

Mété  Algérie
الديوان الوطني للأرصاد الجوية
Office National de la Météorologie



ISSN 3088-7925

Volume 5, juillet 2021

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

JOURNAL ALGÉRIEN DE MÉTÉOROLOGIE APPLIQUÉE

Volume 5 - Juillet 2021

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

Le numéro 5 de notre revue JAMA qui retrace le dynamisme de notre office et sa volonté à maintenir un standard élevé dans la recherche et la qualité, est paru cette année dans des circonstances très particulières imposées par la crise sanitaire du COVID-19, qui n'a pas tout de même empêché les jeunes talents de l'ONM à poursuivre leurs projets de développement et rédiger leurs articles illustrant le travail et les efforts consentis tout au long de cette période.



Cette revue continue à être réputée au sein de nos partenaires scientifiques et socio-économiques, pour être l'un des meilleurs moyens de communication de Météo Algérie afin d'élucider ses travaux de recherche/développement orientés vers les nouveaux services. Elle demeure néanmoins, une tribune pour exposer les aboutissements de nos ingénieurs et constitue par voie de conséquence un canal de communication et de partage d'informations avec les météorologistes nationaux et/ou étrangers, ainsi qu'avec la communauté scientifique activant dans le domaine des sciences de l'atmosphère en général.

Les sciences météorologiques et climatologiques progressent à un rythme rapide, et nous sommes, chaque fois, mieux à même d'en tirer concrètement profit pour répondre à la fois aux besoins croissants de notre société et en même temps d'intégrer les efforts de la communauté mondiale.

Conscient de cette réalité, l'office accorde de plus en plus une place privilégiée à la recherche scientifique. Cette dernière qui a comme but ultime l'amélioration continue et permanente de nos différentes prestations et de nos services offerts à la population, est devenue incontestablement depuis sa première parution, une source du dynamisme au sein de l'office et de sa capacité à se renouveler.

Dans cette approche proactive adoptée par MétéoAlgérie, ce numéro met en exergue les divers résultats atteints sur un vaste éventail de spécialités à savoir : la prévision numérique du temps, la climatologie, la modélisation marine et le développement des interfaces informatiques pour les besoins opérationnels de Météo Algérie. Pour permettre une meilleure diffusion à large échelle, les articles publiés dans ce numéro seront accessibles à partir du site internet de Météo Algérie (www.meteo.dz).

Enfin, à travers ce numéro, je réitère mon engagement personnel et celui de mes collaborateurs à contribuer de notre mieux au rayonnement et à l'avancement du secteur de la recherche et de développement au sein de MétéoAlgérie, et d'accompagner les techniciens fervents et dévoués qui s'emploient à mettre au point les nouveaux outils et les nouvelles technologies pour donner un élan supplémentaire à notre office . Bonne lecture

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

Sommaire des Articles

A. BAHLOULI	Tests de sensibilité du code radiatif ECRAD sur les températures dans le modèle ARPEGE	13	21
I. BOUSRI	Application du SPC pour le contrôle des METAR	22	27
I. BOUSRI	Validation d'une méthode d'imputation de manquantes pour la reconstitution des séries de température.	28	32
S. BAIKA	Mesure du rayonnement solaire au Sahara (Algérie)	33	40
H. HAMIDI	Étude de la variabilité des phénomènes de sable sur la région de Béchar du 1980 au 2019	41	48
A. TALATIZI	Développement d'un logiciel d'Observation des phénomènesMétéorologiques (OPM)	49	55
W. CHIKHI	Évaluation du paramètre « visibilité » manquantes pour la reconstitution des séries avec AROME au Cy46t1.bf.06	56	60
k. GASSI	Apport de la résolution horizontale à la qualité de la prévision des situations	61	71

Tests de sensibilité du code radiatif ECRAD sur les températures dans le modèle ARPEGE

Abdelhak BAHLOULI ^a

Abstract

Ce travail rentre dans le cadre des activités de recherche et développement inscrites dans le projet ALADIN. Il consiste à tester le nouveau schéma du code radiatif du Centre Européen ECRAD avec le solveur SPARTACUS dans le modèle ARPEGE. Les prévisions de températures obtenues sur huit (08) domaines régionaux, en utilisant ce nouveau schéma, ont été comparées aux températures simulées par ARPEGE couplé au schéma SRTM avec le solveur McICA. Les références utilisées dans le calcul des scores sont les analyses du modèle du centre européen, les radiosondages et la version ARPEGE opérationnelle.

Les scores calculés avec le nouveau schéma ECRAD montrent une nette amélioration de la prévision des températures par rapport à l'opérationnel.

Keywords

Schéma ECRAD, Solveur SPARTACUS, schéma radiatif

^aPrévision Numérique du Temp, Office national de la météorologie, Dar El Beida, Alger

*Correspondant: abdouzin403@gmail.com

Contents

Introduction	1
1 Présentation du schéma ECRAD :	2
1.1 Modules et options	2
1.2 Schémas du recouvrement nuageux dans ECRAD :	2
2 Résultats et discussions	3
2.1 Description des simulations	3
2.2 Analyse des résultats	3
3 Conclusion	4
References	4

Le rayonnement est considéré comme l'un des processus physiques les plus importants dans le système atmosphérique terrestre. En fait, il est le seul moyen par lequel le système Terre-atmosphère peut échanger de l'énergie avec le reste de l'univers. De ce fait, l'importance d'une représentation correcte de ce processus dans les modèles du climat ou de prévision numérique du temps vient de cette considération.

Le calcul des flux radiatifs dans les deux domaines de longueur d'onde, visible et infrarouge, s'effectue en utilisant les variables prévues de température, d'humidité, de nuage et la climatologie de différents types d'aérosols et les principaux gaz (CO₂, O₃, N₂O ...). Dans le système ARPEGE/IFS, le code de rayonnement est basé sur le modèle RRTM (Rapid Radiation Transfert Model : [1]). Les interactions nuage-radiation sont calculées dans ce système en utilisant les valeurs de la fraction nuageuse, la teneur en eau liquide, la glace et la neige via le schéma de McICA (Monte Carlo Independent Column Approximation : [2]). Ce schéma est introduit dans le système RRTM du modèle

de centre européen depuis le 5 juin 2007 à partir du cycle Cy32r2 ([2]).

Dans le modèle IFS, la résolution de l'équation de transfert radiatif est très coûteuse en termes de temps de calcul, en raison de l'intégration de cette équation sur les 112 intervalles spectraux pour le domaine visible et 140 intervalles spectraux pour le domaine infrarouge. Des réductions de ce temps ont été obtenues, selon la configuration du modèle, en utilisant une grille réduite ou/et en déminant la fréquence d'appel au code radiatif dans le modèle. Le

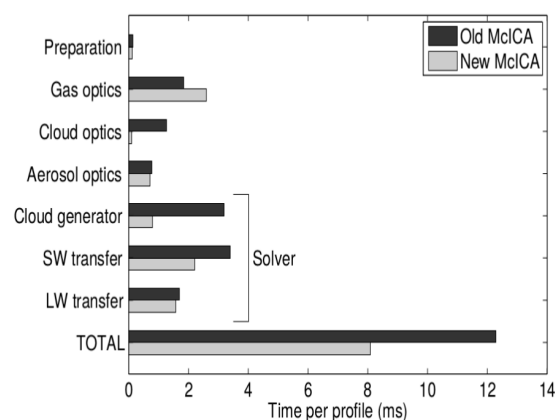
tableau 1 montre le coût de calcul du schéma radiatif McRad-RRTM avec différentes grilles horizontales et une fréquence d'appel horaire pour une configuration du modèle avec une troncature de TL799 et 91 niveaux verticaux.

Un nouveau schéma de rayonnement plus flexible ECRAD est introduit au modèle du centre européen depuis le cycle 43r3 en 2017. Sa flexibilité permet d'activer ou de désactiver les différents composants de ce schéma plus facilement et de basculer entre les différents solveurs, d'une manière indépendante, pour représenter les processus non capturés dans le schéma précédent, tel que la diffusion des ondes longues (Costa et Shine, 2006) et le transport 3D du rayonnement à travers les parois des nuages (Hogan et al., 2006). Ce qui n'est pas le cas dans le schéma précédent. Du point de vue informatique, la technique d'échantillonnage spectrale introduite au schéma RRTM par Bozzo et al. (2014), permet des appels plus fréquents au code radiatif, ce qui améliore largement la qualité de la prévision notamment après l'introduction de la solution de Hogan et Bozzo (2015) aux problèmes d'erreurs côtières.

La figure 1 montre le temps de calcul moyen obtenu par le nouveau schéma par rapport à l'ancien schéma.

Ces avantages ont encouragé Météo France à adapter ce nouveau schéma à son système de prévision basé sur

Figure 1. Temps de calcul moyen obtenu par le nouveau schéma New McICA par rapport à l'ancien schéma Old McICA.



ARPEGE. Le travail de codage est déjà effectué au niveau du GMAP. Dans ce travail, nous allons nous focaliser aux tests de sensibilité de ce schéma sur les températures dans le modèle ARPEGE. Nous avons utilisé pour réaliser ces tests le solveur SPARTACUS (Speedy Algorithm for Radiative Transfer through Cloud Sides) avec un schéma de recouvrement nuageux EXP-RAN.

1. Présentation du schéma ECRAD :

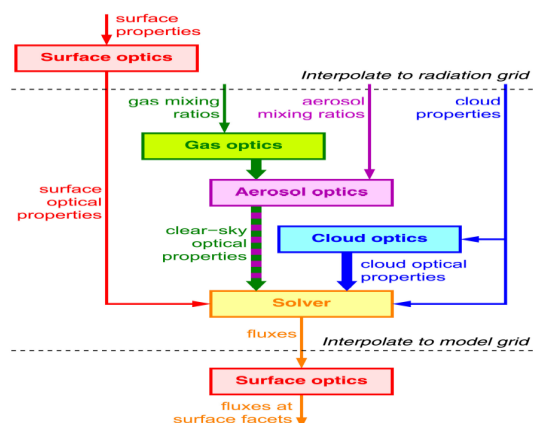
ECRAD est un nouveau schéma radiatif entièrement modulaire et très flexible. Il est disponible gratuitement en version Offline URL et également comme partie du code OpenIFS à partir du cycle 43r3. Il est également disponible dans la suite ARP-IFS à partir du cycle cy44, mais n'est pas encore utilisé de manière opérationnelle. ECRAD est plus un module de transfert radiatif qu'un schéma radiatif. En effet, il dispose de toute une gamme d'options, lui permettant d'une part de reproduire au plus près les paramétrisations antérieures (SRTM et RRTM), en les remplaçant avantageusement grâce à de meilleures performances (30% de gain en coût de calcul en moins pour IFS : SRTM-ECRAD) (bien qu'une reproductibilité exacte ne soit pas possible). D'autre part, il donne accès à différentes options supplémentaires. ECRAD est composé de cinq composantes largement indépendantes (figure 2).

Modules et options

ECRAD est constitué de cinq modules pratiquement indépendants. Chacun de ces modules peut être paramétré indépendamment des autres. Ceci est un des progrès majeurs effectués par rapport à l'existant.

- **Optique des gaz :** Ce module calcule l'absorption et la diffusion du gaz dans chaque intervalle spectral et dicte la résolution spectrale, qui est l'un des principaux facteurs déterminant le coût de calcul de l'ensemble du schéma.

Figure 2. Schéma illustrant les cinq modules du schéma ECRAD



- **Optique des aérosols :** Ce module prend en charge la contribution des différents aérosols aux propriétés optiques en ciel clair. Le nombre d'espèces d'aérosols et leurs propriétés optiques sont configurables à l'exécution du modèle.
- **Optique des nuages :** En plus de paramétrisations disponibles dans le schéma McRAD, ECRAD utilise pour les nuages liquides la paramétrisation utilisée par le centre UKMET Office. Pour les nuages de glace, le schéma Fu (Fu, 1996) est toujours utilisé.
- **Solveur :** Ce module tient compte de la fraction nuageuse pour fusionner les propriétés optiques de ciel clair et nuageux, de l'hétérogénéité et du chevauchement, et du calcul pour chaque intervalle spectral le profil des flux de rayonnement. Un seul solveur disponible dans l'ancien schéma (McICA sans la diffusion dans l'intervalle infrarouge) par contre pour le schéma ECRAD, trois solveurs sont disponibles : McICA-Améliorée avec possibilité de prise en compte de la diffusion dans l'intervalle infrarouge, les solveurs Tripleclouds et SPARTACUS.

Optique de la surface : Ce module est destiné à représenter l'interaction radiative avec des surfaces complexes, telles que les zones urbaines et les forêts (Hogan et al., 2018).

Schémas du recouvrement nuageux dans ECRAD :

La représentation du schéma du recouvrement nuageux dans les modèles de prévision numérique est essentielle pour leurs calculs de transfert radiatif. Le recouvrement des nuages est généralement défini en termes de trois hypothèses de base : maximum, aléatoire ou minimum. Actuellement, trois schémas de recouvrement nuageux sont disponibles dans le schéma radiatif de modèle de CEP : schéma Max-Ran, schéma Exp-Exp et schéma Exp-Ran. Dans notre travail, le calcul des flux radiatifs est effectué en utilisant le solveur SPARTACUS. Ce solveur est un algorithme rapide

Table 1. Valeurs des coefficients A, B, C et D pour le cas d'un seuil de 1 mm.

Configuration	Résul Dyn	Résol Rad	Fréq d'appel	Coût%Rad	Rapport
$T_L799L91$					
Ref31R2	799	399	1	7.3	1.000
McRad	799	511	1	36.4	1.456
	799	399	1	26.5	1.262
	799	319	1	19.2	1.147
	799	255	1	13.8	1.076
	799	159	1	6.7	0.994
	799	95	1	3.4	0.960

Table 2. Principales options disponibles dans ECRAD

Optique des gaz	RRTM-G [1]
Optique des nuages liquides	SLINGO [3]
	Lindner et Lee [4]
	SOCRATES
Optique des nuages de glace	FU [5]
	FU et al [6]
	Baran et al [7]
Solveur (SW/LWindépendants)	McICA [8]
	TripleCloude [9]
	SPARTACUS [10]
Schémas de recouvrement nuageux	EXP-EXP
	EXP -RAN
	MAX-RAN

de transfert radiatif à travers les parois du nuages [10]. Il s'agit d'une méthode permettant de traiter efficacement les effets radiatifs 3D associés aux nuages en comptabilisant les flux traversant les parois latérales des colonnes nuageuses. SPARTACUS fonctionne avec le schéma de recouvrement nuageux Exp-Ran[10]. Ce schéma de recouvrement mixte introduit avec à ECRAD permet de palier au recouvrement insuffisant des couches nuageuses non adjacentes [9].

2. Résultats et discussions

Description des simulations

Les tests de sensibilité ont été réalisés en utilisant deux versions du modèle ARPEGE. La première version est basée sur le cycle Cy46t1 (P7KIE) avec l'activation du schéma ECRAD et le solveur SPARTACUS. La deuxième version est basée sur le cycle Cy43 (P7KHB) qui fonctionne avec le schéma SRTM sans l'activation de ECRAD. Les scores calculés avec ces deux configurations ont été ensuite comparés par rapport à l'opérationnel (AP) qui est basé sur le cycle cy43t2. La référence utilisée pour le calcul de ces scores pour les deux configurations (P7KIE et P7KHB) est : l'analyse du modèle de centre européen (AC) et les mesures de radiosondage (TP). La période des tests couvre la période allant du 03 novembre 2019 jusqu'au 13 novembre 2019. Les scores calculés ont été moyennés sur les domaines géographiques ci-dessous :

NORD20 : Lat 20°N - 90°N

SUD20 : Lat 20°S - 90°S

TROPIQUE : Lat 20°S - 20°N

EUROPE : Europe

AMNORD : Amérique du nord

ASIE : l'Asie

AUS-NZ : Australie et New Zealand

EURATL : Europe-Atlantique

Le schéma ECRAD est activé dans ARPEGE via les deux blocs de namelists :

&NAERAD

LUSEPRE2017RAD=.FALSE.,

LSRTM=.TRUE.,

&RADIATION

lw_solver_name='SPARTACUS',

Les simulations ont été réalisées sur la machine de Météo France.

Analyse des résultats

Les cartes représentées dans les figures 3, 4, 5 et 6 montrent les différences entre les scores ARPEGE obtenus avec les deux expériences (P7KIE et P7KHB) et l'opérationnel (PA). Ces scores sont calculés par rapport aux références CEP (AC) et radiosondage (TP). Pour ces figures, la colonne de gauche représente l'erreur quadratique moyenne, celle de milieu c'est l'écart-type et à droite matérialise les biais ($E_{qm}(PA/AC) - E_{qm}(P7KIE/AC)$, $E_{ct}(PA/AC) - E_{ct}(P7KIE/AC)$ et $Biais(PA/AC) - Biais(P7KIE/AC)$).

Généralement, on regarde plutôt les grands domaines géographiques, parce que dans le cas d'une courte expérience, en terme de nombre de simulation et en terme de confiance statistique, c'est plus difficile à interpréter les scores sur les petits domaines. De ce fait, on analyse les résultats obtenus sur les grands domaines précités où les scores sont plus stables. Il est à noter que quand les isolignes sont rouges ça veut dire que les résultats sont dégradés par rapport à l'opérationnel et lorsqu'elles sont en couleur bleu, cela veut dire qu'il y a de l'amélioration. Pour faciliter l'interprétation, nous avons synthétisé ces résultats sous forme de tableau (tableau 4 et 5).

La comparaison par rapport à l'analyse du modèle CEP

Table 3. Noms des simulations réalisées

Versions	Expériences	Schéma	Période	Coût de calcul
ARPEGE (cy46t1)	P7KIE	ECRAD + SPARTACUS	03/11/2019 au	02:15:19
ARPEGE (cy43t2)	P7KHB	SRTM	13/11/2019	02:01:53
Réf CEP	AC			
Réf ARPEGE	PA			
Réf Radio Sond.	TP			

montre une amélioration des scores avec le schéma ECRAD-SPARTACUS au-dessus des cinq domaines suivants : EU-RATL, AUROPE, AMNORD, ASIE et NORD20. Par contre, une dégradation des scores, avec cette configuration, est enregistrée au-dessus du domaine SUD20.

Par rapport aux observations de radiosondage, la comparaison montre une nette amélioration des scores pour le schéma ECRAD-SPARTACUS pour la plupart des domaines.

3. Conclusion

Le Comportement du schéma ECRAD avec le solveur SPARTACUS pour les températures est similaire au comportement du schéma SRTM avec le solveur McICA. Cependant, lorsqu'on s'éloigne un peu du point de départ, on retrouve toujours des biais chauds dans les basses couches mais plus faibles par rapport au schéma SRTM-McICA. Dans les couches supérieures, une nette amélioration des biais froids est repérée pour le schéma ECRAD.

En terme du temps de calcul, le branchement d'ECRAD-SPARTACUS coûte 14 mn de plus par rapport au schéma SRTM, ce qui est loin de l'objectif visé. Ceci est dû à la manière dans laquelle ce schéma est branché dans ARPEGE. Un travail d'optimisation du code est nécessaire pour réduire ce coût de calcul supplémentaire. Une étude approfondie sur le module ECRAD avec SPARTACUS est recommandée pour tester les différents schémas du recouvrement nuageux avec le solveur SPARTACUS.

References

- [1] Eli J Mlawer, Steven J Taubman, Patrick D Brown, Michael J Iacono, and Shepard A Clough. Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: Rrtm, a validated correlated-k model for the longwave. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14):16663–16682, 1997.
- [2] JJ Morcrette, Howard W Barker, JNS Cole, Michael J Iacono, and Robert Pincus. Impact of a new radiation package, mcrad, in the ecmwf integrated forecasting system. *Monthly weather review*, 136(12):4773–4798, 2008.
- [3] A Slingo. A gcm parameterization for the shortwave radiative properties of water clouds. *Journal of Atmospheric Sciences*, 46(10):1419–1427, 1989.
- [4] TH Lindner and J Li. Parameterization of the optical properties for water clouds in the infrared. *Journal of Climate*, 13(10):1797–1805, 2000.
- [5] Qiang Fu. An accurate parameterization of the solar radiative properties of cirrus clouds for climate models. *Journal of Climate*, 9(9):2058–2082, 1996.
- [6] Qiang Fu, Ping Yang, and WB Sun. An accurate parameterization of the infrared radiative properties of cirrus clouds for climate models. *Journal of climate*, 11(9):2223–2237, 1998.
- [7] Anthony J Baran, Peter Hill, Kalli Furtado, Paul Field, and James Manners. A coupled cloud physics–radiation parameterization of the bulk optical properties of cirrus and its impact on the met office unified model global atmosphere 5.0 configuration. *Journal of Climate*, 27(20):7725–7752, 2014.
- [8] Robert Pincus, Howard W Barker, and Jean-Jacques Morcrette. A fast, flexible, approximate technique for computing radiative transfer in inhomogeneous cloud fields. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D13), 2003.
- [9] Jonathan KP Shonk and Robin J Hogan. Tripleclouds: An efficient method for representing horizontal cloud inhomogeneity in 1d radiation schemes by using three regions at each height. *Journal of Climate*, 21(11):2352–2370, 2008.
- [10] Sophia AK Schäfer, Robin J Hogan, Carolin Klinger, J Christine Chiu, and Bernhard Mayer. Representing 3-d cloud radiation effects in two-stream schemes: 1. longwave considerations and effective cloud edge length. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(14):8567–8582, 2016.

TEMPERATURE:PA.r 00/AC(Ref)–P7KHB.r 00/AC(Exp)
(.0500 K)

11 simulations (500hPa) de 102 h du 20191103 au 20191117

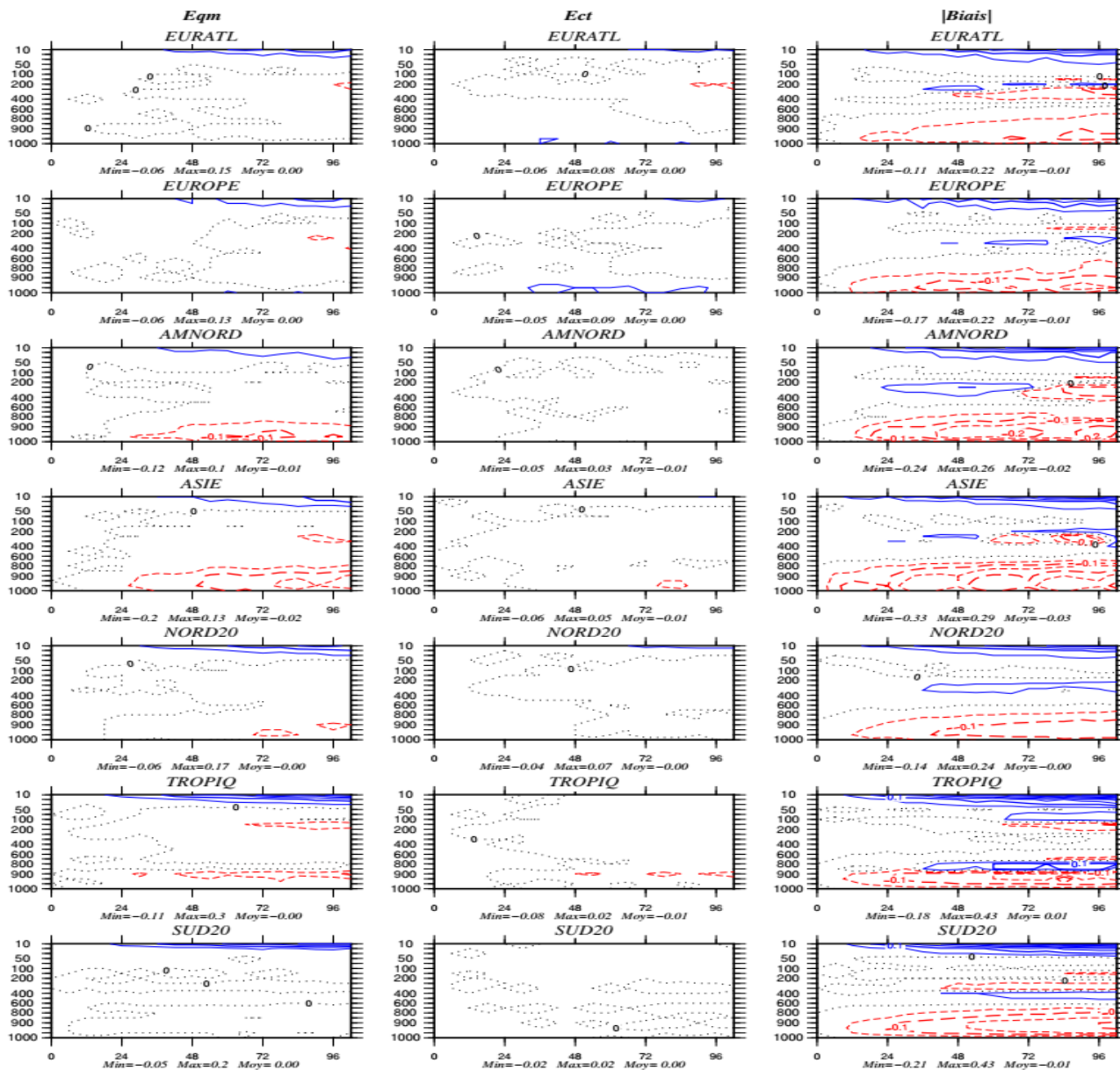


Figure 3. Différences des scores obtenues par P7KHB par rapport à la version opérationnelle d'ARPEGE (PA). La référence est fournie par l'analyse du Centre Européen (AC). Tous les scores sont calculés pour la température: biais (droite), écart-type (centre) et erreur quadratique moyenne (gauche) pour différents domaines géographiques : NORD20, SUD20 et TROPIQUE. Les isolignes bleues correspondent à une amélioration et les rouges à une dégradation.

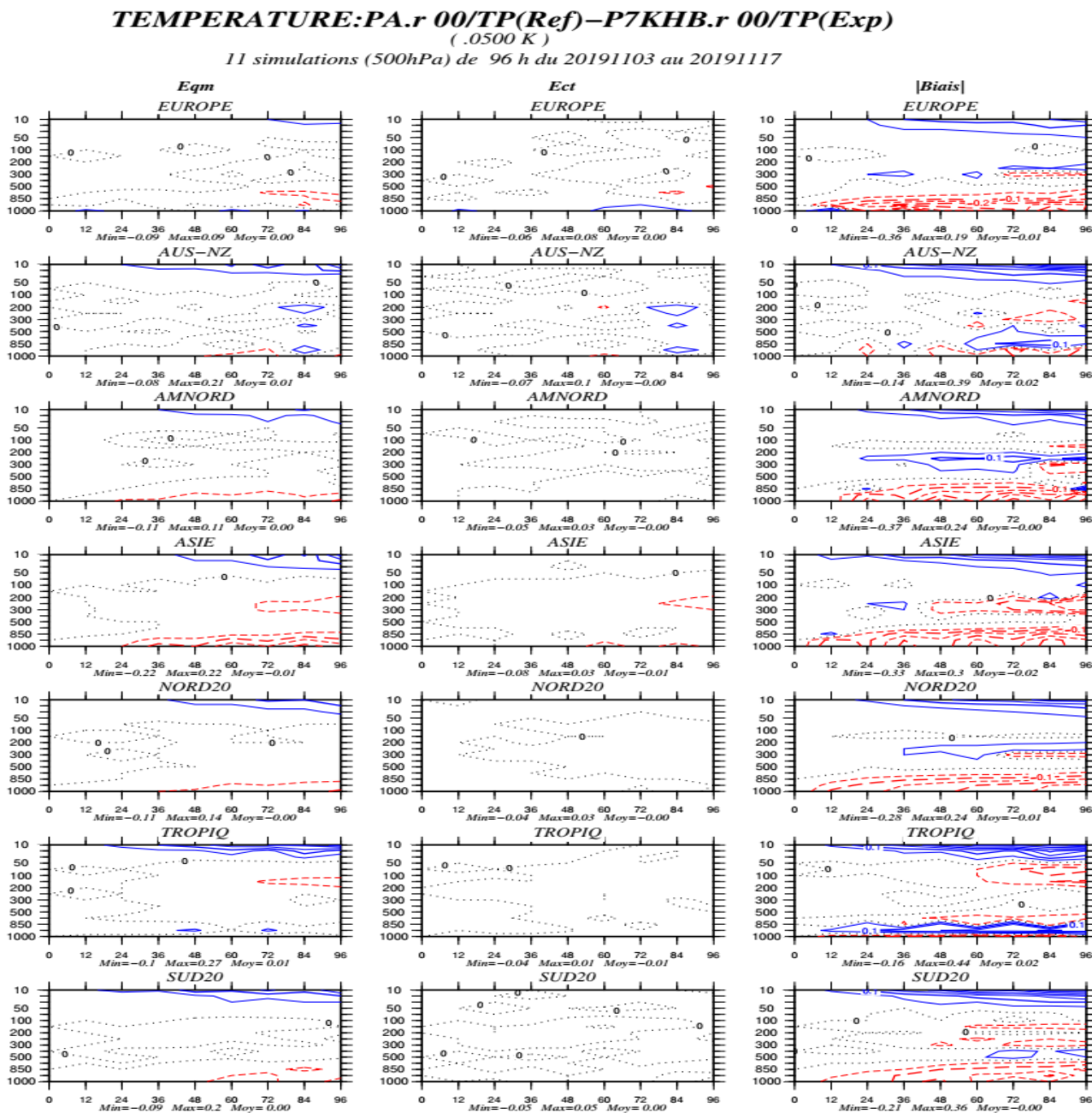


Figure 4. Différences des scores obtenues par P7KHB par rapport à la version opérationnelle d'ARPEGE (PA). La référence est l'observation radiosondage (TP). Tous les scores sont calculés pour la température : biais (droite), écart-type (centre) et erreur quadratique moyenne (gauche) pour différents domaines géographiques : NORD20, SUD20 et TROPIQUE. Les isolignes bleues correspondent à une amélioration et les rouges à une dégradation.

