultats obtenus via le test de Pettitt qui a montré que les p-values pour la température moyenne de l'air et les précipitations sont respectivement de 0.241 et 0.379, supérieures à qui est d'ordre de 0.05), ainsi que leur bonne qualité par rapport aux données des stations météorologiques automatiques[4].
- Les annuaires statistiques de la direction des services agricoles « D.S.A » des années 2000-2005-2010-2015-2020, pour consulter l'évolution des superficies d'agricoles utiles en irriguées qui influent sur la disponibilité d'eau.

- Les annuaires de la direction de la programmation et du suivi budgétaire de la wilaya d'Oran « D.P.S.B » accompagné par les annuaires Algériens des d'eau « A.D.E » de la wilaya d'Oran pendant les années 1995-2000-2005-2010-2015-2020. Afin de prévoir la croissance de la population accompagnée par la croissance de demande en d'eau domestique et d'industrie.
- Les Estimations futures des besoins d'eau en fonction de la population à partir des annuaire de la direction de la programmation et du suivie budgétaire de la Wilaya d'Oran « D.P.S.B » et de la direction des ressources d'eau « D.R.E » de l'année 2020 pour la wilaya d'Oran, ainsi que les formules de Office National des Statistiques « O.N.S » et la société de l'eau et d'assainissement d'Oran « SEOR ».

2.2 Logiciels et le package utilisés

Pour notre étude, nous avons utilisé le package **Nasa-power** de langage **R** pour traiter les données journalières des précipitations et des températures de la station Es-senia (Oran) durant la période « 1982-2020 » ainsi que le logiciel **XLSTAT** pour faire l'étude d'homogénéité de ces données via le test de Pettitt.

Le package « **Nasa-power** » de langage **R** est dédiée pour le programme de prédiction de ressource l'énergie mondiale (POWER) de la NASA. Ces dernières sont décrites par l'agence Américaine comme « Ensemble de données solaires et météorologiques issues de la recherche de la NASA pour soutenir les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique des bâtiments et les besoins agricoles ». Les données de ce package sont des données satellitaires traitées, basées sur les produits de modèle GMAO (Global Modeling and Assimilation Office) de Goddard ainsi que le modèle MERRA-2 (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Application). La résolution spatiale de l'ensemble des relevés est de $\frac{1}{2}^\circ \times \frac{1}{2}^\circ$ latitude-longitude, tandis que la résolution temporelle de ces derniers est de 1 jour, avec un retard de 2 jours sur le présent [3].

3. Caractéristiques hydrauliques de la wilaya d'Oran

3.1 Ressources conventionnelles et non conventionnelles de la wilaya d'Oran

La wilaya d'Oran ne possède aucun barrage. L'alimentation d'eau potable se fait par les eaux souterraines locales (source Ras Ain, puits et forages) et par les transferts régionaux (transfert M.A.O, Barrage de Tafna). Ainsi que par les stations de dessalement l'eau de la mer SDEM « Kahrama, les dunes, Bousfer, Mactaa et Chatt El Hillal », déminéralisation des eaux saumâtres « Brédéah », et les stations d'épuration des eaux usées (STEP Cap Falcon d'Ain Turck et STEP El Kerma) pour l'irrigation des terres agricoles de la wilaya [5].

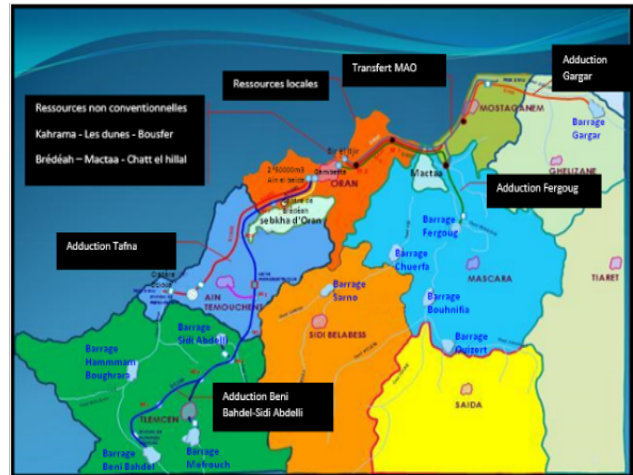


Figure 1. Les ressources conventionnelles et non conventionnelles de la wilaya d'Oran

3.2 Situation actuelle de l'alimentation d'eau potable « AEP » de la Wilaya d'Oran

Selon la direction des ressources en eau (D.R.E) de la Wilaya d'Oran en 2020 :

- La capacité de stockage d'eau dans la wilaya d'Oran est 774370 m^3 (volume des réservoirs, prise d'eau, bache d'eau, château d'eau de la wilaya)
- Les besoins en eau de la Wilaya d'Oran sont estimés à $493000 \text{ m}^3/j$ dont :
- $423000 \text{ m}^3/j$ pour les besoins domestiques calculé sur la base d'une dotation de 200 l/j/hab .
- $70000 \text{ m}^3/j$ pour les besoins d'industrie.

La production journalière pour l'alimentation d'eau potable (AEP) à partir des transferts d'Est et Ouest et les stations de dessalements est estimée $540000 \text{ m}^3/j$ dont :

- 64% à partir des ressources conventionnelles.
- 36% à partir des ressources non conventionnelles.

Les ressources locales de la wilaya d'Oran sont $253000 \text{ m}^3/j$ soit un taux de 46,85%. Tandis que les ressources hors wilaya sont $287000 \text{ m}^3/j$ soit un taux de 53,15%.

Le débit d'eau distribué est $145227064 \text{ m}^3/an$, soit $396795 \text{ m}^3/j$ [6].

4. Résultats et discussion

4.1 Variabilité des facteurs climatiques

Cette partie sert à étudier la variabilité annuelle des facteurs climatiques (Température et précipitations) qui influe sur les ressources en eau de la wilaya d'Oran durant la période 1982-2020. ainsi que le calcul des indices d'emberger et d'SPI pour déterminer respectivement l'étage bioclimatique et le nombre d'années de sécheresse qui a frappé la région d'Oran durant cette période.

Type de Ressource	Ressource	Localisation	Production d'eau (m ³ /j)	Volume alloué pour la wilaya d'Oran (m ³ /j)
Ressource locale	Station de dessalement La Mactaa	Daira de Bethioua	500000	175000
	Station de dessalement Karhama	Zone industrie d'Arzew	90000	54000
	Station de dessalement Bousfer	Daira Ain Turck	5500	450
	Station de dessalement Les Dunes	Daira Ain Turck	5000	550
	Station de déminéralisation Brédéah	Brédéah	24000	13000
	Ressources souterraines	/	27000	10000
Ressource hors Wilaya	Transfert MAO	Est de la Wilaya d'Oran	300000	155000
	Dzioua à partir de Transfert Tafna	Ouest de la Wilaya d'Oran	/	32000
	Station de dessalement Chatt El Hillal	Wilaya d'Ain Témouchent	200000	100000
Total				540000

Tableau 1: Situation de l'alimentation d'eau potable de la Wilaya d'Oran en 2020 (source: D.R.E d'Oran)

4.1.1 Evolution annuelle des températures moyennes et des cumuls des précipitations durant la période « 1982-2020 »

- Pour les températures moyennes annuelles :

