

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



Journal Algérien de Météorologie Appliquée



ISSN 3088-7925

Volume 3
Mars 2019

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

JOURNAL ALGÉRIEN DE MÉTÉOROLOGIE APPLIQUÉE

Volume 3 - Mars 2019
Diffusion Interne

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. AIT MEZIANE Mohand Ouali
Mr. DEHMOUS Idir
Mlle. ADEM Amina Amel

Comité de lecture

Directeur Mr. MOKHTARI Mohamed
Membres Mr. SAHABI ABED Salah
Mr. HAMADACHE Bachir
Mr. ABANE Hakim
Mme SABRI Amina Feriel
Mr. HEMDANE Yacine
Mr. DEHMOUS Idir
Mr. BENAMARA Mohamed Arab

Préambule

Nous voilà déjà au 3ème numéro du Journal Algérien de la Météorologie Appliquée « JAMA ». Cette revue en évolution permanente marque de plus en plus la reconnaissance continue et permanente du rôle fondamental de la recherche et le développement au sein de MétéoAlgérie. La publication des résultats de recherche qui se considère toujours comme une opération centrale de l'activité scientifique ciblée de l'office, a servi dans les numéros précédents à illustrer les réalisations et les aboutissements de nos chercheurs et en même temps de valoriser leurs connaissances nouvelles. Sa vocation demeure en outre à mettre davantage en lumière les efforts consentis par l'entreprise en vue d'améliorer ses services.



Le développement d'outils voués à promouvoir la production et à faciliter les tâches des météorologues constitue jusqu'à l'heure une priorité absolue dans le domaine de la recherche pour MétéoAlgérie. A cet égard, l'accent est plus particulièrement mis sur le renforcement des moyens et de l'état d'esprit de nos cadres techniques pour que notre établissement poursuive sa croissance. Il n'est plus à démontrer que le besoin de produits innovants devient de plus en plus impérieux dans un nombre croissant de domaines ayant trait à la météorologie. Pour y faire face, des investissements ont été menés et orientés principalement vers la formation, la recherche multidisciplinaire et l'équipement, ce qui marque l'avènement d'une nouvelle ère pour MétéoAlgérie.

La démarche recherche pour le développement reste un enjeu majeur au sein de l'office et continuera à constituer un aspect essentiel de notre activité. J'incite encore une fois les techniciens de MétéoAlgérie à s'investir davantage dans la recherche et la publication et de mettre à jour leurs connaissances et leurs compétences techniques et à se soucier de l'efficacité interne de l'entreprise, car toute activité de recherche contribuera sans nul doute au perfectionnement, et de ce fait, nous valoriserons la profession et nous la rendrons plus attrayante.

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

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to Mr. Brahim. IHADADENE, the Director General mentioned in the text. The signature is stylized and written in a cursive script.

Sommaire des Articles

O. DOUBA	Comparaison entre les Méthodes d'Interpolation Spatiale Application aux grilles des Modèles ALADIN et AROME	13	18
S. MANSOURI	Conception et développement de la carte de vigilance routière	19	21
S. ROUIDJA	Analyse de comportement des modèles ALADIN et AROME...etc.	22	24
H. CHELLAL	Automatisation de l'exploitation des télécommunications météorologiques	25	28
K. SOLTANI	Contribution à la construction des courbes IDF en Algérie du nord	29	36
A. ADEM	Contribution à l'analyse des tendances pluviométriques et hydrométriques dans la basse vallée de la Soummam	37	42
H. BENMOUSSA	Evolution de la fréquence des vagues de chaleur à l'horizon 2100 sur les régions Adrar et Béchar	43	46
F. KERTALI	Étude de comblement de lacunes : Cas des séries pluviométriques observées du réseau de l'ONM	47	56
M. MEZRED	Développement d'une Interface web pour la coordination Sigmet	57	60
A. SAHABI	Application de l'indice Hot-Dry-Windy (HDW) pour la contribution à la prévision des feux de forêts au Nord de l'Algérie	61	73
S. KAMECHE	Adaptation de l'internet des objets (Iot) pour l'acquisition des données météorologiques de Vent et de pression	74	78
M. BENAMARA	Gestion du flux de données en provenance du GTS ou SMT (Système Mondial des Télécommunications)	79	83
A. BENSABEUR	Méthodes de prévision d'occurrence d'Orage par traitement statistique : Cas d'Alger	84	90

Comparaison entre les méthodes d'interpolation spatiale: Application aux grilles des modèles ALADIN et AROME

Oussama DOUBA ^{1*}, Mohamed Bouzghaia ¹, Mohamed MOKHTARI ¹

Abstract

Cet article présente une étude comparative entre les méthodes d'interpolations spatiales appliquées aux paramètres température et humidité à 2 mètres, vent à 10 mètres et nébulosité prévus par les modèles ALADIN et AROME. Ces paramètres prévus sur les points de grille sont interpolés au niveau des stations d'observation en utilisant 4 méthodes d'interpolation à savoir : PPP, BLN, PID et PAD. Les résultats obtenus sont ensuite comparés aux observations. L'analyse de ces résultats montre que la méthode PAD présente des meilleurs résultats pour le modèle AROME, et aussi pour le modèle ALADIN dans les régions côtières. Par contre pour les stations d'altitudes la méthode PID se comporte mieux.

Keywords

Interpolation spatiale, ALADIN, AROME

¹ Office national de la météorologie (CNPM-ONM), Dar El Beida, Alger

*Correspondant: douba.oussama69@gmail.com

Contents

Introduction	13
1 Les méthodes d'interpolations	13
1.1 Méthode PPP	13
1.2 Méthode BLN	14
1.3 Méthode PID	14
1.4 Méthode PAP	14
2 Descriptions des expériences	14
3 Résultats et discussion	14
3.1 Grille ALADIN	15
3.2 Grille AROME	15
4 Conclusion	15
References	18

Introduction

L'interpolation est une méthode de construction de nouveaux points de données dans la gamme d'un ensemble discret de points de données connus[1]. Ces méthodes d'interpolations spatiales sont très utilisées dans le domaine de la prévision numérique du temps notamment en assimilation de données[2]. Elles permettent l'interpolation des données observées par les stations, irrégulièrement réparties sur la grille, au niveau des points de grille des modèles pour fabriquer le champs d'analyse. Dans l'autre sens, ces méthodes permettent aussi d'interpoler les données des modèles prévues en point de grille[3], sur des points et sites très localisés ou bien pour réaliser des zooms sur des sous-domaines à une résolution plus importante.

Notre travail s'inscrit dans ce contexte. Il s'agit d'interpoler les paramètres prévus par les modèles ALADIN et AROME

[4] aux points de grille sur les points de station d'observation en utilisant 4 méthodes d'interpolations différentes à savoir : la méthode de point le plus proche (PPP), la méthode bilinéaire (BLN), la méthode de pondération inverse à la distance (PID) et la méthode de pondération dans toutes les direction (PAD). Les résultats obtenus sont ensuite confrontés aux observations. L'objectif de ce travail est de mettre en évidence la méthode la mieux adaptée pour son utilisation à des besoins opérationnels.

Cet article est organisé comme suit : dans la première partie, nous allons présenter un bref aperçu sur les méthodes d'interpolation utilisées dans ce manuscrit. Ensuite, nous allons décrire les expériences réalisées. Dans la deuxième étape, nous allons présenter les résultats et leurs analyses. Enfin, nous terminerons par une conclusion générale.

1. Les méthodes d'interpolations

Il existe plusieurs méthodes d'interpolations pour interpoler les données des modèles de prévision numérique du temps sur les stations ou inverse. Parmi ces méthodes nous citons: PPP, BLN, PID et PAD:

Méthode PPP

La méthode du point le plus proche consiste à attribuer à chaque point cible une combinaison des valeurs des points sources les plus proches de son antécédent. C'est une interpolation polynomiale d'ordre 0. Cette méthode conserve la dynamique du champs original et ne crée pas de niveaux intermédiaires[5]. En revanche, elle détermine une zone d'influence exclusive pour chaque point source. Dans le cas du sous-échantillonnage, cela se traduit par une sensibilité accrue au bruit. Pour le sur-échantillonnage, la sensation de discontinuité est accentuée par la formation de larges paliers.

Méthode BLN

L'interpolation bilinéaire est une méthode basé sur des polynômes de premier ordre. Elle consiste à attribuer à chaque point cible une combinaison linéaire des quatre points sources les plus proches de son antécédent par la transformation inverse. Mathématiquement, l'interpolation bilinéaire est une extension de l'interpolation linéaire pour les fonctions d'interpolation de 2 variables sur une grille régulière. L'idée de base est de faire l'interpolation dans une direction puis la refaire dans l'autre.[6]

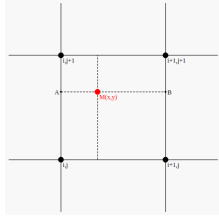


Figure 1. Point le plus proche dans une mail de quarte point

Méthode PID

La pondération inverse à la distance [7] est une méthode d'interpolation spatiale très simple pour obtenir un ensemble de données maillées à partir d'observations éparées. Elle est très utilisées dans tous les domaines pour l'analyse des données exploratoires spécialement dans la météorologie. Elle s'appuie sur la Loi de Tobler [8], dite Première loi de géographie : "Tout est lié à tout le reste, mais les choses plus proches ont plus d'influence que les choses distantes"

$$\sum W X(x) = \frac{1}{d(x, x_k)^P}$$

P : est un nombre positif réel appelé le paramètre de puissance (coefficient de pondération). Ici le poids des points voisins diminue lorsque la distance augmente. Les plus grandes valeurs de l'indice p donnent une influence plus grande aux valeurs les plus proches du point interpolé.