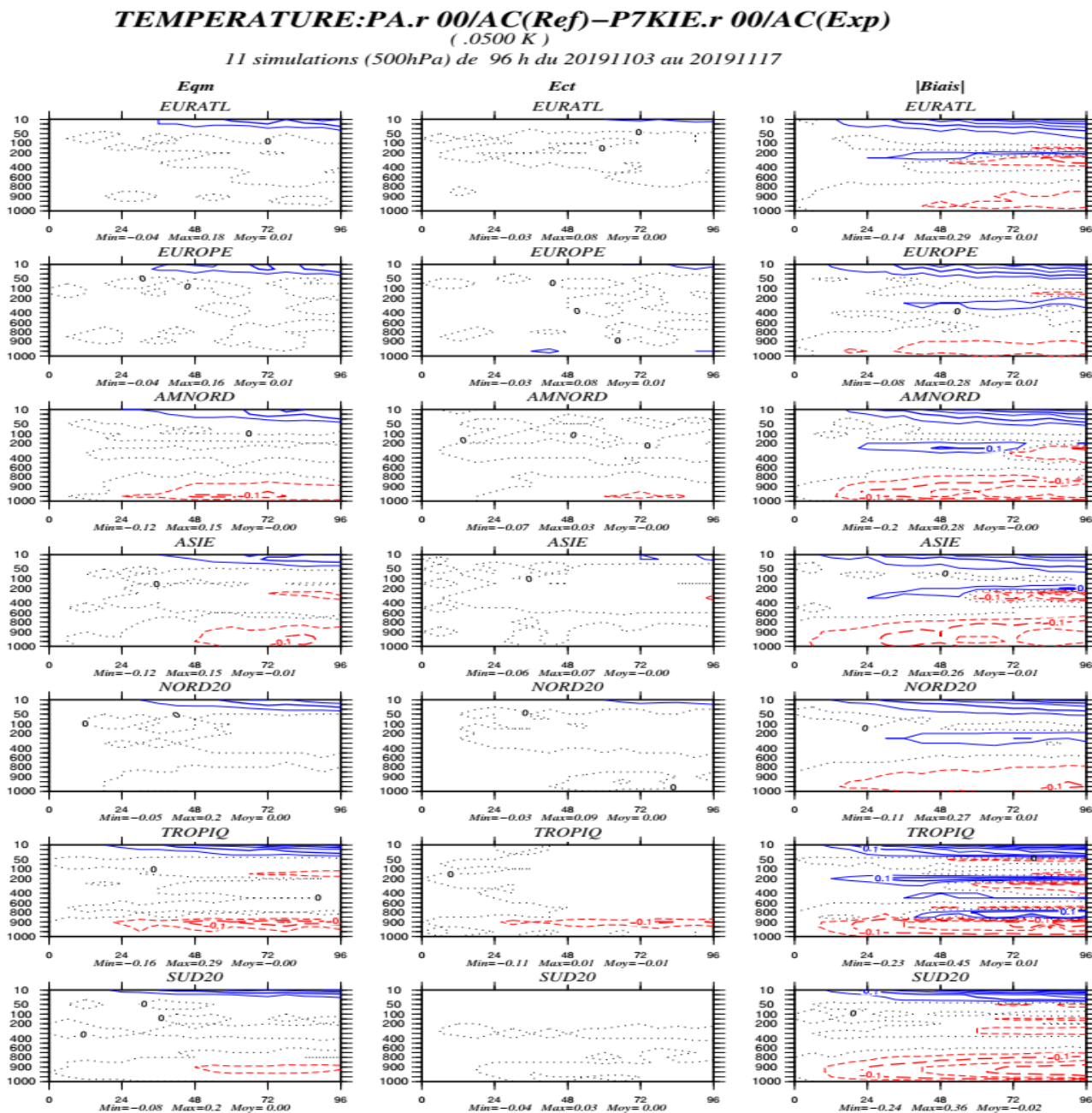


Figure 5. Différences des scores obtenus par P7KIE par rapport à la version opérationnelle d'ARPEGE (PA). La référence est l'analyse de centre européen (AC). Tous les scores sont calculés pour la température: biais (droite), écart-type (centre) et erreur quadratique moyenne (gauche) pour différents domaines géographiques : NORD20, SUD20 et TROPIQUE. Les isolignes bleues correspondent à une amélioration et les rouges à une dégradation.

TEMPERATURE:PA.r 00/TP(Ref)-P7KIE.r 00/TP(Exp) (.0500 K)

11 simulations (500hPa) de 96 h du 20191103 au 20191117

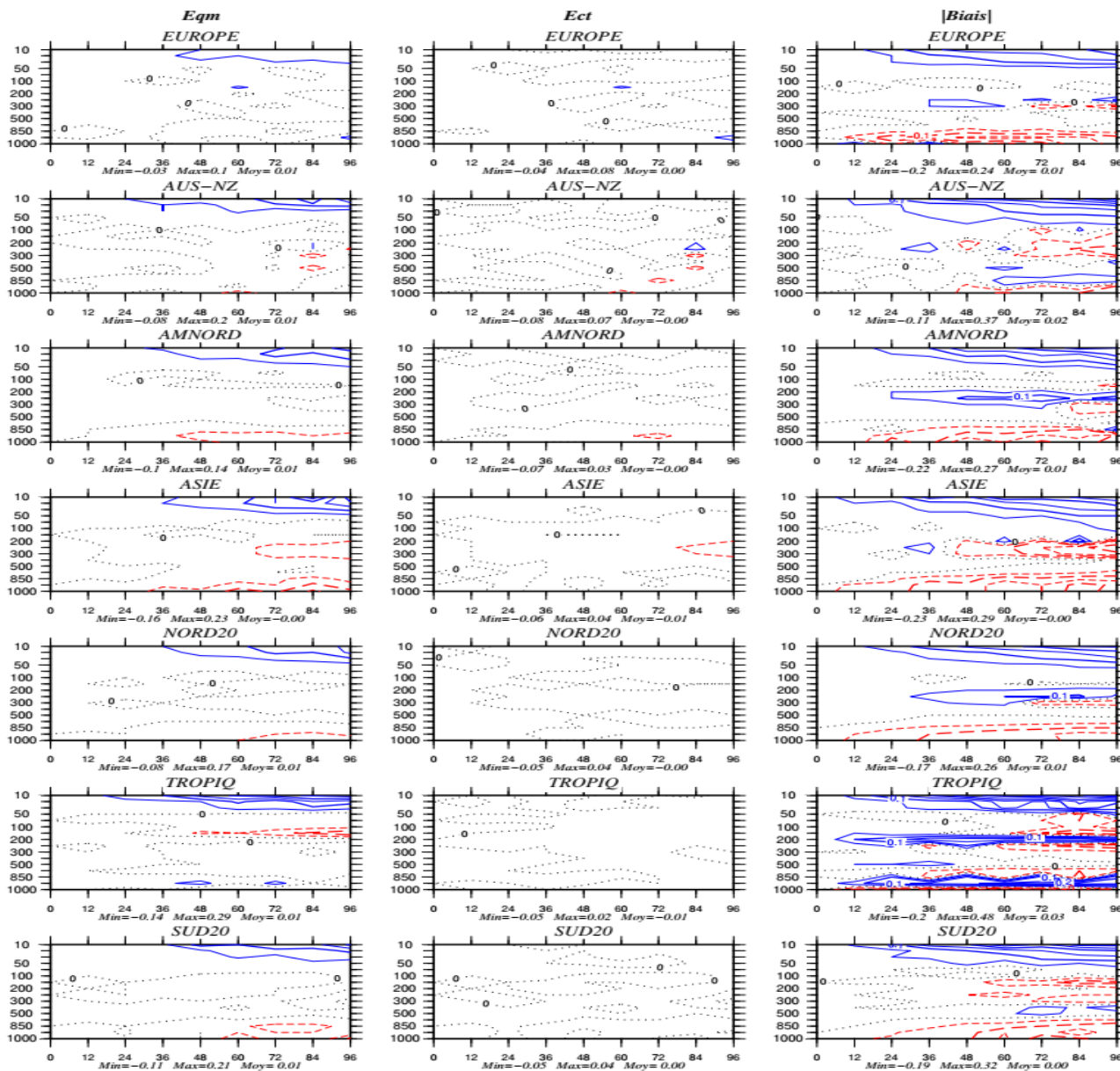


Figure 6. Différences des scores obtenus par P7KIE par rapport à la version opérationnelle d'ARPEGE (PA). La référence est l'observation radiosondage (TP). Tous les scores sont calculés pour la température: biais (droite), écart-type (centre) et erreur quadratique moyenne (gauche) pour différents domaines géographiques : NORD20, SUD20 et TROPIQUE. Les isolignes bleues correspondent à une amélioration et les rouges à une dégradation.

Table 4. Les caractéristiques de la Configuration AROME 500m

	eqm		ect		biais		moyenne	
	P7KHB	P7KIE	P7KHB	P7KIE	P7KHB	P7KIE	P7KHB	P7KIE
EURATL	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.01		+
EUROPE	0.00	0.01	0.00	0.01	-0.01	0.01		+
AMNORD	0.00	0.01	-0.00	-0.00	-0.00	0.01		+
ASIE	-0.02	-0.01	-0.01	-0.00	-0.03	-0.01		+
NORD20	-0.00	0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.01		+
TROPIQ	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	0.01	0.01		+
SUD20	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.02	+	

Table 5. Différences des scores par rapport aux radiosondage

	eqm		ect		biais		moyenne	
	P7KHB	P7KIE	P7KHB	P7KIE	P7KHB	P7KIE	P7KHB	P7KIE
EUROPE	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.01		+
AUS-NZ	0.01	0.01	-0.00	-0.00	0.02	0.02		
AMNORD	0.00	0.01	-0.00	-0.00	-0.00	0.01		+
ASIE	-0.01	-0.00	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00		+
NORD20	-0.00	0.01	-0.00	-0.00	-0.01	0.01		+
TROPIQ	0.00	0.01	-0.01	-0.01	0.02	0.03		+
SUD20	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.00	-0.00	+	

Comparaison entre les mesures de pression atmosphérique du baromètres numérique et celle du mercure

Islam BOUSRI ^{1*}, Salah SAHABI ¹

Abstract

Dans l'assistance aéronautique les données de pression sont d'une importance primordiale pour l'atterrissage d'un aéronef. Le QNH est le code aéronautique indiquant la pression atmosphérique ajustée au niveau moyen de la mer. Elle est utilisée pour le calage altimétrique afin de régler la position de l'échelle secondaire d'un altimètre pour qu'il indique la hauteur d'un aéronef au-dessus d'une surface de référence connue.

Dans ce travail, nous avons réalisé une étude comparative entre les mesures de la pression QNH issues de deux baromètres numérique et à mercure placés dans les mêmes conditions au niveau d'une station d'observation appartenant au réseau de l'Office National de la Météorologie. Les analyses statistiques descriptives ainsi que des tests de comparaison ont été menés. Les résultats des tests statistiques ont montré l'existence d'une différence significative entre les deux baromètres.

Keywords

OACI, OMM, statistiques descriptives, t test, F test, JB, Wilcoxon, apparié skewness, kurtosis, QNH, non paramétrique

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

*Correspondant: bousri.islam@gmail.com

Contents

1	Introduction:	1
2	Méthode	2
2.1	2.1. Test de Jarque-Bera :	2
2.2	2.2. Test de Fisher :	2
2.3	2.3. Test de Levene :	2
2.4	2.4. Test de Student:	2
2.5	2.5. Test de Wilcoxon :	2
2.6	2.6 Effet Size et pourcentage de différence:	2
3	Résultats et discussions	3
3.1	3.1. Analyse descriptive :	3
3.2	3.2. Test de comparaison :	4
4	Conclusion:	5
	References	5

1. Introduction:

La pression atmosphérique est l'un des principaux paramètres météorologiques qui caractérise l'état de l'atmosphère à un moment donné. Elle est mesurée par un baromètre qui existe en plusieurs types (eau, mercure, gaz, anéroïdes, enregistreurs, numérique). Le mercure dégage des vapeurs très toxiques à l'état libre ce qui a conduit certains pays à interdire la manutention ou le transport des baromètres à mercure. L'interdiction de l'utilisation de mercure a été renforcée dans le cadre de la convention de Minamata sur le mercure, un traité international interdisant la fabrication et le commerce de produits au mercure après 2020.

Cette convention est entrée en vigueur, quatre ans après sa signature le 16 août 2017. Elle prévoit l'élimination progressive de tous les produits contenant du mercure d'ici 2020, sauf dans quelques cas spécifiques, auxquels les États signataires ont décidé d'octroyer une exemption spéciale de cinq ans. C'est pour cette raison et autres que le baromètre à mercure est de moins en moins utilisés [1]. Le guide des instruments et des méthodes d'observation météorologique de l'OMM accorde une grande importance de comparaison de baromètres pour garantir l'uniformité des normes nationales auxquelles doivent répondre les instruments de mesure de la pression et aussi l'homogénéité des données barométriques à l'échelle mondiale [1]. Dans l'annexe 3, la convention relative à l'aviation civile internationale, l'OACI recommande l'installation des systèmes automatiques au niveau des aéroports [2]. Pour répondre aux recommandations de l'OACI et respecter les instructions de l'OMM concernant l'importance de comparaison des baromètres avant tout remplacement et changement, nous avons proposé une approche statistique de comparaison des deux séries relevées par le baromètre à mercure et celui numérique basée sur le Test de Student (test t) et Wilcoxon [3][4] pour les échantillons appariés. Ces tests sont utilisés dans différents domaines. Wallick, Michael D 1998 ont utilisé le test de Student pour examiner les effets d'un programme de corde à tirer sur le rendement des élèves avant et après le programme. Les résultats de l'effet de ce programme ont révélé une différence significative en faveur de la réussite des élèves dans les deux modules lecture et citoyenneté. Par contre aucune différence significative est enregistrée entre les deux groupes appariés pour les

modules écriture et mathématiques [5]. Ce Test de Student apparié est aussi utilisé dans le domaine de la médecine lorsqu'on effectue des mesures avant et après une intervention ou en même temps sur différents sites chez le même patient [6]. Le test Wilcoxon matched-pair signed rank 1945 est un test non paramétrique qui est souvent considéré comme similaire au test t de Student pour les paires appariées, mais il est utilisé pour les données ordinales ou les données qui violent gravement tout semblant de distribution normale [7]. Ces tests ont été utilisés dans le présent travail afin de rechercher l'existence d'une éventuelle différence significative entre les deux types de baromètres. L'objectif de ce travail est de réaliser une étude comparative entre les mesures de la pression QNH obtenues par un baromètre numérique par rapport à celles obtenues par un baromètre à mercure placés tous les deux dans les mêmes conditions. Nous avons utilisé pour cette étude un échantillon d'un mois de données.

2. Méthode

Sont décrit, ci-dessous, les méthodes et les tests utilisés dans cet article.

2.1. Test de Jarque-Bera :

Publié en 1980 par Carlos Jarque et Anil K. Bera, le Test de Jarque-Bera est une approche non paramétrique permettant de tester si une variable continue X suit une loi normale [8]. Le test de Jarque-Bera (JB) se base sur le coefficient d'asymétrie skewness S et le coefficient d'aplatissement kurtosis K.

- La statistique de test est alors donnée :

$$JB = n \cdot k \left(S^2 + \frac{(k-3)^2}{4} \right)$$

Elle suit une loi du χ^2 (2) à deux degrés de liberté et l'hypothèse H_0 est: la variable suit une loi normale.

2.2. Test de Fisher :

Le Test de Fisher (F), est un test d'hypothèse qui permet de tester l'égalité de deux variances en faisant le rapport des deux variances et en vérifiant que ce rapport ne dépasse pas une certaine valeur théorique.

Pour le modèle probabiliste de moyenne U et écart-type σ on considère deux échantillons indépendants.

- $(X_1, \dots, X_n, x)$ suite une loi $N(U_x, \sigma_x^2)$
- $(Y_1, \dots, Y_n, y)$ suite une loi $N(U_y, \sigma_y^2)$ Le but du test de Fisher est de tester cette hypothèse :

$$H_0 : \sigma_x^2 = \sigma_y^2 \dots \dots (2)$$

2.3. Test de Levene :

Publié en 1960 par Howard Levene [9]. Le test de Levene est un test robuste et largement utilisé pour détecter l'hétérogénéité de la variance. Il ne tient pas compte des dépendances linéaires entre les variables concernées. Il est robuste au non-respect de la normalité des données. Ce qui en fait une très bonne alternative au test de Fisher [9].

2.4. Test de Student:

Le Test de Student et la loi de probabilités qui lui correspond ont été publiés en 1908 dans la revue Biometrika par William Gosset [3]. Le test (t) apparié permet de comparer la moyenne de deux séries de valeurs ayant un lien. Pour comparer les moyennes de deux séries appariées, on calcule tout d'abord la différence des deux mesures pour chaque paire.

Soit (d) la série des valeurs correspondant aux différences des mesures entre les paires de valeurs. La moyenne de la différence (d) est comparée à la valeur 0. S'il y a une différence significative entre les deux séries appariées, la moyenne de (d) devrait être très éloignée de la valeur 0 La valeur (t) de Student est donnée par la formule :

$$t = \left(\frac{m}{s/\sqrt{x}} \right) \dots (3)$$

(m) et (s) représentent la moyenne et l'écart-type de la différence (d). n'est la taille de la série (d).

2.5. Test de Wilcoxon :

Il a été proposé par Frank Wilcoxon en 1945 [4]. C'est une alternative au test de Student pour des échantillons appariés. Il s'agit d'une procédure de test non paramétrique pour l'analyse de données appariées. Il vise à chercher l'existence d'un changement du paramètre de position (la médiane θ). Dans deux échantillons X_i, Y_i pour chaque sujet i On note F_i la loi $Z_i := Y_i - X_i$

$$F_i(\theta + t) + F_i(\theta - t) = 1 \dots (4)$$

L'hypothèse nulle est : $H_0 = \theta - t = 1$
La statistique de test de Wilcoxon :

$$T_+ = \sum_{i=1}^k RiDi \dots \dots (5)$$

Ri et le range de $|Z_i|$ et $Z_i Di = 1$ si $Z_i > 0$ si non = -1

2.6 Effet Size et pourcentage de différence:

Par définition, Effet Size (ES) est la force de la relation entre deux variables. Il est exprimé par la différence des moyennes sur l'écart-type commun aux deux groupes.

$$\frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma}$$

Où μ_1 et μ_0 sont respectivement les moyennes observées des groupes traités et contrôle, θ et une estimation de l'écart-type.

Si $0.2 < ES < 0.5$: la différence est petite

Si $0.5 < ES < 0.8$: la différence est modérée

Si $ES > 0.8$: la différence est grande

Effet Size ne s'applique pas lorsque la distribution n'est pas normale Pour les tests non paramétriques on parle plutôt de pourcentage de différence :

$$\% \text{ Différence} = \left(\frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma} \right) \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

3. Résultats et discussions

Afin de réaliser cette étude de comparaison, nous avons utilisé un échantillon d'un mois de données d'observations horaires de pression atmosphérique mesurées par les deux baromètres numérique et à mercure installés à la station d'aérodrome de Dar El Beida (DAAG). Les données utilisées concernent le mois d'avril 2017.

Pour avoir une vue globale sur notre série des différences absolues des deux baromètres (D), nous avons commencé par une analyse statistique descriptive dans laquelle nous avons estimé quelques percentiles de ces différences.

Ensuite, nous avons visualisé la série des écarts (D) pour toute la période d'étude

La série D est égale à la valeur de la pression numérique moins la valeur de la pression à mercure.

$$D = QNH(N) - QNH(M) \dots \dots \dots (7)$$

Ensuite, nous avons procédé à une comparaison entre les deux baromètres en deux phases en séparant les mesures de la journée de celles de la nuit pour prendre en considération toute hétérogénéité liée au facteur humain. En effet, les mesures de la journée ont été prises par une même personne qui est le chef de station. Par contre, la nuit, l'observation est faite par les personnes assurant la relève.

La méthodologie suivie est illustrée par la figure 1 et décrite comme suit : Nous avons d'abord testé la normalité des observations de la série D.

Dans le cas où elles sont normalement distribuées nous allons ensuite vérifier l'homogénéité des variances en utilisant les tests de Fisher.

Si les observations de la série D suivent une loi normale et les variances des deux baromètres sont homogènes on utilise, dans ce cas, le test paramétrique de Student pour les données appariées (test t apparié) pour voir s'il y a une différence significative ou pas.

Dans le cas où les différences ne suivent pas une loi normale, le test non paramétrique de Wilcoxon signé sera l'alternatif de Test de Student pour voir s'il y a une différence significative entre les deux baromètres. Pour ce cas, et afin d'avoir une idée sur l'homogénéité des variances, nous avons utilisé le test de Leven même si le Test de Wilcoxon signé suffira pour trancher sur l'existence d'une différence significative.

Table 1. Valeurs des percentiles

Percentile	Valeur
Max 100	0.900
99	0.600
95	0.400
90	0.300

3.1. Analyse descriptive :

L'analyse de la figure de la fonction de répartition montre que :

- plus de 40% des différences sont nulles.
- presque 90% des différences sont inférieures à 0.2 mb
- et moins de 1% sont supérieures à 0.6 mb

Les baromètres sont étalonnés et placés selon les normes figurant dans les conventions barométriques internationales. Dans des conditions normales, un baromètre devrait théoriquement donner des lectures exactes de pression.

Dans l'analyse des percentiles (Tableau 1 et Fig. 2), nous avons observé dans la plupart des cas des légères diffusions entre les deux types de baromètres qui ne dépassent pas en globalité 0.2 mb. Cependant, une exception est faite aux journées de 3 et 28 avril où nous avons enregistré des écarts importants égaux en valeurs absolues 0.9 et 0.7, respectivement (voir figure 3). Ce qui correspond, en terme de hauteur, à 7.2 et 5.6 mètres.

Afin de chercher les causes de ces écarts importants, nous avons consulté le guide des instruments et des méthodes d'observation de l'OMM [1]. Effectivement, ce guide évoque quelques défauts et imprécisions liées au baromètre à mercure. Parmi ces défauts, nous pouvons distinguer deux, pour notre cas, qui peuvent expliquer ces écarts importants. Le premier défaut, concerne le temps de réponse du baromètre à mercure qu'est vraiment long par rapport à celui du numérique. Le deuxième, qui est mentionné dans le chapitre 3.2.6, est lié à l'exactitude générale des lectures de pression [1]. Ceci, nous a permis d'avancer que l'apparition d'un pic de dépression dans une série des observations à mercure ne signifie pas une dépression réelle, vu que le temps de réponse du baromètre à mercure est long. C'est le cas de la journée du 3 avril à 13h qui est sûrement où l'écart est dû à une mauvaise lecture ou bien à une erreur de retranscription.

Contrairement au baromètre à mercure, un pic de dépression observé dans une série à baromètre numérique peut être une réelle dépression. C'est le cas de la situation du 28 avril à 18h00. Cela est facilement confirmé par le carnet d'observation où nous avons enregistré une rafale de vent, à la même heure, qui est le résultat et la preuve d'un passage d'un grain météorologique caractérisé par une chute soudaine de pression (dépression instantanée) (figure 4).

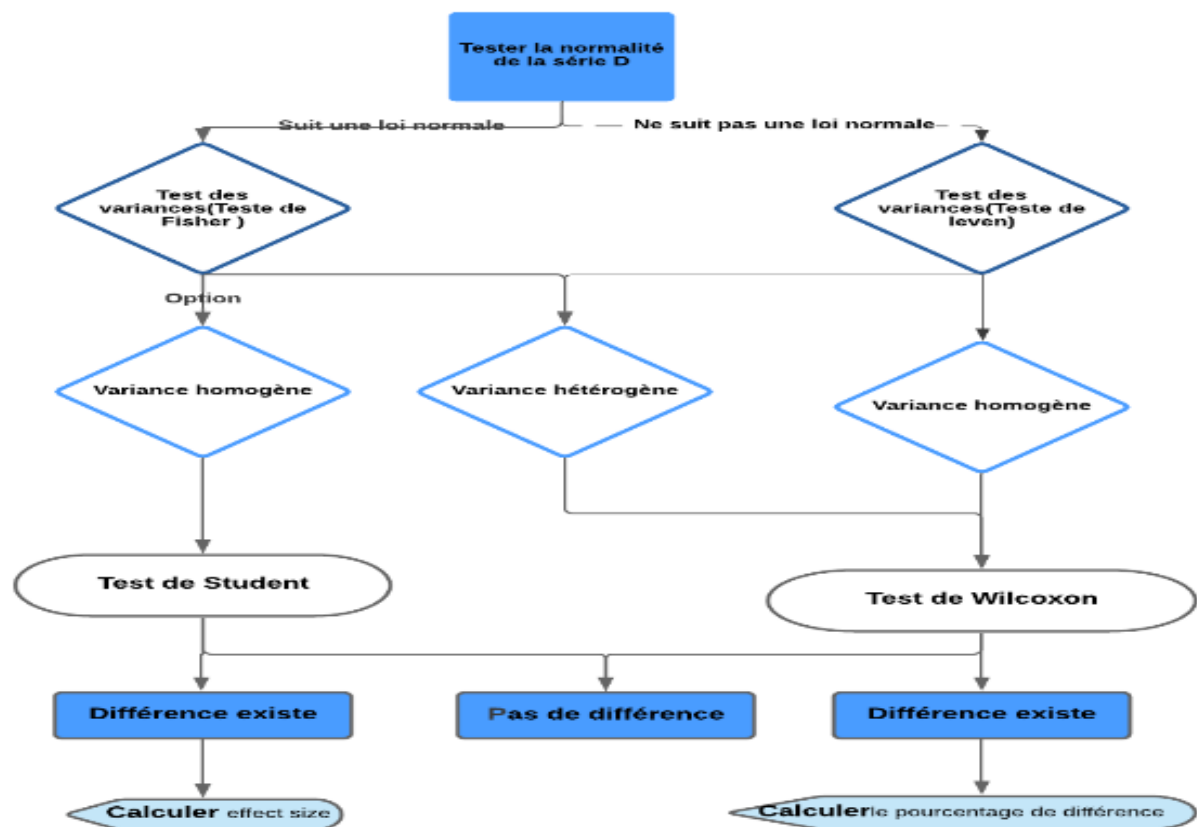


Figure 1. Schéma représentant la méthodologie suivie pour la comparaison

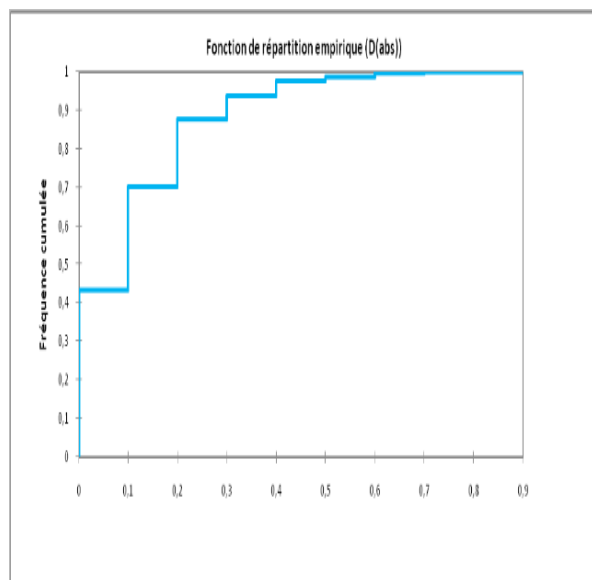


Figure 2. Fonction de répartition de la valeur absolue de la série |D|

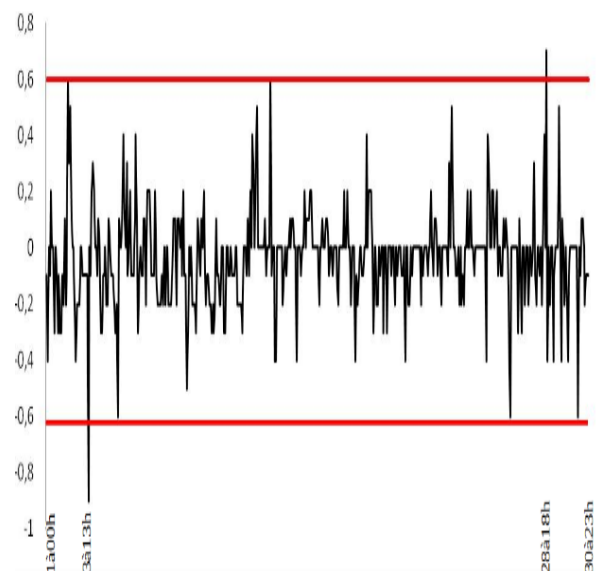


Figure 3. Evolution horaire des écarts de la série D au cours du mois d'avril 2017.

3.2. Test de comparaison

L'hypothèse nulle H_0 du test Jarque-Bera est H_0 : L'échantillon suit une loi Normale.

1) DATE : Vendredi 28 Avril 2017

HEURE DU JOUR	VENT (d et f)				TOUR D'HORIZON		VISIBILITE		PHÉNOMÈNES		W		W	C
	Direction	Vitesse	Direction	Vitesse	de début et de fin	Signe	Intensité	code	code	code	code			
00	08	04	16	0800	58									
01	08	04	16	0800	58									
02	08	04	16	0800	58									
03	08	04	16	0800	58									
04	08	04	16	0800	58									
05	08	04	16	0800	58									
06	08	04	16	0800	58									
07	08	04	16	0800	58									
08	08	04	16	0800	58									
09	08	04	16	0800	58									
10	08	04	16	0800	58									
11	08	04	16	0800	58									
12	08	04	16	0800	58									
13	08	04	16	0800	58									
14	08	04	16	0800	58									
15	08	04	16	0800	58									
16	08	04	16	0800	58									
17	08	04	16	0800	58									
18	08	04	16	0800	58									
19	08	04	16	0800	58									

Figure 4. Carnet d'observation du 28 avril 2017 élaboré par la station de Dar El Beida.

Étant donné que le p-value calculé est supérieur au niveau de signification seuil $\alpha=0.05$, on peut valider l'hypothèse nulle H_0 . Ce que revient à dire que la série D suit une loi normale.

Pour le test F de Fisher, l'hypothèse nulle H_0 : Le rapport entre les variances est égal à 1. La p-value calculée est égale à 0.979 qui est supérieure au niveau de signification α . Donc les variances sont homogènes. Dans le test t, la p-value calculée est inférieure du niveau de signification α (0.05). Donc nous allons rejeter l'hypothèse nulle H_0 : la différence entre les moyennes est égale à 0 ; et nous allons retenir l'hypothèse alternative H_1 : il existe une différence significative entre les deux baromètres.

L'Effet size ES obtenu est égal à 0.009 qui est largement inférieur à 0.1. Ce qui signifie que la différence entre les deux baromètres est relativement faible.

En ce qui concerne le test de Wilcoxon signé, la p-value est inférieur au niveau de signification α (0.05). Cela veut dire que durant la nuit, une différence significative entre les deux baromètres a été conclue. Le pourcentage de différence calculé est égal à 0.01% qui est considéré très faible.

4. Conclusion:

Une étude de comparaison entre les mesures de pression atmosphérique du baromètre numérique et celle du mercure a été réalisée. L'estimation des percentiles montre que dans plus de 40% des cas, les deux baromètres ont donné la même valeur. Environ, 90% des différences calculées étaient inférieures à 0.2 mb. Les résultats issus de cette comparaison ont révélé une différence relativement faible entre les deux séries des deux types de baromètres.

Cette étude permet, aussi, de mettre en évidence l'efficacité du baromètre numérique dans la détection des chutes brusques de pression, un phénomène météorologique souvent observé dans les stations lors de passage des dépressions, comme le cas de la journée de 28 avril. Ce qui n'est pas

le cas pour le baromètre à mercure qui dispose d'un temps de réponse long.

Nous avons constaté lors de passage au-dessus d'une station météorologique d'une dépression rapide (grain par exemple), une mauvaise appréciation de la mesure de pression pourrait atteindre un écart de presque 1 mbar soit l'équivalent de 8 mètres d'altitude ; une erreur importante notamment lorsqu'il s'agit de l'utiliser pour assister un aéronef lors de son atterrissage.

En conclusion, d'après les échantillons analysés, statistiquement, en temps normal, aucune différence n'est à explorer entre le baromètre numérique et celui à mercure installés dans la station météorologique d'Alger Dar El beida.

Mieux encore, le baromètre numérique possède un temps de réponse plus important que celui à mercure dans les conditions extrêmes de pression.

References

- [1] OMM. Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques. 1983.
- [2] Annexe OACI. de la convention relative à l'aviation civile internationale, télécommunications aéronautiques, vol. iii, communication systems (part i-digital data communication systems, part ii-voice communication systems), july 2007, 10.
- [3] Sandy L Zabell. On student's 1908 article "the probable error of a mean". *Journal of the American Statistical Association*, 103(481):1-7, 2008.
- [4] Frank Wilcoxon. Some uses of statistics in plant pathology. *Biometrics Bulletin*, 1(4):41-45, 1945.
- [5] Michael D Wallick. A comparison study of the ohio proficiency test results between fourth-grade string pullout students and those of matched ability. *Journal of Research in Music Education*, 46(2):239-247, 1998.
- [6] Betty R Kirkwood and Jonathan AC Sterne. *Essential medical statistics*. John Wiley & Sons, 2010.
- [7] Thomas W MacFarland and Jan M Yates. Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test. In *Introduction to Non-parametric statistics for the biological sciences using R*, pages 133-175. Springer, 2016.
- [8] Carlos M Jarque and Anil K Bera. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics letters*, 6(3):255-259, 1980.
- [9] WGS Hines and RJ O'Hara Hines. Increased power with modified forms of the levene (med) test for heterogeneity of variance. *Biometrics*, 56(2):451-454, 2000.