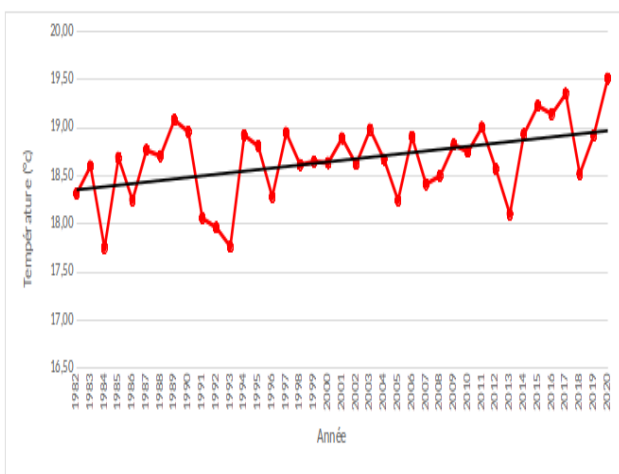


Figure 2. Evolution annuelle des températures moyennes de la wilaya d'Oran durant la période « 1982-2020 »

La figure 2 représente l'évolution des températures moyennes annuelles sur la période « 1982-2020 ». On remarque une augmentation de la température moyenne annuelle avec une moyenne de 18,66 °C sur cette période. On constate

aussi une variation de la température moyenne de 18,52°C à 19,51°C durant les cinq dernières années.

Les résultats de test de Mann-kendall (mentionnées dans le tableau 2) montrent l'existence de la tendance significative à la hausse.

- Pour les cumuls des précipitations annuelles:

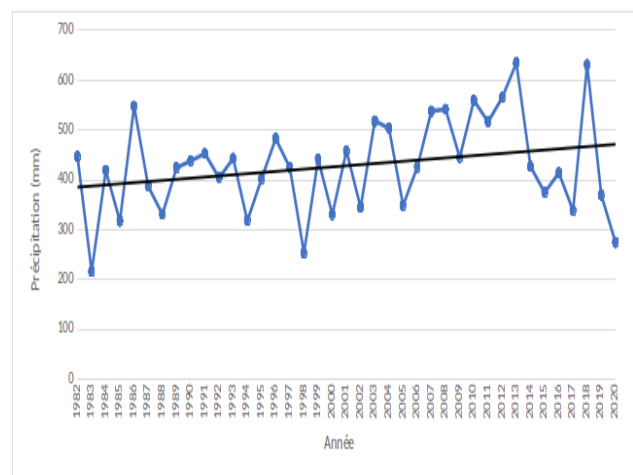


Figure 3. Evolution des cumuls des précipitations annuelles de la wilaya d'Oran durant la période 1982-2020

La figure 3 représente l'évolution annuelle des cumuls des précipitations sur la période « 1982-2020 ». La moyenne des

cumuls des précipitations sur la période d'étude est égale à 428.57mm. Mais on observe une grande variabilité entre les années, avec un minimum de 215.8mm en 1983 et un maximum de 635.31mm en 2013.

L'étude de l'évolution de la pluviométrie dans cette période montre que les années les plus sèches sont 1983, 1998 et 2020 avec des cumuls des précipitations respectivement 215.8mm, 253.29mm et 274.61mm. Tandis que les années les plus pluvieuses sont 2013 avec 635.31mm ainsi que 2018 avec 631.02mm.

Durant les cinq dernières années, on remarque la baisse des précipitations annuelle à l'exception de l'année 2018 avec une moyenne de 405,61mm en 5 ans.

Les résultats de test de Mann-kendall (mentionnés dans le tableau 2) montrent l'absence de la tendance significative.

• Les résultats de test de Mann-kendall :

Interprétation du test :

H_0 : Il n'y a pas de tendance dans la série.

H_a : Il existe une tendance dans la série.

Paramètres	p-value	Interprétation
L'évolution annuelle des températures moyennes	0,011	Étant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification $\alpha=0,05$, on doit rejeter l'hypothèse nulle H_0 , et retenir l'hypothèse alternative H_a .
L'évolution des cumuls des précipitations annuelles	0.105	Étant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 .

Tableau 2: Les résultats de test de Mann-Kendall

4.1.2 Quotient pluviométrique d'emberger

Le Quotient pluviométrique d'emberger appelé aussi coefficient pluviométrique qui est un indice bioclimatique basé sur la pluie et la température. Le calcul de ce quotient est nécessaire pour déterminer l'étage bioclimatique d'une région. Sa formule est :

$$Q_2 = \frac{2000 * P}{(M - m) * (M + m)} = \frac{2000 * P}{(M^2 - m^2)} \quad (1)$$

Donc, le Q_2 est déterminé par la combinaison des 3 principaux facteurs du climat :

- M : moyenne du maxima (températures maximales journalières) du mois le plus chaud en degré absolu °K.
- m : moyenne du minima (températures minimales journalières) du mois le plus froid en degré absolu °K.
- P : Moyenne des cumuls des précipitations annuelles en mm[7].
- Climagramme d'Emberger :

Le graphe 4 représente le climagramme d'emberger de la wilaya d'Oran pendant la période « 1982-2020 », intersection entre le quotient pluviométrique d'emberger « Q_2 »[7] qui est de 76.9 et la moyenne du minima du mois le plus froid « m » qui égale 10.69°C donne l'étage bioclimatique d'Oran qui est semi-aride avec hiver chaud.

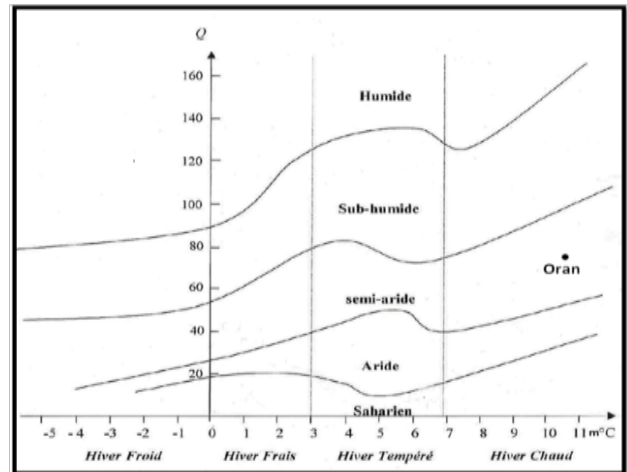


Figure 4. Climagramme d'emberger de la wilaya d'Oran durant la période « 1982-2020 »

- Variation annuel de l'étage bioclimatique de la wilaya d'Oran:

D'après l'étude de quotient d'emberger annuel, on peut conclure 3 différents étages bioclimatiques annuels dans la wilaya d'Oran qui sont représentés dans le tableau suivant: D'après le tableau 4, on peut constater trois différents étages bioclimatiques avec la domination de l'étage bioclimatique aride pendant la période 1982-2020. On constate aussi une variation importante durant les trois dernières années passant de sub-humide avec hiver chaud à aride avec hiver chaud.

4.1.3 Indice standardisé des précipitations « SPI »

L'indice standardisé des précipitations « SPI » est un indice permettant de mesurer la sécheresse météorologique. Cet indice est négatif pour les sécheresses, et positif pour les conditions humides. Sa formule est :

$$SPI = \frac{X_i - X_m}{S_i} \quad (2)$$

Avec :

X_i : cumul de la pluie pour une année i .

X_m : Moyenne des pluies annuelles observée sur la série d'étude.

S_i : Ecart-type des pluies annuelles observées sur la série d'étude.[8]

En appliquant la formule d'SPI sur la période d'étude, nous avons calculé et représenté cet indice dans la figure 5. On peut conclure que la sécheresse était modérée à forte durant les cinq dernières années à l'exception de l'année 2018.