Méthode PAP

PAD (Pondération all direction) est une pondération inverse à la distance dans toutes les directions. Suite à une comparaison rapide entre les trois méthodes précédentes, nous avons constaté que la méthode PID est la bonne méthode qui donne des meilleurs résultats d'interpolation entre les méthodes présentées. Du coup, nous avons essayé de développer une nouvelle méthode (PAD) basé sur cette dernière méthode (PID) en tenant en compte de la direction vertical afin d'améliorer d'avantage cette méthode. Le principe de cette méthode (PAD) est basé sur le système de la pondération inverse à la distance PID mais avec plusieurs options, une pondération horizontal avec un coefficient de pondération égale à 1 pour donner une influence plus grande aux valeurs plus proches et une autre pondération verticale avec un coefficient qui varie entre 0.25 et 1 pour prendre en compte le relief (voir figure 2). Pour les

Table 1. Configuration des deux modèles opérationnelles en Algérie ALADIN et AROME

	ALADIN	AROME
Cycle	CY40T1.bf05	CY40T1.bf05
Version	Operational	Operational
Domaine	$[SI10.71^{\circ}E - SI17.21^{\circ}W]$ $[18.54^{\circ}S - SI18.54^{\circ}N]$	$[9.0^{\circ}E - SI3.0^{\circ}W]$ $[40.0^{\circ}S - SI28.0^{\circ}N]$
Grille	350*350	400*400
Résolution	8000m	3000m
Niveaux verticaux	70	41
Conditions (I et L)	ARPEGE	ALADIN

point côtiers, nous avons introduit l'effet de mask. Dans ce cas nous avons privilégié les points mer par rapport à ceux situés sur terre. Le coefficient de pondération varie entre 0 et 0.5.

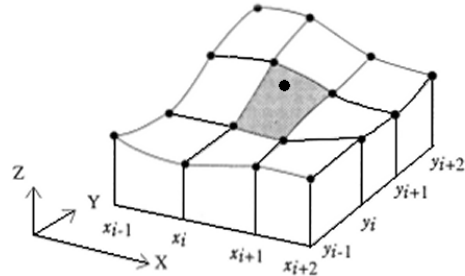


Figure 2. Détermination de l'altitude entre les points de la grille.

2. Descriptions des expériences

Nous avons testé toutes les méthodes d'interpolations présentées dans ce manuscrit pour les paramètres prévus par les modèles ALADIN et AROME à savoir : la température à 2 mètres, l'humidité relative à 2 mètres, le vent à 10 mètres et la nébulosité totale. Nous avons ensuite comparé les résultats obtenus avec les données synoptiques observées durant la période 2017 par 270 stations situées dans le domaine ALADIN et AROME. Pour une meilleure analyse des résultats, nous avons choisi trois zones différentes: Zone côtière, Zone altitude (pour les stations d'altitude plus de 800 m) et Zone globale (pour toutes les stations synoptiques). La figure 3 présente toutes les stations synoptiques utilisées dans le domaine ALADIN avec la répartition suivante : 12 stations côtières, 19 stations d'altitude et 270 stations globales. La figure 4 présente toutes les stations synoptiques utilisées dans le domaine de AROME avec la répartition suivante : 12 stations côtières, 11 stations d'altitude et 70 stations globales. Le tableau 1 présente les configurations des deux modèles opérationnels ALADIN et AROME.

3. Résultats et discussion

Les paramètres de contrôle sont : l'erreur moyenne (ME), l'erreur absolue moyenne (MAE), racine carrée de l'erreur

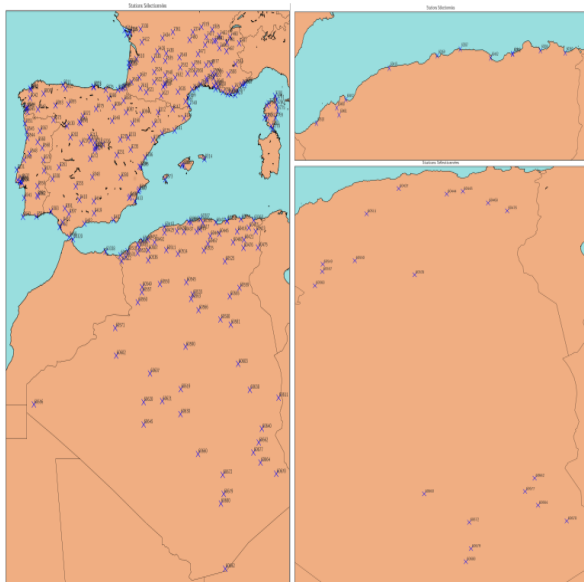


Figure 3. les station synoptiques utilisées pour tous le domaine ALADIN, côtière (12), altitude (19), globale (270 stations)

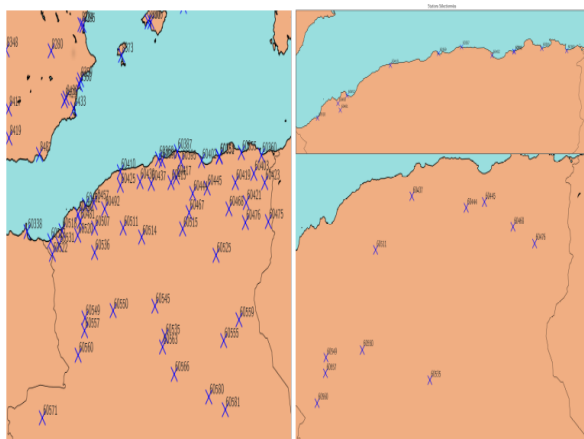


Figure 4. les station synoptiques utilisées pour tous le domaine AROME, côtière (12), altitude (11), globale (70 stations)

quadratique moyenne (**RMSE**) et l'écart type (**STDV**).

Grille ALADIN

La figure 5 montre les scores statistiques de contrôle du modèle ALADIN par rapport aux observations, obtenus en utilisant les quatre schémas d'interpolations présentés. Pour les stations côtières, on remarque que le schéma PAD est mieux adapté par rapport aux autres schémas. Par contre pour les stations d'altitude, c'est le schéma PID qui se comporte mieux. Les scores statistiques globale sur la zone d'intérêt 3, montre bien une nette amélioration des résultats obtenus avec le schéma PID par rapport aux autres schémas.

Cette information nous permettons de dire qu'on a un travail à faire pour l'amélioration du schéma PAD dans les stations d'altitudes.

Grille AROME

En ce qui concerne la grille AROME, les résultats des scores statistiques de contrôle sont représentés par la figure 6. Pour les stations côtières, on remarque que le schéma PAD est mieux ajusté par rapport aux autres schémas. Par contre pour les stations d'altitude, les deux schémas PID et PAD donnent sont mieux comportés. Les scores statistiques globale sur la zone d'intérêt 3, montre bien une nette amélioration des résultats obtenus avec le schéma PAD par rapport aux autres schémas. On peut avancer que le schéma d'interpolation PAD et le schéma le mieux adapté pour la grille AROME.

4. Conclusion

Nous avons présenté dans cet article une étude comparative entre quatre schémas d'interpolation PPP, BLN, PID et PAD pour les grilles ALADIN et AROME. Les résultats obtenus montrent que les performances de ces schémas sont liés à la résolution de la grille. Dans tous les cas, le schéma PAD est le mieux adapté pour la grille AROME. En ce qui concerne la grille ALADIN, c'est le schéma PAD qui se comporte mieux pour les stations côtières. Par contre, à l'échelle du domaine (zone 3), c'est le schéma PID qui se comporte mieux. Les scores statistiques de contrôle obtenus avec la méthode d'interpolation PAD pour les paramètres étudiés sont très encourageants. D'après ces résultats on peut avancer que la méthode d'interpolation PAD est validé pour remplacer la méthode PPP utilisée actuellement en opérationnel. Nos investigations, aujourd'hui, visent à rechercher et améliorer la méthode PAD pour qu'elle permette de réduire d'avantage l'erreur d'interpolation sur les reliefs et les zones côtières.



Figure 5. Les scores statistiques du modèle ALADIN pour les trois zones considérées, les stations côtière à gauche, stations d'altitudes au milieu et toutes les stations du domaine à droite.