Table 2. Test de comparaison entre les deux baromètres durant la journée

Test de Jarque-Bera (D)	Test F de Fisher	éTest t
JB (Valeur observée) = 1,043	F (Valeur observée) = 1,006	t (Valeur observée) = -2,002
JB (Valeur critique) = 5,991	F (Valeur critique) = 1,519	t (Valeur critique) = 1,987
P-value = 0,594	P-value = 0,979	P-value = 0,048
Alpha = 0,05	Alpha = 0,05	Alpha = 0,05

Table 3. Test de comparaison entre les deux baromètres durant la nuit.

Test de Jarque-Bera (D)	Test de Levene	Test de Wilcoxon signé
JB (Valeur observée) = 16,710	F (Valeur observée) = 0,009	V = 325
JB (Valeur critique) = 5,991	F (Valeur critique) = 3,921	Espérance Variance= 637 10639
P-value = 0,000	P-value = 0,926	P-value = 0,002
Alpha = 0,05	Alpha = 0,05	Alpha = 0,05

Validation d'une méthode d'imputation de données manquantes pour la reconstitution des séries de température.

Islam BOUSRI ^{1*}, Sahabi Abed Salah ¹, Benamara Mohamed Arab¹

Abstract

Les données climatiques ont une importance capitale pour l'étude du changement climatique notamment les canicules et les vagues de chaleur. Parfois les séries de ces données présentent des lacunes sur des périodes temporaires aléatoirement réparties dans le temps, ceci est dû à plusieurs facteurs : panne de l'instrument de mesure, indisponibilité de site, problème de transmission de la donnée, problème d'archivage ...etc. Pour reconstituer ces données manquantes, les chercheurs font recours à des méthodes d'imputation. Dans ce travail, nous avons comparé les performances de 4 méthodes d'imputation multiple des données manquantes sur la température à savoir : missForest, MICE, KNN et ACP. Les résultats des calculs de la moyenne absolue des biais de l'estimation (MAB) à trois niveaux : 5%, 10% et 20% ont révélé que missForest a été la méthode la plus performante pour le traitement de données manquantes de température.

Keywords

données manquantes, MAB, missForest, MICE, plus proches voisins (KNN), ACP.

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

*Correspondant: bousri.islam@gmail.com

Contents

1	Introduction	1
2	Description des méthodes utilisées	2
2.1	MissForest	2
2.2	Méthode des plus proches voisins (KNN)	2
2.3	Multiple Imputation by Chained Equations (MICE)	3
2.4	Analyse en composantes principales (ACP régulé)	3
3	Application et validation:	3
4	Conclusion	5
	References	5

1. Introduction

L'imputation multiple est une approche générale du problème des données manquantes. Elle vise à tenir compte de l'incertitude concernant les données manquantes en créant plusieurs ensembles différents de données imputées et en combinant de manière appropriée les résultats obtenus. Dans le domaine de la climatologie, les méthodes d'imputation de données manquantes sont suffisamment développées et ceci vu le besoin permanent en ces données notamment pour des études de changement climatique et de variabilité climatique [1].

En Octobre 2014, Turrado a évalué l'imputation multi-variée de données manquantes ou erronées d'un capteur de rayonnement solaire à l'échelle de dix minutes en utilisant la méthode Multiple Imputation by Chained Equations (MICE)[2]. A. Ilin et A. Kaplan (2009) ont reconstitué

les températures globales historiques de surface de la mer (SST) pour la période 1982-1991 en appliquant la méthode d'analyse en composantes principales (ACP) bayésienne [3].

L'utilisation de ces méthodes a été élargie à d'autres secteurs d'activité. Dans l'industrie, M. Wang a proposé, en 2019, un algorithme amélioré de remplissage des données basé sur la Méthode des plus proches voisins (KNN). L'application de cet algorithme sur un échantillon de données de production d'une zone de puits dans le champ pétrolier de Daqing est doublement bénéfique. Il a permis, non seulement le remplissage des données manquantes, mais aussi l'amélioration de la précision [4]. Dans le domaine énergétique, A. Sundararajan et Arif I. SarwatEmail ont analysé, en 2019, le mécanisme d'imputation de données manquantes d'un système photovoltaïque distribué (PV) raccordé au réseau de Miami qui utilise trois paramètres essentiels : l'irradiation, la température ambiante et la température des modules. Ils ont comparé les performances d'imputation de différentes méthodes : imputation aléatoire, imputation multiple par maximisation des attentes, KNN et forêts aléatoires, en utilisant des mesures d'erreur et d'effet de taille. Les valeurs imputées sont utilisées, ensuite, dans un perceptron multicouche pour prédire et comparer la production de PV avec les valeurs observées. Les résultats ont montré que les valeurs imputées à l'aide de KNN et de forêts aléatoires présentent les plus faibles différences de proportions et aident les services publics à faire des prévisions plus précises de la production pour la planification de la distribution [5]. P. Dixneuf, dans ses travaux en 2019, a étudié la performance de la méthode missForest et son application au problème des données manquantes en environnement. Il a comparé cette approche avec deux autres

méthodes (multivariate imputation by chained equations (MICE) et K-nearest neighbors (KNN)). L'étude a montré l'efficacité de la méthode d'imputation missForest par rapport aux autres méthodes pour le traitement de données manquantes en environnement [?]. Deux travaux sur le rattrapage des données ont été déjà publiés dans la revue JAMA. Le premier est celui de K. Soltani et M. Haouari (2017) qui ont utilisé la méthode d'ACP pour la reconstitution des séries mensuelles de températures maximales et minimales sur l'ouest Algérien [1]. Le second travail est celui de F. Kertali (2019) qui a utilisé la méthode de double masse pour rattraper des données=nombre de valeurs imputées.s manquantes d'une série de données pluviométriques [6].

Table 2. Algorithme de K-nearest neighbors (KNN). Dans cet article, nous souhaitons valider une méthode d'imputation multiple des données manquantes pour le paramètre de température en faisant la comparaison entre 4 approches à savoir : l'analyse en composantes principales (ACP), K plus proches voisins (KNN) , imputation multiple par équations chaînées (MICE) et Forêts aléatoires (missForest).

2. Description des méthodes utilisées

Sont décrites, ci-dessous, les différentes méthodes utilisées dans cet article.

MissForest

D.J.Stekhoven et P.Bühlmann (2011) ont proposé une méthode de complétion basée sur les forêts aléatoires appelée MissForest [7]. Dans cette approche, les variables contenant des valeurs manquantes sont initialisées pour l'imputation en remplaçant les cellules manquantes par des valeurs

moyennes correspondantes (pour les variables continues), ou par la catégorie la plus fréquente (pour les variables catégorielles). Une variable en cours d'imputation est ensuite divisée en deux parties distinctes: la partie observée qui ne contient aucune valeur manquante et la partie manquante qui sert d'ensemble de prédiction. Une forêt aléatoire est ajustée en utilisant la partie observée comme réponse et les valeurs correspondantes des autres variables prédictors, et la partie manquante est remplacée par les valeurs prédites de la forêt aléatoire. L'algorithme passe ensuite à la variable suivante à imputer. L'itération s'arrête lorsque la différence entre les valeurs actuelles et les valeurs précédemment imputées augmente ou si le nombre maximal d'itérations est atteint.

- Algorithme :

Notée X , notre matrice $n \times p$ pour l'imputation γ . Le critère d'arrêt (il fonctionne en itérations, s'arrêtant lorsque la différence entre l'itération i et $i + 1$ des trames de données imputées commence à augmenter pour les variables catégorielles et numériques).

X_s Avec $s = 1, \dots, S$ dont les valeurs manquantes sont

indexées par $I_{mis}^i \subseteq \{1, \dots, n\}$ on définit :

y_{obs}^s sont les valeurs observées dans X_s

y_{mis}^s sont les valeurs manquantes dans X_s

X_{mis}^s sont les régresseurs observés pour $i_{obs}^s = \{1, \dots, n\} \setminus i_{mis}^s$

X_{mis}^s sont les régresseurs manquants pour I_{mis}^s

Table 1. Algorithme de MissForest .

Step 1. Faire une première estimation pour toutes les valeurs catégorielles/numériques manquantes (par exemple, la moyenne, le mode)

Step 2. $k \leftarrow$ vecteur des indices de colonnes en X , triés par ordre croissant du pourcentage de données manquantes.

Step 3. Tant que γ n'est pas atteint faire :

$X_{old}^{imp} \leftarrow$ stocker la matrice précédemment imputée **pour S** dan **k faire:**

Ajuster une forêt aléatoire en prédisant les valeurs non manquantes de X_s : $Y_{obs}^{(s)} \sim X_{obs}^{(s)}$

Utilisez ceci pour prédire les valeurs manquantes de X_s :prévoir $Y_{obs}^{(s)}$ en utilisant $X_{obs}^{(s)}$

$X_{new}^{imp} \leftarrow$ mettre à jour la matrice imputée, en utilisant les $Y_{mis}^{(s)}$

fin pour

mise à jour γ

fin Tant que

renvoyer la matrice finale imputée X^{imp}

Méthode des plus proches voisins (KNN)

KNN est une méthode de compilation utile pour faire correspondre un point avec ses k voisins les plus proches dans un espace multidimensionnel. Initialement introduite en 2001 par **O. Troyanskaya** pour l'étude de l'expression des gènes [8]. Elle peut être, aussi, utilisée pour des données continues, discrètes, ordinales et catégorielles. Ce qui la rend particulièrement utile pour traiter toutes sortes de données manquantes. L'hypothèse sous-jacente à l'utilisation de KNN pour les valeurs manquantes est qu'une valeur ponctuelle peut être approchée par les valeurs des points qui lui sont les plus proches, en fonction d'autres variables. L'imputation par KNN consiste à suivre l'algorithme suivant:

Algorithme des k plus proches voisins (k-nn)

- Step 1. Choisir k : $1 \leq k \leq n$.
- Step 2. Calculer les distances entre $Y_i * i.i$
- Step 3. Garder les k observations $Y_{(i1)}, \dots, Y_{(it)}$ pour lesquelles ces distances sont les plus petites.

- Step 4. Affecter aux valeurs manquantes la moyenne des valeurs des k voisins :
 $(Y_i j)_{miss} = Y_i * i * i.i = \frac{1}{k} (Y_{(i1)} + \dots + Y_{(i1)})$
Avec :
k : le nombre de voisins .
Y : matrice des données observées .
Y* : matrice des données manquantes.

Multiple Imputation by Chained Equations (MICE) :

Elle est basée sur un algorithme Monte-Carlo Markov Chain (MCMC). Dans cette technique d'imputation, de nombreux modèles de régression sont exécutés de telle sorte que la variable à laquelle il manque des données est modélisée en fonction d'autres variables de l'ensemble de données [9]. Chaque variable est modélisée en tenant compte du type de variable. Par exemple, la régression logistique est utilisée pour modéliser des variables binaires, alors que la correspondance prédictive de la moyenne est utilisée pour les variables continues [9]. Selon Melissa et al (2011), le processus d'équation enchaînée est décomposé en quatre étapes principales qui sont répétées jusqu'à ce que les résultats optimaux soient atteints [9]. La première étape consiste à remplacer toutes les données manquantes par la moyenne des valeurs observées pour la variable, qui fait office d'indicateur. La deuxième étape consiste à remettre ces imputations moyennes à la valeur "manquante". Dans la troisième étape, les valeurs observées d'une variable (par exemple, "x") sont régressées sur les autres variables de sorte que "x" est la variable dépendante et le reste sont des variables indépendantes.

Analyse en composantes principales (ACP régulé) :

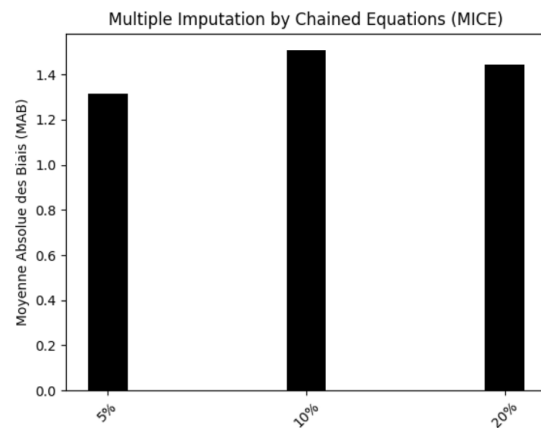
paramètres et d'imputation des valeurs manquantes à l'aide de la matrice adaptée (régularisée) sont itérées jusqu'à la convergence. Dans le logiciel R [10] le nombre de composants utilisés dans l'algorithme peut être, facilement, trouvé en utilisant des critères de validation croisée dans la fonction estim_ncpPCA.

3. Application et validation:

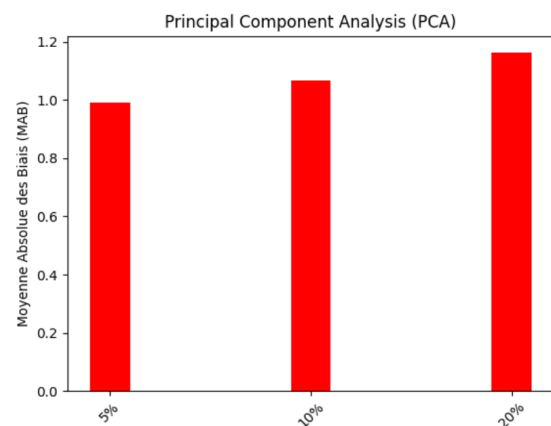
Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé la réanalyse ERA5 des températures de surface depuis 1979 jusqu'à 2015 et un échantillon de données enregistrées par la station d'observation de Dar el Beida pour la même période. Cet échantillon est composé de paramètres suivants : températures moyennes quotidiennes, températures minimales journalières et températures maximales journalières mesurées à deux mètres au-dessus du sol,

Nous avons, ensuite, procédé aléatoirement à l'enlèvement progressive d'un quota de données de 5%, 10% puis 20%. Puis, nous avons imputé les données manquantes en utilisant les quatre méthodes décrites précédemment.

Ensuite, nous avons calculé la moyenne absolue des biais



(a)



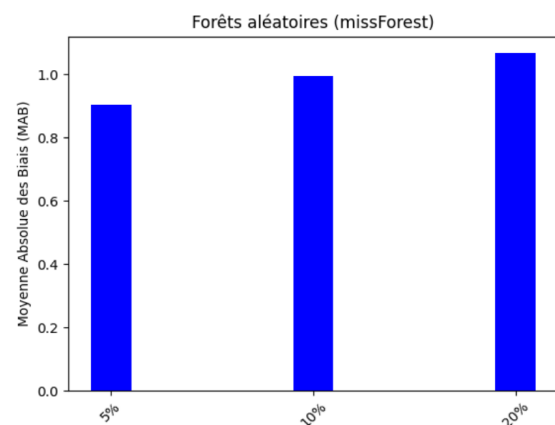
(b)

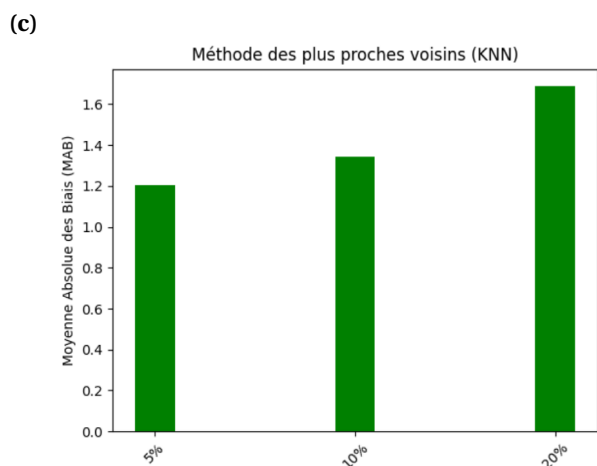
de l'estimation (MAB) pour chaque niveau d'enlèvement 5%, 10% puis 20%. Et enfin, nous nous validerons, à chaque fois la méthode qui minimise la MAB.

Tous les algorithmes de calcul relatifs aux quatre méthodes utilisées dans cette étude sont référés aux packages du logiciel R [10].

$$MAB = \frac{\sum_{i=1}^n |valeur_{réelle} - valeur_{imputée}|}{n} \quad (1)$$

- n=nombre de valeurs imputées.





(d)
Fig.1 : Moyennes absolues des biais (MAB) obtenues par les quatre méthodes : (a) ; méthode MICE, (b) ; méthode (ACP), (c)méthode missForest, et (d) ; méthode KNN

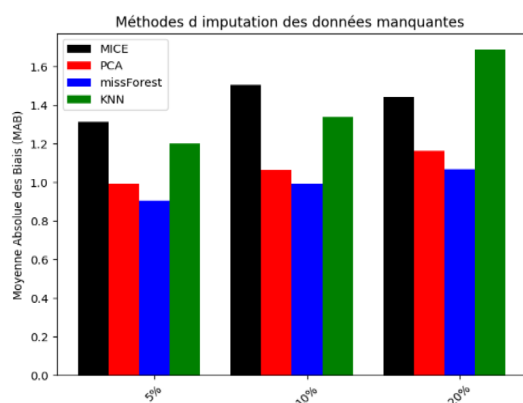


Fig.2 : MAB pour les 4 méthodes .

Table 1. Résultat de l'imputation et la validation.

Méthode Taux de données manquantes	MICE	ACP	missForest	KNN	Validation
5%	1,315625	0,9909400	0,9048437	1,340625	missForest
10%	1,5067708	1,0658378	0,9927916	1,6869791	missForest
20%	1,4447916	1,1619766	1,0663802	1,2026874	missForest

Position	5%	10%	20%
1	missForest	missForest	missForest
2	ACP	ACP	ACP
3	MICE	MICE	KNN
4	KNN	KNN	MICE

Tableau 4 :Tableau de classement des méthodes par performance en fonction du quota de données enlevées.

La Figure 01 représente des histogrammes des moyennes absolues des biais obtenues par les quatre méthodes. Pour

les trois niveaux de quotas d'enlèvement, la méthode missForest occupe la première position en termes de performance avec des moyennes absolues des biais qui se situent au voisinage de 1°C (Tableau 3). Pour cette méthode, la valeur de MAB est proportionnelle au nombre de données manquantes.

En deuxième position, nous retrouvons la méthode ACP avec des valeurs de MAB très proches de celles de missForest. À l'instar de la méthode missForest, les performances de la méthode ACP diminuent avec l'augmentation du nombre de données enlevées.

Les moyennes absolues des biais obtenues pour les deux méthodes MICE et KNN sont relativement loin de celles de MissForest. Pour les deux niveaux d'enlèvement 5% et 10%, les performances de la méthode MICE sont meilleures par rapport à celles de KNN. Par contre, KNN est mieux placée par rapport à MICE pour le niveau 20%. Il est à noter que la méthode KNN présente une particularité par rapport aux autres méthodes. En effet, la diminution des performances de cette méthode n'est pas proportionnelle au nombre de données manquantes. Au contraire, par exemple l'estimation des moyennes absolues des biais obtenues pour le niveau de données manquantes 20% est meilleure pour le cas de 5%.

4. Conclusion

Nous avons réalisé une étude comparative entre quatre méthodes d'imputation multiple des données manquantes de température à savoir : missForest, MICE, KNN et ACP. Pour cette étude, nous avons utilisé un échantillon de données d'observation enregistrées par la station de Dar el Beida depuis 1936 jusqu'à 2015. Les résultats des calculs de la moyenne absolue des biais de l'estimation (MAB) à trois niveaux 5%, 10% et 20% ont révélé que missForest a été la méthode la plus performante pour le traitement de données manquantes de température. Cette méthode est alors recommandée pour combler les lacunes des séries de températures.

References

- [1] Julie Josse, François Husson, et al. Reconstitution des séries mensuelles de températures maximales et minimales sur l'ouest algérie. *Journal Algérien de Météorologie Appliquée*, 0:85–90, 2017.
- [2] Concepción Crespo Turrado, María del Carmen Meizoso López, Fernando Sánchez Lasheras, Benigno Antonio Rodríguez Gómez, José Luis Calvo Rollé, and Francisco Javier de Cos Juez. Missing data imputation of solar radiation data under different atmospheric conditions. *Sensors*, 14(11):20382–20399, 2014.
- [3] Alexander Ilin and Alexey Kaplan. Bayesian pca for reconstruction of historical sea surface temperatures. In *2009 international joint conference on neural networks*, pages 1322–1327. IEEE, 2009.
- [4] Mei Wang, Dong Li, Kaiyuan Qi, Chenglong Xue, and Erlong Yang. Sknn algorithm for filling missing oil data based on knn. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, volume 612, page 032099. IOP Publishing, 2019.
- [5] Aditya Sundararajan and Arif I Sarwat. Evaluation of missing data imputation methods for an enhanced distributed pv generation prediction. In *Proceedings of the Future Technologies Conference*, pages 590–609. Springer, 2019.
- [6] Kertali. Étude de comblement de lacunes : Cas des séries pluviométriques observées du réseau de l'onm. In *Journal Algérien de Météorologie Appliquée*, pages 49–58, 2019.
- [7] Daniel J Stekhoven and Peter Bühlmann. Missforest—non-parametric missing value imputation for mixed-type data. *Bioinformatics*, 28(1):112–118, 2012.
- [8] Olga Troyanskaya, Michael Cantor, Gavin Sherlock, Pat Brown, Trevor Hastie, Robert Tibshirani, David Botstein, and Russ B Altman. Missing value estimation methods for dna microarrays. *Bioinformatics*, 17(6):520–525, 2001.
- [9] Melissa J Azur, Elizabeth A Stuart, Constantine Frangakis, and Philip J Leaf. Multiple imputation by chained equations: what is it and how does it work? *International journal of methods in psychiatric research*, 20(1):40–49, 2011.
- [10] Ross Ihaka and Robert Gentleman. R: a language for data analysis and graphics. *Journal of computational and graphical statistics*, 5(3):299–314, 1996.

Mesure du rayonnement solaire au Sahara (Algérie)

Sidi BAIKA ^{1*}

Abstract

L'énergie solaire est considérée comme l'une des sources les plus importantes d'énergie renouvelable et respectueuse de l'environnement et elle occupe une des places les plus importantes parmi les diverses sources d'énergies possibles. Une connaissance précise de distribution de la radiation solaire à un endroit géographique donné est d'une importance majeure pour le développement des dispositifs d'énergie solaires et pour l'évaluation de leurs performances. Cet article montre l'intérêt des mesures du rayonnement dans la région de Tamanrasset qui fait partie d'un réseau mondial de surveillance du climat. On y expose les méthodes de calibrage des instruments de mesure ainsi que le contrôle qualité qui permet la validation des données. Enfin, Pour étudier la variabilité climatique du rayonnement solaire, une analyse de la tendance des séries de rayonnement solaire annuelles est conduite par plusieurs versions du test de Mann-Kendall.

Keywords

¹ Office National de la Météorologie, Tamanrasset, Algérie

*Correspondant: baika1971@gmail.com

Contents

1	Introduction	1
2	Matériel et méthodes	2
2.1	2.1 Centre de la veille de l'atmosphère globale (V.A.G)	2
2.2	2.1.1 Site de Tamanrasset « ville »	2
2.3	2.1.2 Site de l'Assekrem	2
2.4	2.2 Réseau de Base du Rayonnement de Surface (BSRN)	2
2.5	2.3 Traitement et calibrage des données de rayonnement:	2
2.6	2.4 Analyse de la tendance des séries annuelles:	3
3	Résultats et discussion	5
3.1	3.1 Variation de rayonnement journalière et mensuelle	5
4	Conclusion	7
	References	8

1. Introduction

Le soleil est une source essentielle de tout rayonnement reçu par la terre. Ce dernier lui procure l'énergie, la chaleur et la lumière qui sont nécessaires à toute forme de vie. La connaissance de la trajectoire du soleil et sa position en chaque point du ciel et la distance terre-soleil sont nécessaires à la détermination de la quantité du rayonnement extraterrestre et la durée du jour. Dans le domaine spectral 200 -3000 nm, la densité de flux de rayonnement émis par

la surface du soleil et reçue par une surface perpendiculaire au rayonnement, située au sommet de l'atmosphère, est presque constante en intensité et en composition. En effet, la distance terre-soleil varie au cours de l'année ce qui entraîne une fluctuation de +/- 4% de cette constante autour de sa valeur moyenne. C'est le flux de rayonnement qu'on appelle « constante solaire 1360 W/m². [1] Lorsque le rayonnement solaire pénètre dans l'atmosphère, il subit une extinction due à l'absorption et à la diffusion par les constituants atmosphériques :

- Une fraction du rayonnement solaire est transmise directement au sol, en conservant sa direction après absorption partielle : C'est le rayonnement direct = I (l'intensité du rayonnement direct est mesuré par un Pyrhéliomètre muni d'un dispositif charge de l'orienter en permanence vers le soleil). [2]
- L'autre fraction est absorbée et diffusée dans toutes les directions. Une partie de l'énergie diffusée est renvoyée dans l'espace (rayonnement réfléchi). L'autre partie, celle qui arrive au sol, est connue sous le terme de rayonnement diffus = D, qu'on mesure à l'aide d'un Pyranomètre, muni d'un disque écran mobile de 6 à 8 cm de diamètre, porte par un bras de 80cm et déplacé à l'aide d'un système rotatif piloté informatiquement et maintient à l'ombre la partie sensible du Pyranomètre. La somme des rayonnements diffus et direct s'appelle le rayonnement Global $G = D + I \sin H$ (H est la hauteur du soleil au-dessous de l'horizon ; il est aisément obtenu à partir de la latitude du lieu, de la déclinaison et de l'angle horaire du soleil).

2. Matériel et méthodes

La région de Tamanrasset est concernée par deux programmes mondiaux : la veille de l'atmosphère Globale (VAG) le Réseau de Base du Rayonnement de Surface (BSRN)

2.1 Centre de la veille de l'atmosphère globale (V.A.G)

Les mesures du rayonnement solaire et atmosphérique à Tamanrasset sont effectuées depuis septembre 1994 dans le cadre d'un programme mondial de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) intitulé Veille de l'Atmosphère Globale (VAG). Le site de Tamanrasset a été sélectionné par une mission d'expert en 1991 pour mener ce programme. Le centre de la VAG est mené dans les deux sites : Tamanrasset et Assekrem depuis 1994 en collaboration avec l'OMM.

2.1.1 Site de Tamanrasset « ville »

Tamanrasset est situé dans le Sahara central. La ligne du tropique du cancer passe à 100km au nord de Tamanrasset. La station de Tamanrasset est placée au centre vaste plateau couvert de montagne sauf au sud-sud-ouest (SSW). De part sa position géographique, Tamanrasset se situe dans la zone de transition entre le monde de la météorologie tropicale et celui de la météorologie tempérée, malgré la prédominance des phénomènes liés de l'un ou l'autre type pendant certaine partie de l'année. Il n'en reste pas moins que les situations synoptiques rencontrées à Tamanrasset résultent d'une interaction ou encore d'un équilibre entre les phénomènes liés à la météorologie tropical et ceux qui sont liés à la météorologie tempérée. Cette station représente le climat aride et qui est influencé par les flux de mousson en été. La station de Tamanrasset se trouve à une latitude de 22° 47' N, une longitude de 05° 31' E et une altitude de 1377 m. Les mesures effectuées dans ce site sont :

- le trouble atmosphérique : mesuré à l'aide du photomètre solaire 3 fois/jour pour déduire le coefficient d'extinction du rayonnement solaire par les aérosols à la longueur d'onde 0.5 μm
- l'ozone total : mesuré à l'aide du spectromètre DOBSON 3 fois/jour pour calculer l'épaisseur de la couche d'ozone.
- le rayonnement solaire et atmosphérique : on y mesure le rayonnement direct, global, diffus, infrarouge en courtes longueurs d'onde et atmosphérique en grande longueur d'onde (GLO) avec une intégration d'une minute et une acquisition continue sur P.C
- l'épaisseur optique AOD : elle est mesurée de manière continue à l'aide du photomètre CIMEL sur 07 longueurs d'onde. Cette mesure entre dans le cadre du réseau AERONET, en collaboration avec l'INM (Météo Espagnole).

2.1.2 Site de l'Assekrem

Le site de l'Assekrem est situé à environ 50 km au nord de Tamanrasset à une altitude très élevée de 2710 m. La station VAG de l'Assekrem a été construite par l'ONM en 1996 spécialement pour ce programme. Elle est en service depuis mars 1997. Les mesures effectuées actuellement sont :

- Ozone de surface : mesuré à l'aide du TECO49 avec une intégration de 1 mn.
- Monoxyde de carbone CO : mesuré à l'aide de l'équipement HORIBA avec une intégration de 1 mn.
- Échantillonnage des gaz à effet de serre (GES) : toutes les semaines un échantillonnage d'air atmosphérique est effectué sur site. Un colis contenant 02 échantillons est expédié au laboratoire de la NOAA pour analyse chimique.

2.2 Réseau de Base du Rayonnement de Surface (BSRN)

Le réseau BSRN a été conçu à la fin des années 1980 par le Programme Mondial de Recherche sur le Climat (PMRC) avec la collection des données à utiliser dans les applications climatologiques, en particuliers : La validation des produits satellitaires, la comparaison des modèles climatiques et l'établissement d'une climatologie radiométrique régionale. Au milieu des années 1990, le réseau BSRN est inclus dans l'expérience Globale sur l'Energie et l'Eau (GEWEX). A la fin des années 1990, il est désigné comme réseau contributeur dans le programme de Veille Atmosphérique Globale (VAG) de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) et en 2014 comme réseau de référence pour le Système Mondiale d'Observation du Climat (SMOC). [3]

- La station de rayonnement de Tamanrasset est intégrée dans le réseau BSRN depuis mars 2000.

2.3 Traitement et calibrage des données de rayonnement:

Un attachement très sérieux est accordé à la qualité des données de rayonnement :

- Une première mesure consiste à l'étalonnage des équipements de mesures. Cette opération est effectuée chaque année par des journées de ciel clair, de très bonnes visibilités et de vent calme à faible à l'aide d'un étalon secondaire (figure 4). L'OMM organise tous les cinq ans une campagne d'étalonnage des étalons secondaires au centre de rayonnement de DAVOS(Suisse). Un exemple des coefficients d'étalonnage est représenté dans le tableau 2.