Moyenne de cumul de précipitations annuelles P(mm)	Température				Quotient Pluviométrique d'emberger Q ₂
	Mois le plus froid	M(°c)	Mois le plus chaud	m(°c)	
428,57	Janvier	29,65	Aout	10,65	76,9

Tableau 3: Quotient pluviométrique d'Emberger de la wilaya d'Oran durant la période «1982-2020»

Année	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Total (ans)	
	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	
	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	
sub-humide avec hiver chaud																										*	*	*			*		4	
semi-aride avec hiver chaud	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	32
aride avec hiver chaud	*														*																*		3	

Tableau 4: Variation annuelle de l'étage bioclimatique de la région d'Oran durant la période « 1982-2020 »

Les années sèches et les années humides durant toutes la périodes en fonction de cet indice sont présentés dans le tableau 5[6] :

4.2 Evolution des terres agricoles utiles (S.A.U) irriguées de la wilaya d'Oran

La figure 6 représente l'évolution des superficies d'agricoles utiles (S.A.U) irriguées de la Wilaya d'Oran durant les années 2000, 2005, 2010, 2015 et 2020. On constate que les S.A.U irriguées ont triplé durant la période « 2000 à 2020 ». Elles ont atteint une superficie de 9827.01 hectares dans l'année 2020. Cela est due à l'utilisation de la superficie des terres irriguées afin d'augmenter le rendement agricole .

4.3 Evolution de la demande d'eau des secteurs « domestiques et l'industrie » en fonction de la population

Le tableau 6 représente la population de la wilaya d'Oran et les besoins d'eau des deux secteurs « domestique et industrie » pour les années 1995 à 2020..Durant cette période, les besoins d'eau passent de 188134m³/j à 493000m³/j dues à la croissance démographique importante qui atteint les 2112653hab en 2020.

4.4 Evolution de bilan de la mobilisation d'eau dans la wilaya d'Oran

Dans la table 7 nous représentons le bilan de la mobilisation d'eau dans la wilaya d'Oran en 1986, 1998 et 2020. On constate qu'en 1986, le total d'eau mobilisé dans cette région est de 168000 m³/j. Il passe à 540000 m³/j en 2020. Cette augmentation est due aux nouveaux transferts régionaux tels que le transfert Mostaganem-Arzew-Oran (MAO) et la station de dessalement d'eau de la mer Chatt El Hillal, ainsi

que le recours aux méthodes de dessalement d'eau de la mer et les eaux saumâtres dans la wilaya d'Oran.

4.5 Le déficit d'eau de la wilaya d'Oran comparée à des wilayas limitrophes

Nous avons aussi comparé les besoins et le déficit d'eau entre la wilaya d'Oran et les autres wilayas (Tlemcen, Ain Témouchent, Mascara) (Fig. 7). On constate que la wilaya d'Oran est la zone la plus déficitaire d'eau comparée avec autres Wilayas d'Ouest Algérien, avec un déficit d'eau atteint 186000m³/j à cause de la consommation très élevée qui est de 134000 m³/j et qui ne satisfait pas les besoins d'eau de la wilaya d'Oran.

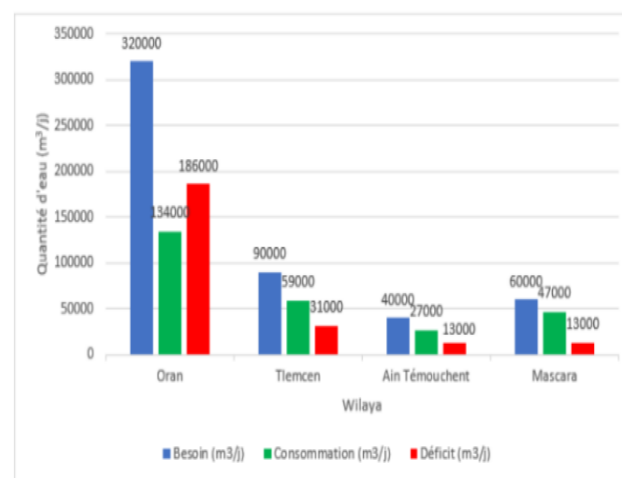


Figure 7. Besoins, consommations et déficits des wilayas Oran, Tlemcen, Ain Témouchent et Mascara (source: A.D.E d'Oran)

Degré de sécheresse	Nombre des années	Commentaire
Sécheresse extrême ($SPI < -2$)	1	21 années de sécheresse
Sécheresse forte ($-2 < SPI < -1$)	6	
Sécheresse modérée ($-1 < SPI < 0$)	14	
Humidité modérée ($0 < SPI < 1$)	11	18 années d'humidité
Humidité forte ($1 < SPI < 2$)	5	
Humidité extrême ($SPI > 2$)	2	
Total	39	39

Tableau 5: Le nombre d'années en fonction de degré de sécheresse de la wilaya d'Oran

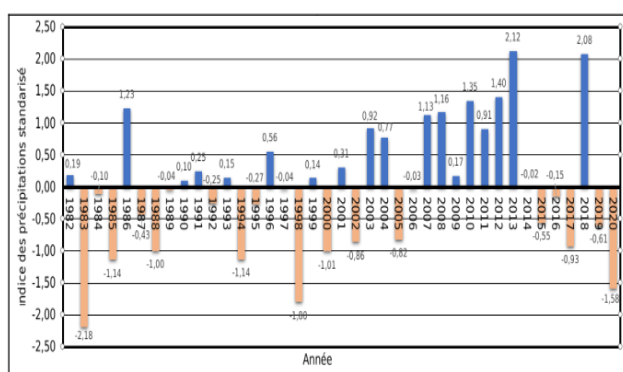


Figure 5. Variation annuelle de l'indice des précipitations standardisé de la wilaya d'Oran pendant la période « 1982-2020 »

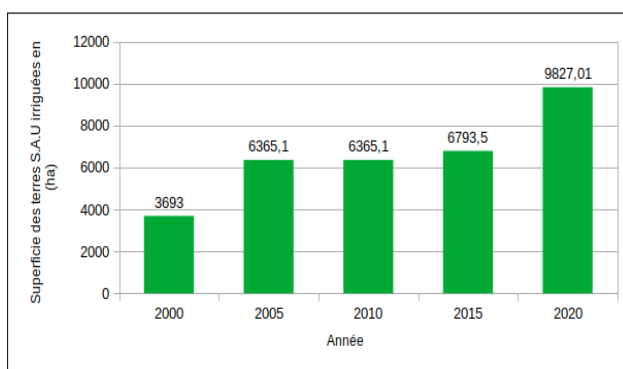


Figure 6. L'évolution des superficies d'agricoles utiles (S.A.U) irriguées de la wilaya d'Oran durant la période « 2000-2020 » (source: D.S.A d'Oran)

4.6 L'évolution de la demande en eau de secteur domestique et d'industrie de la wilaya d'Oran comparée à des wilayas limitrophes

De même nous avons comparé la demande en eau de la wilaya d'Oran par rapport à des wilayas limitrophes, Tlemcen, Ain Témouchent et Mascara (Fig. 8). On constate que les besoins en eau potable de la wilaya d'Oran sont les plus importants comparant aux wilayas (Tlemcen, Ain Témouchent, Mascara), elles ne cessent de croître durant

la période « 1995-2020 » et atteignent $493000 m^3/j$ en 2020. Cette augmentation est due principalement à la croissance démographique durant cette période.