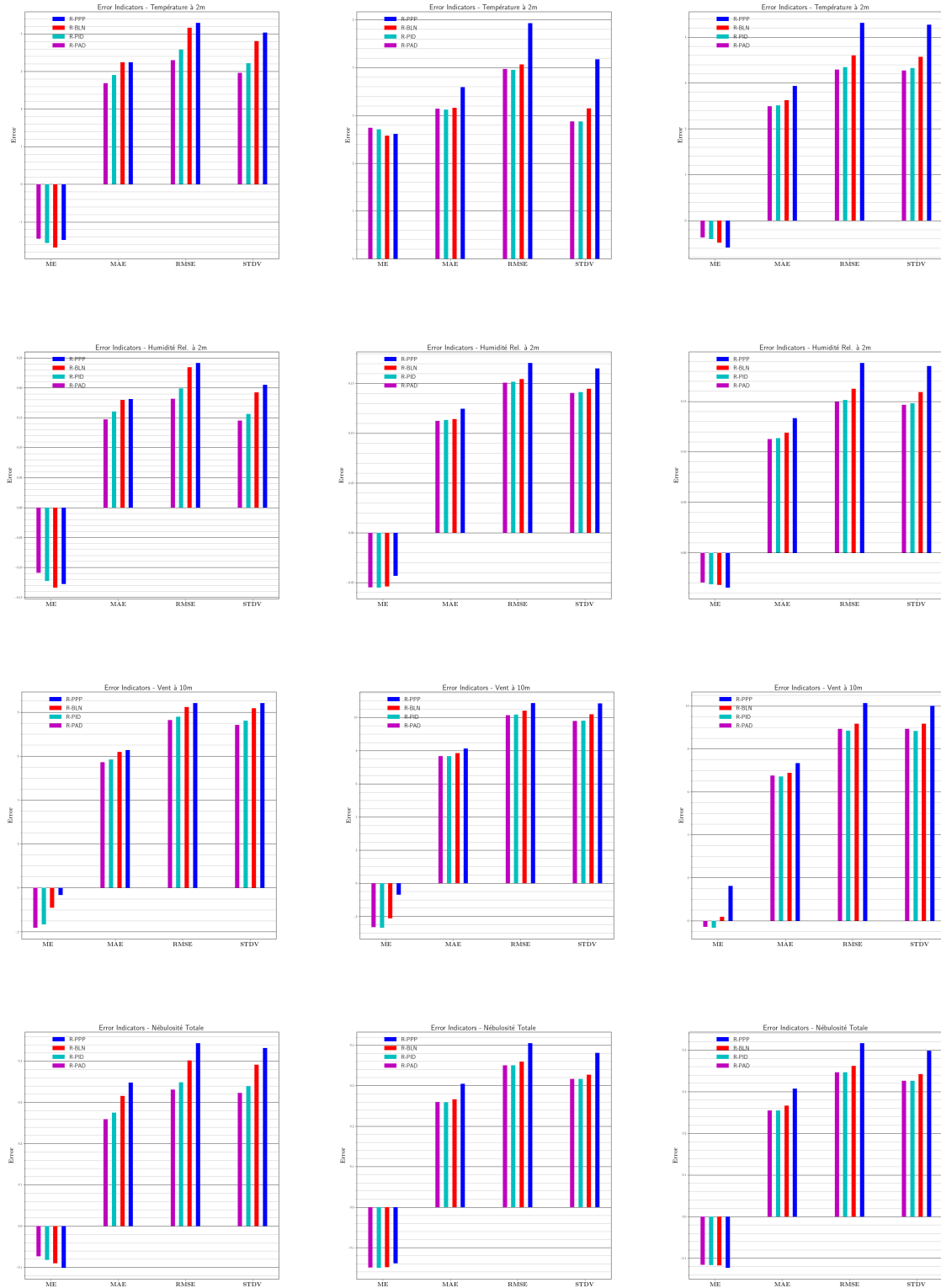


Figure 6. les scores statistiques du modèle AROME pour les trois zones considérées, les stations cotière à gauche, stations d'altitudes au milieu et toutes les stations du domaine à droite.

References

- [1] Jean Legras. Méthodes et techniques de l'analyse numérique. 1971.
- [2] Sophie Baillargeon. Le krigeage: revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations. 2005.
- [3] Alfio Quarteroni, Riccardo Sacco, and Fausto Saleri. Méthodes numériques pour le calcul scientifique. *Edition Springer*, ('00), 2000.
- [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 arXiv:1804.04111 and aladin cy40t1. *Geoscientific Model Development*, 11:257, 2018.
- [5] AV Lavrinenko, EA Moldovanova, DF Mymrina, AI Popova, KY Popova, and YB Popov. Spatial interpolation of meteorological fields using a multilevel parametric dynamic stochastic low-order model. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 181:38–43, 2018.
- [6] Lubos Mitas and Helena Mitasova. Spatial interpolation. *Geographical information systems: principles, techniques, management and applications*, 1:481–492, 1999.
- [7] Louis De Mesnard. Pollution models and inverse distance weighting: Some critical remarks. *Computers & Geosciences*, 52:459–469, 2013.
- [8] Waldo R Tobler. A computer movie simulating urban growth in the detroit region. *Economic geography*, 46(sup1):234–240, 1970.

Conception et développement de la carte de vigilance météorologique routière

MANSOURI Sofiane^{1*}, Mohamed MOKHTARI¹, Salah SAHABI ABED¹

Abstract

Cet article présente un nouveau produit développé par l'Office National de la Météorologie dédié particulièrement au secteur du transport routier et à tous les usagers de la route. Il s'agit en effet d'une carte dite « de vigilance routière ». Cette carte nous renseigne sur le niveau de vigilance dont il faut faire preuve sur les routes pour les prochaines 48 heures et concerne les aléas météorologiques suivants : Vent Violent, Pluie, Neige, Orage, Température, Brouillard et Vent de Sable. Cette carte est alimentée et actualisée quotidiennement par les prévisions météorologiques issues des modèles opérationnels à Météo Algérie ALADIN, AROME et ALADIN DUST.

Vigilance routière, ALADIN, AROME, ALADIN DUST

¹ Office national de la météorologie (CNPM-ONM), Dar El Beida, Alger

*Correspondant: s.mansouri@meteo.dz

Contents

Introduction	19
1 Conception et réalisation	19
1.1 Partie météorologique	19
1.2 Partie informatique et affichage	20
Affichage et interprétation de la carte	20
1.3 Premier niveau d'affichage	20
1.4 Deuxième niveau d'affichage	20
2 Conclusion	20
References	21

Anticiper l'arrivée d'un phénomène météorologique dangereux afin d'alerter les autorités et le grand public à l'avance et minimiser ainsi les pertes en vies humaines s'inscrit parmi les missions principales des services météorologiques. Initialement, ces alertes se faisaient via des Bulletins Météorologiques Spéciaux (BMS). Avec le développement de l'outil informatique, plusieurs services météorologiques ont passé progressivement du format BMS à un autre type d'alerte précoce en forme de carte de vigilance destinée au grand public telle que Météo France (2001). En 2006, le consortium EUMETNET qui regroupe 31 services météorologiques européens a généralisé ce système d'alerte à travers le projet METEOALARM pour couvrir toute l'Europe. Le produit est accessible via le site www.meteoalarm.eu. A l'échelle mondiale, beaucoup de pays développent des systèmes en concordance avec les objectifs du Cadre d'action de Sendai (2015-2030) pour la réduction des risques de catastrophes. Ces outils sont souvent employés pour prévenir les catastrophes et aider les pouvoirs publics à anticiper les événements extrêmes et les conditions météorologiques exceptionnelles. Récemment, des systèmes d'alertes spécifiques ciblant des clients particuliers ont été également mis en œuvre entre autres la vigilance routière.

Ce nouveau service d'informations innovant portant sur le trafic routier vient d'être développé par V-Traffic et Météo-France en 2013 (<http://www.v-traffic.com/>). À l'instar de ces services météorologiques, l'ONM a développé localement son système d'alerte météorologique de type vigilance météorologique sur l'Algérie. Ce système a été officiellement mis en service le 23 mars 2017. Par la suite, cette expérience a été élargie pour couvrir d'autres domaines spécifiques notamment celui du transport routier. Pour le besoin précis de ce secteur, l'ONM a développé une carte de vigilance dite « carte de vigilance routière » valable pour les prochaines 48 heures et concerne les phénomènes météorologiques suivants pouvant constituer un danger à savoir : Vent violent, Pluie, Neige, Orage, Température, Brouillard et Vent de Sable. Dans cet article on se propose de décrire assez brièvement la conception ce nouveau système d'alerte et son mécanisme de fonctionnement. Cet article est organisé comme suit : nous allons décrire dans la première partie la méthodologie suivie pour réaliser l'interface destinée à l'affichage de la carte et son alimentation par les sorties des modèles opérationnels. La deuxième partie sera dédiée à la lecture et l'interprétation de la carte. Enfin, nous terminerons par une conclusion générale.

1. Conception et réalisation

L'élaboration de cette carte de vigilance routière se fait en deux parties essentielles distinctes : une partie météorologique et une autre purement informatique.

Partie météorologique

La partie météorologique consiste en la préparation des fichiers de données relatives aux phénomènes météorologiques pris en compte dans cette carte. Ces données sont préparées à partir des modèles opérationnels ALADIN, AROME et ALADIN DUST. Pour définir le niveau de vigilance routière,

nous avons utilisé les mêmes seuils identifiés pour la carte de vigilance grand public publiée par l'Office et affichée sur le site www.météo.dz. Les données relatives aux niveaux de vigilance sont ensuite, interpolées sur une grille de 3 km de résolution (en latitude et longitude) et puis codées sous le format NetCDF.

Partie informatique et affichage

Cette partie consiste en la programmation de l'affichage des couleurs de la vigilance prédéfinies dans l'étape précédente sur une interface graphique web. Cette interface est développée en utilisant plusieurs langages de programmation:

- HTML et CSS [1]. pour construire les pages web.
- PHP pour gérer et communiquer avec la base de données et procéder aux différents calculs et tests dynamiques.
- PYTHON pour automatiser les fonctionnalités du Système d'Informations Géographiques (SIG) ; [2] et convertir les données météorologiques au format shap-file afin d'effectuer les intersections avec la couche de la carte relative au réseau routier de l'Algérie procurée par l'INCT (Institut National de Cartographie et de Télédétection) en format vecteur. Les fichiers résultats sont ensuite convertis en format GeoJson facile à utiliser pour les applications de la cartographie web (web mapping).
- Et enfin, JAVASCRIPT [3] pour tracer les cartes géographiques et les routes et les afficher sur l'interface. Les étapes sont représentées par la figure 1.