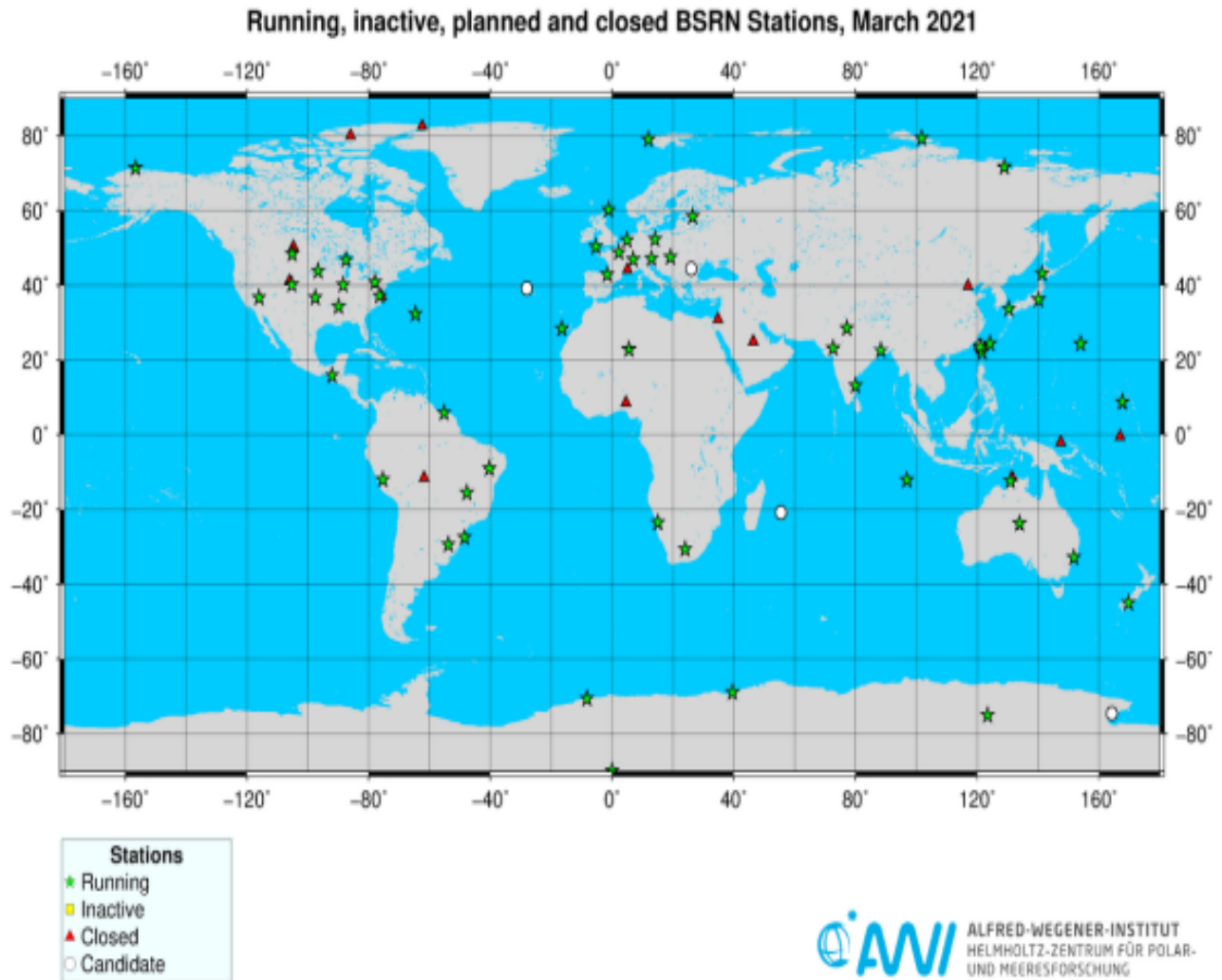


Figure 1. Réseau de stations BSRN (mars 2021) [4]

Table 1. Types de rayonnement mesurés à Tamanrasset

Mesure	Instrument	spectre	Début	Fréquence	Unité
Rayonnement direct	Pyrhéliometre	0.28 μm – 4 μm	Sept 1994	3 fois/J	W/m ²
Rayonnement direct	Pyrhéliometre	0.28 μm – 4 μm	Oct 1994	Minute	W/m ²
Rayonnement Diffus	Pyrhéliometre	0.28 μm – 4 μm	Oct 1994	Minute	W/m ²
Rayonnement global	Pyrhéliometre	0.28 μm – 4 μm	Oct 1994	Minute	W/m ²
Rayonnement infrarouge	Pyrhéliometre	0.69 μm – 4 μm	Oct 1994	Minute	W/m ²
Rayonnement (GLO)	Pyrhéliometre	4 μm – 100 μm	mar 2000	Minute	W/m ²
Rayonnement réfléchi	Pyrhéliometre	0.28 μm – 4 μm	Oct 1994	Minute	W/m ²

- La deuxième mesure s'assure du contrôle de la qualité des données. Cette opération s'effectue d'abord à l'échelle minute, avant que les données ne soient agrégées à l'échelle horaire et quotidienne sur lesquelles d'autres procédures de contrôle sont appliquées. Ces procédures se résument à des tests de vraisemblance, de fourchettes et de cohérence interne.

2.4 Analyse de la tendance des séries annuelles:

À l'échelle minute, les données de rayonnement sont agrégées à l'échelle annuelle après avoir été validées par les contrôles de qualité. Dans cette analyse, on se propose d'étudier la tendance des séries annuelles du rayonnement direct,

Table 2. Coefficients d'étalonnage . Exemple : Si le global vaut 6.5mV et son coefficient de calibration K=6.96
 $\mu V/W.m^{-2}$, en énergie il vaut $6.5 * 103/6.96 = 933.9 w/m^2$.

Rayonnement	Ancien coefficient K année 2017 ($\mu V/W.m^{-2}$)	Nouveau coefficient K année 2018 ($\mu V/W.m^{-2}$)
Direct	7.79	7.76
Diffus	6.78	6.84
Global	6.96	6.96



Figure 2. dispositif de mesure du rayonnement à Tamanrasset



Figure 4. Dispositif d'étalonnage à Tamanrasset

diffus et global sur la période 1994 à 2017. Le test de Mann-Kendall (Kendall, 1975 ; Mann, 1945 ; Sneyers, 1990) est utilisé pour l'étude de cette tendance. Ce test est dédié à la détection des tendances monotones. C'est un test non paramétrique et réputé robuste car il s'appuie sur les rangs des observations. Par contre, en présence de l'auto-corrélation entre les observations, ce test est perturbé (von Storch et Navarra, 1999 ; Yue et Wang, 2004). Une auto-corrélation positive conduit à rejeter plus souvent l'hypothèse nulle H_0 (absence d'une tendance) au profit de l'hypothèse alternative H_1 (présence d'une tendance). Dans le cas où la présence de l'auto-corrélation ne peut être écartée, divers auteurs ont proposé des solutions pour y remédier à ce problème. Nous citerons deux approches :

- La transformation PW (pre-whitening) : Elle consiste à transformer la série d'observations en une série qui représente un bruit blanc (von Storch et Navarra, 1999).
- La modification du test de Mann-Kendall : Cette approche consiste à modifier le test appliqué aux données que les données elles-mêmes (Hamed et Rao, 1998 ; Yue et Wang, 2004). Ces auteurs ont proposé de corriger la statistique S du test de Mann-Kendall pour prendre en compte les effets de l'auto-corrélation. Le principe est d'introduire un terme correctif à la variance de cette statistique S .

En résumé, notre démarche pour étudier la tendance, consiste à vérifier si les séries annuelles de rayonnement présentent une auto-corrélation avec le corrélogramme graphique



Figure 3. station météorologique de la ville de Tamanrasset

de la fonction d'auto-corrélation empirique (ACF) et un test statistique de Wald-Wolfowitz (Sneyers, 1990). Deux cas peuvent se présenter : dans le cas de l'absence de l'auto-corrélation, on utilisera le test de Mann-Kendall classique. Par contre, dans le cas inverse, on utilisera le test de von Storch (von Storch, 1995) pour la méthode PW et le test (Hammed et Rao, 1998) pour l'approche modification du test de Mann-Kendall.

Si la tendance est confirmée, nous utiliserons la méthode de la pente de Sen (Sen, 1968) pour estimer l'ampleur de celle-ci. Cette méthode, non paramétrique, consiste à calculer les pentes de toutes les données de la série. Ensuite, à estimer la pente de Sen par la pente médiane.

3. Résultats et discussion

3.1 Variation de rayonnement journalière et mensuelle

Si les valeurs annuelles des différentes composantes du rayonnement varient très peu dans le temps (fig. 7), les valeurs journalières et mensuelles montrent un effet saisonnier important (figures 5 et 6). Les valeurs minimales du rayonnement global et diffus sont observées en période d'hiver lorsque le soleil est très bas. Par contre les valeurs maximales sont observées en période estivale, qui s'étend de mai à septembre, où Tamanrasset est influencée par les flux de mousson avec un ciel couvert fréquent et de la brume. Le rôle des nuages sur les échanges de chaleur dans le système climatique est fondamental, via les flux radiatifs, dans les longueurs d'onde visibles et infra-rouge, mais aussi les flux de chaleur latente. La modulation solaire du flux de particules énergétiques a un impact climatique direct très faible, mais une amplification très forte pourrait exister via ce contrôle sur les nuages. Les différentes corrélations proposées entre les flux de particules énergétiques et la couverture nuageuse restent toutefois très débattues [6]

3.2 Analyse de Tendance Annuelle

L'examen visuel de la figure 8 qui montre l'évolution temporelle des séries annuelles des 3 composantes du rayonnement solaire à Tamanrasset, nous suggère de vérifier statistiquement leur tendance dans le temps.

3.2.1 Étude de l'auto-corrélation :

3.2.1.1 Test graphique :

L'examen visuel des corrélogrammes (figure 8) montre que la série du rayonnement direct ne présente pas d'auto-corrélation.

Par contre les 2 séries restantes du rayonnement diffus et global montrent des coefficients d'auto-corrélation significatifs dès le premier décalage (lag 1). La série du rayonnement diffus montre une auto-corrélation plus forte que le rayonnement global.

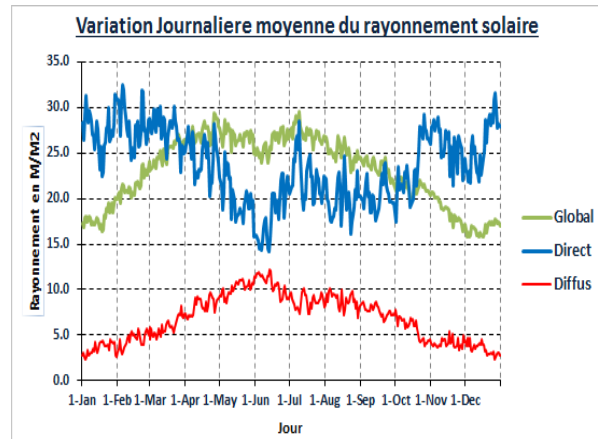


Figure 5. Variation Journalière Moyenne du rayonnement : Global, Direct et Diffus [5]

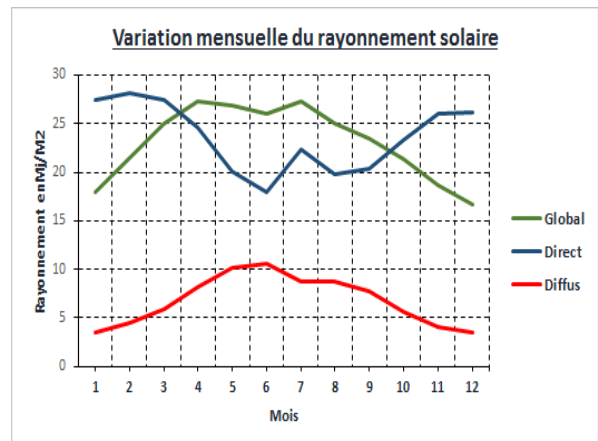


Figure 6. Variation Mensuelle Moyenne du rayonnement : Global, Direct et Diffus [5]

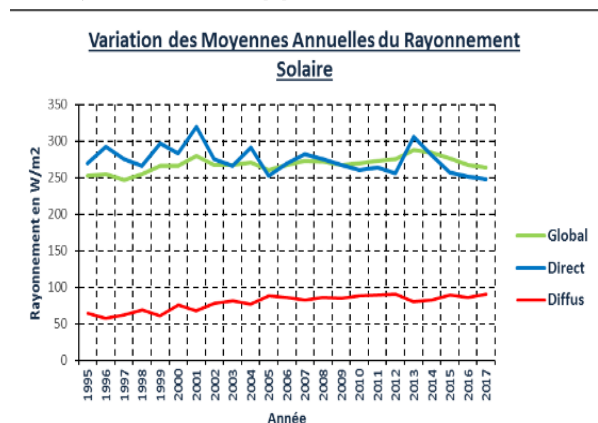
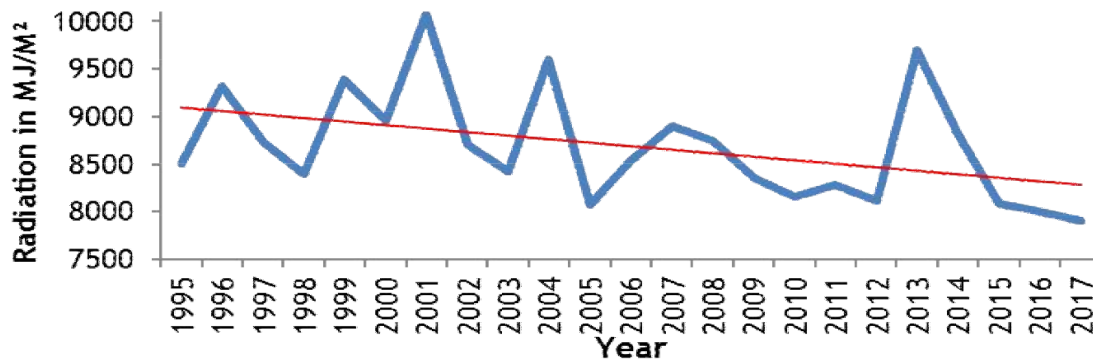


Figure 7. Variation Annuelle Moyenne du rayonnement : Global, Direct et Diffus [5]

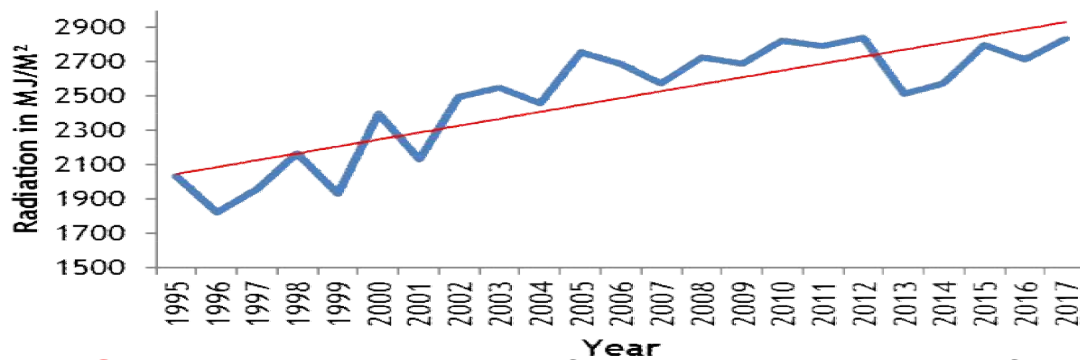
3.2.1.2 Test statistique de Wald-Wolfowitz

Le tableau 3, montre que le test de la corrélation sérial de Wald-Wolfowitz est très significatif pour les deux séries annuelles du rayonnement diffus et global. Par contre, la série du rayonnement annuelle direct ne présente pas de cor-

THE ANNUAL TOTAL OF DIRECT



THE ANNUAL TOTAL OF DIFFUSE



THE ANNUAL TOTAL OF GLOBAL

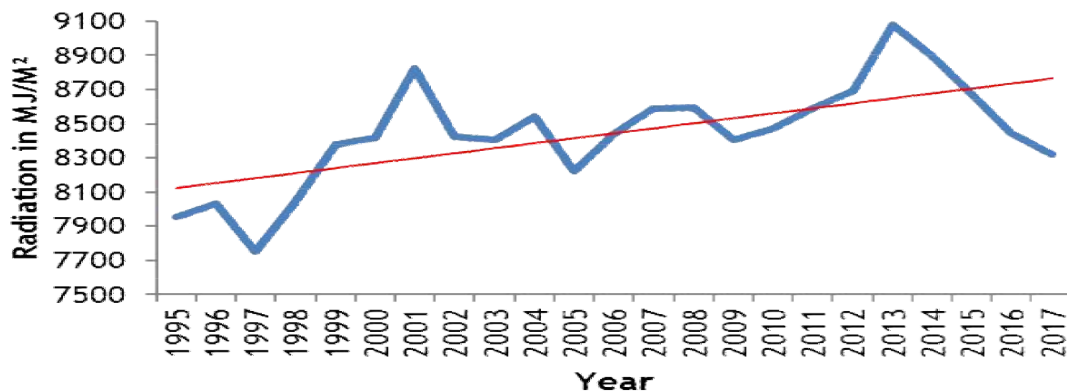


Table 3. Variation annuelle du rayonnement solaire direct, diffus et global à Tamanrasset (1995-2017)

Table 4. Tableau 3 : Résultats du test de Wald-Wolfowitz

Série	Direct	Diffus	Global
Pvaleur	0.1676	0.001034	0.0009463

relation sériel significative. Ces résultats confirment les résultats obtenus par la méthode graphique de l'ACE.

3.2.2 Analyse de la tendance :

Suite aux résultats obtenus de l'étude de l'autocorrélation, nous appliquerons le test de Mann-Kendall classique à la série du rayonnement direct, par contre, pour les séries du rayonnement diffus et global, nous confronterons les résultats de deux versions du test de Mann-Kendall. L'une proposée par (Hammed et Rao, 1998) avec correction de la variance et l'autre proposée par (von Storch, 1995) avec la transformation PW. Pour le rayonnement direct le tableau 4

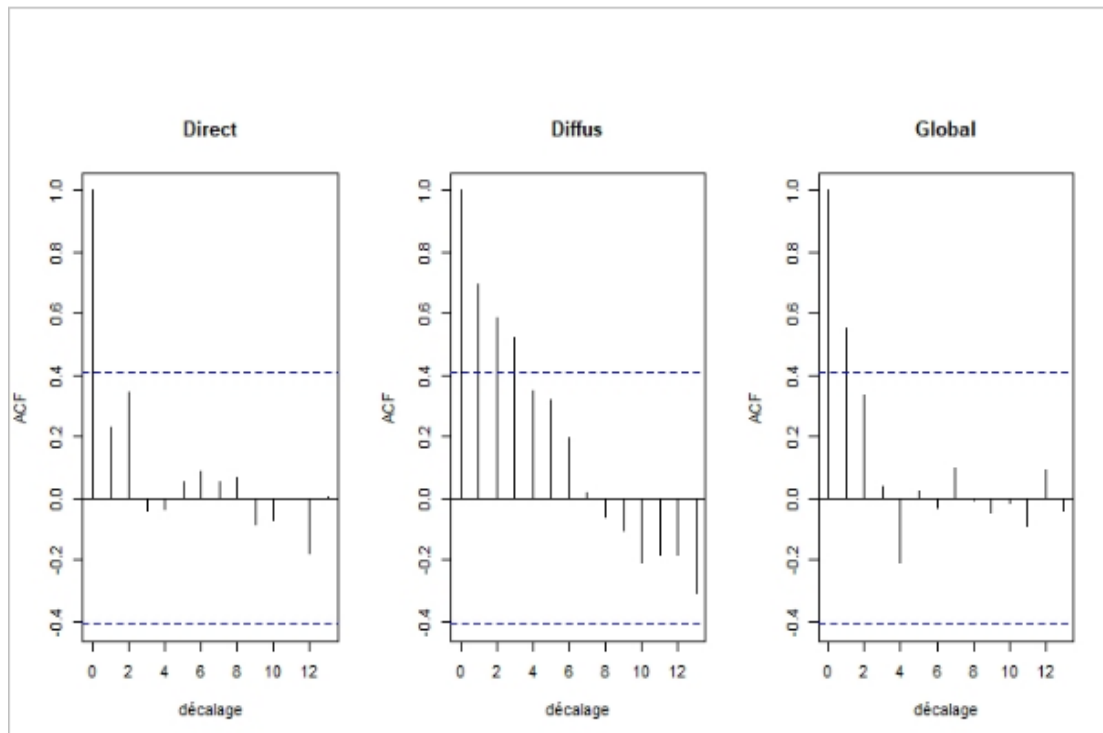


Figure 8. Corrélogramme des 3 séries annuelles : direct, diffus et global

confirme une tendance très significative puisque la p.valeur du test de Mann-Kendall classique, de l'ordre de 0.007 est très inférieure au seuil $\alpha = 0.05$. En outre, la pente de Sen confirme une tendance à la baisse de l'ordre de $-41 \text{ MJ} / \text{M}^2 / \text{an}$ de rayonnement par an.

Table 5. résultats du test de Mann-Kendall classique

Série	Direct	Diffus	Global
P.valeur	7.062844e-03	/	/
Pente de Sen	-4.158000e+01	/	/

Par contre, les résultats sont contradictoires pour les séries du rayonnement diffus et global. La version du test de Von Storch (tableau) suggère l'acceptation de H_0 , donc absence d'une tendance significative, et la version du test de Hammed et Rao (tableau) suggère le contraire avec une tendance positive pour les 2 séries. A ce stade, il nous semble prudent de ne pas accepter une tendance significative pour les séries de rayonnement diffus et global. Test PW von

Table 6. résultats du test MK avec correction de la variance (approche Hammed et Rao 1998)

Série	Direct	Diffus	Global
P.valeur	/	9.123965e-06	5.118049e-03
Pente de Sen	/	3.737778e+01	2.304000e+01

Storch (1995) Approach :

Table 7. résultats du test de tendance par l'approche PW proposée par von Storch (1995)

Série	Direct	Diffus	Global
P.valeur	/	6.273523e-02	9.101957e-01
Pente de Sen	/	1.328750e+01	9.103742e-01

4. Conclusion

Les données collectées des irradiances solaires sur le site de Tamanrasset durant une période de 23 ans nous ont révélé la fréquence des mesures pour les rayonnements solaires reçus.

- Le rayonnement diffus est généralement élevé à partir du mois d'Avril et prend une valeur maximale durant le mois de juin ($10.7 \text{ MJ}/\text{m}^2$) en raison de la présence des nuages et des nébulosités. Par contre les faibles valeurs sont observées au moins de décembre ($3.5 \text{ MJ}/\text{m}^2$) en présence des bonnes conditions météorologiques.
- Pour le rayonnement global, il varie entre $30.8 \text{ MJ}/\text{m}^2$ en mai 2015 et $14.4 \text{ MJ}/\text{m}^2$ en décembre 1998. Les fortes valeurs de mai sont dues à la forte hauteur du soleil.
- Les valeurs du rayonnement direct sont très élevées en période d'hiver de novembre à mars par absence des nuages et varient au cours de l'année entre $18 \text{ MJ}/\text{m}^2$ et $28 \text{ MJ}/\text{m}^2$.

Le site de Tamanrasset dispose d'un gisement solaire important.

La durée d'insolation dépasse 3300 heures annuellement, en comparaison aux sites d'Alger (2800 heures) et de Batna (2900 heures [5])

L'analyse de la tendance des séries annuelles du rayonnement solaire montre que seul que le rayonnement annuel direct connaît une tendance à la baisse de $-41 \text{ MJ} / \text{M}^2 / \text{an}$.

Pour les séries du rayonnement annuel diffus et global, qui présentent une auto-corrélation rendant ainsi l'analyse de la tendance délicate, les résultats entre deux versions du test de Mann-Kendall sont contradictoires. Ce qui nous incite à être prudent quant à l'existence d'une tendance significative, d'autant plus que la taille de l'échantillon est faible. A titre de recommandations, nous conseillons vivement la pérennité et le renforcement des mesures dans cette région qui contribue à la surveillance du climat local et mondial. En outre, la poursuite de l'analyse des séries de rayonnement doit être poursuivie

et affinée avec l'extension avec le temps de la taille des échantillons.

References

- [1] HP Grog. Ja duffie and wa beckman, " solar engineering of thermal process, 1991.
- [2] MS Windows NT kernel description. <https://www.intervent.fr/index.php>. Accessed:.
- [3] MS Windows NT kernel description. <http://www.soda-pro.com/help/validation/helioclim-3-current-day-bsrn>. Accessed: June 2018.
- [4] MS Windows NT kernel description. <https://bsrn.awi.de/nc/stations/maps/>. Accessed: 2021.
- [5] S.BAIKA. Solar radiation measurement in the sahara. *The 15th BSRN Scientific Review and Workshop at Colorado U.S.A*, July 16-20, 2018.
- [6] J Calogovic, C Albert, F Arnold, J Beer, L Desorgher, and EO Flueckiger. Sudden cosmic ray decreases: No change of global cloud cover. *Geophysical Research Letters*, 37(3), 2010.

Étude de la variabilité des phénomènes de sable sur la région de Béchar du 1980 au 2019

Hamza HAMID ^a

Abstract

Une analyse objective des données d'observation de visibilité enregistrées par la station de Béchar ces dix dernières années montre une augmentation remarquable des jours de brume de sable sur cette ville. Ceci nous a amené à poser des questions sur les principales causes de cette augmentation. Effectivement, nous avons soupçonné les activités des entreprises de carrières et sablières et leurs localisations, car c'est la seule nouvelle composante extérieure mise en jeux, localement, dans le cycle de vie des poussières désertiques. En effet, ces activités fragilisent le sol par un impact direct et le rend très favorable aux processus de mobilisation et de suspension dans l'atmosphère.

Cette étude a été réalisée afin d'appuyer notre analyse. Il s'agit d'étudier les séries de données de visibilité, de vent sable et brume de sable sur la région de Béchar pour les deux périodes : avant la mise en place de ces entreprises et la période après leurs mise en place. La relation entre la direction du vent et l'emplacement de ces entreprises a fait l'objet également dans ce travail

Keywords

lithométéore, brume de sable, établissement classé, environnement, étude d'impact.

^a ONM, Département Météorologique Régional sud-ouest, Béchar

*Correspondant: hamzahamidi419@gmail.com

Contents

1	Introduction	1
2	La typologie des types de temps lithométéores :	2
2.1	Présentation de la zone de Béchar	2
3	Analyse de séries de données	2
3.1	Analyse de la rose des vents	2
3.2	Analyse de l'occurrence des phénomènes de chasse sable, brume de sable:	3
3.3	Analyse de la série de données par période décennale	3
3.4	Position des sites des carrières et sablières par rapport au point d'observation	4
4	Conclusion	6
	References	6

1. Introduction

Le développement durable est une forme de développement économique ayant pour objectif principal de concilier le progrès économique et social avec la préservation de l'environnement. Ce dernier étant considéré comme un patrimoine devant être transmis aux générations futures. Ces deux dernières décennies, la région de Béchar est devenue un véritable chantier à ciel ouvert dans plusieurs domaines notamment l'infrastructure, le bâtiment ...etc. Plusieurs petites et moyennes entreprises (PME) ont été créées et

qui sont actuellement en phase de production. Certainement, aucune personne ne conteste l'apport positif de ces entreprises pour l'économie du pays et pour la région en particulier, mais qu'en est-il pour l'environnement ?

Effectivement, pour prendre en considération ce patrimoine national et le préserver, la réglementation nationale exige, au préalable, pour chaque demande de création d'une entreprise, une étude d'impact sur l'environnement (EIE) ou notice d'impact sur l'environnement (NIE) et une étude de danger.

En effet, une analyse objective des données d'observation de visibilité enregistrées par la station de Béchar ces dix dernières années a montré une augmentation remarquable du jour de brume de sable sur cette ville. Ceci nous a amené à poser des questions sur les principales causes de cette augmentation. Effectivement, nous avons soupçonné les activités des entreprises de carrière et sablière et leurs localisations, car c'est la seule nouvelle composante extérieure qui a rentré en jeux, localement, dans le cycle de vie des poussières désertiques. Sachant que ces activités fragilisent le sol par un impact direct et le rend très favorable au processus de mobilisation et de suspension dans l'atmosphère (Fig. 1)

Afin de vérifier notre hypothèse, nous avons procédé à l'étude des séries de données de visibilité, de vent sable et de brume de sable sur la région de Béchar pour les deux périodes : avant la mise en place de ces entreprises et la période après leur mise en place. La relation entre la direction du vent et l'emplacement de ces entreprises a été aussi sujet d'étude dans ce travail.

Cet article est organisé comme suit : après cette intro-



Figure 1. photos montrant la poussière émise par les carrières et sablières.

duction, le chapitre 2 sera consacré à la présentation de la méthodologie suivie pour effectuer cette étude. Le chapitre trois sera dédié aux résultats et leurs analyses et nous terminerons par une conclusion générale.

2. La typologie des types de temps lithométéores :

Les lithométéores sont un ensemble de particules solides en suspension dans l'atmosphère soulevés par le vent. Dans les régions désertiques, les lithométéores sont souvent assimilés à des vents de sable et ils représentent une série de types de temps bien distingués [1]. Suivant la classification relative au recueil des codes météorologiques [2], on distingue quatre phénomènes:

- Brume de poussière (S) : poussières en suspension dans l'air d'une manière généralisée, non soulevées par le vent au point d'observation ou à ses alentours au moment de l'observation. La brume de poussière est mentionnée par l'observateur, lorsqu'un dépôt de poussière éolienne est visible au sol.
- Brume sèche (∞) : il n'existe pas de définition précise pour ce type de lithométéore. La brume sèche possède cependant les mêmes caractéristiques que la brume de poussière, mais en est différente par l'absence de dépôt de poussière au sol.
- Chasse-sable (\$) : poussière ou sable soulevés par le vent au point d'observation ou à ses alentours au moment de l'observation, mais absence de tourbillon et pas de tempête de poussière ou de sable observée.
- Tempête de sable ($-S \rightarrow$) : tempête de poussière ou de sable observée au moment de l'observation en vue du point d'observation, ou à ce point pendant l'heure précédente.

Température Maximum	44.8 °C	12 Juillet 2001
Température minimum	-04.8°C	12 Janvier1984
Cumul annuel	245 mm	2014
Cumul max mensuel	184.4 mm	Novembre 2014
Cumul max journalier	90.1 mm	11 Novembre 1993
Vent maximum	55 m/s	24 Aout 1955

Table 1. Valeurs record enregistrées

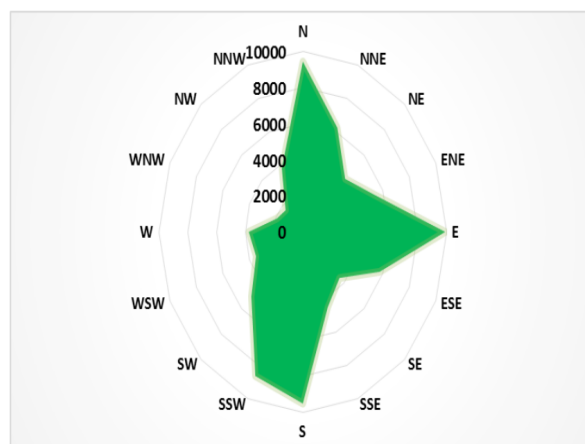


Figure 2. Rose des vents (1980-2019)

Présentation de la zone de Béchar

La zone de Béchar est située au Sahara Algérien à une altitude moyenne d'environ 760 mètres, entre le 29^{ème} et 32^{ème} parallèle de latitude nord, et les méridiens 00° et 05° de longitude ouest. Son climat est de type désertique continental qui se caractérise par un été très chaud (+45°C) et un hiver très froid (-05°C). Le régime pluviométrique connaît de grandes variations d'année en année et d'un lieu à un autre avec une moyenne annuelle de 93 mm/an. Les vents de sable y sont très fréquents et violents causant des dégâts parfois importants, pouvant atteindre la vitesse de 100 km/h ; mais sans être exposée à des vents cycloniques. Les statistiques effectuées au niveau de nos stations ont permis de déterminer les valeurs records de la série climatique 1954-2015:

3. Analyse de séries de données

Analyse de la rose des vents

Les données climatiques utilisées dans cette étude sont la visibilité, la direction des vents, jours de brume de sable, jours de chasse sable. Elles ont été collectées auprès du service de climatologie régionale de Béchar. Ces données sont assez homogènes et sans lacunes couvrant la période 1980-2019. La figure 2 montre les fréquences des vents annuels à 10 mètres au-dessus du sol enregistrés par la station météorologique de Béchar du 1980 à 2019. L'analyse des statistiques du vent montrent qu'il y a prédominance du vent de secteur Est (E), Nord (N) et dans l'intervalle des directions Sud (S) à Sud-Sud-Ouest (SSO). La vitesse la plus

élevée en revanche est enregistrée dans la direction Est (E). L'analyse de cette rose traduit la probabilité élevée pour les secteurs des lithométéores.