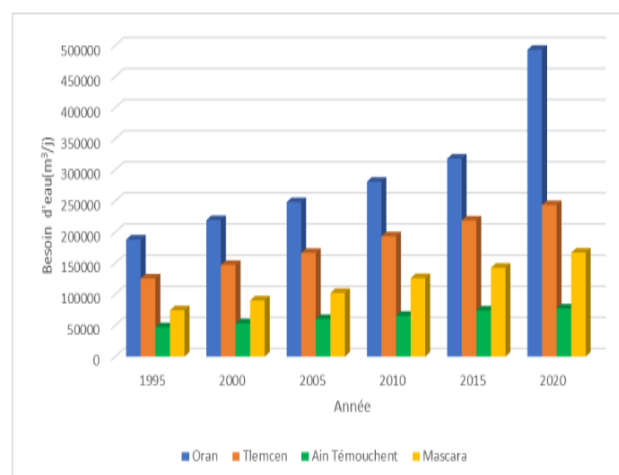


Figure 8. L'évolution des besoins d'eau domestique et d'industrie des Wilayas Oran, Tlemcen, Ain Témouchent et Mascara durant la période « 1995-2020 » (source :A.D.E d'Oran)

5. Estimation des besoins en eau de la wilaya d'Oran pour les années 2030-2040-2050

L'estimation future des besoins d'eau est calculée selon une méthode analytique basée sur la dotation et le calcul de population future pour évaluer les besoins d'eau domestique ainsi que les secteurs: « industriel, administratif et commercial », afin de prévoir un bilan hydraulique(ressource-besoin) de la wilaya dans les années 2030, 2040 et 2050.

5.1 Estimation de la population

La population de la wilaya d'Oran a été estimée à 2112653 habitants pour l'année 2020 selon La direction de la programmation et du suivi budgétaire de la Wilaya d'Oran « D.P.S.B ». Pour les années avenir, la population sera calculée par la relation suivante : (Source : Office National des Statistiques « O.N.S »).

Année	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Population en (Hab)	1138474	1272420	1500450	1619940	1875596	2112653
Besoins d'eau domestique et de l'industrie (m ³ /j)	188134	219308	248248	281007	318089	493000

Tableau 6: La population et les besoins d'eau domestique et d'industrie de la wilaya d'Oran pour les années 1995 à 2020 (source : A.D.E d'Oran et D.P.S.B d'Oran)»

Ressources	Année 1986 en (m ³ /j)	Année 1998 en (m ³ /j)	Année 2020 en (m ³ /j)
Beni Bahdel-Tafna	80000	68000	32000
Fergoug-Chélif	45000	52000	/
Transfert MAO	/	/	155000
Chatt El Hillal	/	/	100000
Brédéah (Oran)	35000	5000	13000
Ressources locales	8000	9000	240000
Total	168000	134000	540000

Tableau 7: Bilan de la mobilisation d'eau dans la wilaya d'Oran en année: 1986,1998 et 2020 (source : A.D.E d'Oran)

$$P_n = P_o * (1 + \tau)^n \quad (3)$$

avec :

- P_n : population future prise à l'horizon quelconque.
- P_o : population de l'année de référence 2020 (Dans la wilaya d'Oran = P_o 2112653 hab).
- accroissement annuel moyen . (Dans la wilaya d'Oran =1.9 %selon recensement de groupement par habitant « R.G.P.H »).
- n : nombres d'années séparant l'année de référence à l'horizon considéré. ($n=10$ ans pour notre étude).[9]

Le Tableau 8 représente l'estimation future de la population de la wilaya d'Oran pour les années 2030-2040-2050 calculée à partir de la population de l'année 2020 et le taux d'accroissement annuel moyen qui est de 1,9% selon RGPH. On constate une croissance démographique importante dans la région d'étude qui attend 3715811hab pour l'année 2050.

5.2 Estimation future des besoins d'eau

- a) Le débit moyen journalie Q_{moy*j} :

Le débit moyen journalier est le produit de la norme unitaire moyenne journalière, exprimé en mètre cube par jour. Il est calculé par la formule suivante:(Source : société de l'eau et d'assainissement d'Oran SEOR)

Année	Population (hab)
2020	2112653
2030	2550175
2040	3078306
2050	3715811

Tableau 8:Estimation future de la population de la wilaya d'Oran pour les années 2030-2040-2050

$$Q_{moy*j} = \frac{(N_i * Q_i)}{1000} \quad (4)$$

avec :

Q_{moy*j} : La débit moyen journalier (m³ /j)
 N_i : Nombre d'habitants à l'horizon donné.
 Q_i : débit de dotation (l/j/hab)

- b) **Besoins en eau par catégorie:**

b.1) Besoins domestiques : Pour notre étude, puisque la wilaya d'Oran est grande, les besoins domestiques seront estimés sur la base de la dotation de 200l/j/hab d'après la direction des ressources d'eau (D.R.E).Les résultats sont représentés dans le tableau 9.

- **b.2) Besoins d'industrie et d'équipements publics:**

Pour connaître les besoins futurs annuels de l'industrie ainsi que des équipements publics qui contiennent le secteur administratif et le secteur commercial, nous avons eu recours

Année	Population (hab)	Dotation (l/j/hab)	Q_{moy*j} (m ³ /j)
2020	2112653	200	422531
2030	2550175	200	510035
2040	3078306	200	615661
2050	3715811	200	743176

Tableau 9: Estimation future des besoins d'eau domestiques pour les année 2030-2040-2050)

Les secteurs	Domestique	Industrie	Commercial	Administratif
Volume facturé en 2020 (m ³)	58671209	14884689	3161404	8990246
Le coefficient α	1	0,254	0,054	0,153

Tableau 10: les volumes facturés des différents secteurs et le coefficient (source : SEOR d'Oran)

au calcul d'un coefficient de proportionnalité () [9] basé sur les volumes facturés des différents secteurs en 2020 calculés par la SEOR, afin d'estimer les besoins futurs d'eau de ces secteurs. Ce coefficient () est calculé par la formule ci-dessous : (source : SEOR)

$$\alpha = \frac{\text{Volume facturé annuel d'un secteur étudié}}{\text{Volume facturé annuel domestique}} \quad (5)$$

Les besoins d'un secteur sont calculés par la formule suivante: (Source : SEOR)

$$\text{besoin d'un secteur} = \alpha * \text{besoin domestique} \quad (6)$$

Les estimations future des besoins en d'eau des secteurs : d'industrie, commercial et administratif pour les années 2030, 2040 et 2050 sont données dans le tableau 11. On constate une constante augmentation de ces besoins pour atteindre en 2050 : 188766 m³/j pour l'industrie, 40132 m³/j pour le secteur commercial et 113706 m³/j pour le secteur administratif.

• b.3) Récapitulation des besoins en eau de la wilaya :

Le tableau 12 récapitule l'estimation des besoins des différents secteurs de la wilaya d'Oran pour les horizons 2030-2040-2050. On constate que le secteur domestique est le secteur le plus consommateur d'eau à cause de l'augmentation de la population dans les années avenir, les besoins d'eau de ce secteur passent de 422531 m³/j à 743176 m³/j durant la période « 2020-2050 ». Tandis que l'estimation future des besoins d'eau d'industrie et d'équipement publics montre que la variation est faible atteindront respectivement 188766 m³/j et 153838 m³/j pour l'année 2050, les besoins d'eau de ces deux secteurs représentent que 46.1% des besoins d'eau domestiques.