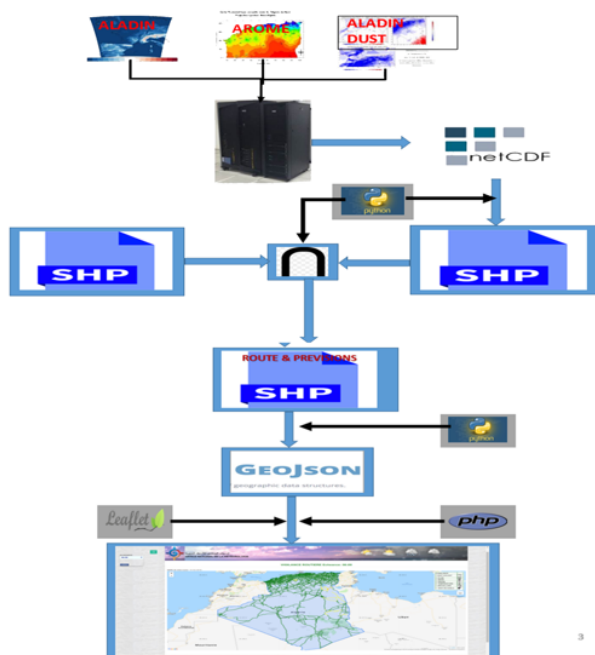


Figure 1. Wide Picture

L'affichage et l'exploration de la carte se fait en deux (02) niveaux de visualisation.

Premier niveau d'affichage

Le premier plan d'affichage montre le niveau de la vigilance globale sur tout le réseau routier national pour le phénomène dominant. Sur une icône échéance, nous pouvons parcourir le temps pour voir les prévisions de la vigilance jusqu'à 48 heures d'échéance (voir Fig. 2).

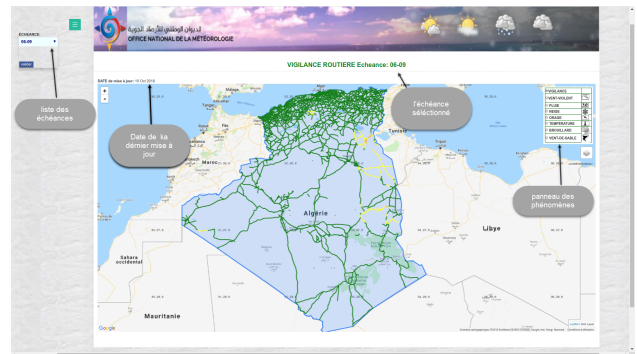


Figure 2. Point le plus proche dans une mail de quart point

Deuxième niveau d'affichage

L'interface est dotée d'une fonctionnalité zoom qui permet de faire un agrandissement sur une région quelconque. Cette fonctionnalité est activée par un simple clic sur le tronçon concerné. A ce stade, nous pouvons afficher le détail des phénomènes en utilisant le tableau phénomènes qui se trouve à droite de l'interface. De même, les échéances sont sélectionnées sur l'icône échéance (voir fig. 3).

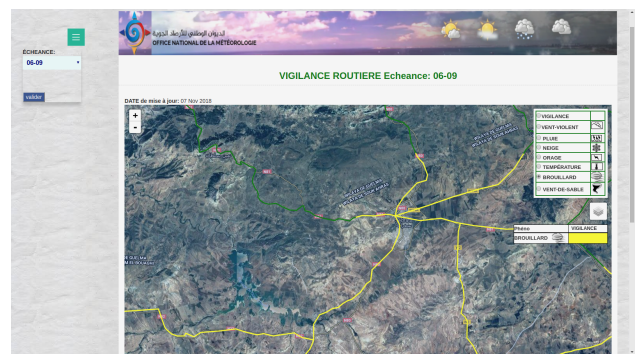


Figure 3. Point le plus proche dans une mail de quart point

2. Conclusion

La carte de vigilance routière développée par l'Office National de la Météorologie demeure un système d'alerte précoce innovant. Ce nouveau système vient compléter le système de vigilance grand public déjà opérationnel. Il renferme des informations de plus en plus précises au profit du citoyen souhaitant se déplacer sur les routes nationales et représente par conséquent

un outil d'aide incontournable pour les institutions chargées de la gestion du trafic routier. Il présente ainsi un avantage considérable dans le sens où il permet d'autonomiser les individus à répondre en temps opportun et de manière appropriée face aux risques. Cette carte informe la population sur les conditions météorologiques pouvant constituer un danger sur la route, lui permettant donc de réagir de manière à éviter de se mettre dans une situation à risque. En plus, elle fournit aux autorités et à tous les services concernés les informations nécessaires pour anticiper et prendre les mesures adéquates, à travers une annonce précoce d'un phénomène météorologique dangereux pouvant survenir sur la route dans les prochaines quarante-huit-heures.

Techniquement, ce système est conçu pour qu'il soit en permanence amélioré et est capable d'introduire les nouvelles techniques d'affichage et de diffusion.

References

- [1] Christophe Aubry. *Dreamweaver 8: Pour PC/Mac*. Editions ENI, 2005.
- [2] Rigaux Philippe. *Pratique de mysql et php*, 2003.
- [3] Andy Harris. *Javascript et Ajax Poche Pour les Nuls*. First interactive, 2014.

Analyse de comportement des modèles ALADIN et AROME durant la vague de chaleur qui a touché la wilaya de Ouargla en juillet 2018

Sara ROUIDJA ^{1*}, Idir DEHMOUS ¹,

Abstract

Une étude sur le comportement des modèles opérationnels ALADIN et AROME durant le mois de juillet 2018 sur la wilaya de Ouargla est réalisée. Cette comparaison révèle un écart des paramètres prévues par rapport aux observations, montrant aussi par une simple évaluation entre les deux modèles numériques, que les résultats obtenus en utilisant ALADIN, sont plus proches de la réalité que celles obtenues par AROME durant le mois de juillet. Mots Clés: Température maximale, Vague de chaleur, Modèle ALADIN, Modèle AROME.

Keywords

Température maximale, Vague de chaleur, Modèle ALADIN, Modèle AROME.

¹ Office national de la météorologie (CNPM-ONM), Dar El Beida, Alger

*Correspondante: roudjasarah123@yahoo.fr

Contents

Introduction	22
1 Configuration des modèles ALADIN et AROME	22
2 Méthodologie	23
3 Résultats et Discussion	23
3.1 Comparaison des scores des deux modèles	24
4 Conclusion	24
References	24

Le Sahara algérien présente un climat chaud vu sa position en latitude au niveau du tropique. Cette ceinture est connue sous le nom de crête subtropicale et constitue une zone de haute pression atmosphérique. En été, la température maximale peut atteindre 40 C et parfois elle augmente jusqu'à 45 C. Les températures moyennes annuelles sont généralement très élevées, dépassant parfois les 30 C. D'après le Centre Climatologique national (CCN) la normales climatiques pour la décennie précédente (1981-2010), sur le site de Ouargla donne une valeur maximale d'ordre 43.20 C enregistrée le mois de Juillet et une valeur minimale d'ordre 4.90 C enregistrée le mois de janvier. En terme de température, le mois de juillet 2018 est considéré comme exceptionnellement chaud, notamment sur les régions sahariennes. En effet, dix huit Bulletins Météorologiques Spéciaux (BMS) ont été émis par le centre national de prévision météorologique pour signaler les canicules prévus durant l'année 2018, 12 de ces derniers (70%) concernaient particulièrement la wilaya de Ouargla [1].

Le but de notre travail, est l'étude du comportement des modèles ALADIN et AROME, relativement aux prévisions données pour la région Sud-Est en s'intéressant spécialement sur la wilaya de Ouargla, où des pics de température qui ont atteint les 51.0 C ont été enregistrés par la station de Ouargla durant l'année 2018 (Fig. 1).

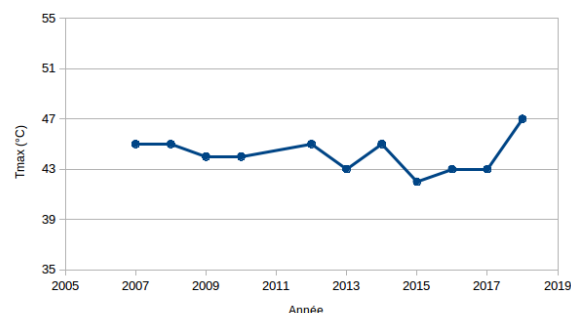


Figure 1. Evolution de la température maximale de la région de Ouargla pendant les 11 années passées

1. Configuration des modèles ALADIN et AROME

En Octobre 2013, l'office national de la météorologie a bénéficié d'un nouveau ordinateur (IBM-HP), avec 26 nœuds et 416 processeurs. Cette machine a permis la mise en opérationnel des deux modèles: ALADIN et AROME. Les deux versions ont été mises à jour de manière continue, allant du cycle CY38T1 en 2014, puis cycle CY40T1 en 2018, et récemment en cycle CY43T2 (A noter que ce travail a été fait avec le CY40T1) [2].

Model	ALADIN	AROME
Cycle	40T1_bf05	40T1_bf05
Résolution	8 km	3 km
Niveau	70	41
Grille Fullpos	350*350	400*400
Coordonnées lat	18.5 N – 46.5 N	28.0 N – 40.0N
Coordonnées lon	11.0 W – 17.0 E	3.0 W – 9.0 E
conditions I/L	ARPEGE	ALADIN (8km)

Le modèle ALADIN est une version aire limitée (LAM) du modèle global ARPEGE, il a été entièrement bâti en assurant le maximum de flexibilité et de modularité en point

de grille. Il s'agit d'un modèle hydrostatique, ce qui fait de lui un outil de prévision à coût de calcul modique. Cependant, le modèle AROME est un modèle à maille fine, appelé aussi modèle à échelle convective, grâce à sa paramétrisation physique héritée du modèle non-hydrostatique MESO-NH, qui permet le traitement de la convection à haute résolution. C'est la raison pour laquelle AROME demeure un modèle coûteux en terme de ressource de calcul (actuellement la version opérationnelle d'AROME couvre seulement la partie nord de l'Algérie) [3].