Analyse de l'occurrence des phénomènes de chasse sable, brume de sable:

Pour la même période, nous avons calculé la fréquence mensuelle d'apparition des phénomènes de vent de sable et les secteurs des vents qui sont à l'origine de ces phénomènes. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 3:

L'analyse de la fréquence de l'occurrence de chasse sable à l'échelle mensuelle et saisonnière durant la période d'étude révèle les caractéristiques suivantes :

- Le phénomène chasse sable a lieu sur la zone d'étude durant le printemps (mars, avril et mai) et l'été (juin, juillet et aout) avec une fréquence plus élevée pendant l'été par rapport au printemps.
- Ainsi, on identifie un maximum d'environ 12.48 % au mois d'Aout relatif à une forte occurrence de phénomène.
- La représentation graphique confirme le fait que les chasses sable commencent à partir du mois de mars et elles persistent durant les mois de mai, juin, juillet, aout et septembre.
- Alors, la période la plus favorable à la chasse sable s'étend de mars à septembre avec un maximum en Aout.
- On observe aussi une tendance à la baisse pendant le reste de l'année.

La figure 5 présente la distribution de la chasse sable selon la direction du vent sur la période analysée, nous pouvons facilement constater :

- La domination du vent de secteur purement Nord (N)
- Présence des composantes du vent de directions suivantes: Est (E), Est-Sud-Est (ESE), Nord-Nord-Est (NNE) et Sud-Ouest (SO).
- Une faible apparition des autres secteurs.
- La figure 5 donne une idée sur les secteurs des vents forts.

Analyse de la série de données par période décennale

Afin d'affiner plus notre étude et mettre en évidence la variation décennale de l'occurrence des phénomènes de vent de sable pour la période d'étude, nous avons établi une analyse des données de vent avec les phénomènes concernés. La figure 8 montre la distribution du phénomène de brume de sable selon la direction du vent pour les quatre périodes retenues à savoir : 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 et 2010-2019.

Les figures 6 et 7 montrent :

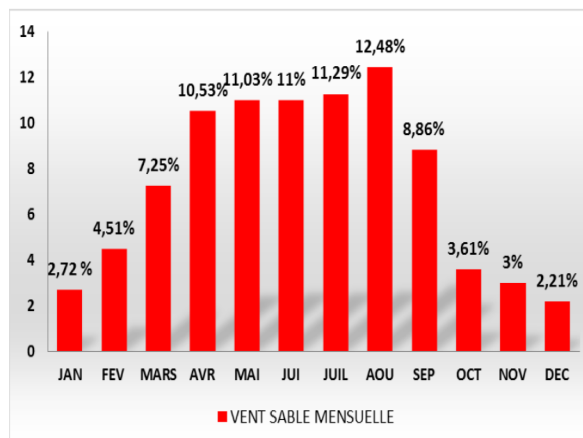


Figure 3. Variation mensuelle de l'occurrence de chasse sable pour la période 1980-2019

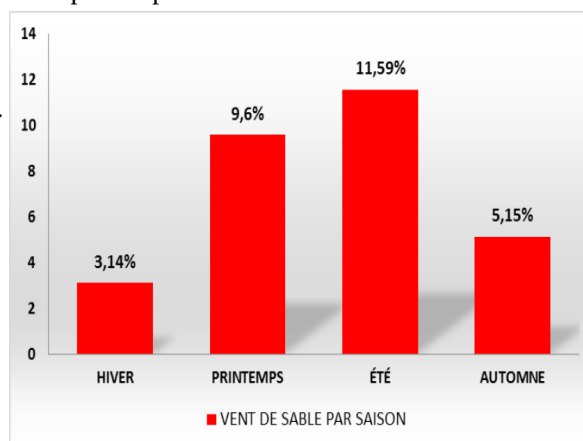


Figure 4. Variation saisonnière de l'occurrence de chasse sable pour la période 1980-2019

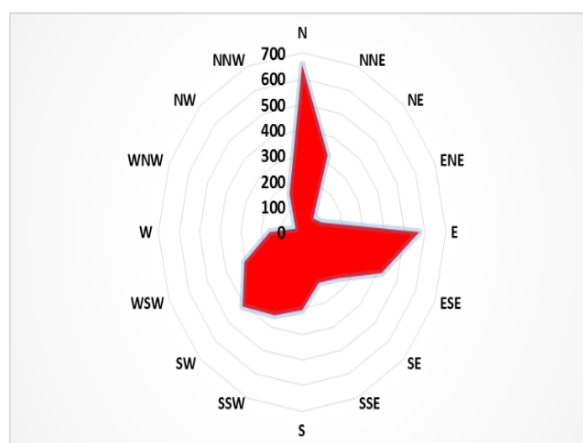


Figure 5. Le Rapport entre la direction du vent et la chasse sable (1980-2019).

- La diminution des jours de chasse de sable et augmentation des jours de brume de sable.
- L'augmentation des jours de brume de sable a en-

traîné une hausse dans le taux de la réduction de la visibilité par la brume de sable. Ceci est nettement visible pour la dernière décennie (2010-2019).

L'analyse de la distribution du phénomène de brume de sable selon la direction du vent permet de tirer les conclusions suivantes :

- La domination écrasante du vent de secteur purement d'Est et l'intervalle Sud -SSO.
- Une augmentation de la fréquence de jour de brume de poussière avec les vents d'Est et l'intervalle Sud -SSO les dix dernières années.
- Le secteur Sud-Sud-Ouest a dépassé en terme de fréquence le secteur Sud la dernière décennie (2010-2019).
- Les représentations graphiques confirment que la fréquence des phénomènes sableux a changé de secteur et a également dévié.
- La fréquence la plus faible des phénomènes sableux est dans l'intervalle Ouest(O), Nord-Nord-Ouest(NNO).

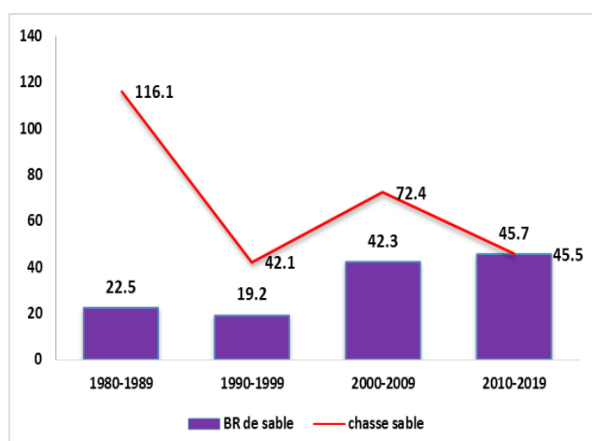


Figure 6. Variation décennale des jours de chasse sable et brume de sable pour la période 1980-2019.

Position des sites des carrières et sablières par rapport au point d'observation

Ces dernières années, beaucoup d'entreprises de carrière et sablière ont été installées dans la région de Béchar. Sur la figure 9, nous pouvons facilement constater l'évolution important du nombre de ces entreprises en fonctions des années. En 2002, on peut recenser 8 sites qui passe à 16 au bout de 5 années (2007). En 2019 ce nombre est grimpé au alentour du 30 entreprises pour occuper une superficie d'environ **7.240.625 m² (724 Hectares)**.

La figure 10 montre la position de ces entreprises par rapport au site d'observation. La majorité de ces entreprises sont situés dans un rayon de 10 à 18km. Ces entreprises

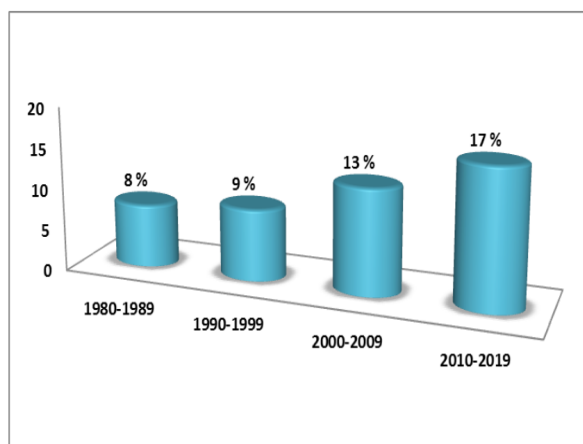


Figure 7. Variation décennale des jours de chasse sable et brume de sable pour la période 1980-2019.

sont concentrées à l'est et au sud de la ville de Béchar dans le même sens que les vents dominants, formant une source supplémentaire de poussière et un autre facteur de sa genèse. Sachant que les activités de ces entreprises ont un impact direct sur le processus de soulèvement, en fragilisant le sol et en ajoutant une contrainte mécanique supplémentaire directe qui s'accumule avec la contrainte du vent exercée sur la surface.

En effet, dans des conditions atmosphériques défavorables au soulèvement de sable (vent faible, turbulence réduite), ces activités humaines provoquent des soulèvements de poussière qui restent en suspension dans l'atmosphère, notamment dans les basses couches, ce qui favorise l'apparition de la brume de poussière ou de sable. Contrairement aux brumes de sable naturelles, les brumes de poussière liées à ces activités apparaissent à partir des vitesses relativement faibles ($\geq 8 \text{ kt}$) engendrant une réduction de visibilité ($\geq 3000 \text{ m}$) sur un étendu qui ne dépasse pas la ville de Béchar. La durée maximale de ces phénomènes est entre 2 heures et 6 heures. Par contre, la brume de sable naturelle peut persister jusqu'à quatre jours.

Les figures 11 et 12 montrent deux exemples de situations de brume de sable. La première situation concerne le 21 Mai 2019 (fig. 11). Elle est liée aux conditions atmosphériques naturelles avec une vitesse de vent à 10 mètres de l'ordre de 15 à 20 kt et une direction Sud-Est. Nous remarquons bien sur l'image satellite que l'étendu du panache de poussière couvre presque la totalité de la Wilaya de Béchar et les wilayas limitrophes.

Le deuxième exemple concerne la situation de 31 Mai 2019 (fig. 12). La brume de sable est associée, dans ce cas, aux activités humaines dans cette région. Le vent à 10 mètres enregistré sur la ville de Béchar est relativement faible (5 à 10 kt) avec une direction Est. L'image satellite prise pour cette journée à 7h et 8h de matin montre bien le panache de poussière qui est localisé sur la ville de Béchar.



Figure 8. Distribution du phénomène de brume de sable selon la direction du vent.

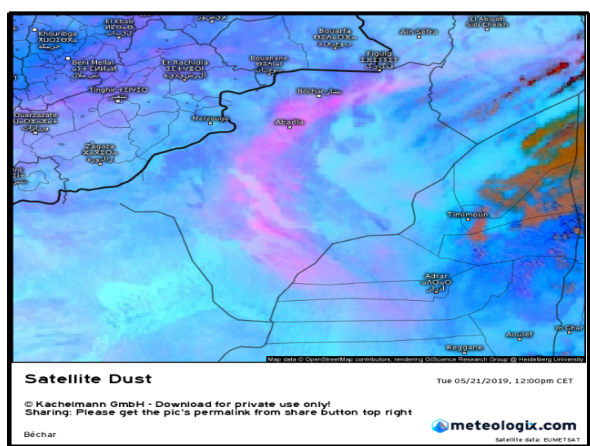


Figure 11.a Image satellite 21-05-2019 à 12h UTC de brume de sable.

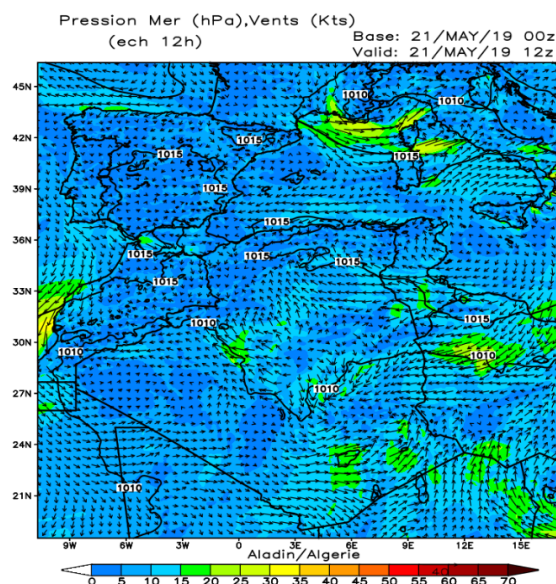


Figure 11.b Vent à 10m simulé par ALADIN pour la journée du 21 Mai 2019 à 12h

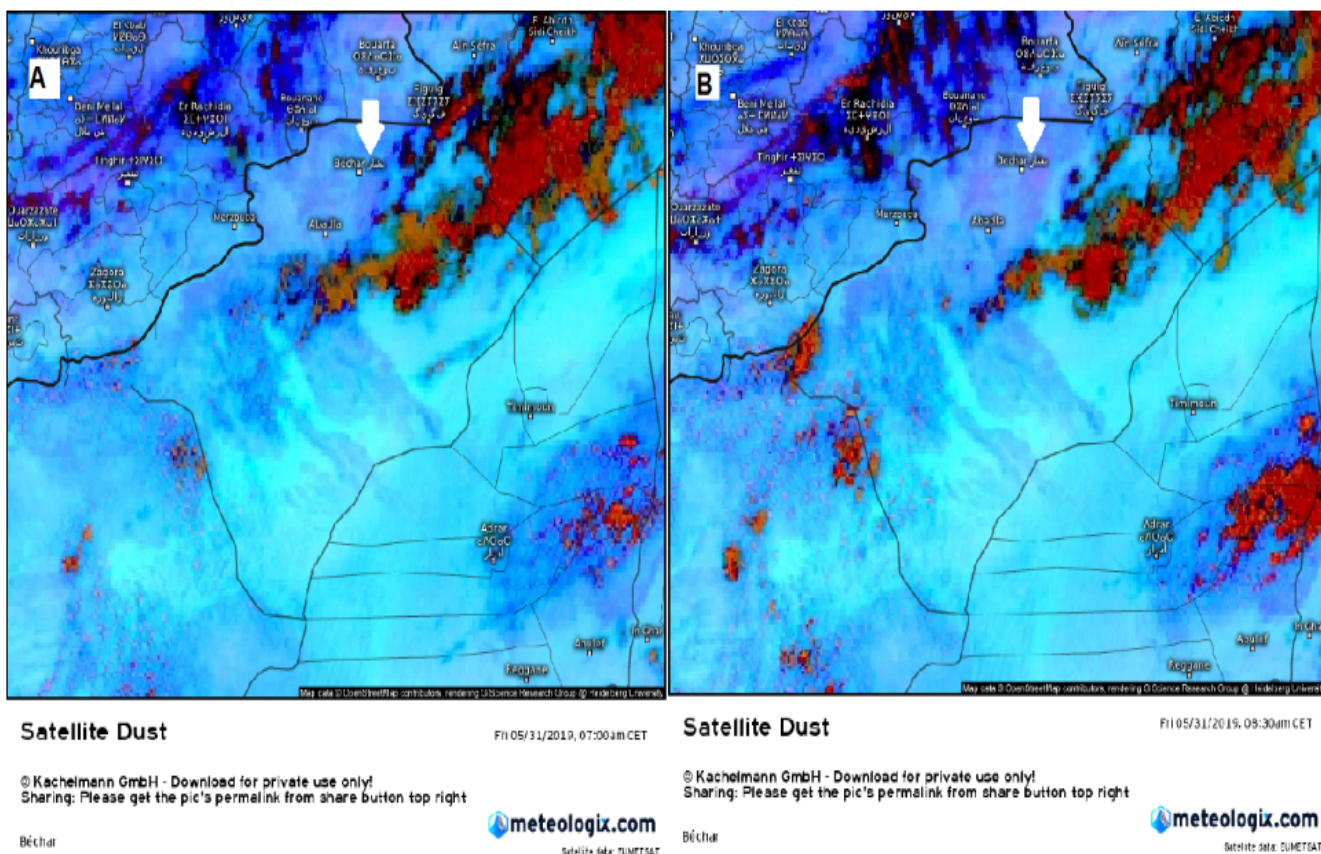


Figure 12.a Image satellite 31-05-2019 : (A) 07 UTC, (B) 08 UTC de poussière Est de Béchar. (eumetsat)

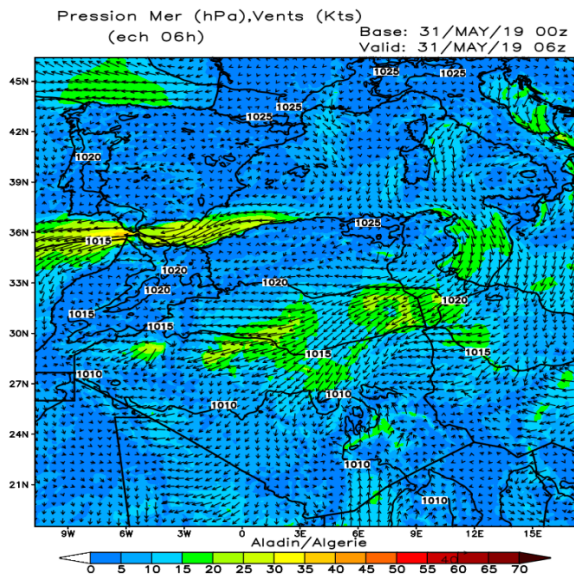


Figure 12.b Vent à 10m simulé par ALADIN pour la journée du 21 Mai 2019 à 6h

4. Conclusion

Dans ce travail, nous avons étudié la variation des phénomènes de vent de sable sur la période 1980-2019. Cette étude montre une augmentation des jours de visibilité réduite et de brume de sable durant la dernière période d'étude (2010-2019). D'après notre analyse, cette augmentations est causée principalement par les activités des entreprises de carrière et de sable implémentés en nombre important aux alentours de la ville de Béchar. L'activité de ces entreprises a un impact direct sur les processus de soulèvement de sable en fragilisant le sol et en ajoutant une contrainte mécanique supplémentaire directe qui s'accumule avec la contrainte du vent exercée sur la surface. S'ajoute à ces conditions, la position de ces entreprises par rapport au site d'observation qui se situe sur la trajectoire des vents dominants Ce qui favorise le soulèvement, le transport et la suspension de la poussière dans l'atmosphère sur la région de Béchar en réduisant ainsi la visibilité et en modifiant complètement la climatologie des phénomènes de sable sur la région de Béchar ces dix dernières années.

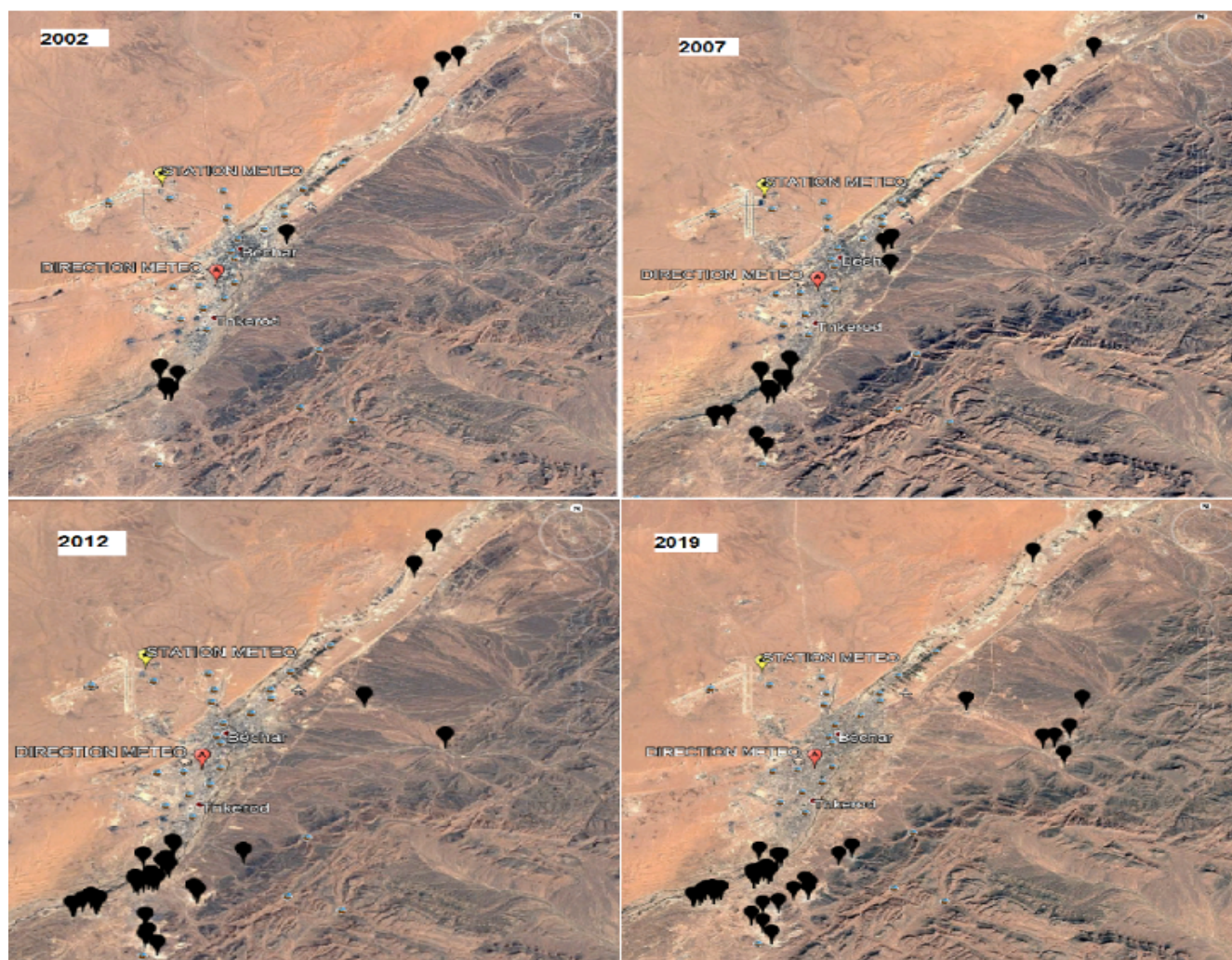


Figure 9. Evolution du nombre des usines par décennie

References

- [1] Zeineddine Nouaceur. Brume sèche, brume de poussière, chasse-sable et tempête de sable. des types de temps spécifiques des régions sèches. *Norois. Environnement, aménagement, société*, (191):121–128, 2004.
- [2] Jean-Michel Rainer. Le système mondial d'observation. *La Météorologie*, 2003.

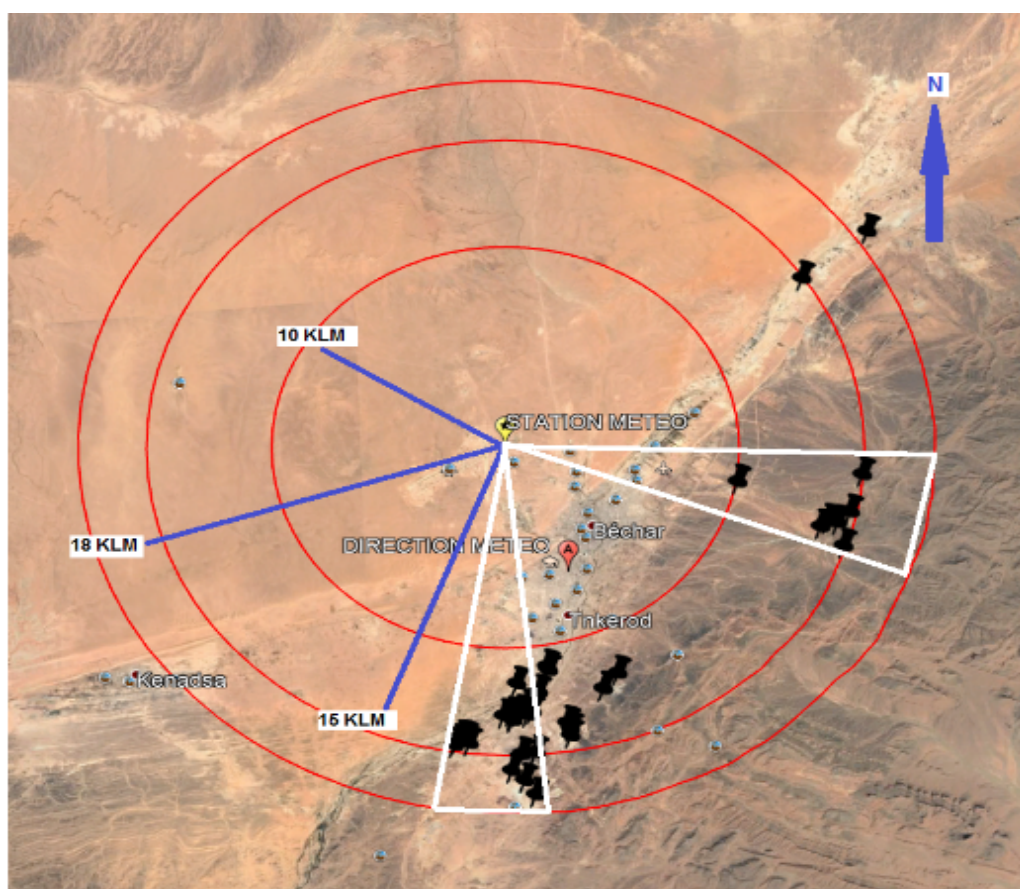


Figure 10. Localisation des sites des carrières et sablières par rapport au point d'observation

Développement d'un logiciel d'Observation des phénomènes Météorologiques (OPM)

Arezki TALATIZI ¹, Belaid OUBELLIL ¹, Boussaid Yacine, SAHABI ABED Salah

Abstract

Une présentation du logiciel d'observation des phénomènes météorologiques (OPM) visant à apporter un soutien à l'observateur quant à la rédaction, le contrôle et la transmission des messages d'observation météorologiques en surface, ainsi que les messages climatologiques dont le format de rédaction et de transmission est reconnu par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM). Outre cela, OPM permet aussi la transmission en temps réel de ces messages aux différents services concernés de l'ONM avec une grande fiabilité et rapidité. Comme, Il permet de générer numériquement les documents climatologiques à l'instar du Compte-Rendu Quotidien (CRQ) et le Tableau Climatologique Mensuel (TCM) ainsi que les messages CLICOM.

Keywords

Message METAR, SPECI, SYNOP, AGMET, Observation, phénomènes.

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

*Correspondant: arezkitalatizi@yahoo.com, b.oubellil@meteo.dz

Contents

1	Introduction	1
2	Présentation de l'OPM :	1
3	Fonctionnalités de L'OPM	2
4	conclusion :	3
	References	3

1. Introduction

La météorologie est une science qui a pour objet l'étude des phénomènes atmosphériques tels que les nuages, les précipitations ou le vent et les phénomènes dans le but de comprendre comment ils se forment et évoluent en fonction des paramètres mesurés tels que la pression, la température et l'humidité. C'est une discipline qui traite principalement de la mécanique des fluides et de la thermodynamique mais qui fait usage de différentes autres branches de la physique, de la chimie et des mathématiques. Purement descriptive à l'origine, la météorologie est devenue un lieu d'application de ces disciplines. Pour ce faire, elle doit s'appuyer sur un réseau cohérent d'observations. Les observations sont la base de la météorologie et de la climatologie. Les météorologistes s'en servent pour décrire le temps dans l'espace et dans le temps. Les données observées principalement : Température, Humidité, Pression atmosphérique, Direction et Vitesse du vent, Précipitations et la Durée d'insolation, sont codifiées et notées dans les carnets

d'observations puis envoyées par des messages codés et à la fin synthétisées dans les Comptes Rendus quotidien Météorologiques (CRQ) et les Tableaux Climatologiques Mensuels (TCM).

Des messages codés sont utilisés pour l'échange international de renseignements météorologiques portant sur

des données d'observation fournies par le Système Mondial de Télécommunication (SMT).

2. Présentation de l'OPM :

Le logiciel d'Observation des Phénomènes Météorologiques « OPM » est un produit de l'Office National de la Météorologie concluant le projet intitulé « Mise en œuvre d'un logiciel d'automatisation de l'observation météorologique au niveau des stations synoptiques de l'ONM : de l'observation à la saisie et du codage, à la transmission des messages » qui découle du sous-projet "Mise en Cohérence et développement du système d'information et Télécommunication (SIT) de l'ONM". Ce dernier inscrit comme projet n°9 du Projet de Modernisation - (Programme Transport II) est Créé, piloté et dirigé par le directeur du Centre Climatologique National (CCN), **Mr. Salah Sahabi Abed** depuis le 14/11/2017 et approuvé par le Directeur Général de l'ONM, **Mr. Brahim Ihadadene** en date du 16/01/2018. Le projet OPM est enregistré à la direction générale de l'ONM.

L'OPM est composé de deux parties essentielles ; chaque partie contient plusieurs interfaces :

- **La première partie:** l'observateur récupère les données des différents paramètres météorologiques et les saisit sur différentes interfaces de l'OPM (i.e observation, phénomènes, Description du temps...). L'OPM traitera toutes les données et réalisera des calculs (calcul psychométrique, QNH), en mêmes temps, sauvegardera toutes ces données dans une base de données organisée et structurée.
- **La deuxième partie:** l'observateur pourra générer les différents messages météorologiques à savoir le METAR, le SPECI et le SYNOP) et les messages climatologiques AGMET et CLIMAT. OPM lui permettra enfin de générer

également et automatiquement les différents documents CRQ, TCM ainsi que le message climatologique CLICOM à partir des données sauvegardées dans la base de données initialement.

OPM a pour l'objectif:

- d'automatiser plusieurs étapes de gestion (saisie, contrôle et archivage) des données climatologiques.
- Regroupe toutes les tâches fastidieuses de l'observation, parmi lesquelles :
- L'observation horaire.
- Traitement et analyse des données saisies.
- La gestion et la représentation graphique des phénomènes.
- L'observation quotidienne.
- Le sauvegarde du carnet d'observation.
- Codage des différents messages.
- L'établissement du CRQ.
- L'établissement du TCM.
- Les messages AGMET et CLIMAT.
- L'exportation des données vers le logiciel CLICOM.

3. Fonctionnalités de L'OPM

L'OPM est une version desktop installée dans le PC de l'observateur. Il utilise un fichier de configuration DATA.ini de la station concernée (Nom, wilaya, service, altitude, Latitude, longitude, beta, gamma, renseignements des instruments, et des pistes d'aérodrome ...). Les opérations de saisie de données deviennent plus rapides et plus précises. L'OPM est en mesure d'assister et de faciliter toutes les opérations de saisie de données. Rendant le travail de l'Observateur bien plus sûr, accélérant le processus et réduisant le nombre d'erreurs lors de la saisie,

- **- La saisie des données horaires :** Une capture pour l'interface de saisie offre à l'observateur la possibilité de saisir les différents paramètres d'une observation et pour chaque heure. L'OPM crée automatique une ligne d'observation à chaque moment d'observation (h-10).
- **- La saisie des données quotidiennes:** Elle est liée aux heures principales (00H, 06H, 12H et 18H), elle comprend toutes les valeurs quotidiennes :-Températures extrêmes au sol minimale et maximale, humidité minimale et maximale, insolation, évaporation, etc...

- **-La déclaration des phénomènes [1]:** L'OPM permet à l'observateur de manipuler (débuter, arrêter, modifier, supprimer) les différents phénomènes durant la journée.

Description et Résumé du temps:

- La première partie est dédiée pour la description du temps pour les 4 périodes de la journée (de 00h00 à 06h00 ; de 06h00 à 12h00 ; de 12h00 à 18h00 ; 18h00 à 00h00).
- La seconde partie : **Résumé du temps:** pour le résumé du temps de la journée.
- Troisième partie : résumé du temps durant le mois (caractères dominants du mois).

La sauvegarde des données

L'OPM permet de traiter et de codifier tous les paramètres déclarés par l'observateur dans les différents types d'interfaces de saisie et de faire des calculs (group nuages, calculs psychométriques...). Il permet également de sauvegarder d'une manière structurale et organise toutes les données (les phénomènes dans une base de données phénomènes, observation dans une base observation...)

L'OPM permet de chiffrer tous les différents messages météorologiques (METAR, SPECI, SYNOP) selon un code standard international intégré dans le programme de chiffrement dans OPM [2].

METAR: (METeorological Airport Report) est un rapport d'observation (et non de prévision) météorologique pour l'aviation. Ce code international a été développé par les membres de l'OACI et est approuvé par l'Organisation Météorologique Mondiale. Les données de base sont communes à tous les pays mais certaines sections du code sont sujettes à des variantes locales.