5.3 Le débit journalier maximal

Q_{max*j} Le débit maximal journalier est défini comme étant le débit de la journée de l'année où la consommation atteint un seuil maximal par rapport au débit moyen établi. Sa détermination nous permet de procéder au dimensionnement : des conduites d'adduction, de la station de pompage, du réservoir de stockage. Ce dernier est déterminé à partir de la formule suivante : (Source : SEOR)

$$Q_{max*j} = K_{max*j} * Q_{\tau * moy * j} \quad (7)$$

Avec :

Q_{max*j} : Le débit maximal journalier (m³/j).

$Q_{\tau * moy * j}$: Le débit total moyen journalier (m³/j).

K_{max*j} Le coefficient d'irrégularité journalière varie dans l'intervalle [1,1- 1,3]. [10]

Le débit journalier maximal majoré $Q_{max*maj}$ prend par considération la consommation maximale par jour et les pertes d'eau, il est calculé par la formule suivante : (Source : SEOR).

$$Q_{max*maj} = Q_{max*j} * (1 + P_{eau}) \quad (8)$$

Avec :

P_{eau} : la perte d'eau

$Q_{max*maj}$: débit journalier maximal majoré. [11]

Considérant une perte d'eau (P_{eau} =25% selon SEOR), cette perte est due à des raisons administratives et physiques tel que :

- Les prélèvements non comptabilisés de branchements domestiques (manque de compteurs) et Les prélèvements illégaux
- Les fuites et le mauvais raccordement dans le réseau d'approvisionnement.

Année	Besoin d'industrie (m ³ /j)	Besoin commercial (m ³ /j)	Besoin administratif (m ³ /j)
2020	107323	22817	64647
2030	129549	27542	78035
2040	156378	33246	94196
2050	188766	40132	113706

Tableau 11: Estimation future des besoins d'industrie et d'équipements publics pour les années 2030-2040-2050

Année	Population (hab)	Dotation (l/j/hab)	Besoin domestiques (m ³ /j)	Besoin d'industrie (m ³ /j)	Besoin d'équipement publics (m ³ /j)	Total des besoins en eau $Q_{t.moy.j}$ (m ³ /j)
2020	2112653	200	422531	107323	87464	617318
2030	2550175	200	510035	129549	105577	745161
2040	3078306	200	615661	156378	127442	899481
2050	3715811	200	743176	188766	153838	1085780

Tableau 12: Estimation future de la population et les besoins en eau de la wilaya d'Oran pour les années 2030-2040-2050

Année	Actuelle	Court terme	Moyen terme	Long terme
	2020	2030	2040	2050
$Q_{T.moy.j}$	617318	745161	899481	1085780
$K_{max.j}$	1.3			
$Q_{max.j}$	802513	968709	1169325	1411514
Perte d'eau	0.25			
$Q_{max.maj}$	1003141	1210886	1461656	1764392

Tableau 13: Le calcul des débits journaliers maximaux majorés durant la période « 2020-2050 »

Année	2020	2030	2040	2050
Les ressources disponibles (m ³ /j)	540000	540000	540000	540000
Les besoins (m ³ /j)	1003141	1210886	1461656	1764392
Bilan(m ³ /j)	-463141	-670886	-921656	-1224392
Remarque	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit
Taux de satisfaction (%)	53,83	44,59	36,94	30,60

Tableau 14: Bilan Hydraulique « ressource-besoin » et le taux de satisfaction de la wilaya d'Oran pour les années 2020 à 2050

- Joints défectueux des raccordements des tuyaux, conduites et robinetterie.[11]

5.4 Bilan hydraulique (Ressource-Besoin)

On procède à une comparaison entre les ressources et les besoins en eau pour savoir si les ressources de la région vont être suffisantes pour les années avenir [12]. Les ressources disponibles fournies sont $540000\text{ m}^3/\text{j}$ selon D.R.E d'Oran en 2020.

Le tableau 14 représente le diagramme de projection du bilan hydraulique « ressource-besoin » et le taux de satisfaction de la wilaya d'Oran pour les années 2030-2040-2050. On constate qu'il y a un déficit des ressources mobilisées avec une valeur atteindra les $1224392\text{ m}^3/\text{j}$ à l'horizon 2050, ainsi le taux de satisfaction passe de 53.83% à 30.60% durant la période « 2020-2050 ». Ce qui signifie que les ressources de la wilaya d'Oran seront insuffisantes pour les années avenir.

6. Conclusion

Ce travail avait pour objectif l'étude de déficit d'eau dans la wilaya d'Oran. Il a permis d'aborder deux questions importantes dans l'analyse :

La première concerne les causes de déficit d'eau dans la wilaya d'Oran qui sont :

L'étage bioclimatique de cette wilaya durant la période 1982-2020 est semi-aride avec hiver chaud selon indice d'Emberger. Ce climat est caractérisé par des précipitations qui sont dans certaines années insuffisantes pour y maintenir les cultures et où l'évaporation excède souvent les précipitations.

Une sécheresse qui a frappé cette région avec 21 années de sécheresse parmi 39 ans (1982-2020) d'après l'indice standardisé des précipitations « SPI », ses conséquences entraînent une baisse des précipitations accompagnée par une diminution importante du taux de ruissellement des eaux de surface.

L'augmentation des surfaces agricoles utiles (S.A.U) irrigués dans la wilaya qui sont passées de 3693 hectares à 9827 hectares durant la période «2000-2020» et donc l'augmentation des besoins d'eau dans le secteur d'agriculture.

La croissance démographique de la wilaya d'Oran qui passe à 2112653 habitants accompagnées par une augmentation des besoins d'eau de secteur domestique et d'industrie qui atteint $493000\text{ m}^3/\text{j}$ dans l'année 2020.

La seconde question de notre travail était dédiée pour l'estimation future des besoins d'eau afin de prévoir le bilan hydraulique(ressource-besoin) durant la période « 2020-2050 ». Les résultats montrent que le taux de satisfactions des besoins d'eau ne cesse que diminuée. Il passe de 53.83% à 30.60% durant cette période, avec un déficit dépassera 1.2 million m^3/j d'ici l'année 2050. Et donc on peut conclure que les ressources d'eau disponibles actuelles de la wilaya d'Oran sont et seront insuffisantes pour satisfaire les

besoins d'eau des générations futures, et donc cette région sera en situation de crise d'eau pour les années avenir.

Selon le 6^{ème} rapport du GIEC, Le réchauffement climatique se renforcera d'ici 2050 d'après tous les scénarios pris en considération. Il dépassera 1,5 °C voire 2 °C au cours du 21^{ème} siècle à échelle planétaire[13], ce qui contribuera à des sécheresses intenses avec un impact très négatif sur les ressources d'eau et l'écosystème ,à moins que des réductions importantes des émissions de CO et d'autres gaz à effet de serre n'interviennent au cours des prochaines décennies.

Pour finir, il ne reste qu'à souhaiter que les décideurs dans le domaine des ressources en eau, dans notre pays, révisent leurs objectifs de gestion en fonction des pratiques réelles des usagers des eaux pour une bonne gestion d'eau dans la wilaya d'Oran.