2. Méthodologie

Afin d'analyser le comportement des modèles numériques ALADIN et AROME durant le mois de juillet 2018, nous avons comparé les températures maximales prévues par ces deux modèles avec celles observées ; recueillies depuis les messages SYNOP. Les données des deux modèles sont prises sur une grille régulière lat/lon avec une résolution spatiale de 0.08 et 0.03 pour ALADIN et AROME respectivement. Par ailleurs, les données d'observations sont sur des points non-réguliers. Par conséquent, la méthode d'interpolation utilisée consiste à chercher les indices du modèle de prévision les plus proches de la station synoptique dans une maille de 0,04 degré dans le cas du modèle ALADIN et 0,015 degré pour le modèle AROME.

3. Résultats et Discussion

Pour faciliter l'interprétation des résultats de comparaison, nous avons tracé, sur la même figure (Fig.2), les courbes d'évolution des températures maximales observées et celles simulées par les modèles ALADIN et AROME. Ces résultats révèlent un pic de température de l'ordre de 51,3 C enregistré la journée du 5 juillet. Un deuxième pic a été observé le 20 juillet où la température a atteint 50 C. Le minimum de température maximale est enregistré le 10 juillet avec une valeur de 41 C. Dans le but d'évaluer les performances des modèles par rapport à l'observation le calcul des scores se fait par l'estimation du biais entre la valeur observée et celle prévue par le modèle au point de grille le plus proche de celle-ci (section 3). L'allure des évolutions mensuelles des biais par rapport aux observations est donnée sur la figure (Fig.3).

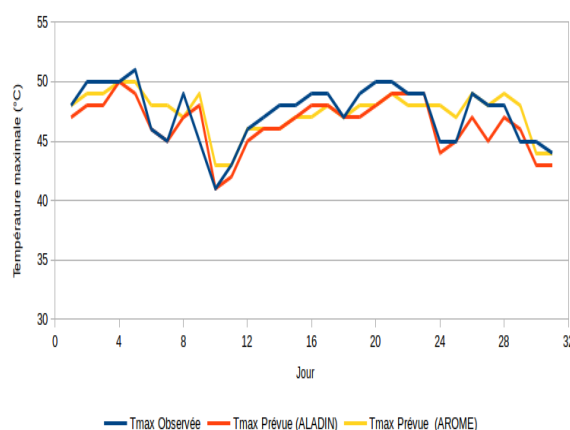


Figure 2. La Température maximale observée sur le site de Ouargla, comparé avec celle prévue par les deux modèles numériques ALADIN et AROME

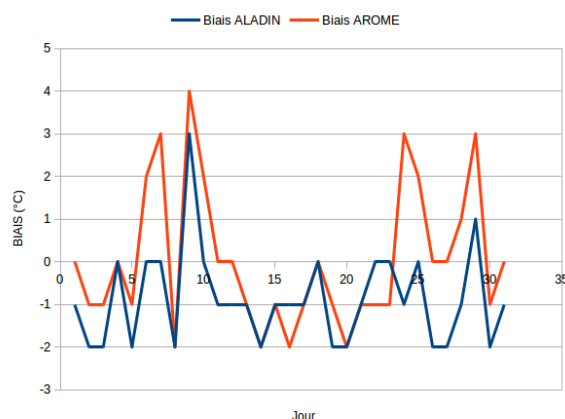


Figure 3. La Température maximale observée sur le site de Ouargla, comparé avec celle prévue par les deux modèles numériques ALADIN et AROME.

Cependant, l'écart des prévisions données par les deux modèles ALADIN et AROME diffèrent pour une même journée, ou le biais maximal est de l'ordre de +3 C dans le cas de ALADIN et +4 C dans le cas du modèle AROME ceci pour la journée du 09-07-2018. Les simulations des deux modèles ALADIN et AROME durant cette période tendent à sur-estimer légèrement les températures. Pour investiguer d'avantage les phénomènes qui sont responsables de ce comportement nous avons consulté les messages d'observations METAR. Ces messages signalent une présence considérable de poussières désertiques pour la journée du 09-07-2018 accompagnées par des visibilité réduites de l'ordre de 2500 m. Sachant que ces poussières influent beaucoup sur le bilan radiatif et refroidissent la surface c'est pour cette raison que les températures maximales observées ont tendance à baissé pendant cette journée. Cependant, pour le cas ALADIN et AROME, cet impact est pris en compte en utilisant des climatologies de poussières qui sont généralement des valeurs moyennes. Alors

que, pour des épisodes pareilles, ces valeurs moyennes sont largement au-dessous des concentrations réelles. Du coup les deux modèles n'arrivent pas à reproduire d'une façon satisfaisante l'impact radiatif des poussières ; donc les températures maximales. En effet, des simulations [4] réalisées avec les version ALADIN_DUST et AROME_DUST [5] ont montré des refroidissements [6] de l'ordre de 3 C pour des visibilités réduites de 2500m. Ce qui correspond aux biais enregistrés.

Comparaison des scores des deux modèles

Les figures (4.a) et (4.b) montrent l'écart entre les températures prévues par ALADIN et AROME et celles observées. ALADIN présente une erreur standard égale à 0.096 et un coefficient de corrélation R^2 de l'ordre de 0.76. Tandis que le modèle AROME a marqué une erreur standard égale à 0.085 et un coefficient de corrélation de 0.53. Statistiquement, le modèle ALADIN semble avoir de meilleurs résultats par rapport à AROME, donnant ainsi une forte corrélation avec les observations ($R^2 > 3/4$).

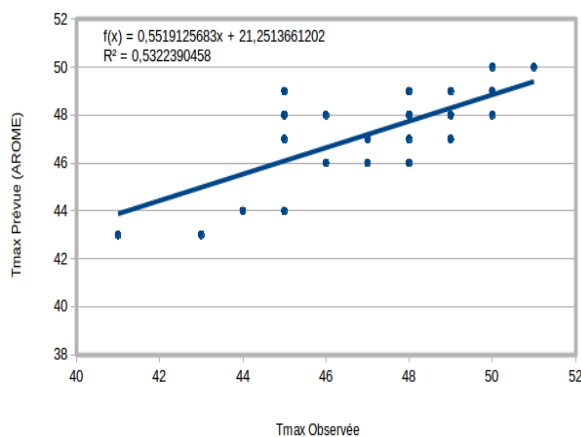


Figure 4. Températures prévues par ALADIN en fonction des températures observées

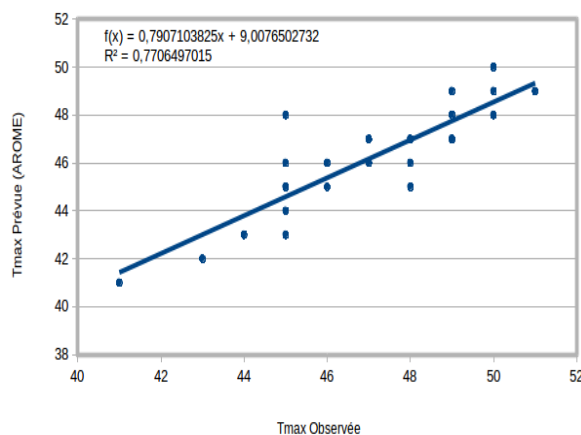


Figure 5. Températures prévues par AROME en fonction des températures observées

4. Conclusion

La région de Ouargla est une zone désertique, elle est caractérisée par un climat aride, des précipitations rares et irrégulières, un ensoleillement très intense, ce qui amène à des températures très élevées. Effectivement, un pic de 51 C a été observé pendant le mois de juillet, et a été marqué comme le plus élevé pendant les 10 années précédentes. Nous avons mené une étude comparative des comportements de deux modèles utilisés en opérationnel au niveau du centre national des prévisions météorologiques: le modèle hydrostatique ALADIN à 8km de résolution, et le modèle non-hydrostatique AROME à maille fine (3km). À l'issue de cette étude, les résultats montrent que les deux modèles se sont bien comportés durant cette vague de chaleur, en arrivant à suivre l'allure des températures observées réellement. Cependant, en effectuant une comparaison des scores, nous avons constaté que le modèle ALADIN arrive mieux à simuler les températures maximales par rapport à AROME. En perspective, d'autres études seront effectuées par la suite sur divers stations afin de mieux caractériser le comportement des modèles opérationnels de la PNT durant les épisodes de vague de chaleur.

References

- [1] Sara ROUIDJA. Rapport de contrôle des bms, 2018.
- [2] 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*, 11:257, 2018.
- [3] Mohamed MOKHTARI. Highlights of nwp activities in algeria : Operational status and latest developments. *aladin-hirlam newsletter*, 2018.
- [4] Mohamed MOKHTARI. Compréhension des interactions aérosols / rayonnement dans fmr, 2014.
- [5] Soumia BOUARFA, Khadidja SLIMANI, Mohamed MOKHTARI, Abdenour AMBAR, and Amina Feriel SABRI. Étude statistique de l'occurrence des vents de sable dans le sud algérien et de leur impact sur les températures: Étude de cas par le modèle arome. *JAMA*, 2:19–23, 2018.
- [6] Abdenour AMBAR and Mohamed MOKHTARI. Desert dust modeling in arome: Contribution of physical parametrization at convective scale. 2016.

Automatisation de l'exploitation des télécommunications météorologiques

Hacina CHELLAL ^{1*}

Abstract

Une application informatique permettant le contrôle et le suivi automatique de la production des stations météorologiques nationales a été réalisée par le Centre National des Télécommunications Météorologiques (CNTM). Cette application a été conçue pour l'établissement de statistiques journalières et mensuelles du flux de données échangé via le réseau de l'Office. Ces statistiques ont pour but d'identifier et de repérer toutes les anomalies et les lacunes au niveau du réseau de l'Office National de la Météorologie (ONM). Elles permettent également le suivi des objectifs du processus Télécom relatif au Système de Management de la Qualité (SMQ) pour les 31 stations d'aérodromes ainsi que l'élaboration de la fiche de suivi pour chaque station d'aérodrome.