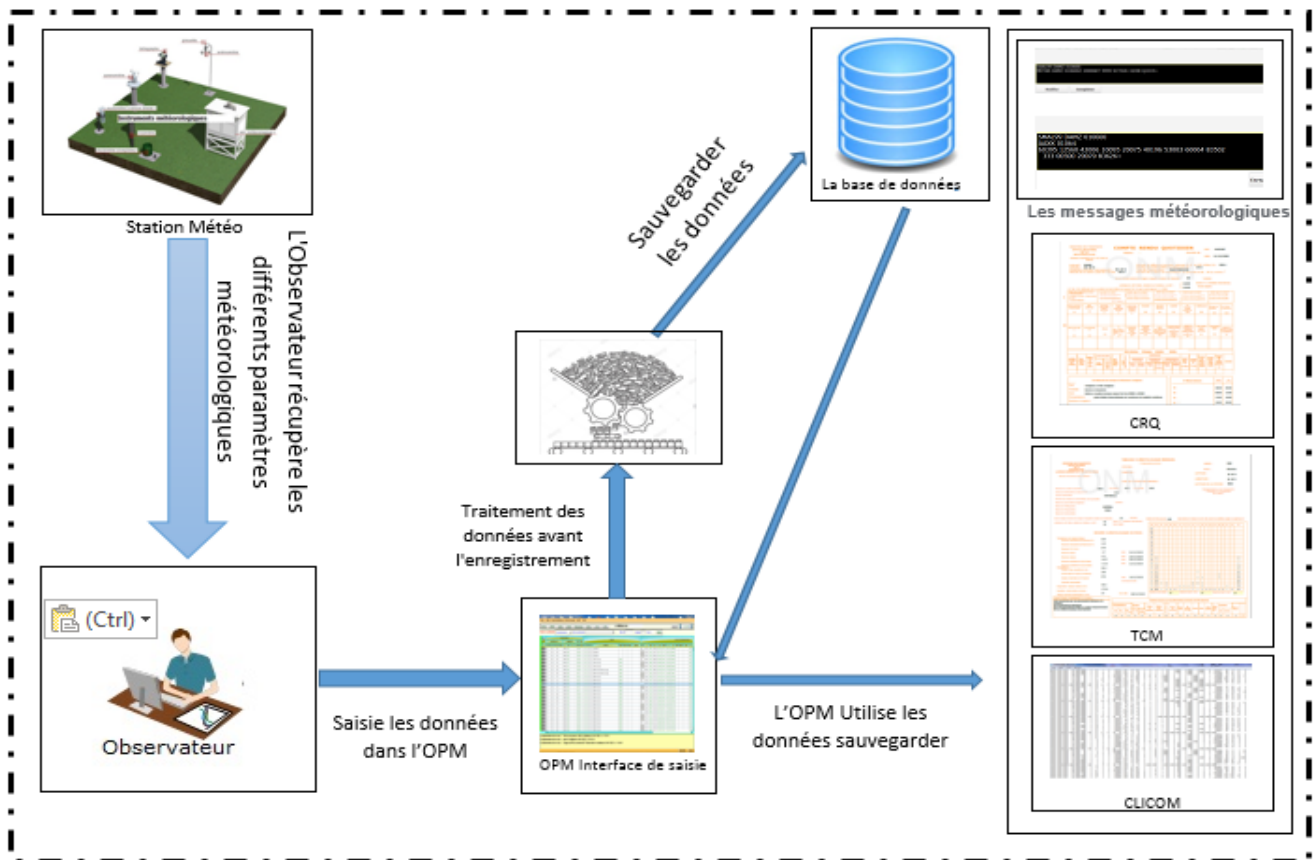
SYNOPSIS [3] Le code SYNOPSIS, ou synoptique, est un codage de données adopté par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et employé pour diffuser les observations d'une station météorologique terrestre à intervalles réguliers de 3 heures (débutant à 00 h UTC) dites synoptiques. Le code est formé par des groupes de cinq chiffres et transmis internationalement.

SPECI: Un SPECI est identique à un METAR à la différence près qu'il n'est pas élaboré régulièrement mais ponctuellement. C'est un message spécial d'observation mettant en évidence un événement météorologique ponctuel survenu depuis le dernier METAR ou SPECI publié.

L'OPM permet de chiffrer les messages Climatologique [4] AGMET et CLIMAT Codes-régionaux: C'est un message pour la climatologie contenant des données décennales transmises chaque fin de décade.

[4]: Les messages CLIMAT servent essentiellement à établir des statistiques mensuelles sur les valeurs observées dans chaque station météorologique indiquée.

Figure 1. Schéma du logiciel d'Observation des Phénomènes Météorologiques(OPM).



4. conclusion :

L'avantage de L'OPM réside essentiellement dans le fait qu'il permet à la fois à l'observateur d'effectuer numériquement ses tâches depuis la saisie des données observées, de les contrôler automatiquement, ce qui constitue une économie importante du temps de réalisation de ses missions. En effet, cette observation faite correctement et de manière rapide aura des répercussions sur toute la chaîne de transmission des données via le SMT. Outre cela, la nouveauté de ce logiciel est qu'il permet de générer également numériquement l'ensemble des documents climatologiques autrefois rédigés manuellement par l'observateur. Cet avantage reste un atout pour la sauvegarde numérisée des documents et contribuera à la politique Zéro papier engagée par l'office. De ce fait, l'OPM Constitue une approche plus efficace et plus intelligente pour la maîtrise des outils de travail en station et la réduction des coûts. En plus, l'OPM a permis depuis son introduction dans le réseau d'observation de l'ONM de diminuer drastiquement les erreurs de saisies, grâce à l'automatisation du procédé. Cette automatisation des tâches augmente considérablement la productivité des stations.

Remerciements :

Le chef du projet ainsi que les concepteurs de ce progiciel (OPM) et toute l'équipe remercient vivement les premiers intervenants dans la conception de ce logiciel en l'occurrence **Mr. Chaabane Ahmed** et **Sofiane Mansouri** ainsi que les chefs de stations du réseau d'observation de Météo Algérie ayant pris part et contribué à la réussite de ce projet ainsi que tous ceux qui ont apporté leur soutien et intervenu de près ou de loin pour que ce produit aboutisse et puisse voir le jour.

References

- [1] Guide du système mondial d'observation. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4328. Accessed: 2017.
- [2] Codes régionaux et pratiques nationales de chiffrement. https://library.wmo.int/?lvl=notice_display&id=13744#.Y0qhpSbjKvt. Accessed: 2018.
- [3] Codes régionaux et pratiques nationales de chiffrement. http://biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/raliveloLee0_ESPA_MAST_19.pdf. Accessed: 2019.

Figure 2. Capture d'écran de La Page d'Observation (La saisie des données horaires).

OPM --- Observation des Phénomènes Météorologiques --- Version 2.03

Fichier Edition Données Quotidiennes Liste des Messages Guide? Outils

METAR SYNOP AGMET CLIMAT Phénomènes SPECI TCM CRQ in Météo de : Alarme OFF 01/12/2020

Démarrer un phénomène: -Code phénomène: -Nom du phénomène: -Signe ph: -Visibilité: -Heure: Valider

HEURE		TOUR D'ORIZON										NUAGES										CALCULS PSYCHROMETRIQUES													
OBS		VENT (d et f)					VISIBILITE					T. PR. T. PA					NUAGES					T. PR. T. PA					CALCULS PSYCHROMETRIQUES								
H	FFme	Dde	DD	DDr	FFkt	RAFAI	V	code	Vn	Dv	WW	W1+W2	CL	CH	CH	NH	N	NUAGES	NsChaks	NsChaks	NsChaks	NsChaks	RRR	T	T-11h	TW	T-Tw	T-TWd	H	E	Td	T-BAR	H-BARO	C-FIXE	Ta
00 H	01	32	02				1500	65			02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair					NT	+113	+197	+100	+013	013	84	113	+088			155	
01 H	02	34	03				1000	60			02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair					+124	+212	+107	+017	017	80	116	+091			168		
02 H	01	35	02				1000	60			02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair					+103	+214	+093	+010	010	87	110	+083			159		
03 H	00	00	00				1000	60			02	00	0	0	2	0	2	700 2 Ci spi					NT	+094	+215	+088	+006	006	92	109	+082			155	
04 H	01	18	01				0700	57			02	00	0	0	2	0	2	700 2 Ci spi					+084	+200	+078	+006	006	92	101	+072			142		
05 H	03	18	06				0700	57			02	00	0	0	2	0	2	700 2 Ci spi					+087	+181	+078	+009	009	88	099	+069			134		
06 H	03	20	06				1000	60			03	00	5	0	2	3	4	080 3 Sc str; 700 2 Ci spi					NT	+095	+167	+085	+010	010	87	103	+075			131	
07 H	05	22	09				1000	60			03	11	5	0	2	5	5	080 5 Sc str; 700 1 Ci spi					+117	+163	+104	+013	013	44	061	-000			140		
08 H	04	22	07				1000	60			02	22	5	0	0	5	5	080 5 Sc str					+126	+156	+112	+014	014	84	122	+100			141		
09 H	06	22	12				1500	65			02	22	5	0	0	5	5	080 5 Sc str					NT	+146	+147	+126	+020	020	78	130	+109			147	
10 H	07	22	13				1500	65			02	22	5	0	0	5	5	080 5 Sc str					+167	+141	+136	+031	031	69	132	+111			154		
11 H	07	23	14				1500	65			01	11	5	0	0	3	3	080 3 Sc str					+186	+133	+154	+032	032	70	150	+130			160		
12 H	07	22	13				1500	65			02	11	5	0	0	3	3	080 3 Sc str					NT	+194	+113	+159	+035	035	68	153	+134			154	
13 H	04	33	08				1500	65			02	00	5	0	0	3	3	080 3 Sc str					+196	+124	+144	+052	052	54	125	+102			160		
14 H	04	33	08				1500	65			01	00	5	0	0	2	2	080 2 Sc str					+194	+103	+136	+058	058	50	112	+087			149		
15 H	03	34	06				1500	65			02	00	5	0	0	2	2	080 2 Sc str					NT	+191	+094	+141	+050	050	55	123	+100			143	
16 H	04	30	07				1500	65			02	00	5	0	0	2	2	080 2 Sc str					+179	+084	+143	+036	036	66	135	+115			132		
17 H	03	32	05				1500	65			02	00	5	0	0	2	2	080 2 Sc str					+165	+087	+140	+025	025	75	140	+121			126		
18 H	03	26	05				1500	65			02	00	5	0	0	2	2	080 2 Sc str					NT	+148	+095	+134	+014	014	85	143	+123			122	
19 H	01	31	02				1000	60			02	00	5	0	0	2	2	080 2 Sc str					+147	+117	+134	+013	013	86	144	+124			132		
20 H	02	20	04				1000	60			02	00	5	0	0	2	2	080 2 Sc str					+127	+126	+118	+009	009	89	131	+110			127		
21 H	03	22	06				1000	60			02	00	5	0	0	2	2	080 2 Sc str					NT	+120	+146	+112	+008	008	90	127	+105			133	
22 H	02	22	03				1000	60			00	00	5	0	0	2	2	080 2 Sc str					+111	+167	+105	+006	006	92	122	+100			139		
23 H	02	15	04				1000	60			00	00	5	0	0	2	2	080 2 Sc str					+111	+186	+105	+006	006	92	122	+100			149		

Un phénomène est en cours : Eclair sans tonnerre <8km Il a débuté le: 04-01-2021 à 11:51 H

Un phénomène est en cours : grain Il a débuté le: 06-01-2021 à 09:13 H

Un phénomène est en cours : orage sans RR au moment de l'observation Il a débuté le: 06-01-2021 à 11:06 H

18/02/2021 08:42:25

[4] Manuel sur le chiffrement des messages climat et climat temp. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9255. Accessed: 2004.

Figure 6. une image montrant une sauvegarde des phénomènes

1	2	pluie continue (ne se complait pas) faible	61	•	22/05/2019	14:00	22/05/2019	15:00	60-60 plus, non sous forme d'averse	-8A	010	
2	3	pluie continue (ne se complait pas) faible	61	•	22/05/2019	09:45	22/05/2019	10:20	60-60 plus, non sous forme d'averse	-8A	006	
3	4	pluie continue (ne se complait pas) faible	61	•	22/05/2019	09:45	22/05/2019	08:25	60-60 plus, non sous forme d'averse	-8A	227	
4	5	pluie continue (ne se complait pas) faible	61	•	22/05/2019	09:45	22/05/2019	10:20	60-60 plus, non sous forme d'averse	-8A	006	
5	6	pluie intermittente (ne se complait pas) faible	60	•	24/05/2019	22:40	24/05/2019	10:17	60-60 plus, non sous forme d'averse	-8A	256	
6	7	pluie intermittente (ne se complait pas) faible	60	•	25/05/2019	02:25	24/05/2019	10:20	60-60 plus, non sous forme d'averse	-8A	211	
7	11	chasse poussière basse	07	6	24/05/2019	21:25	30/05/2019	12:10	00-19	0800	149	
10	17	chasse sable basse	07	6	17/06/2019	08:25	17/06/2019	15:40	00-19	0854	091	
11	18	brume de sable	06	5	17/06/2019	15:50	17/06/2019	15:40	00-19	54	018	
9	22	chasse sable basse	07	6	15/07/2019	08:30	15/07/2019	01:40	00-19	0854	013	
8	23	chasse sable basse	07	6	15/07/2019	08:30	15/07/2019	02:54	00-19	0854	024	
12	24	chasse sable basse	07	6	21/07/2019	06:50	31/08/2019	12:59	00-19	0854	302	
13	25	CUMULONIMBUS			07/08/2019	22:13	07/08/2019	23:44	00-19	00	015	
14	26	éclair	13	6	07/08/2019	22:13	07/08/2019	23:44	00-19		015	
15	28	pluie intermittente (ne se complait pas) faible	60	•	31/08/2019	06:54	31/08/2019	06:54	60-60 plus, non sous forme d'averse	-8A	000	
17	30	CUMULONIMBUS			31/08/2019	16:38	31/08/2019	17:24	00-19	00	008	
16	32	orage sans RI au moment de l'observation	17	6	21/08/2019	17:15	31/08/2019	18:41	00-19	75	014	
18	34	éclair	13	6	21/08/2019	17:50	31/08/2019	21:23	00-19		026	
19	35	pluie intermittente (ne se complait pas) faible	60	•	31/08/2019	03:01	31/08/2019	03:24	60-60 plus, non sous forme d'averse	-8A	005	
20	36	pluie faible (orage dans l'heure précédente)	91	•	31/08/2019	20:19	31/08/2019	21:23	91-99 précipitations avec orage ou après un orage	-04-07C3	011	
21	37	orage modéré sans grêle mais avec pluie et neige	95	•	31/08/2019	20:25	31/08/2019	21:23	91-99 précipitations avec orage ou après un orage	-05A	008	
22	38	pluie intermittente (ne se complait pas) faible	60	•	31/08/2019	21:22	31/08/2019	21:24	60-60 plus, non sous forme d'averse	-8A	002	
23	39	éclair	13	6	31/08/2019	17:50	31/08/2019	22:30	00-19		047	

Figure 7. une image montrant une sauvegarde des données observation quotidienne

81	10	12	0927	02	1540	06	0635	+273	+273	0500	+290	1545	+420
82	13	07	0804	01	1530	04	0440	+274	+274	0450	+420	1620	+412
83	10	11	2300	01	1420	04	0440	+265	+264	0630	+420	1420	+391
84	10	10	0726	01	1330	03	2350	+238	+238	0500	+391	1340	+375
85	08	09	1127	02	1800	07	0520	+241	+241	0500	+375	1440	+446
86	07	06	1410	01	1625	04	0540	+235	+235	0555	+445	1645	+417
87	17	06	0804	01	1600	03	2355	+279	+279	0430	+417	1400	+438
88	24	07	1551	01	1720	03	0440	+290	+290	0430	+438	1620	+455
89	24	11	1437	00	0930	02	0440	+210	+210	0328	+455	1620	+425
90	32	10	0820	01	1600	03	2357	+277	+277	0455	+425	1605	+422
91	09	11	0805	01	1525	05	0600	+265	+265	0530	+425	1605	+461
92	11	11	2200	01	1420	06	0440	+286	+286	0530	+461	1420	+425
93	09	12	0813	15	1600	59	0545	+279	+279	0500	+453	1525	+423
94	09	12	0859	12	1440	40	0520	+290	+290		+433	1600	+462
95	05	07	0416	13	1600	41	0520	+215	+245		+462	1556	+471
96	08	10	2202	11	1630	39	0440	+210	+210	0530	+471	1430	+480
97	12	09	0809	14	1600	47	0720	+210	+210	0630	+480	1540	+446
98	35	11	2228	16	1545	39	1230	+304	+304		+445	1615	+455
99	30	11	0808	16	1500	45	0340	+210	+210	0430	+455	1600	+480
100	10	10	0947	14	1620	37	0404	+238	+238	0500	+480	1420	+484
101	10	12	0826	12	0500	35	1520	+340	+340	0630	+484	1525	+478
102	12	15	0124	13	1620	32	0145	+208	+208	0530	+478	1710	+420
103	10	10	0824	18	1530	45	0340	+280	+280	0430	+420	1530	+410
104	08	07	1208	20	1620	53	0440	+235	+235	0510	+410	1420	+429

Figure 8. une image montrant une sauvegarde du carnet d'observation

2 077	28/08/2019	15:56	16 h	03	24	06	0800	58	02	00	5	0	1	1	3	120 1 5c drs 002 1 C 1640		+485	+297	+225	+170	170	21
2 078	28/08/2019	16:57	17 h	04	32	08	0800	58	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair		+480	+290	+230	+170	170	20
2 079	28/08/2019	17:52	18 h	03	35	05	0800	58	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair	NT	+269	+286	+230	+159	159	22
2 880	28/08/2019	18:55	19 h	03	01	06	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair		+267	+280	+225	+142	142	26
2 881	28/08/2019	19:57	20 h	03	02	05	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair		+250	+216	+220	+130	130	29
2 882	28/08/2019	20:57	21 h	04	01	07	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair	NT	+345	+200	+230	+125	126	30
2 883	28/08/2019	21:58	22 h	03	01	05	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair		+230	+255	+215	+116	116	33
2 884	28/08/2019	22:57	23 h	03	34	05	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair		+215	+276	+210	+105	105	36
2 885	29/08/2019	23:50	00 h	04	33	08	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair	NT	+312	+396	+210	+102	102	37
2 886	29/08/2019	00:57	01 h	05	35	09	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair		+210	+401	+210	+100	100	38
2 887	29/08/2019	01:55	02 h	02	02	03	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair		+292	+404	+235	+087	087	42
2 888	29/08/2019	02:56	03 h	01	04	02	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair	NT	+288	+485	+222	+070	070	46
2 889	29/08/2019	03:57	04 h	02	05	04	1000	60	03	00	5	0	0	1	1	120 1 5c drs	1640	+277	+485	+200	+077	077	48
2 890	29/08/2019	04:57	05 h	03	01	06	1000	60	03	00	5	0	0	1	3	120 3 5c drs	3640	+270	+480	+200	+070	070	50
2 891	29/08/2019	05:54	06 h	03	04	06	1000	60	01	00	0	0	0	0	0	Ciel clair	NT	+270	+269	+200	+070	070	50
2 892	29/08/2019	06:57	07 h	03	04	06	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair		+290	+267	+218	+072	072	50
2 893	29/08/2019	08:00	08 h	03	04	06	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair		+210	+250	+220	+090	091	42
2 894	29/08/2019	08:58	09 h	03	04	06	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair	NT	+218	+345	+225	+090	094	42
2 895	29/08/2019	09:58	10 h	03	04	06	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair		+233	+230	+240	+090	094	43
2 896	29/08/2019	10:58	11 h	03	09	06	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair		+250	+215	+220	+112	113	36
2 897	29/08/2019	11:58	12 h	04	06	07	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair	NT	+260	+212	+240	+120	121	34
2 898	29/08/2019	13:03	13 h	04	04	07	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair		+270	+210	+227	+123	124	29
2 899	29/08/2019	13:56	14 h	04	03	07	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair		+272	+292	+227	+126	127	29
2 900	29/08/2019	14:58	15 h	04	36	08	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair	NT	+277	+280	+225	+142	142	37
2 901	29/08/2019	15:58	16 h	03	03	05	1000	60	02	00	0	0	0	0	0	Ciel clair		+272	+227	+226	+126	127	29

Figure 9. forme symbolique d'un METAR généré par OPM

SAAL99 DAMZ 010600

METAR DAMZ 010600Z 20006KT 9999 SCT026 10/08 Q1019=

Modifier

Enregistrer

Figure 10. Forme symbolique d'un SYNOP généré par OPM

SMAL99 DABC 110600

AAXX 11064

60419 12960 41103 10132 20086 40230 52010 60004 82031

333 0///// 2///// 82360=

Figure 11. Fome symbolique d'un SPECI généré par OPM

SPECI

SPAL99 DABC 211413

SPECI DABC 211413Z 02010KT 350V050 6000 TS FEW026CB 20/07 Q1023=

Modifier

Enregistrer

Figure 12. Forme symbolique d'un message AGMET généré par OPM

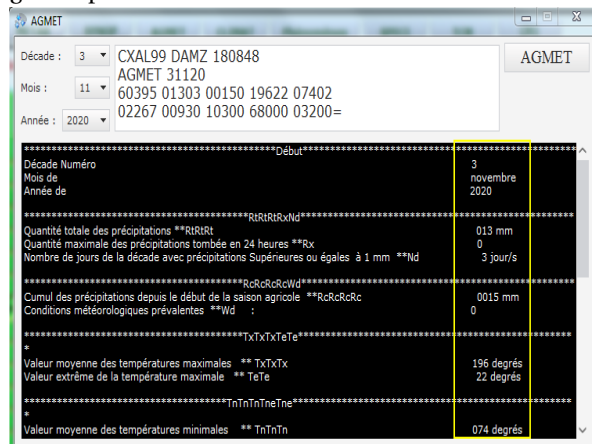


Figure 13. Forme symbolique d'un message CLIMAT généré par OPM

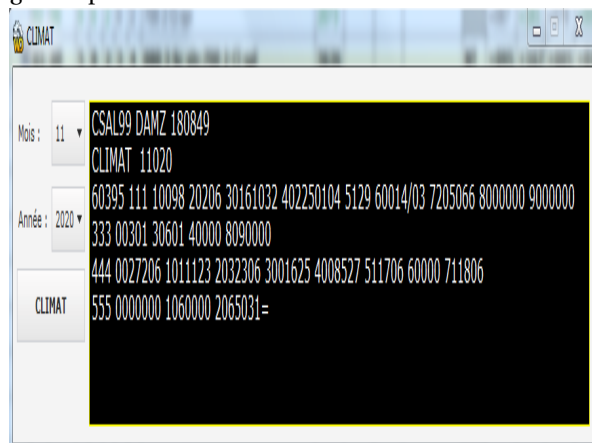


Figure 14. Une image montrant La première page CRQ []

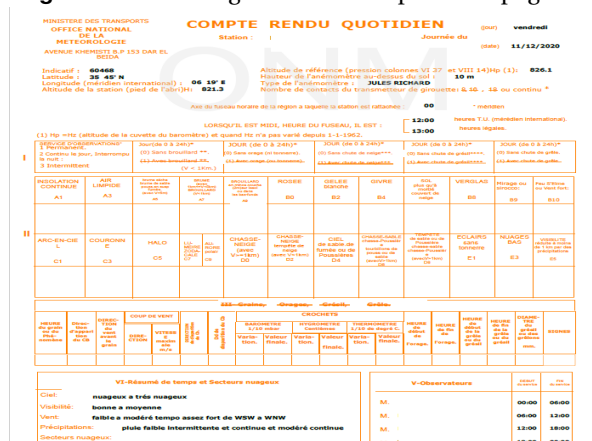


Figure 15. Une image montrant la deuxième page CRQ.

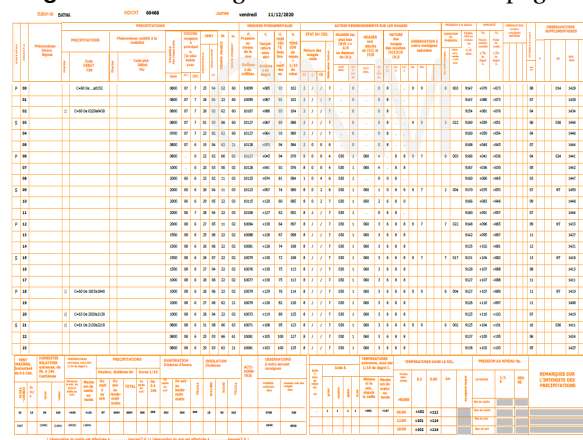


Figure 16. Une image montrant Page « 3 » TCM

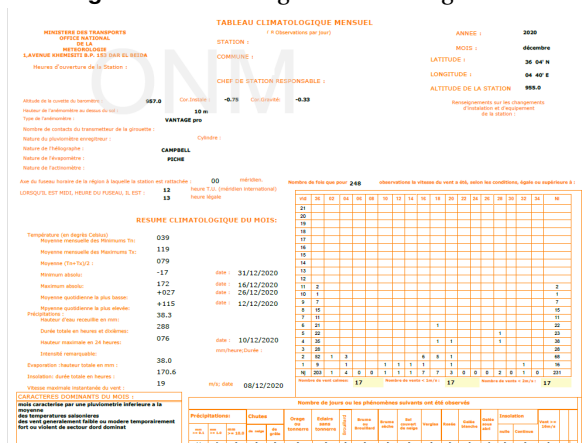
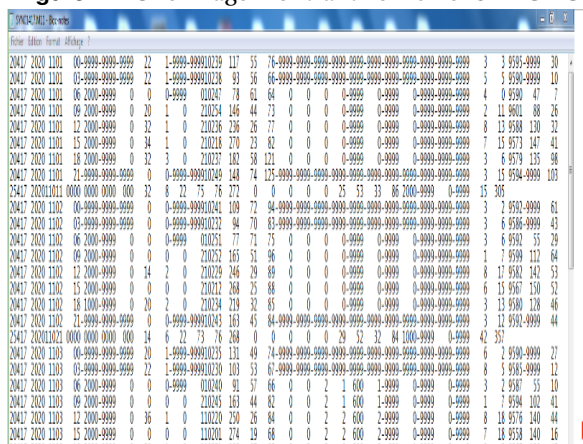


Figure 17. Une image montrant Le Fichier SYN CLICOM.



Évaluation du paramètre « visibilité » avec AROME au Cy46t1.bf.06

Walid CHIKHI ^{a*}, Abdenour AMBAR ^a

Abstract

La prévision de la visibilité horizontale et le brouillard sont des éléments clés pour les services météorologiques et aéronautiques. Cet article présente une évaluation du nouveau schéma de calcul des visibilités dans le modèle AROME, développé par Ingrid Dombrowski-Etchevers et Yann Seity [1] dans le cycle 46t1. Ce nouveau schéma permet de calculer deux diagnostics de visibilité : la visibilité due aux nuages bas (PVISICLD) et la visibilité due aux hydrométéores pluie, neige et neige roulée (PVISIHVD). Afin de tester la performance de ces nouveaux diagnostics sur notre domaine, une nouvelle configuration AROME a été préparée, ayant pour centre l'aéroport d'Alger, avec une résolution horizontale de 500m et 90 niveaux verticaux. Pour la validation des résultats obtenus, nous avons utilisé les observations météorologiques issues des METARs au niveau de l'aérodrome d'Alger (DAAG). Les premiers résultats obtenus montrent que la visibilité simulée par le modèle AROME avec ce nouveau schéma s'approche dans l'ensemble des observations en termes de tendance et de variabilité, mais il a affiché tout de même certaines faiblesses par rapport à la saisie de quelques situations. Pour cette raison, un travail d'investigation et d'adaptation sera effectué, avec notamment un échantillon de tests plus importants, avant l'intégration de ces nouveaux diagnostics dans la chaîne opérationnelle.

Keywords

Prévision de visibilité, AROME, Brouillard, Brume, Hydrométéores.

^a Office national de la météorologie (DEM-ONM), Dar El Beida, Alger

^{a*}Correspondant : waliidchikhi@gmail.com

Contents

Introduction	1
1 Motivation :	1
2 Approche scientifique :	2
3 Configuration AROME 500m et données utilisées :	3
4 Résultats et discussions :	3
5 Conclusion	4
References	4

La visibilité horizontale est la grandeur physique qui définit la perturbation visuelle causée par divers phénomènes (Pollutions, fumée, tempête de sable, Brouillard, Brume, Précipitations ...etc). Selon les disciplines, la visibilité prend plusieurs définitions. En météorologie, d'après l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM), la visibilité horizontale se définit comme suit : Étant donné la longueur du trajet que doit effectuer dans l'atmosphère un faisceau de rayons lumineux parallèles, émanant d'une lampe à incandescence, à une température de couleur de 2700 K, pour que l'intensité du flux lumineux soit réduite à 0,05 fois sa valeur originale.

À ce jour, la visibilité horizontale est une préoccupation majeure des services de prévisions météorologiques et aéronautiques. En effet, une réduction critique de la visibilité est synonyme de paralysie et gêne particulièrement aux services d'aviation. Plusieurs accidents et ruptures des transports aériens, maritimes et routiers ont été enregistrés et les conséquences ont été catastrophiques et coûteuses.

Pour cela, le suivi de la variation de visibilité s'avère d'une importance capitale pour le secteur économique et la navigation aérienne particulièrement. Dans cette étude, on s'intéressera d'avantage à la réduction de visibilité due aux nuages bas (brume, brouillard) et aux précipitations. La prévision du brouillard est très complexe et présente un défi aux services météorologiques, de nombreux centres de recherches ont développé des modèles pour la prévision de brouillard tel que COBEL (Code de brouillard à l'échelle locale) (Bergot et Guedalia, 1994 [2] ; Bergot et al., 2005 [3]). Ces derniers confrontés aux obstacles de la résolution verticale et horizontale, les ressources de calculs et la difficulté de la modélisation des processus de formation et dissipation de ce phénomène, les résultats de ces modèles restent toujours critiqués.

Dans cet article, nous présenterons une nouvelle approche de calcul des visibilités dans AROME, codée à Météo-FRANCE par Ingrid Etchevers (Dombrowski-Etchevers et al., 2018)[1] au niveau de la routine «acvisih.F90». Le modèle AROME a démontré une robustesse et une fiabilité relativement élevée grâce à son échelle convective qui permet de saisir les phénomènes locaux nécessitant une représentation à maille très fine.

1. Motivation :

La visibilité horizontale et la prévision du brouillard ont toujours été un sujet d'actualité à Météo-Algérie. Plusieurs tentatives pour la mise en place d'un système de prévision de brouillard ont été conduites à l'ONM (Zekhmi, 2014 [4];

Douba et Benrekta, 2019 [5]). Ces deux études ont suivi la même démarche qui consistait à déterminer l'occurrence du brouillard en post-traitement par un algorithme combinant un ensemble de conditions sur la base des sorties du Modèle AROME.

Cependant, notre étude vise à mettre en place des diagnostics de visibilité calculés dans AROME à partir des paramètres directement issus de la microphysique d'AROME. Ce nouveau schéma de visibilité, appelé « acvisih.F90 », a été intégré dans le cycle 46 du code ARPEGE/IFS.

Pour les besoins de cette étude, et afin de mieux tirer profit de la paramétrisation physique d'AROME, nous avons préparé une configuration à très haute résolution (500m) avec 90 niveaux verticaux les six (6) premiers niveaux sont situés entre cinq (5) et cent (100) mètres).

2. Approche scientifique :

La routine «**acvisih.F90**» calcule trois nouveaux paramètres (PVISICLD, PVISIHVD, PMXCLWC), respectivement, la visibilité liée aux nuages bas (brouillard et brume), la visibilité liée à trois types d'hydrométéores en chute (pluie, neige, neige roulée) et le contenu en eau liquide nuageuse, donnés en mètres et plafonnés à 20000m.