References

- [1] stratégique du groupement d'Oran. Institut océanographique. *océanographiqu*, pages 14–17.
- [2] Neil Ward. Sahabi abed salah. 2012.
- [3] methodology. <https://power.larc.nasa.gov/docs/method.2020/10/14>.
- [4] Jeffrey W White, Gerrit Hoogenboom, Paul W Wilkens, Paul W Stackhouse Jr, and James M Hoell. A comparison of satellite based, modeled derived daily solar radiation data with observed data for the continental us. Technical report, 2010.
- [5] Rachid BOUKLIA-HASSANE. *Contribution à la gestion de l'eau dans la ville d'Oran*. PhD thesis, USTO, 2011.
- [6] Direction des Ressource en d'Eau (D.R.E). La situation de l'alimentation d'eau potable de la wilaya d'oran en 2020. Technical report, 2020.
- [7] Université des Frères Mentouri Constantine. Adaptation de ficus retusa à la variabilité thermique dans la région de constantin. Technical report, 2018.
- [8] BVH N'GUESSAN, OGA YMS, YAPI AE, and KOUADIO BH. Caractérisation de la sécheresse météorologique dans la region de la marahoue (centre-ouest de la cote d'ivoire): apport de l'indice standardise de précipitation (spi). *Larhyss journal*, (33):41–50, 2018.
- [9] Bouketta Ayda and Belaib Ilham. *Contribution, à la prévision de la demande en eau en Algérie*. PhD thesis, Abdelhafid boussouf university Centre mila, 2020.
- [10] MELLAL-MAROC DE BENI. Recueil des resumes.
- [11] Kheira BENTAHAR. *Apport des sig et de la modélisation hydrologique à la gestion des ressources en eau*. PhD thesis, Université Mohamed Boudiaf des Sciences et de la Technologie-Mohamed Boudiaf....
- [12] ACHACHERA Wafaa. Gestion des ressources en eau dans le groupement urbain de tlemcen. Technical report, 2013.

Développement d'une Application de Contrôle des Messages TAFs (CMT)

Arezki TALATIZI ^{1*}, Belaid OUBELLIL ^{1*}

Supervisé et contrôlé par le chef de projet : Salah SAHABI ABED

Avec la contribution de Sid Ahmed HAMMADI et Sid Ali HAMADOUC.

Abstract

Une interface web permettant de contrôler les messages de prévisions d'aérodrome TAFs (Terminal Aerodrome Forecast) est présentée dans cet article. L'objectif de cette interface est de vérifier la pertinence et la fiabilité des prévisions à travers le calcul des scores des différents paramètres contenus dans les messages TAFs en les comparant aux observations. L'objectif de l'application de Contrôle des Messages Tafs (CMT) est d'offrir un outil convivial au service de prévision météorologique lui permettant d'évaluer d'une manière simple et rapide la qualité de ses prévisions d'aérodrome et d'élaborer ainsi des statistiques.

Keywords

Bases de données. Observation, TAFs, METAR, SPECI, Interface WEB, prévision, contrôle.

¹ Office national de la météorologie, Dar El Beida, Alger

*Correspondant: arezkitalatizi@yahoo.com, belaidoubellil@yahoo.fr

Contents

1 Introduction:	1
2 Caractéristiques générales de l'interface	1
3 La Réalisation	1
3.1 Page authentification	1

1. Introduction:

Les prévisions d'aérodrome (TAF) est un message décrivant les conditions prévues sur un aérodrome, dans un rayon de 8 kilomètres autour du point de référence, élaboré par le prévisionniste. Il a pour but d'informer les usagers de l'occurrence possible ou de la variation de certains phénomènes significatifs dans le secteur de l'aérodrome : le vent, la visibilité, le plafond nuageux et les temps présents significatifs. 2018) plusieurs exigences pour le contrôle et la vérification des messages météorologiques TAF sur plusieurs paramètres tels que la visibilité, la vitesse et la direction du vent. . . .

Pour répondre aux exigences du système de gestion de la qualité (SMQ) de (OACI) tous les pays membres ont commencé à développer leur propre logiciel pour vérifier les prévisions comme (AustroControl, Alliance MET, CMO TAF, MétéoSuisse, BoM et Hong Kong) Et Pour éviter la duplication des efforts dans le développement du logiciel de vérification on a opté pour l'utilisation de code réalséer par l'Observatoire de Hong Kong dans son logiciel de vérification TAF partager au registre d'échange de logiciels CBS (dans la catégorie "Système mondial de prévision et de traitement des données") de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) pour les Membres de l'OMM.

Le code de logiciel (VER_TAF) qui décode les éléments

météo- logiques prévus dans les TAF et les vérifie par rapport aux METAR et génère des scores selon l'exigence de précision souhaitable stipulée dans l'annexe 3 de l'OACI. On utilise comme back end dans notre application CMT.

2. Caractéristiques générales de l'interface

L'interface de Contrôle des Messages TAFs (CMT) est une interface WEB dédiée à faciliter le contrôle et la visualisation des données introduites dans le **calcul des scores** de la prévision par rapport à l'observation (La Direction du vent, la vitesse du vent, précipitations, Visibilités, couches nuageuses, et la hauteur des nuages), présenté sous forme des Diagrammes à barres et tableaux HTML.

Les scripts du calcul des scores sont basés sur l'application de contrôle TAF VERIFICATION SCHEME mise en œuvre par le service météorologique de Hong-Kong et reconnue par l'Organisation Météorologique Mondiale. Cette application utilise les données METAR et TAF téléchargées dans le serveur **FTP1 de l'ONM**.

Les données seront alors traitées et organisées avec un script pour faire ressortir à la fin des scores qui seront stockés dans une base de données PostgreSQL. L'interface CMT développée utilise des programmes codés en HTML et en JavaScript pour le Front-end et Django python pour le Back-end afin de présenter les scores dans la BDD sous forme de diagrammes à barres et des tableaux HTML ainsi que la possibilité d'exporter des fichiers en format Excel.

Voici ci-après le schéma de la base de données CMT.