Keywords

Télécommunication, Réseau d'observation, CNTM, ONM

¹ Office national de la météorologie (CNPM-ONM), Dar El Beida, Alger

*Correspondante: h.chellal@meteo.dz

Contents

Introduction	25
1 Présentation du réseau d'observation national	25
2 Conception et réalisation	26
3 Exemple de fonctionnalités assurées par l'application	26
3.1 Contrôle en temps réel	26
3.2 Contrôle en temps différé	27
3.3 Suivi des objectifs SMQ	27
4 Conclusion	27
References	27

Les observations météorologiques sont la base de toute prestation météorologique et climatologiques. Ces observations sont également essentielles pour effectuer des recherches destinées à améliorer les services, à évaluer les changements intervenus dans le système climatique et à élaborer et exploiter des systèmes pour des secteurs tributaires du temps et du climat comme l'agriculture, l'eau, les transports et l'énergie afin de soutenir les efforts déployés par les collectivités pour réduire les risques de catastrophes et s'adapter à la variabilité et à l'évolution du climat. Pour la diffusion et l'échange rapide de ces observations et d'autres produits météorologiques et climatologiques, les services météorologiques ont mis en place et exploitent des réseaux de télécommunications qui constituent le Système Mondial de Télécommunications (SMT) de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) qui est à la base de la conception et de la mise en œuvre du système d'information de l'OMM (SIO ou WIS). Afin d'assurer et de renforcer la coordination des services météorologiques à l'échelle régionale, l'OMM a désigné certains Services Météorologiques Nationaux (SMN) comme Centres Régionaux des Télécommunications (CRT). Pour la région de l'Afrique

du nord (Algérie, Maroc, Tunisie et la Libye), l'OMM a désigné le Centre National des Télécommunications Météorologiques de l'Office National de la Météorologie comme centre régional. Du coup, l'ONM concentre et échange les données météorologiques de l'Algérie, du Maroc, de la Tunisie et de la Libye avec d'autres centres régionaux et mondiaux (le Caire, Djeddah, Dakar et Toulouse). De ce fait, l'Office doit atteindre certains objectifs à savoir :

- Réaliser un taux mensuel de 95 % de diffusion des METAR au plus tard à H+5 suivant les exigences de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI).
- Réaliser un taux mensuel de 95 % de diffusion des SYNOP au plus tard à H+10.

Pour assurer un contrôle en temps réel de l'état du réseau de transmission de l'Office et la vérification permanente de la réalisation des deux objectifs précités que ce travail est réalisé. Il s'agit du développement d'une application informatique permettant la vérification du flux de données collecté par le CNTM et le calcul des statistiques concernant les taux de la transmission. Dans ce qui suit, nous présenterons le réseau d'observation de l'office puis l'application développée dans le cadre de ce travail. Nous donnerons ensuite des exemples de produits élaborés grâce à cette application.

1. Présentation du réseau d'observation national

Suivant la décision de fonctionnement de l'année 2017 élaborée par la DCE, le réseau de l'ONM compte quatre-vingt (80) stations d'observation en surface dont deux sont gérées par le Ministère de la Défense Nationale. Les messages d'observation élaborés et transmis par ces stations sont réceptionnés d'une

manière régulière et permanente au niveau du Centre National des Télécommunications Météorologiques (CNTM). A son tour, le CNTM procède au processus de contrôle et de vérification de ces messages et élabore des statistiques concernant le flux de données échangé au niveau national et international. Afin d'assurer la continuité et le bon fonctionnement de ce réseau, le CNTM est appuyé par six régions météorologiques équipées par des systèmes de commutations de messages de mêmes caractéristiques. La configuration du réseau de l'ONM est illustrée par la figure 1.

Les messages diffusés par les stations sont de différents types :

- **SYNOP** : produit par chaque station à chaque heure synoptique principale ou intermédiaire soit toutes les trois heures à partir de 00h UTC. Réseau principal : message (SM) envoyé à 00h, 06h, 12h, 18h. Réseau intermédiaire : message (SI) envoyé à 03h, 09h, 15h, 21h.
- **METAR** : message d'observation pour l'aviation chaque demi-heure ou chaque heure (SA)
- **SPECI** : message d'observation spécial pour l'aviation qui est envoyé lorsque survient un changement brusque du temps (SP)
- **TEMP** : message d'observations en altitude élaboré grâce aux informations transmises par les radiosondes accrochées à un ballon gonflé à l'hélium qui sont lâchées dans l'atmosphère. (US)
- **AGMET** : message contenant les données météo sur le climat durant 10 jours (CX)
- **CLIMAT** : message contenant les données météo sur le climat durant 1 mois (CS)

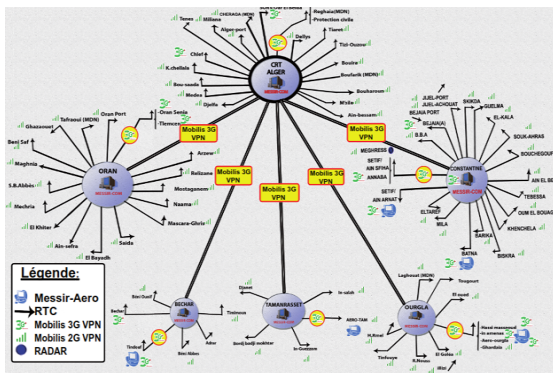


Figure 1. Configuration du réseau National des Télécommunications Météorologiques.

2. Conception et réalisation

L'application est développée en utilisant une panoplie de langage de programmation[1]. Les étapes relatives à sa conception sont les suivantes :

- **Etape1** : Restaurer un backup de la base de données du serveur MESSIR-COMM vers un autre serveur de base de données qui contient l'application. Nous avons utilisé le langage PostgreSQL9.5 (Sébastien Lardière ,2017) pour exploiter ces données.
- **Etape2** : Cette étape consiste à collecter et à traiter les données. Ce processus se fait via un programme développé en PHP (Philippe Rigaux, 2009). Ce programme est interrogé via une interface web dédiée pour l'application www.controle.meteo.dz.
- **Etape3** : Après le traitement, un autre programme en langage php et java script (Christian Vigouroux, 2018) a été développé pour la réalisation et l'affichage des différents résultats relatifs aux processus suivants : contrôle de la production, calcul des statistiques, fiche de suivi des objectifs SMQ pour les différents messages METAR, SYNOP, TEMP et SPECI ainsi que la production climatologique.

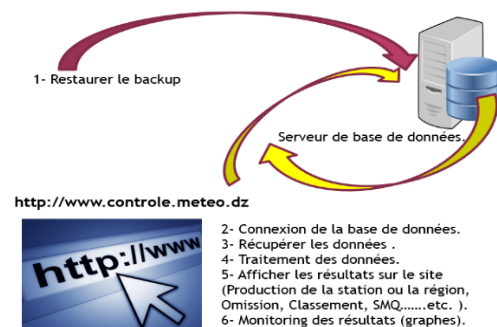


Figure 2. Schéma de conception et de fonctionnement de site www.controle.meteo.dz.

3. Exemple de fonctionnalités assurées par l'application

L'application développée dans le cadre de ce travail assure plusieurs fonctionnalités.

Contrôle en temps réel

L'application permet le contrôle de l'état du réseau en temps réel[2]. La figure 3 montre une capture d'écran du premier plan d'affichage de l'application. Les observations reçues sont mentionnées par la couleur verte et les observations non reçues sont marquées par la couleur rouge. Ainsi, des statistiques globales et régionales sur la réception en temps réel des messages METAR, SYNOP, TEMP et SPECI sont affichées sur l'interface. En cas d'anomalie ou de non réception des messages d'observation d'une station donnée, l'application envoie automatiquement un message de réclamation de type BMAA55 DAMM pour la station concernée (voir Fig. 4).

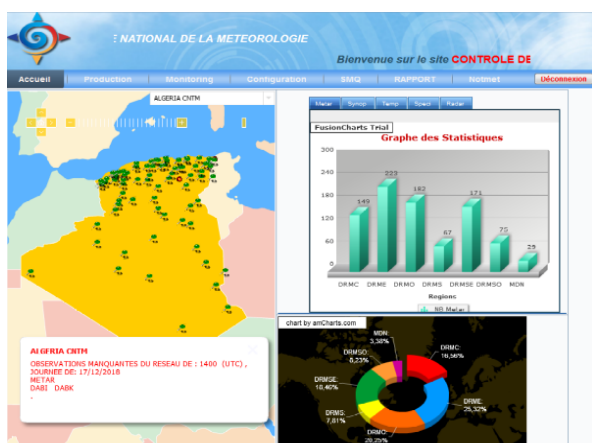


Figure 3. Capture d'écran de l'interface de contrôle des observations météorologiques en temps réel.

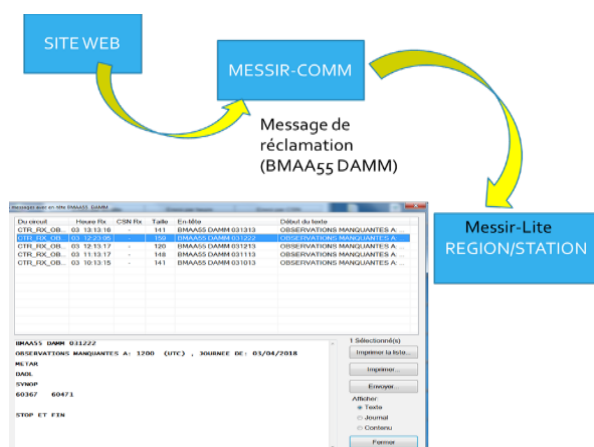


Figure 4. Message de réclamation BMAA55 DAMM envoyé vers la station.