Le calcul de la visibilité par cette routine est basé sur la formule de Koschmieder qui relie la visibilité horizontale aux coefficients d'extinction des différents hydrométéores, à savoir : l'eau liquide, la glace, la neige, la pluie et la neige roulée.

$$PVISICLD = \frac{-\ln(0.05)}{0.013 + \beta_{cld} + \beta_{ice}} \quad (1)$$

PVISICLD : Visibilité liée aux nuages bas en mètres.

β_{cld} : Coefficient d'extinction due à l'eau liquide nuageuse.

β_{ice} : Coefficient d'extinction due à la glace nuageuse.

$$PVISIHVD = \frac{-\ln(0.05)}{0.013 + \beta_{rain} + \beta_{snow} + \beta_{graupel}} \quad (2)$$

PVISIHVD : Visibilité liée aux nuages bas en mètres.

β_{rain} : Coefficient d'extinction due aux précipitations.

β_{snow} : Coefficient d'extinction due à la neige.

$\beta_{graupel}$: Coefficient d'extinction due à la neige roulée.

Les coefficients d'extinctions β des deux formules (1) et (2) sont de la forme :

$$\beta = a * C^b$$

C : Contenu des hydrométéores (eau - glace - pluie - neige - neige roulée).

a, b : Des coefficients à déterminer empiriquement .

Pour activer le schéma «acvisih.F90», nous avons ajouté (LXVISI=.TRUE.) dans NAMXFU de la namelist e001 .

La hauteur des sorties est définie par HVISI dans NAMD-VISI de la namelist de prévision (e001). Si HVISI indiqué est inférieure au niveau le plus bas du Modèle, HVISI prendra la valeur du premier niveau du modèle. Dans le cas HVISI demandé n'est pas un niveau du modèle, elle sera calculée par une interpolation des deux niveaux du modèle qui l'assiègent.

Par défaut, le modèle va calculer les visibilités à chaque pas de temps. Ensuite, un minimum horaire sera calculé (NVISIPERIOD=3600s).

Dans la même exécution, deux durées peuvent être demandées simultanément (NVISIPERIOD2=900s par défaut), en activant la clé (LXVISI2=.TRUE.) dans NAMXFU. La relation entre les différents coefficients et les formules peut être adaptée (COEF_CM1 ,COEF_CM2 ,COEF_CM3,COEF_IM1, COEF_IM2...) dans NAMDVISI.

Les différents blocs de la namelist e001 du CY46T1 qui nous permettent d'activer et d'adapter les sorties de visibilité se résument ainsi :

&NAMFA

```
YFA_VISICLD%CLNAME='CLSVISIN_60',
YFA_VISIHYD%CLNAME='CLSVISIHVDN60',
YFA_MXCLWC%CLNAME='CLD_WX_60M',
YFA_VISICLD2%CLNAME='VISICLD2',
YFA_VISIHYD2%CLNAME='VISIHVDCLD2',
YFA_MXCLWC2%CLNAME='MXCLWC2',
```

&NAMFPC

```
CFPXFU(1)='CLSVISIN_60',
CFPXFU(2)='CLSVISIHVDN60',
CFPXFU(3)='CLD_WX_60M',
CFPXFU(4)='VISICLD2',
CFPXFU(5)='VISIHVDCLD2',
CFPXFU(6)='CLD2',
```

&NAMXFU

```
LXVISI=.TRUE.,
LXVISI2=.TRUE.,
```

&NAMDVISI

```
HVISI=5.,
COEF_CM1=0.07649,
COEF_CM2=0.15602,
COEF_CM3=0.01937,
COEF_CM4=0.92246,
COEF_RM1=2.5,
COEF_RM2=0.75,
COEF_IM1=163.9,
COEF_IM2=1.,
COEF_SM1=10.4,
COEF_SM2=0.78,
COEF_GM1=2.4,
COEF_GM2=0.78,
```

3. Configuration AROME 500m et données utilisées :

Dans le cadre de cette étude, nous avons préparé une configuration AROME à très haute résolution, ce qui nous permettra de mieux saisir les épisodes d'apparition/dissipation de brume (entre 1 km et 5 km) et de brouillard (inférieure à 1 km) sur notre domaine. Le passage de la configuration AROME opérationnelle à Météo-Algerie (3km , 41 niveaux verticaux) à cette nouvelle configuration AROME (500m, 91 niveaux) nous a permis de passer de deux niveaux seulement à six au-dessous de 100m de hauteur. Des études antérieures ont mis en évidence l'apport positif de la résolution verticale fine sur les prévisions des brouillards par le modèle AROME (Phillip, A , 2016)[6].

La figure ci-dessous montre la distribution des hauteurs des niveaux verticaux pour les deux configurations (AROME opérationnelle à Météo-Algerie (41 niveaux) en croix rouge, et AROME 500m (90 niveaux) en points rouge) :

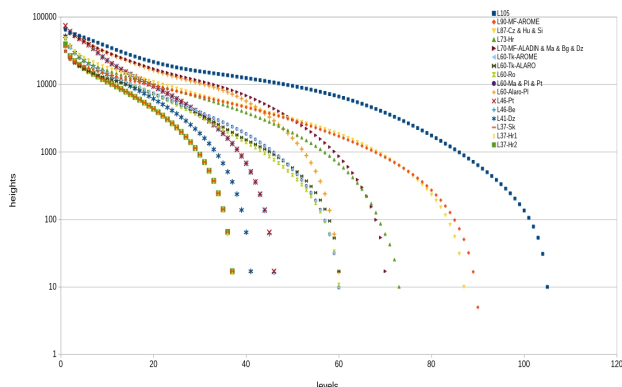


Figure 1. Hauteurs des niveaux verticaux des configurations AROME pour les différents partenaires ALADIN. Météo-Algerie (L41-DZ) étoiles bleues, MF (L90-MF) en croix rouge.

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques de la nouvelle configuration AROME 500m:

Table 1. Les caractéristiques de la Configuration AROME 500m

Caractéristiques		AROME
Modèle coupleur		ARPEGE
Fréquence de couplage		1H
Résolution horizontale (selon x et y)		500mètres (0,5 Km)
Niveaux verticaux		90
Premier Niveau du modèle		5 mètres
Pas de temps		10 secondes
Grille		241 x 241
Domaine	Centre	3.2 °E - 36.5 °N
	Longitude	2.6 °E - 3.8 °E
	Latitude	35.9 °N - 37.1 °N

Afin de valider ces résultats, nous avons choisi le mois de décembre 2018 et la journée typique du 12 Mai 2018. Durant ce mois de décembre, nous avons enregistré un total de 17 jours avec une baisse de visibilité au-dessous des 5000m en raison de divers phénomènes obscurcissants (METARs), alors que pour la journée du 12/05/2018, l'aéroport d'Alger a enregistré une baisse très sévère de visibilité (quelques dizaines de mètres seulement).

A noter que la visibilité issue des METARs dans l'aérodrome d'Alger DAAG est une visibilité estimée par l'observateur. De ce fait, les valeurs de la visibilité calculées par AROME ne peuvent être vérifiées de manière exacte et on s'est contenté de voir si le modèle AROME avec le schéma «acvisih» arrive à détecter les séquences de variation de la visibilité.

Le tableau ci-dessous résume les coordonnées de l'aéroport DAAG et le point de grille AROME choisi pour la comparaison :

Table 2. Coordonnées de l'aéroport DAAG et le point de la grille AROME 500m .

Point	Coordonnées	
DAAG(Houari-Boumédienne)	Latitude	36.694 °N
	Longitude	3.2169 °E
AROME 500m	Latitude	36.695 °N
	Longitude	3.215 °E

4. Résultats et discussions :

Situation du 05 – 12 – 2018 :

L'Analyse du graphique de visibilité (Figure 02) montre que AROME arrive à détecter la baisse sensible de la visibilité particulièrement avant 09h. Le modèle affiche aussi un bon suivi de l'amélioration après 09h, ou les valeurs dépassent nettement 5000m, avec une surestimation du modèle AROME.

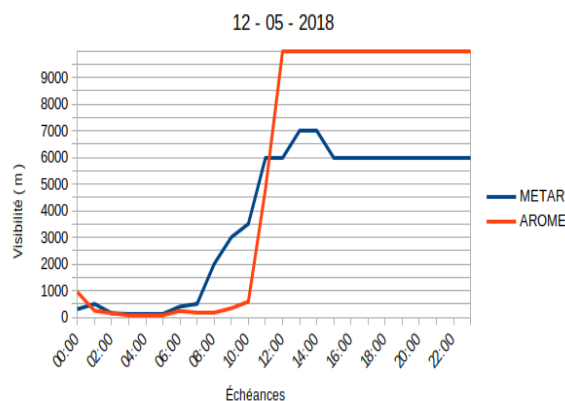


Figure 2. Diagramme de visibilité pour la journée du 05 Mai 2018 issu des observations (METAR) et simulation AROME.

Décembre 2018 :

Les graphiques ci-dessous (Figure 03) présentent quelques situations exceptionnelles du mois de décembre 2018. L'analyse de ces résultats révèle qu'ils sont vraisemblablement hétérogènes, avec parfois une bonne saisie de la baisse des visibilités comme le cas des journées 07 , 29 et 30 décembre 2018, mais parfois aussi des situations mal prévues comme le cas des journées 01, 10 et 12 décembre 2018. Ce comportement, bien qu'il soit étrange, pourra être expliqué par le type de phénomène réduisant la visibilité et par le type de brouillard aussi.

5. Conclusion

Pour cette première phase de notre travail, nous avons préparé une configuration AROME à maille très fine (500m, 90 niveaux). Comme nous avons activé puis testé les nouveaux diagnostics de visibilité d'AROME sur un seul endroit, à savoir l'aérodrome d'Alger. Dans l'ensemble, et pour quelques situations choisies, les résultats avaient montré un bon comportement par rapport aux tendances temporelles, mais nécessitent encore plus d'investigations sur ce nouveau schéma de visibilité ainsi que sur les seuils utilisés afin de mieux comprendre certains comportements non significatifs.

D'autant plus, les simulations n'étaient faites que sur un nombre limité de situations et la validation n'a été effectuée que sur un seul aérodrome (Alger). Par conséquent, d'autres tests nécessitent d'être effectués sur des périodes continues, et seront mis à la disposition des prévisionnistes pour une validation d'expertise afin de les confronter aux critiques qui vont certainement permettre d'améliorer ce travail.

L'objectif final vise en premier lieu à mettre ces diagnostics de visibilité d'AROME en opérationnel comme outil d'aide à la décision pour les prévisionnistes, particulièrement pour la partie aéronautique.

References

- [1] La visibilité : nouveau paramètre issu des modèles de prévision météorologique. http://www.meteo.fr/cic/meetings/2018/AMA/presentations/AMA_1402/13-%20presentation_AMAs2018_Visi.pdf. Accessed: Février 2018.
- [2] Thierry Bergot and Daniel Guedalia. Numerical forecasting of radiation fog. part i: Numerical model and sensitivity tests. *Monthly Weather Review*, 122(6):1218–1230, 1994.
- [3] Thierry Bergot, Dominique Carrer, Joël Noilhan, and Philippe Bougeault. Improved site-specific numerical prediction of fog and low clouds: A feasibility study. *Weather and Forecasting*, 20(4):627–646, 2005.
- [4] Etude de la tendance du modèle arome utilisé à l'onm à prévoir les phénomènes du brouillard. <http://di.univ-blida.dz:8080/xmlui/handle/123456789/2298>. Accessed:2014.
- [5] Étude de développement sur la prévision du brouillard, jama, vol. 4, 82-87 pp. https://onm-blog.meteo.dz/?page_id=119#. Accessed:2019.
- [6] Alexandre Philip. *Apport d'une résolution verticale plus fine dans le calcul des tendances physiques pour la modélisation du brouillard dans le modèle AROME*. PhD thesis, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2016.

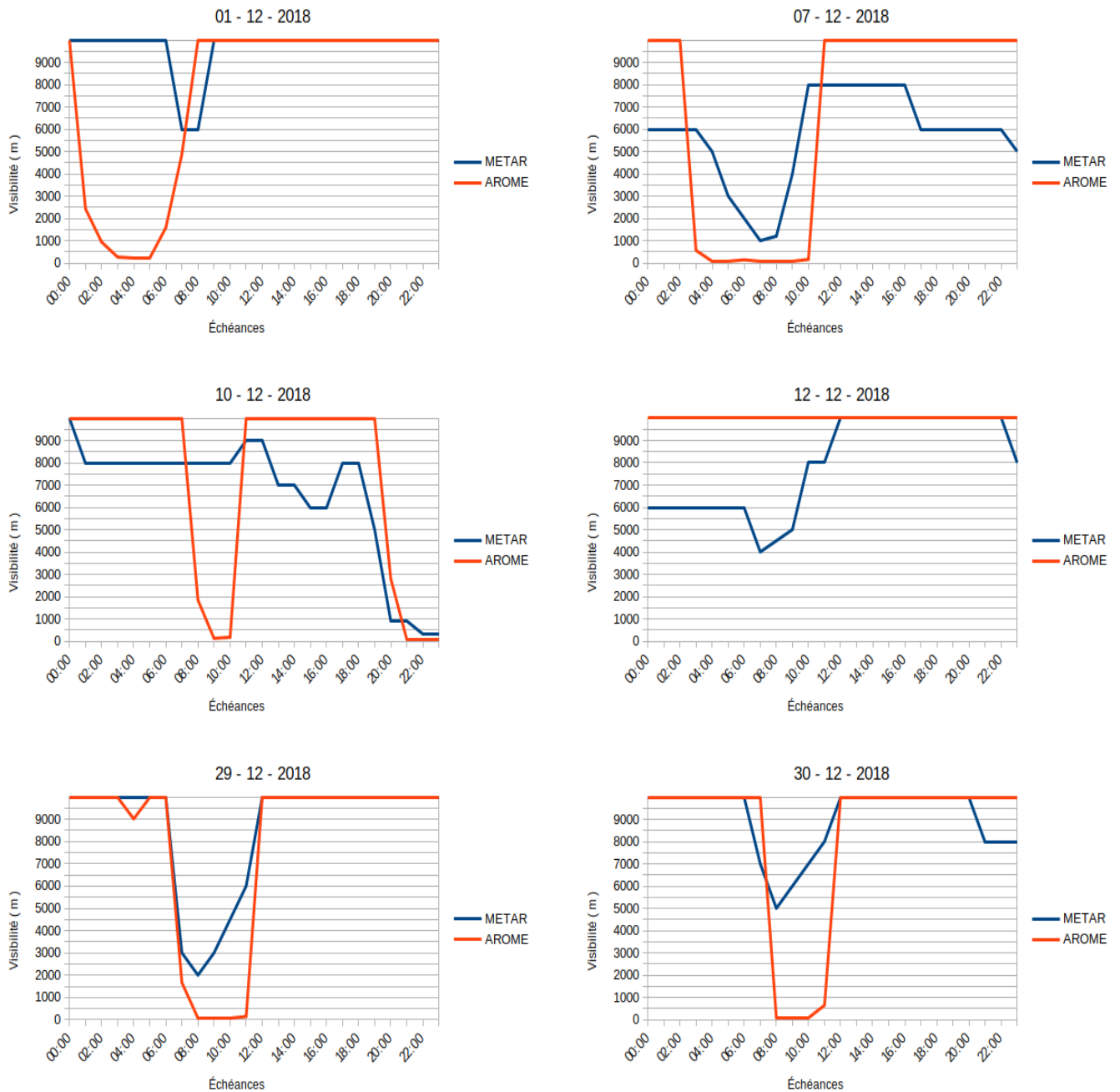


Figure 03 :Diagramme de visibilité pour quelques situations du mois de décembre 2018 issu des observations (METAR) et des simulations AROME.

Apport de la résolution horizontale à la qualité de la prévision des situations convectives : Retour d'expérience ; situation du 20-21 Décembre 2020 à Jijel.

Khaled GASSI¹, Mohamed MOKHTARI², Ahmed BOUZID¹

Abstract

La prévision des phénomènes météorologiques à fine échelle tels que les orages, les rafales de vent, le brouillard, est très difficile en raison de leur forte variabilité spatiale et temporelle. Les modèles de fine échelle ont été conçus principalement pour améliorer la prévision de ces phénomènes. Dans cet article, on se propose d'évaluer l'apport de l'augmentation de la résolution à la qualité de la prévision des situations convectives. Nous avons, donc, étudié la qualité de la prévision de la situation de 20-21 décembre 2020 qui a touché la wilaya de Jijel en utilisant une panoplie des modèles numériques de prévision du temps : WRF-ARW, ALADIN, AROME à 3 km de résolution et AROME à 1.3km de résolution. Cette situation est caractérisée par des pluies intenses qui ont causé des inondations sur la wilaya de Jijel. La quantité de pluies enregistrées en 24 heures sur la station de Jijel ACHOUAT est de 146 mm. Les résultats des simulations montrent bien que la version AROME à 1.3 km de résolution reproduit bien les quantités de pluies tombées la nuit du 20 et 21 décembre avec 90 mm en 24h. D'ordre moins, la version AROME à 3 km de résolution et ALADIN ont prévu, en 24 heures, des quantités de 45 mm et 40 mm, respectivement. Par contre, Le modèle WRF a beaucoup sous-estimé cette situation avec un cumul en 24 heures de 19 mm.

Keywords

Résolution, Convectives, WRF-ARW, ALADIN, AROME, ARPEG.

¹ Institut Hydrométéorologique de Formation et de Recherche DPNT, Sedikia, Oran.

² Office national de la météorologie (CNPM-ONM), Dar El Beida, Alger.

*Correspondant: khaledgassi0@gmail.com

Contents

1	Introduction:	1
2	Zone d'étude	2
3	Méthodologie	3
3.1	3.1 Données utilisées et analyse de la situation	
3.1	3.2. Configuration des modèles ALADIN, AROME WRF	3
4	Résultats et discussion :	3
4.1	4.1. Analyses des sorties des modèles	3
4.2	4.2. Intensité de pluie	5
5	Conclusion	5
	References	11

1. Introduction:

La convection est un processus physique dû aux différences de température ou de densité en divers points de la masse d'air générant des mouvements ascendants et descendants des particules d'air dans l'atmosphère (Bouziane, 1996) [1]. Ce phénomène joue un rôle important à toutes les échelles de la météorologie de petit cumulus, de lignes de grains, de cyclones tropicaux et de la zone de convergence intertropicale. Il existe deux types de convection : une convection peu profonde non précipitante qui provoque des nuages

de type stratiformes et une convection profonde d'un caractère précipitant donnant une naissance à des nuages de type cumuliformes tel que les Cumulonimbus et les Cumulus fortement développés.

Il arrive parfois qu'une prévision de convection ne se révèle pas correcte, que ce soit dans son timing, sa localisation, ou son niveau de sévérité. Cette difficulté est due aux plusieurs mécanismes mises en jeu dans le déclenchement de ce processus tels que : Les interactions microphysiques dans le nuage, notamment dans le cas de la convection profonde et le transport vertical provoqué par le forçage dynamique ou orographique qui accélère le mécanisme de changement de phase de la vapeur d'eau atmosphérique. Les systèmes convectifs sont aussi connus par leur variabilité très rapide et les durées très courtes surtout pour les orages isolés (Laurent Labbouz, 2013) [2], La grande superficie de l'Algérie et sa position géographique ont classé l'Algérie dans une catégorie de région à large gamme de variabilité orographique et climatique favorable au développement des systèmes convectifs. Au sud de l'Algérie, les systèmes orageux sont plus fréquents durant les périodes estivale et automnale : le cas 30 septembre à Ghardaïa avec 150 mm en 24h (Arab Djabbar, 2009) [3], ainsi que les situations liées à la remontée de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) vers le nord à l'extrême sud tel que le cas de situation des 03-04 Août 2018 qui a touché la région de Tamanrasset

donnant un cumul de 80 mm en 25 minutes. Sur la partie nord de l'Algérie, les systèmes orageux sont plus fréquents durant les phases de transitions de l'année : les saisons printanière et automnale. Tels que les cas des inondations catastrophiques de Mars 1973 sur tout l'Est Algérien, le cas des pluies torrentielles à Alger (Bab El Oued) le 10 novembre 2001. La prévision de ces systèmes en terme de quantité est très biaisée. Parfois ces systèmes sont isolés se développent à cause d'une convection diurne suite au réchauffement durant la journée suivie par une atmosphère instable. Et d'autre fois, il sont de nature synoptique classique renforcés par la topographie de la région nord de l'Algérie et la mer méditerranée qui font davantage empirer la prévision et accroître ces biais. Aussi, nous pouvons constater, durant la saison hivernale (décembre, janvier et février) des pluies orageuses liés aux systèmes classiques qui affectent le nord Algérie comme le cas de Jijel 20-21 Décembre 2020 avec 146 mm en 24h qui est l'objet de cette étude. Le système de prévision à l'ONM basé sur ARPEGE a beaucoup sous-estimé cette situation (17 mm en 24H) et aucun bulletin météorologique spécial (BMS) n'a été émis pour cette situation. Dans ce contexte, On se propose de mieux étudier cette situation en utilisant les sorties d'autres modèles à aire limitées à savoir : AROME (Application à la Recherche Opérationnel à Mesoéchelle, Termonia et al., 2018)[4] , ALADIN (Aire Limitée Adaptation dynamique Développement International ; Termonia et al., 2018)[4] et WRF-ARW (Weather Research and Forecasting-Advanced Research WRF ; MORRIS et al.2007).[5] Les cumuls des précipitations prévus par ces modèles seront ensuite analysés et confrontés aux observations.

2. Zone d'étude

La Wilaya de Jijel est une wilaya côtière située dans la partie Est du pays, elle est caractérisée par un relief montagneux prépondérant ainsi que par des plaines alluviales côtières, avec une façade sur la Mer Méditerranée. Le lieu d'événement entouré par des reliefs (Tableau 1) et délimité par les lignes de partage des eaux (tableau 2).

Longitude	Latitude	Altitude
6.031°E	36.78°N	1030 m
6.006°E	36.78°N	750 m
5.93°E	36.75°N	1023m
5.92°E	36.61°N	1512m
5.81°E	36.64°N	1014m

Table 1. Sommets des montagnes au alentour du lieu d'événement (Earth, 2021).

Oued Bouzaghar	Oued Nil	Oued Kabir	Oued Takielt	Oued Kissir	Oued Mkaseb
----------------	----------	------------	--------------	-------------	-------------

Table 2. les lignes de partage des eaux aux alentour du lieu d'événement (Earth, 2021).

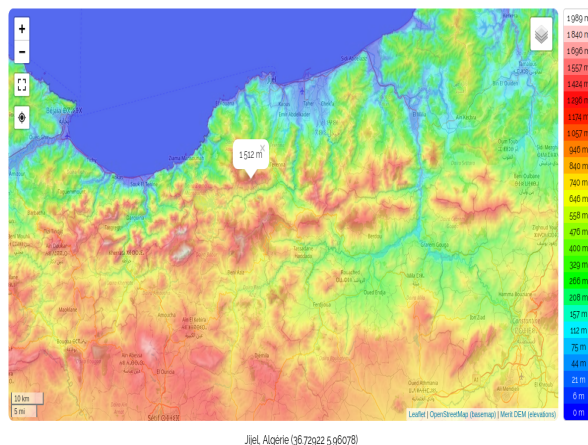


Figure 1. Position géographique et topographique de lieu de l'événement (Earth, 2021).

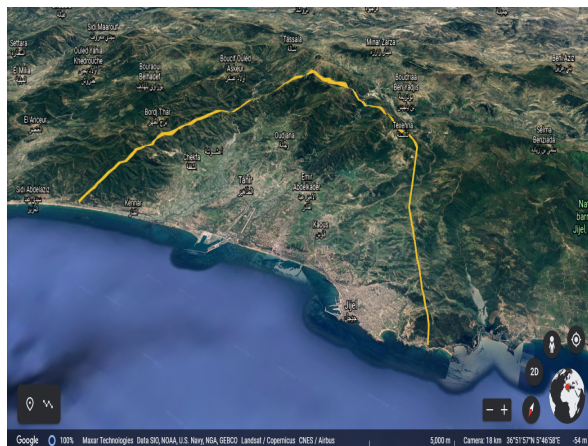


Figure 2. Position géographique et topographique de lieu de l'événement (Map, 2021).



Figure 3. Zoom sur la région touchée, le cercle rouge représente la zone critique.

L'analyse des figures 1, 2 et 3 montre que la région touchée par l'inondation représente un bassin versant entourée par des montagnes dans les trois directions, Sud,

Est et Ouest et ouvert du côté nord vers la méditerranée. Toutes les eaux qui tombent sur la façade frontale de ces montages coulent à travers les six (6) Oueds de la région et se convergent vers ce bassin versant.

3. Méthodologie

3.1 Données utilisées et analyse de la situation

Pour évaluer les prévisions des références de vérification sont nécessaires. Dans ce travail, ce sont les observations de cumuls des précipitations qui ont été considérées comme des références. Les cumuls observés viennent de la banque de données de l'Office Nationale de la Météorologie Algérie. Nous avons aussi analysé les messages METAR (METeorological Aerodrome Report) et SYNOP élaborés par la station de Jijel-Achouat pour sélectionner la période critique de l'événement : début et la durée de vie de la situation. Dans le but d'avoir plus d'informations sur cette situation, nous avons utilisé les images satellitaires EUMETSAT prises dans l'intervalle du temps : 20 décembre à 21h30 au 21 Décembre à 3h15 avec une fréquence de 15 minutes. Ces données d'observations satellitaires sont consolidées par la superposition de deux produits spécifiques à la convection et les précipitations (<https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default>):

- Cumul de précipitation au sol par GEO/IR soutenu par LEO/MW.
- Convection RGB - MSG - 0 degré GEO.

Ces données seront utilisées pour une validation spatio-temporelle très localisée. L'épisode pluvieux-orageux qui a touché la région du Jijel la nuit de 20 à 21 décembre 2020 est considéré comme exceptionnel. Durant cet épisode, la station de Jijel a enregistré un cumul de 146 mm dans un laps du temps de 24h, comme le montre le message SYNOP émis le 21 décembre à 6UTC par la Station de Jijel-Achouat.

AAXX21064 60351 11458 62403 10130 20117 40263 53008

61464 70296 86900 333 20122 71460 83813 86626 81923==
Si on projette ce cumul à la pluviométrie maximale dans Jijel (figure 4), il représente une anomalie climatique qu'elle nécessite une étude. En plus de l'observation surface, nous avons montré dans la figure 5 la superposition de deux produits cumul des précipitations au sol par GEO/IR soutenue par LEO/MW et la convection RGB - MSG - 0 degré GEO. Cette image montre bien l'existence d'un noyau convectif au dessus de Jijel avec un cumul de précipitation important. Cette situation a persisté du 20/12/2020 à 21 :30 jusqu'à 21/12/2020 à 01 :30.

3.2. Configuration des modèles ALADIN, AROME WRF

Les modèles à aire limitée et à haute résolution sont maintenant utilisés dans le monde entier pour produire des prévisions météorologiques à des fins de recherche et d'exploitation. Dans ce travail dédié à la comparaison entre les modèles à

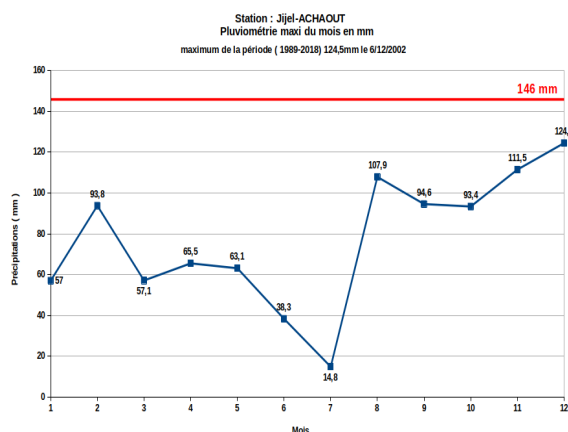


Figure 4. Pluviométrie journalière maximale pour chaque mois en mm enregistrée par la station de Jijel-Achouat durant la période 1989-2018.

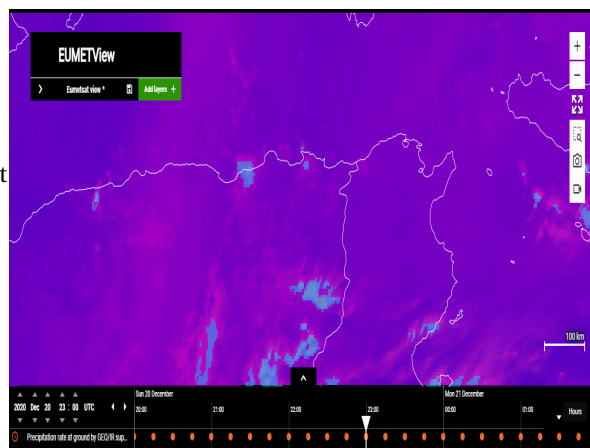


Figure 5. Situation par image satellitaire venue de site officiel de EUMETSAT traitée et ajustée par EUMETSAT en ajoutant des 'layers' à 20/12/2020 à 23:00 UTC EUMETSAT, 2020,[6].

aire limitée, on se propose d'évaluer l'effet de l'augmentation de la résolution avec ALADIN, WRF et AROME (1.3km et 3km). ALADIN et AROME-3Km sont des modèles opérationnels à l'ONM. AROME 1.3 et WRF-ARW sont des modèles dédiés à la recherche de l'atmosphère.

Nous avons utilisé la configuration AROME recommandée par le Consortium ALADIN, décrite dans le tableau 4 .[4].

La configuration de WRF est basée sur des études de sensibilité déjà faites à l'IHFR avec ce modèle [7] en particulier : la convection et le rayonnement.

4. Résultats et discussion :

4.1. Analyses des sorties des modèles

Cumuls de pluie Pour donner une vue d'ensemble en 2D sur la situation qui a touché la région de Jijel, nous allons commencer par l'analyse des cumuls de précipitation en

Table 3. Les configurations des Modèles utilisés.