3. La Réalisation

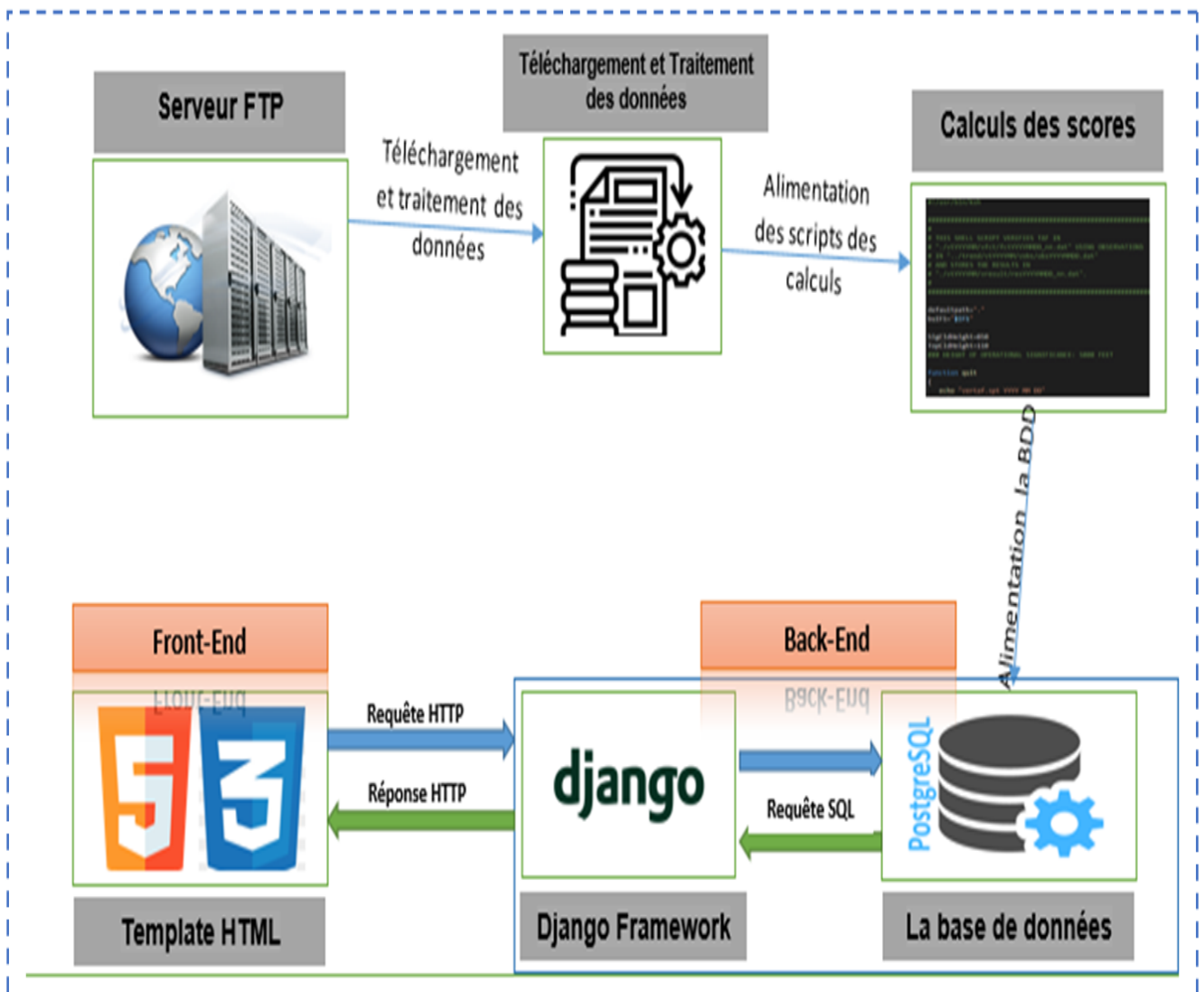


Figure 1. Schéma descriptif de l'architecture d'application CMT

Score_Heure	Score_Jour	Score_mois	Score_region
-station	-station	-station	-region
-date_station_sch	-date_station_sc	-mois_station_sc	-mois_region_sc
-valid_heure	-annees_sc	-mois	-mois
-heure_sc	-mois	-annee	-annee
-taf_messages	-jour	-dd_scm	-dd_scr
-dd_sch	-dd_sc	-Kt_scm	-Kt_scr
-kt_sch	-Kt_sc	Visi_scm	Visi_scr
-neb_nua_sch	-Visi_sc	Neb_nua_scm	Neb_nua_scr
-prec_sch	-Neb_nua_sc	-h_nuage_scm	-h_nuage_scr
-temp_sch	-h_nuage_sc	-prec_scm	-prec_scr
	-prec_sc	-temp_scm	-temp_scr
	-temp_sc		

Figure 2. Schéma de la Base de données CMT

AJOUTEZ VOS INFORMATIONS

Nom d'utilisateur

Username

Mot de passe:

Password

CONNEXION

Vous n'êtes pas inscrit? [S'inscrire](#)