Contrôle en temps différé

La production en temps différé consiste à établir des tableaux des statistiques journalières, mensuelles, trimestrielles, semestrielles et annuelles de la production du réseau national. [3] Le calcul des statistiques se fait par station et par type de message.

Ce procédé facilitera le classement des stations d'observation par leur taux de production et par leur rendement. En annexe 1 sont donnés des exemples de statistiques calculées par l'application.

Suivi des objectifs SMQ

L'application permet aussi le suivi des objectifs fixés dans le cadre du système de management de qualité appliqué pour les 31 stations d'aérodrome pour les messages METAR et SYNOP. Elle permet d'élaborer une fiche de suivi de ces objectifs pour chaque station aussi pour les les messages METAR que pour les SYNOP. Des exemples de produits et de fiches de suivi élaborées par l'application[4] sont donnés dans l'annexe 1.

4. Conclusion

Nous avons développé à l'ONM une application informatique permettant le contrôle et le suivi automatique de la production des stations météorologiques nationales. Cette application établit des statistiques en temps réel et en différé sur la production du réseau d'observation météorologique national par station et par type de message. Ces statistiques permettent le suivi des objectifs SMQ pour les 31 stations d'aérodromes et l'élaboration des fiches de suivi pour chaque station. Elles permettent également le classement des stations en fonction de leurs productions et de leur rendement.

References

- [1] Philippe Rigaux. *Pratique de MySQL et PHP: Conception et réalisation de sites web dynamiques*. Dunod, 2009.
- [2] Janet Valade. *PHP et MySQL pour les nuls*. First interactive, 2012.
- [3] Vigouroux Christian. *Apprendre à développer avec Javascript*. ENI, 2018.
- [4] Lardière Sébastien. *PostgreSQL Administration et exploitation de vos bases de données*. ENI, 2017.

LA PRODUCTION DES STATION POUR LA JOURNEE DU 01/03/2018

			HORAIRE														
REGION	OACI	OMM	Prevus	recus	H+3	H+5	H+7	H+9	H+15	Après H+15	Retard	Manquant	Avance				
41	DAPA	60369	16	16	15	15	15	15	15	16	0	0	0				
41	DAPR	60377	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0				
41	DAPL	60387	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0	0				
41	DAAG	60390	48	48	48	48	48	48	48	48	0	0	0				
41	DAMZ	60395	8	8	6	8	8	8	8	8	0	0	0				
41	DAPT	60410	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0	0				
41	DAMA	60415	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0	0				
41	DAMB	60417	8	8	7	8	8	8	8	8	0	0	0				
41	DAOI	60425	24	24	21	22	22	22	23	24	0	0	0				
41	DAMI	60429	8	8	7	8	8	8	8	8	0	0	0				
41	DAAI	60430	8	8	6	6	8	8	8	8	0	0	0				
41	DAMD	60437	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0	0				
41	DABM	60467	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0	0				
41	DAOB	60511	24	24	21	24	24	24	24	24	0	0	0				
41	DAAC	60514	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0	0				
41	DAAD	60515	13	13	13	13	13	13	13	13	0	0	0				

Figure 4. La production journalière des stations météorologiques.

6 tars diffusés à H+5

NOM	OACI	OMM	Prevus	recus	MOY	H + 3	H + 5	H + 7	H + 9	H + 15	Après H+15	Manquants	Taux
DAR-EL-BEIDA-HB	DAAG	60390	1440	1438	99.86%	99.38%	99.98%	99.58%	99.58%	99.79%	99.86%	2	0.14%
CHIEF	DAOI	60425	720	718	99.72%	98.19%	98.20%	98.47%	98.47%	98.61%	99.25%	2	0.28%
TIARET	DAOB	60511	720	718	99.72%	97.92%	99.60%	99.03%	99.12%	99.44%	99.25%	2	0.28%
BOU SAADA	DAAD	60515	390	385	98.72%	97.44%	98.26%	98.46%	98.46%	98.72%	98.72%	5	1.28%
JEL AEROPORT	DAW	60351	720	711	98.75%	95.56%	98.20%	96.47%	96.46%	97.64%	98.25%	9	1.25%
ANNABA AEROPORT	DABR	60360	1440	1437	99.79%	99.31%	99.65%	99.65%	99.79%	99.79%	99.79%	3	0.21%
SETIF AEROPORT	DAAE	60402	720	708	98.33%	88.75%	90.83%	91.94%	92.5%	94.72%	98.33%	12	1.67%
CONSTANT AEROPORT	DABC	60419	1440	1425	98.96%	96.94%	97.5%	97.92%	98.06%	98.61%	98.96%	15	1.04%
SETIF AEROPORT	DAAS	60445	720	716	99.44%	97.64%	97.64%	97.64%	98.06%	98.06%	99.44%	4	0.56%
SETIF AEROPORT	DABT	60468	720	717	99.88%	95.97%	96.67%	97.08%	97.36%	97.92%	99.88%	3	0.42%
TIARET	DABE	60475	1440	1433	99.51%	97.36%	97.67%	98.13%	98.75%	99.24%	99.51%	7	0.49%
BOU SAADA AEROPORT	DAUB	60525	720	711	98.75%	94.44%	95.34%	95.56%	95.83%	96.67%	98.75%	9	1.25%
ORAN-SENIA AEROPORT	DAOD	60490	1440	1439	99.93%	98.75%	99.51%	99.72%	99.79%	99.93%	99.93%	1	0.07%
MASCARA AEROPORT	DAOV	60507	720	720	100%	99.03%	99.72%	99.72%	99.72%	99.86%	100%	0	0%
TIARET AEROPORT	DAON	60531	1440	1432	99.44%	97.5%	97.76%	98.06%	98.4%	99.17%	99.44%	8	0.56%
EL BACHA AEROPORT	DAOY	60550	720	720	100%	98.19%	98.76%	99.03%	99.17%	99.58%	100%	0	0%
TOUGGOURT AEROPORT	DAUK	60555	720	718	99.72%	97.08%	97.36%	98.06%	98.19%	98.33%	99.25%	2	0.28%
EL OUDJ AEROPORT	DAUO	60559	720	719	99.86%	98.47%	98.76%	98.89%	98.89%	99.03%	99.86%	1	0.14%
GHARDIA AEROPORT	DAUG	60566	720	718	99.72%	95.69%	95.97%	96.11%	96.94%	98.06%	99.72%	2	0.28%
CHABOLA AEROPORT	DAUJ	60580	720	716	99.44%	96.53%	97.66%	98.19%	98.47%	98.75%	99.44%	4	0.56%
HASSI-MERMOUD AEROPORT	DAUH	60581	1440	1413	98.13%	94.79%	95.89%	95.9%	96.46%	97.43%	98.13%	27	1.88%
EL GOLIA AEROPORT	DAVE	60590	720	716	99.44%	92.78%	94.72%	96.25%	96.29%	97.36%	99.44%	4	0.56%
IN AMENAS AEROPORT	DAUJ	60611	720	718	99.72%	98.61%	98.61%	98.75%	98.75%	98.89%	99.72%	2	0.28%
BLIDI AEROPORT	DAAP	60640	720	705	97.92%	92.36%	93.61%	94.17%	94.44%	95.56%	97.92%	15	2.08%
IN SALHI AEROPORT	DAAI	60630	720	711	98.75%	92.89%	95.57%	97.22%	97.64%	97.92%	98.75%	9	1.25%
DAIET AEROPORT	DAAJ	60670	720	713	99.03%	93.19%	95.42%	96.25%	96.61%	97.0%	99.03%	7	0.97%
JAM-ANABET AEROPORT	DAAT	60680	1440	1436	99.72%	97.5%	98.82%	99.38%	99.51%	99.72%	99.72%	4	0.28%
BOUZA AEROPORT	DAOB	60671	720	718	99.72%	97.36%	98.4%	98.89%	98.89%	98.89%	99.72%	2	0.28%
TIARET AEROPORT	DAUT	60607	720	713	99.03%	96.94%	97.36%	97.64%	97.78%	98.33%	99.03%	7	0.97%
ADRAR AEROPORT	DAUA	60620	720	717	99.58%	96.25%	96.81%	97.36%	97.78%	99.58%	99.58%	3	0.42%
YADOUF AEROPORT	DADE	60456	720	705	97.92%	92.49%	96.11%	96.81%	96.81%	97.22%	97.92%	15	2.08%
TOTAL			27550	27504	99.36%	96.63%	97.63%	97.79%	98.05%	98.52%	99.32%	186	0.67%

Figure 6. Tableau des objectifs de la production mensuelle des 31 stations d'aérodromes METAR

Taux de METAR diffusés

Taux de METAR diffusés														
Mois de 02 / 2018														
DRMC	OACI	O.D.M	NOM	Prevus	recus	%Rept	ECART	OMIS	Retard	Manquant	Avance			DETAIL
41	DAAC	60514	KSAR CHELLALA	224	224	100%	0	0%	0	0	0	0	0	DETAIL
41	DAAD	60515	BOU SAADA	364	363	99.73%	1	0.27%	0	1	0	0	0	DETAIL
41	DAAG	60390	DAR-EL-BEIDA-HB	1344	1342	99.85%	2	0.15%	2	0	0	0	0	DETAIL
41	DAAI	60430	MILIANA	224	224	100%	0	0%	0	0	0	0	0	DETAIL
41	DABM	60467	MILIA	224	224	100%	0	0%	0	0	0	0	0	DETAIL
41	DAFI	60535	DJELFA	224	224	100%	0	0%	0	0	0	0	0	DETAIL
41	DAMA	60415	AIN BESSAM	224	224	100%	0	0%	0	0	0	0	0	DETAIL
41	DAMB	60417	BOURA	224	223	99.55%	1	0.45%	1	0	0	0	0	DETAIL
41	DAMD	60437	MEDEA	224	224	100%	0	0%	0	0	0	0	0	DETAIL
41	DAMZ	60395	TIZI OUZOU	224	223	99.55%	1	0.45%	1	0	0	0	0	DETAIL
41	DAOB	60511	TIARET	672	669	99.55%	3	0.45%	3	1	0	0	0	DETAIL
41	DAOI	60425	CHIEF	672	670	99.7%	2	0.3%	2	0	0	0	0	DETAIL
41	DAPA	60369	ALGER PORT	448	447	99.78%	1	0.22%	1	0	0	0	0	DETAIL
41	DAPL	60387	DELLYS	224	224	100%	0	0%	0	0	0	0	0	DETAIL
41	DAPR	60377	BOUHAROUN	-	-	-%	0	-%	-	-	-	-	-	DETAIL
41	DAPT	60410	TENES	224	224	100%	0	0%	0	0	0	0	0	DETAIL
41	DAMI	60429	AIN DEFLA	224	224	100%	0	0%	0	0	0	0	0	DETAIL
			TOTAL	5964	5953	99.82	11	0.18	11	2	0	0	0	

Figure 5. La production Mensuelle des stations météorologiques.