Modèle	AROME 1.3 km	AROME 3 km	WRF-ARW	ALADIN
Cycle	CY43T2bf.09	CY43T2bf.09	V.4.1	CY43T2bf.09
Modèle de couplage	ARPEGE	ARPEGE	GFS	ARPEGE
Fréquence de couplage	1H	1H	3H	3H
Résolution horizontale	1.3km	3km	5km	6km
Résolution verticale	90	90	34	70
Laps de temps	45s	60s	30s	514s
Domaine	Latitude	28°N-40°N	28°N-40°N	31°N-40°N
	Longitude	03°W-09°E	03°W-09°E	1°W-8°E
Grille	1152X1152	500X500	220X120	600X600
Base de prévision	00h	00H	00H,00H	00H
La portée d'échéance.	48h	48H	24H,48H	72H

Table 4. Configuration utilisée dans Arome

La paramétrisation et la dynamique	Schémas	Références
Dynamique	Non hydrostatique ALADIN	(Bénard, 2010)
Radiation	RRTMG_LW, SW6	(Iacono et al. (2008), 2001) (Mlawer, 1997) (Fouquart, 1980) (Morcrette, 2001)
Turbulences	CBR	(Cuxart, 2000) (Bougeault, 1870-1888, 1989)
Micro physique	ICE3	(Jabouille, 1998)
La Convection Peu profond	PMMC09	(Pergaud, 2009)
La convection profonde	-	-
Nuage	-	(Bechtold, 1995) (Pergaud, 2009)
Schéma de sédimentation	-	(Bouteloup, 2011)
Schéma de surface	SURFEX	(Masson, 2013)
Schémas des LBC	Davies schème	(Radnóti, 1995) (Davies, 1976) (Termonia et al. 2008)

Table 5. Configuration utilisée dans WRF

La paramétrisation et la dynamique	Schémas	Références
Dynamique	Non hydrostatique	Par défaut
Mp_physics Scheme	WSM5	(Jimmy Dudhia, 2010)
a_lw_physics	CAM	(Williamson, 2010)
a_sw_physics	CAM	(Williamson, 2010)
Sf_sfclay_physics	YSU	(Monin-Obukhov, 2010)
Cu_physics	Betts-Miller-Janjic	(Jimmy Dudhia, 2010)
Sf_urban_physics	Par défaut	(Jimmy Dudhia, 2010)

24H indiqués par les messages SYNOP (6h-6h). Ensuite nous allons regarder en détails l'évolution tri-horaire de ces cumuls durant la période de l'épisode et notamment pendant la phase critique de l'événement qui a connu une forte intensité de pluie (20 décembre à 15h jusqu'au 21 décembre à 03h). Dans notre analyse et comparaison par rapport à l'observation, nous avons appliqué un rayon de tolérance spatial de 48km à partir de la station d'observation, qui est représentée sur les cartes par un carré, et une fenêtre temporaire correspondante à celle de SYNOP. La figure 6 montre les cumuls de précipitation en 24H prévus par les quatre configurations, AROME-1.3km, AROME-3km, ALADIN et WRF. En

termes d'occurrence et de distribution spatiale, les quatre modèles ont simulé les précipitations observées durant les journées du 20 et 21 décembre sur la région de Jijel et les régions limitrophes. Les forts noyaux de précipitation ont été très bien localisés dans le cas des configurations AROME-1.3km et AROME-3km. Ces noyaux se trouvant à l'intérieur du rayon d'intérêt avec des cumuls dépassant 90mm pour le cas du modèle AROME-1.3km et 45mm pour le cas de la configuration AROME-3km. ALADIN avait prévu des cumuls de l'ordre de 12 à 15 mm à l'intérieur de la zone d'intérêt tandis que WRF avait prévu des cumuls de 40 mm vers le nord de la station sur la mer. Cette vue d'ensemble permet de placer

la configuration AROME-1.3km en première position parmi les autres configurations. Puisque c'est la seule configuration qui a donné un cumul de 24H dépassant les seuils de vigilance rouge ce qui est le cas pour cette situation. Il est bien évident que les systèmes convectifs se renforçant par un forçage dynamique lié principalement à la présence des reliefs qu'ils vont renforcer davantage les mouvements verticaux des masses d'air et l'instabilité atmosphérique. Le plus haut sommet de montagne dans la région d'étude est de 1512m d'altitude (tableau 6). Cette hauteur est relativement importante pour pouvoir jouer le rôle d'obstacle pour les masses d'air chargé en humidité venant de la Méditerranée. Ce relief est relativement sous-estimé par les configurations AROME-1.3km et AROME-3km avec une différence de 376m et 435m, respectivement. Cette sous-estimation a impacté relativement le rôle du forçage orographique dans les simulations et a diminué l'activité convective. Ce qui a sous-estimé les cumuls de pluie prévus par ces deux configurations. Le relief simulé par ALADIN est de même ordre de grandeur qu'AROME-1.3km. Néanmoins, les précipitations prévus par ALADIN restent largement inférieur à la réalité et à celles d'AROME. Ce constat montre bien la performance du schéma convectif MésoNH utilisé dans AROME par rapport à celui de Bougeault (1985)[8] utilisé dans ALADIN. La différence entre la hauteur maximale du relief simulée par WRF et celui de la réalité est de 551 m. Ceci a beaucoup diminué le forçage orographique et en conséquence les pluies simulées par ce modèle.

Les valeurs de la CAPE simulées par les quatre modèles ne dépassant pas 1000 J/kg. Pour les trois configurations AROME-1.3km, AROME-3km et ALADIN, elles varient entre 280 à 340 J/kg à l'intérieur du rayon de tolérance et atteints localement les 400 J/kg. Par contre ne dépassant pas 180 J/kg pour WRF. D'après la classification de la NOAA [9], ces valeurs nous permettent de classer la situation dans la catégorie : marginalement instable donnant des averses ou des orages ordinaires.

Les Figures 8 et 9 indiquent les cumuls de précipitations prévus par les quatre configurations entre 15H et 18H puis entre 18H et 21H. Ces périodes coïncident avec la phase critique de l'épisode. À 18H, la configuration AROME-1.3km prévoit des cumuls de l'ordre de 30 à 35 mm en 3H vers l'Ouest de la station et à l'intérieur de la zone d'intérêt. Tandis qu'AROME-3km les prévoyait vers le Sud-ouest mais avec une intensité moins (20mm-25mm). ALADIN et WRF sous-estime beaucoup ces cumuls. À 21H, les configurations AROME-1.3km et AROME-3km ont fait persister les pluies intenses à l'intérieur de la zone d'intérêt avec des cumuls de l'ordre de 25mm et 20 mm, respectivement. ALADIN a largement sous-estimé cette intensité alors que WRF a fait, pratiquement, décaler la situation.

4.2. Intensité de pluie

Pour analyser l'intensité des averses qui ont touché Jijel nous avons utilisé deux types de courbes déduites des en-

registrements d'un pluviographe (pluviogramme) qui sont :

- La courbe des hauteurs de pluie cumulée.
- Le hyétogramme.

L'évolution temporaire de la courbe des précipitations accumulées durant l'épisode est donnée par les figures 10 et 11. Nous avons pris la valeur maximale de pluie prévue sur les points de grille qui se trouve au voisinage de la station en appliquant un rayon de tolérance de 48 km. Nous avons aussi calculé l'intensité de pluie par heure en utilisant la relation suivante : $i_m = \frac{h}{t}$

avec :

i_m : intensité moyenne de la pluie [mm/h, mm/min] pour notre cas [mm/3h]

h : hauteur de pluie de l'averse [mm],

t : durée de l'averse [h ou min].

Ces intensités sont données par le tableau 7.

A partir des figures 10 et 11, on peut déduire les remarques suivantes :

- Les intensités des pluies simulées par les quatre modèles sont largement sous-estimées.
- Le modèle AROME-1.3 km se place en première position par rapport aux autres modèles.
- L'événement est caractérisé par un incrément avec trois pics remarquables survenant aux échéances suivantes : 18-21, 21-24, 24-27.
- L'épisode n'a commencé qu'après le cinquième pas de temps (15H). Tandis que les quatre modèles ont fait commencer l'épisode bien avant et ce depuis 9H. On peut constater à nouveau ici qu'AROME-1.3km est beaucoup plus proche de l'observation que les autres modèles.

5. Conclusion

Une étude comparative entre les cumuls de précipitation simulés par quatre modèles AROME-1.3km, AROME-3km, WRF et ALADIN, a été réalisée afin de montrer l'apport de l'augmentation de la résolution horizontale à la prévision du temps. La situation ciblée par cette étude concerne l'épisode pluvieux-orageux qui a touché la ville de Jijel les journées de 20 et 21 décembre 2020. Cet épisode est considéré comme exceptionnel. Durant cet épisode la station météorologique de Jijel a enregistré un cumul de 146mm en 24H. Ce cumul dépasse largement la normale climatologique de cette région. Les résultats obtenus marquent bien la particularité de la configuration AROME dans la prévision de cette situation par rapport aux deux autres configurations ALADIN et WRF. En effet, AROME a été conçu principalement pour améliorer la prévision des systèmes convectifs. Cette singularité a été bien mise en évidence

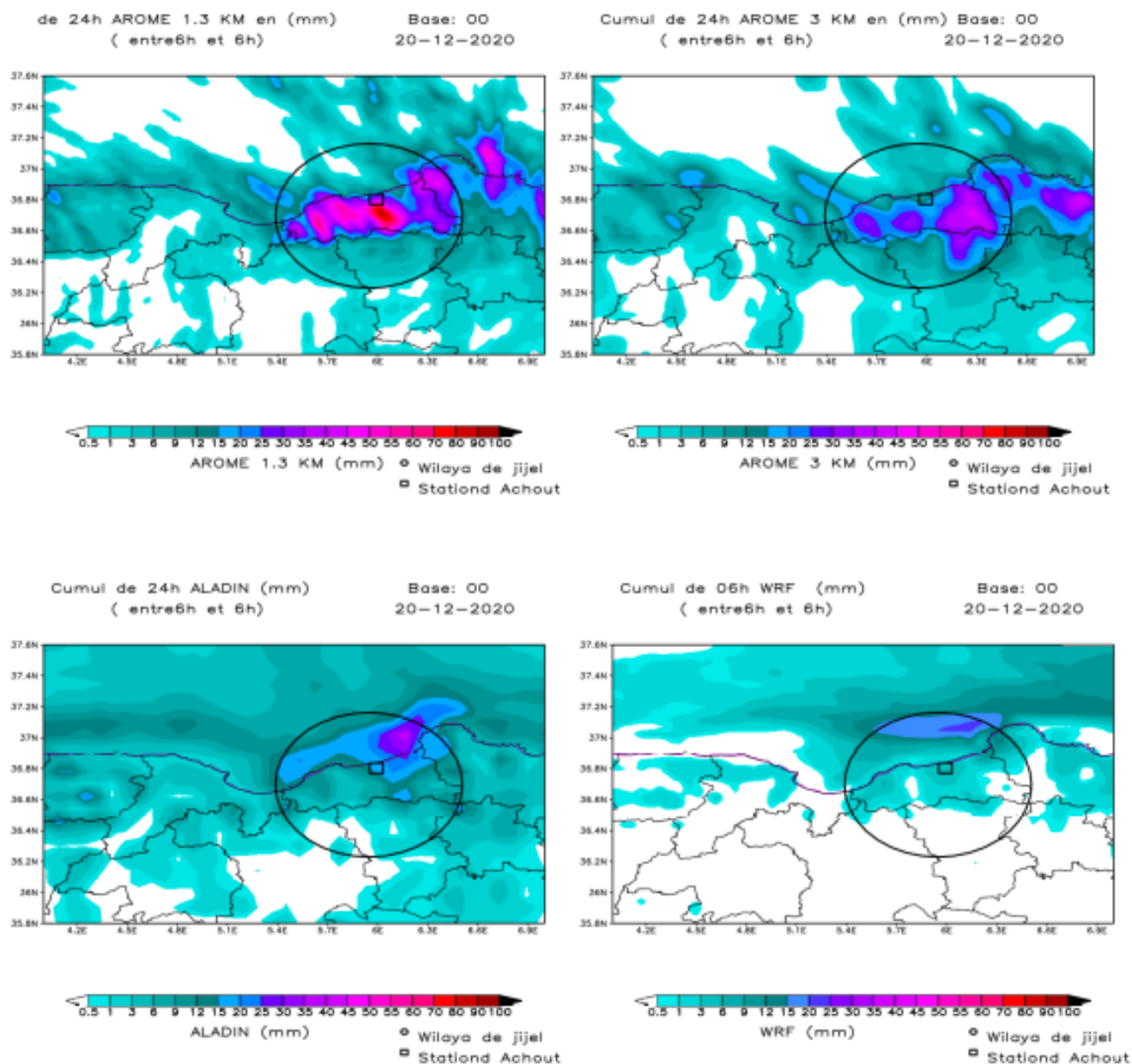


Figure 6. Cumuls de précipitation en 24H simulés par les quatre configurations AROME-1.3km, AROME-3km, ALADIN et WRF.

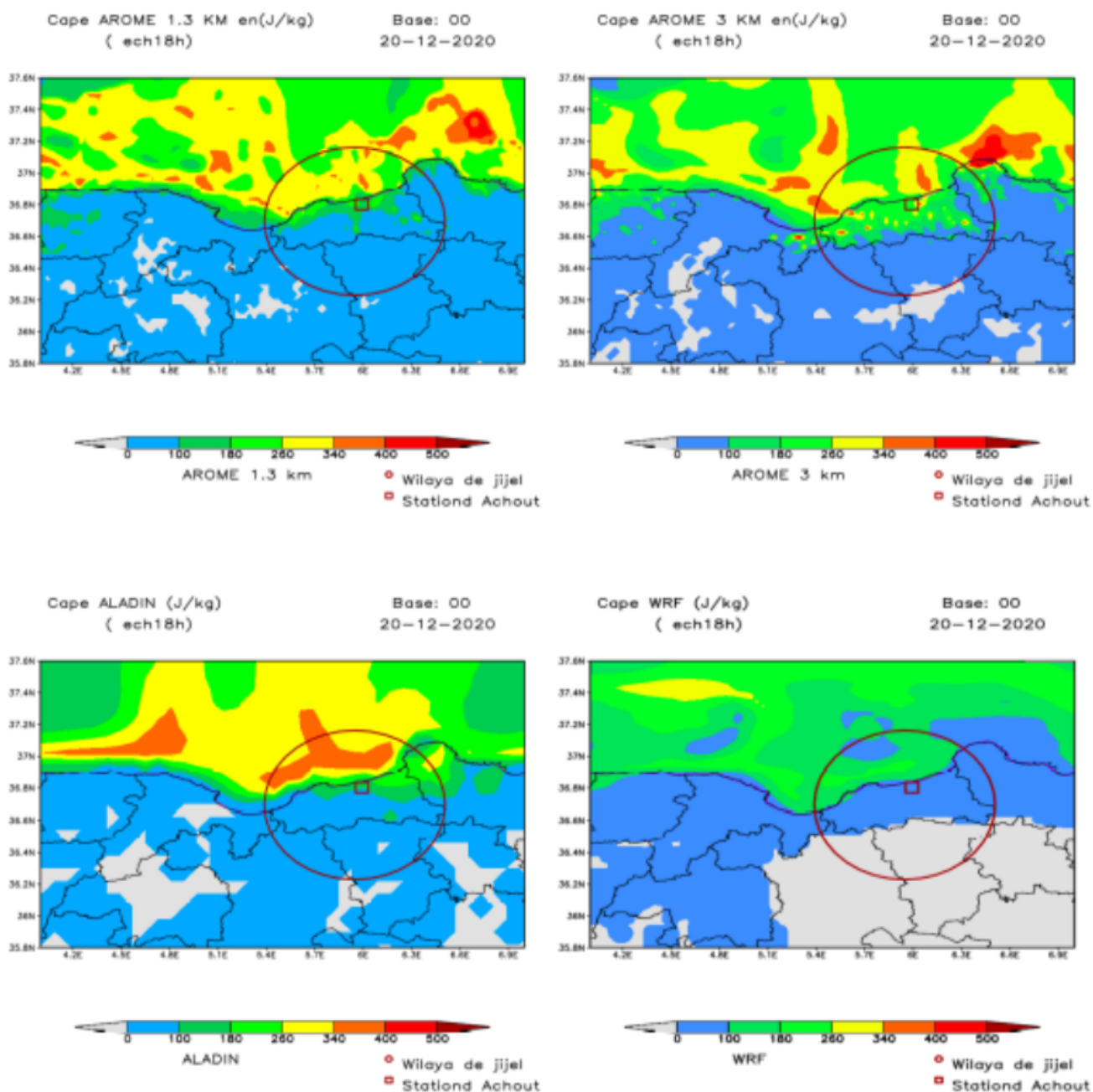


Figure 7. CAPE simulée par les quatre configurations AROME-1.3km, AROME-3km, ALADIN et WRF à 18H.

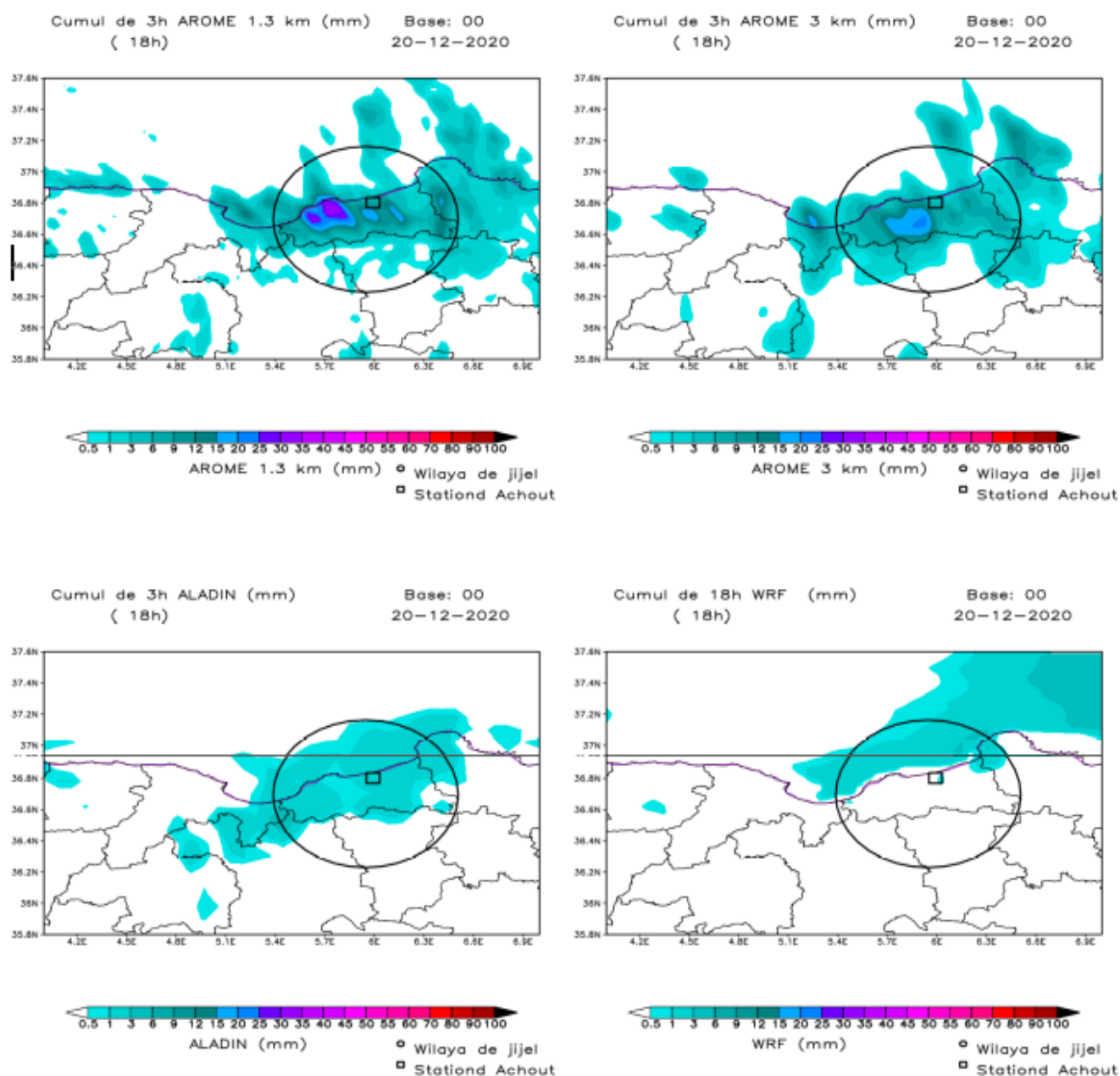


Figure 8. Cumuls de précipitation en 3H simulés par les quatre configurations AROME-1.3km, AROME-3km, ALADIN et WRF entre 15H-18H

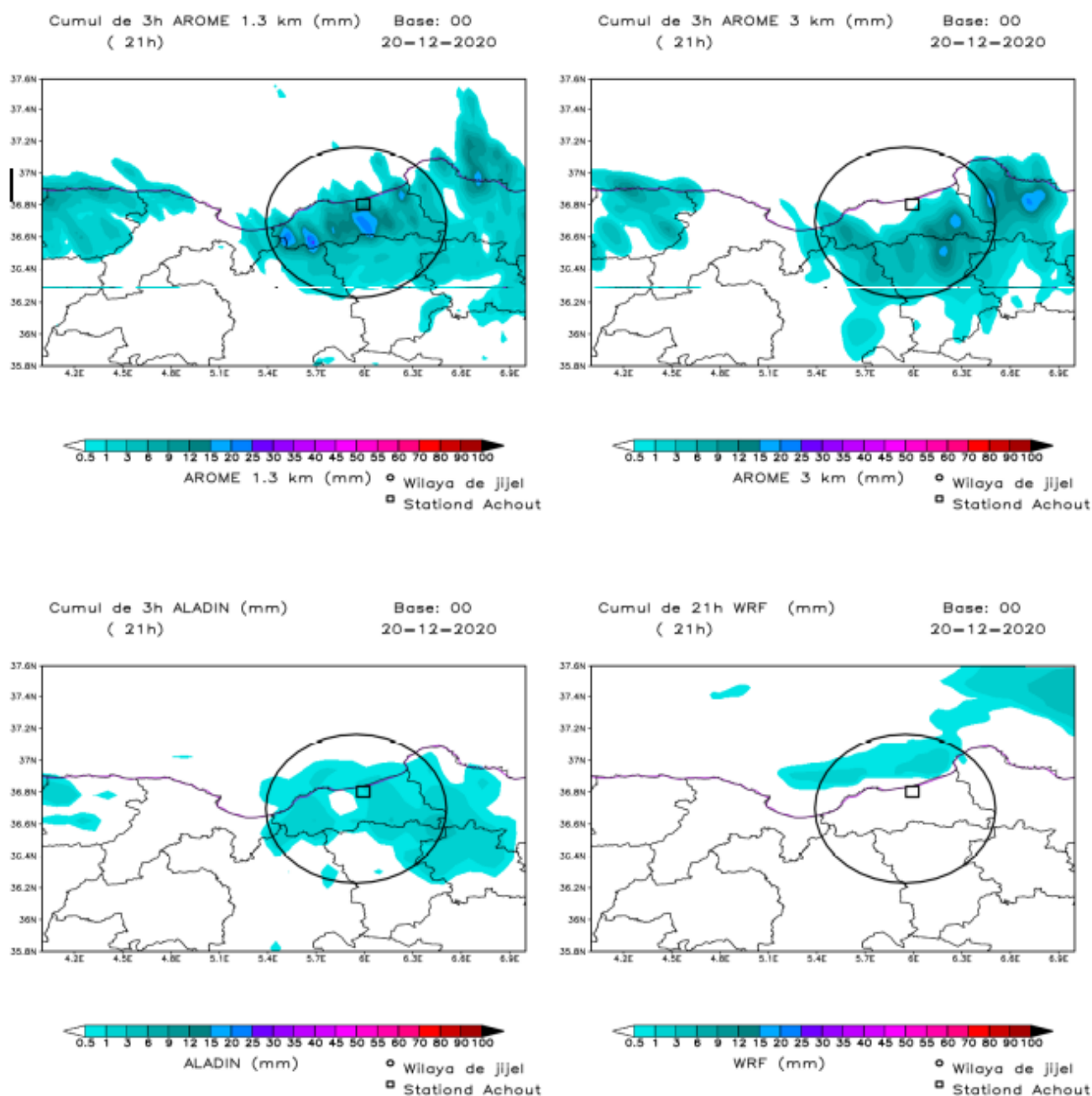


Figure 9. Cumuls de précipitation en 3H simulés par les quatre configurations AROME-1.3km, AROME-3km, ALADIN et WRF entre 18H-21H.

Table 6. Comparaison entre la hauteur maximale du plus haut sommet du relief dans le cas des quatre modèles et la réalité.

	La réalité	AROME 1.3	AROME3	ALADIN	WRF
Hauteur du sommet (m)	1512 m	1136m	1077m	1130m	961m

Table 7. Tableau d'intensité des pluies maximale

Cumuls Intensité	ALADIN	WRF	AROME1.3	AROME3	OBSERVATION
Intensité maximale par 3 h	7.5	4.5	32.5	22.5	75
Intensité moyenne	2.5	1.5	10.83	7.5	25

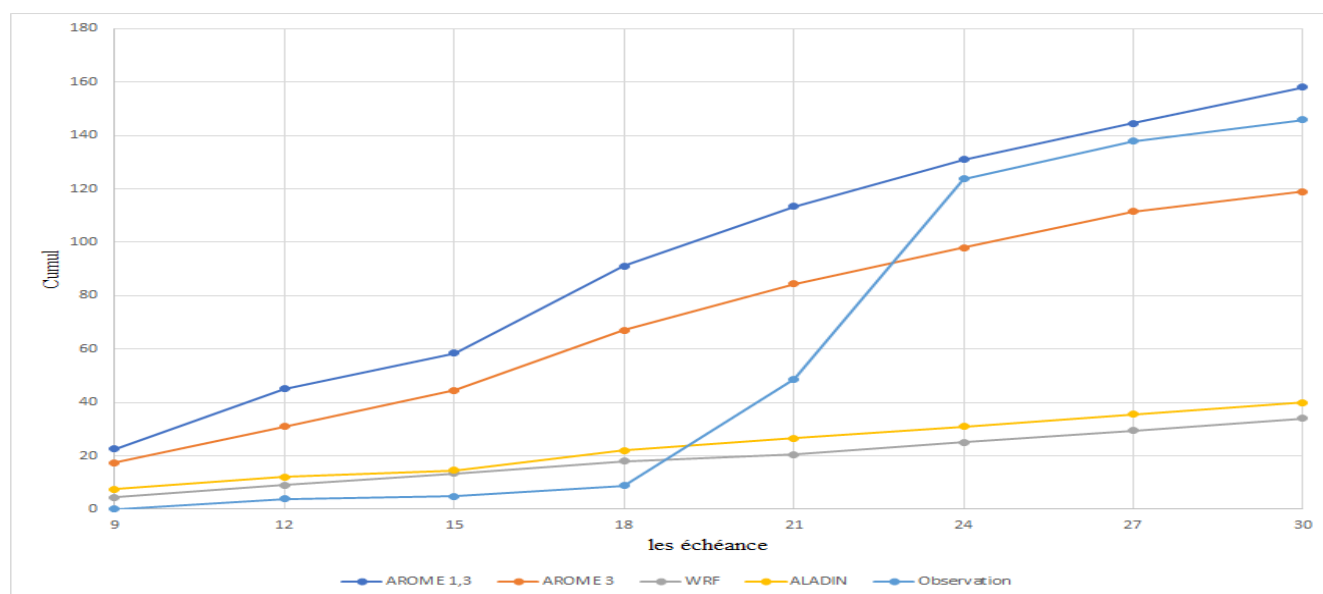


Figure 10. La courbe des hauteurs de pluie accumulée en 24 h [6h de 20/12/2020 aux 6h de 21/12/2020]. Nous avons pris pour chaque échéance le cumul maximal à l'intérieur du rayon de tolérance.

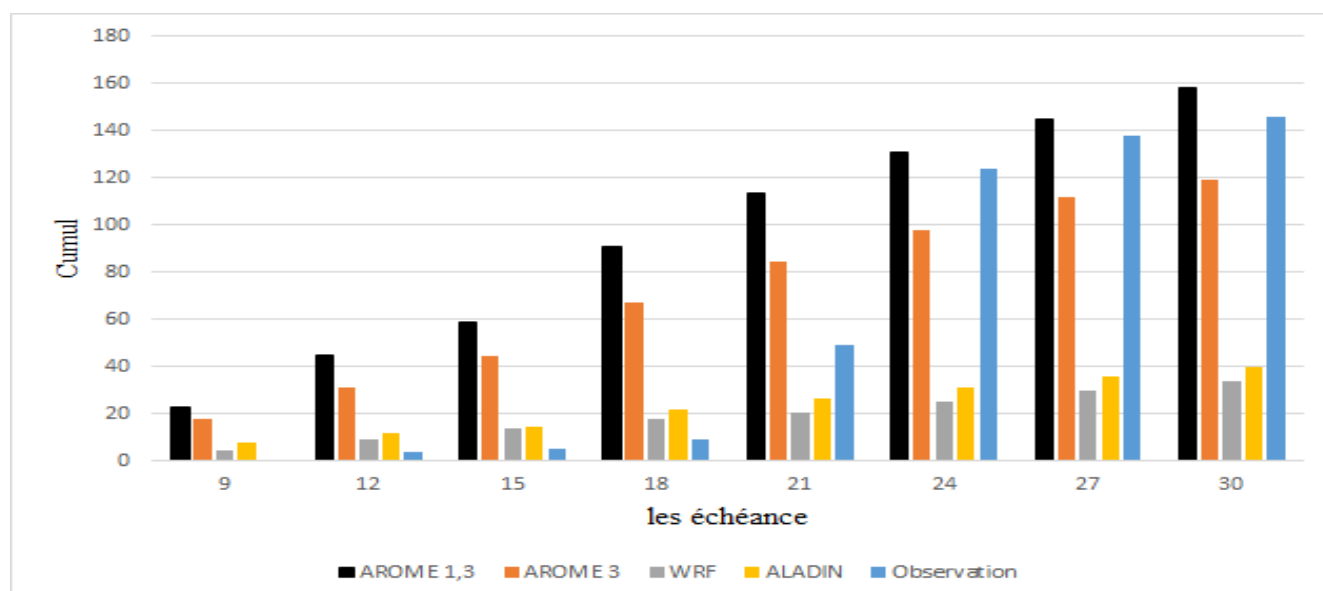


Figure 11. Hyétogramme des précipitations prévues par les quatre modèles en appliquant un rayon de tolérance et l'observation à la station de Jijel ACHOUAT.

dans ce cas d'étude. Un autre point important qu'il faut citer est l'amélioration de la qualité de la prévision AROME en augmentant la résolution horizontale. AROME-1.3km reproduit d'une façon très satisfaisante la situation notamment en termes de quantité par rapport à AROME-3km. Ce modèle a prévu des cumuls de 90mm contre 45mm prévus par AROME-3km. L'apport de la résolution horizontale est un facteur déterminant pour la prévision de ce type des phénomènes. Néanmoins, une seule situation reste insuffisante pour généraliser cette conclusion. Il est donc recommandé d'élargir cette étude à d'autres situations similaires. Un point important qui n'était pas pris en considération dans notre analyse est la qualité des fichiers coupleurs qui sont utilisés par les modèles. En effet, le comportement de la prévision d'un modèle LAM dépend largement du couplage de modèle global. Dans notre cas, nous avons utilisé les coupleurs des deux modèles ARPEGE et GFS sans avoir regardé de près la qualité de ces coupleurs.

La crue marquée sur le lieu est liée principalement à l'emplacement de la ville de Jijel. Il s'agit d'un bassin versant où les lignes de partage des eaux se réunissent avec une configuration du relief et des lits des cours d'eau adéquates qui ont fait exercer une influence directe sur la rapidité de l'écoulement. Toutefois, il est important de citer l'impact humain qui a aggravé la situation avec leur construction et ses activités le long d'Oued El Mkaseb. Les matériaux transportés par le courant tels que les arbres, les buissons et autres objets flottants s'accumulent en amont des passages étroits tels que les ponts et augmentent fortement le niveau de l'eau et la contrainte exercée par ces débris sur ces ponts. Ce qui a provoqué la chute du pont d'Oued El Kantara.

References

- [1] Bahia Cherif et al. *Etude du comportement du bruit ambiant et comparaison des rapports spectraux h/v séisme et bruit de fond*. PhD thesis, 2015.
- [2] Laurent Labbouz. *Interactions entre le champ de vapeur d'eau et les systèmes précipitants*. PhD thesis, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II, 2013.
- [3] Djabbar. Arab. *Etudes Météorologique et Climatologique Des Inondation Ghardaïa*. PhD thesis, Institut Hydrométéorologie de Formation et de Recherches, Algérie, 2009.
- [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.
- [5] Explicit convective forecasts with the wrf-arw model national center for atmospheric research. https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/23/3/2007waf2007005_1.xml?tab_body=pdf. Accessed: 2007.
- [6] Situation par image satellitaire venue de site officiel de eumetsa. <https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default>. Accessed: 2020.
- [7] Etude de la sensibilité des températures aux schémas de rayonnements et de flux de surface au nord de l'Algérie. <https://InstitutHydrometeorologie>. Accessed: 2020.
- [8] simple parameterization of the largescale effects of cumulus convection. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1985\)113<2108:ASPOTL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1985)113<2108:ASPOTL>2.0.CO;2), 1985. Accessed: 1985.
- [9] simple parameterization of the largescale effects of cumulus convection. <https://www.weather.gov/mfl/analysisinfo>. Accessed: 2021.