Figure 3. Une image montrant l'interface Login

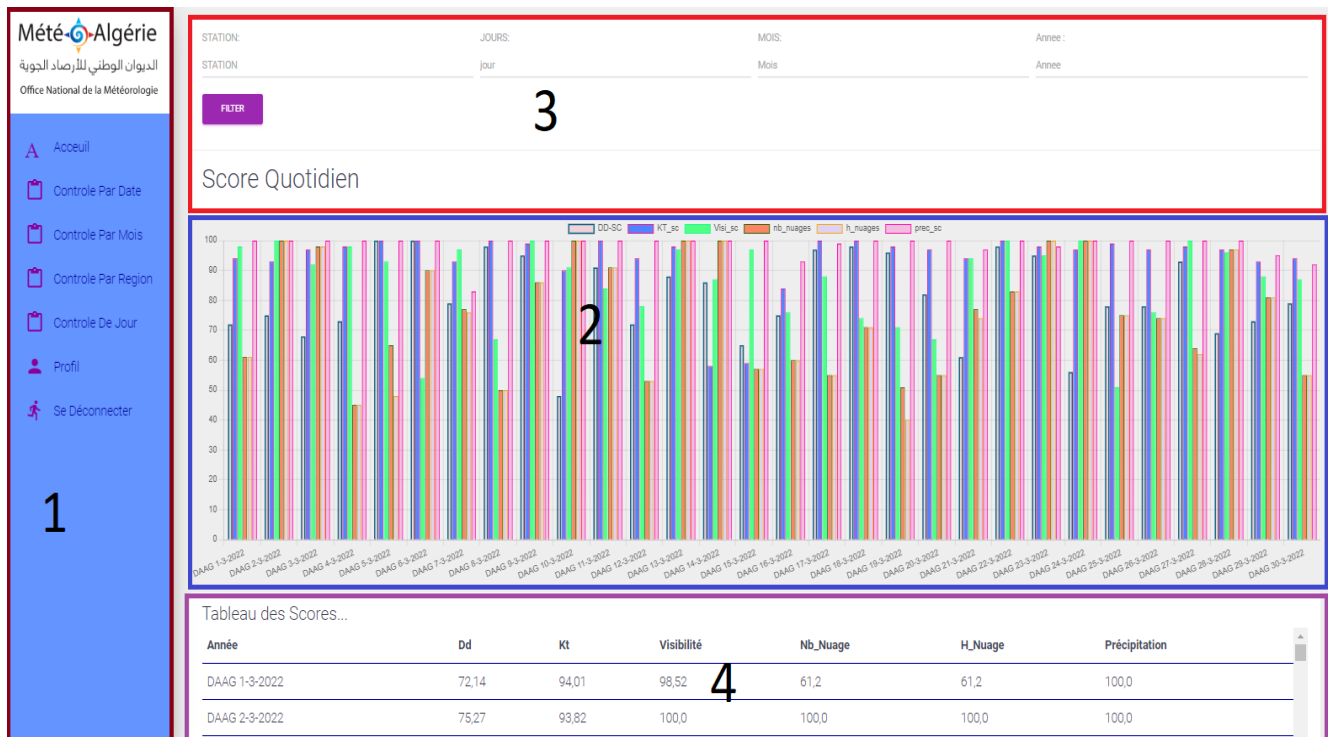


Figure 4. Une image montrant l'interface d'accueil contrôle par jour

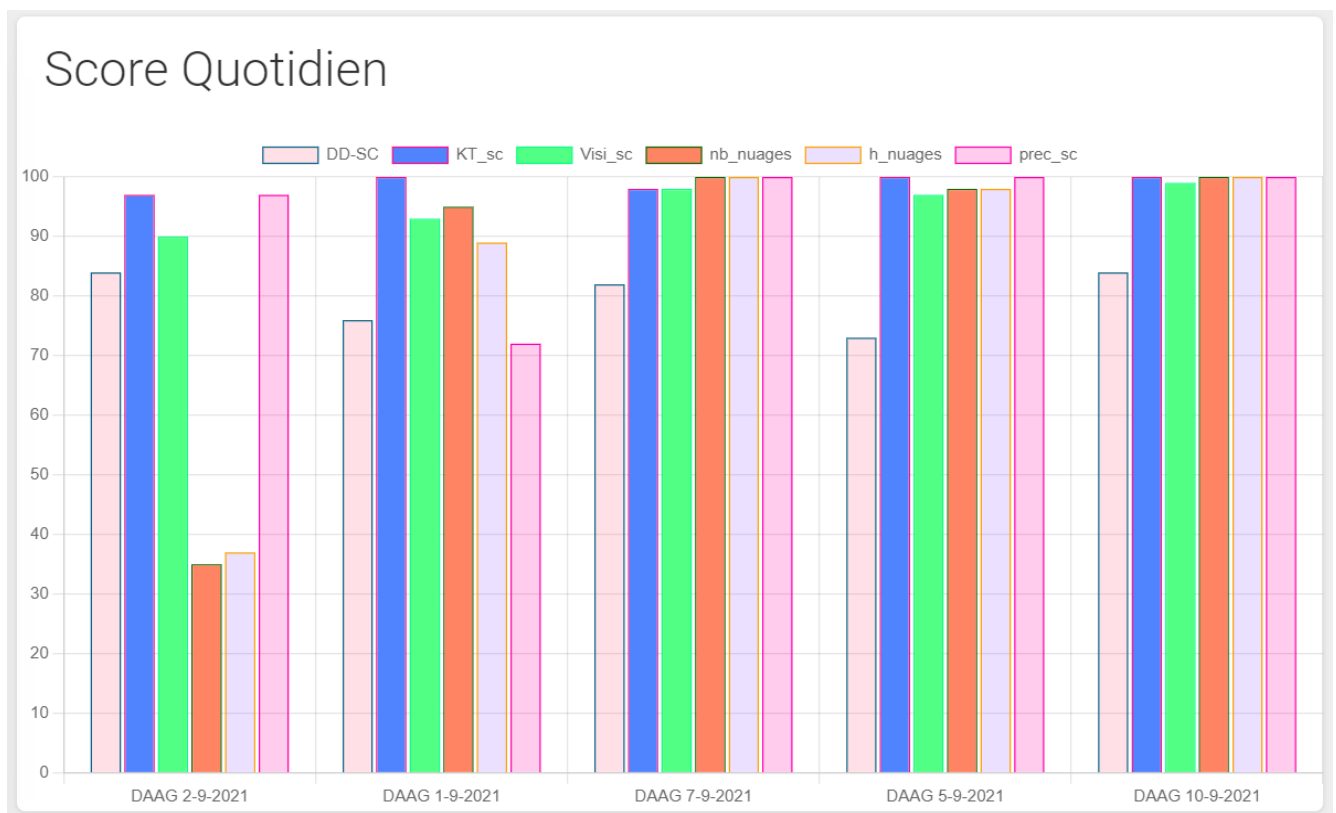


Figure 5. Une image montrant l'interface de contrôle par date.

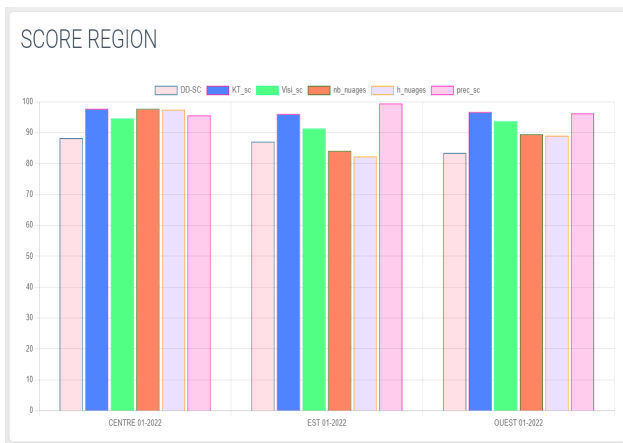


Figure 6. Une image montrant l'interface de contrôle par région

3.1 Page authentification

L'accès à l'interface de gestion nécessite une connexion via un système d'identification et de mot de passe.

3.2 La page d'Accueil :

Cette page présente des Scores quotidiens, avec un filtre de recherche.

Les scores sont affichés sous forme de diagramme des barres et un tableau html, avec un bouton pour exporter le fichier Excel.

3.3 Contrôle par Date

Cette page nous permet de voir les Scores d'une période de jours dans un mois bien défini. Il faut remplir le filtre dans la capture suivante : Station et le mois et la période. Pour choisir la période, ci-après un exemple dans la capture d'écran : Station : **DAAG**, MOIS : **09**, Jours : **01/02/05/07/10**.

3.4 Contrôle par région :

Cette page nous permet de voir les Scores par région avec un filtre pour choisir le mois et la région et l'année.

3.5 Contrôle par Message

Pour le contrôle par message, voici un exemple de cette page nous permettant de voir les Scores des messages de chaque jour par heure. Exemple : pour voir les scores de messages de 00:00, Station : **DAAG**, la date : **01/09/2021**. Dans le filtre : date_station_sch : **202109010000DAAG**.

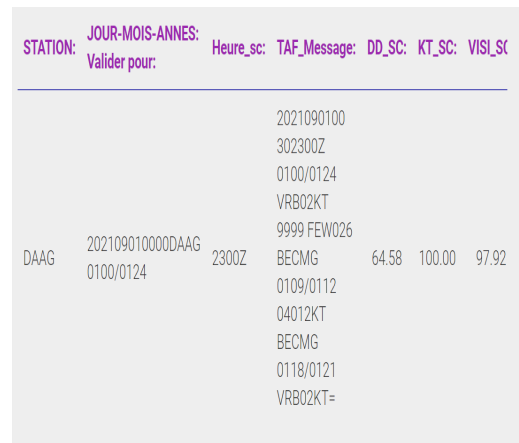


Figure 7. Une image montrant l'interface de contrôle par Message.

présente sous forme d'une application web qui permet une automatisation de la visualisation ainsi qu'une vérification des scores. Les scores générés se présentent sous forme des diagrammes à barres et des tableaux en format html avec des indications données par (mois, jour, date et région) avec la possibilité d'exporter ces scores sous forme d'un fichier Excel bien organisé. Cette application interactive présente également des filtres simples et précis et est également sécurisée.

L'objectif escompté de cette application est de faciliter et accélérer le travail du vérificateur et de minimiser par conséquent les erreurs humaines.

References

- [1] James Bennett. Practical Django Projects, Second Edition, 2009.
- [2] Daniel Charnay, Philippe Chaléat. HTML et Javascript, Eyrolles, pp.450, 1998, Best of Eyrolles, 2-212-11157-6.hal-00001356.
- [3] Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI). ANNEXE 3 : Assistance météorologique à la navigation aérienne internationale, ISBN 978-92-9265-609-6, 20ième édition, juillet 2018.
- [4] HONG_KONG_OBSERVATORY . https://www.academia.edu/11100348/HONG_KONG_OBSERVATORY_TAF_VERIFICATION_SCHEME .
- [5] . <https://www.postgresql.org>. Accessed:.

4. Conclusion

Après avoir décodé les programmes de l'application développée par le service météorologique de Hong Kong (HONG KONG OBSERVATORY TAF VERIFICATION SCHEME) et examiner son fonctionnement nous avons apporté des modifications visant à répondre aux critères utilisés en Algérie. Pour plus de convivialité, la nouvelle version élaborée se