Taux de SYNOP diffusés

Taux de SYNOP diffusés														
Mois de 01 / 2019														
SYNOPSIS														
			Prevus	recus	Retard H+6	MOY	H + 5	TauxH+5	H + 10	H + 16	H + 20	Après H+20	Manquants	Taux
DAR-EL-BEIDA-HB	DAAG	60390	248	248	1	100%	99.6%	0.4%	100%	100%	100%	100%	0	0%
CHIEF	DAOI	60425	248	248	6	100%	97.58%	2.42%	98.39%	99.19%	99.6%	100%	0	0%
TIARET	DAOB	60511	248	247	9	99.6%	96.37%	3.63%	99.19%	99.6%	99.6%	100%	1	0.4%
BOU SAADA	DAAD	60515	155	155	2	100%	98.71%	1.29%	99.35%	100%	100%	100%	0	0%
JEL AEROPORT	DAW	60351	248	248	4	100%	98.39%	1.61%	98.19%	99.6%	99.6%	100%	0	0%
ANNABA AEROPORT	DABR	60360	248	247	6	99.6%	97.58%	2.42%	98.39%	98.39%	98.79%	99.6%	1	0.4%
BEJAIA AEROPORT	DAAE	60402	248	247	14	99.6%	94.35%	5.65%	97.18%	97.98%	97.98%	99.6%	1	0.4%
CONSTANT AEROPORT	DABC	60419	248	248	9	100%	96.37%	3.63%	97.89%	99.6%	99.6%	100%	0	0%
SETIF AEROPORT	DAAS	60445	248	248	3	100%	98.79%	1.21%	98.79%	99.19%	99.19%	100%	0	0%
BATNA AEROPORT	DABT	60468	248	248	13	100%	94.76%	5.24%	96.37%	96.37%	96.77%	100%	0	0%
TEBESSA	DABE	60475	248	248	6	100%	97.58%	2.42%	98.79%	99.6%	99.6%	100%	0	0%
BISKRA AEROPORT	DAUB	60525	248	248	8	100%	96.77%	3.23%	97.58%	98.39%	99.19%	100%	0	0%
ORAN-SENIA AEROPORT	DAOD	60490	248	248	9	100%	96.37%	3.63%	98.79%	100%	100%	100%	0	0%
MASCARA AEROPORT	DAOV	60507	248	248	4	100%	98.39%	1.61%	98.79%	99.19%	99.6%	100%	0	0%

Figure 7. Taux de SYNOP diffusés

CONTRIBUTION A LA CONSTRUCTION DES COURBES IDF EN ALGERIE DU NORD.

Karima SOLTANI ^{1*}, Antoine Ndjomo ¹,

Abstract

L'intérêt croissant ces dernières années pour l'étude des événements extrêmes tels que les sécheresses, les vagues de chaleur, les inondations, etc..., est le fait de leur caractère imprévisible et des préjudices causés sur la société, ainsi que de leur fréquence remarquable. Il est toujours difficile de comprendre ces phénomènes et encore plus dur de les prévoir, puisqu'ils sont rares et suivent des lois statistiques différentes de celles des moyennes. Parmi ces événements, nous nous sommes intéressés, dans ce travail, au paramètre de la pluviométrie dans son caractère extrême, c'est-à-dire les averses de courte durée et de forte intensité. Les villes algériennes en général et les régions du littoral en particulier ont connu des inondations dévastatrices dues aux précipitations extrêmes. Ainsi, l'on se souvient de l'épisode pluvieux qui a eu lieu les journées du 09 au 10/11/2001, sur le littoral algérien, causant un bilan très lourd en dégâts humains et matériels notamment à Alger. Au vu de l'événement susmentionné et de plusieurs autres non cités ici, il est donc devenu capital de prévenir ce type d'événement. Ainsi, La prévention du risque pluvial revient à une identification rationnelle des intensités de pluies engendrant des surcharges des réseaux d'assainissement créant des inondations catastrophiques. L'insuffisance d'information quant aux pluies de courtes durées laisse prospector des méthodes pouvant répondre à cette problématique. L'approche méthodologique adoptée consiste à construire les courbes IDF de précipitations, qui représentent un outil de première importance dans la planification, la gestion et la prévention du risque pluvial. Les courbes IDF sont modélisées sur la base de la méthode dite méthode fréquentielle globale, en se basant sur les épisodes pluvieux extrêmes de courte durée d'agrégation (en heure) : 1/4, 1/2, 1, 2, 3,6, 12 et 24h.

Keywords

¹ Office national de la météorologie, Division Climatologique, Direction Régionale Ouest.

*Correspondante:kari.mekki@yahoo.com

Contents

Contexte Théorique	29
1 Les données	30
2 METHODE	30
2.1 La méthode POT	30
2.2 Annualisation	31
2.3 Equivalence gpd et gev	31
3 Outils de travail	31
4 Résultats	32
4.1 les coefficients d'annualisation	32
4.2 La modélisation	32
4.3 Contrôle d'Ajustement	32
4.4 Les Quantiles de Retour	32
4.5 Graphes IDF	32
5 choix du seuil	33
6 Conclusion	34
References	34

La courbe IDF (Intensité Durée Fréquence) est une relation entre l'intensité (notée i) maximale de pluie i (en $mm.h^{-1}$),

le pas de temps (ou durée d'agrégation) t de cette pluie (mesurée en minutes) et la période de retour T de l'événement pluvieux (mesurée en années) ($T = \frac{1}{p}$), où p est la probabilité de dépassement annuelle. Les relations entre l'intensité, la durée et la fréquence d'apparition des pluies sont étudiées statistiquement et reportées selon des courbes caractéristiques appelées les courbes IDF. [1]

Les courbes IDF, sont des courbes qui caractérisent les précipitations extrêmes, en mettant en relation les intensités durées et fréquences des pluies maximales.

- I : intensité en $mm.h^{-1}$
- t : le pas de temps.
- a et b : des coefficients que nous calculerons plus tard.

D'une manière générale, l'intensité pluvieuse diminue avec la durée d'agrégation et augmente avec la période de retour, c'est-à-dire que les intensités sont d'autant plus faibles que la durée est plus longue. Cela implique que la fonction intensité doit être une fonction décroissante et ne peut donc présenter de bosses. La fig1 illustre l'allure générale de ces courbes, également appelées courbes enveloppes.

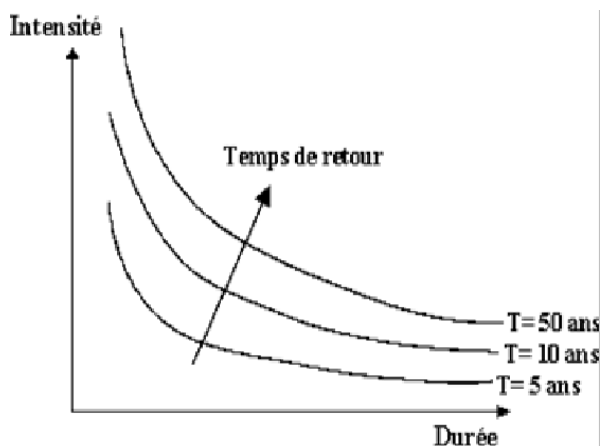


Figure 1. Allure générale des courbes IDF des pluies

Les IDF [2] sont élaborées après détermination des quantiles de retour pour chaque pas de temps, (par ex 15mn, 30, 1 h, 2h, 3h, 6h 12h et 24h), et ce grâce à un modèle fréquentiel. Pour modéliser des pluies organisées en maxima en bloc, on utilise une méthode dite GEV (Generalised Extreme Value) ou loi de JENKINSON, qui s'appuie sur le théorème de Fisher-Tippet. C'est la méthode statistique adéquate pour ajuster les séries de maxima en bloc : c'est-à-dire les séries de k plus grands événements de chaque période d'observation donnée, la période d'observation est généralement l'année. Par exemple, pour constituer le fichier de pluies maxima en 24 heures annuel, après avoir dépouillé sur les pluviogrammes tous les épisodes pluvieux sur chaque année, on retiendra celui qui a cumulé le plus de pluie pendant une durée de 24 heures. On aura ainsi une seule valeur par année ; la taille de notre fichier sera égale au nombre d'années d'observation. (voir fig2), les points rouges indiquent les valeurs sélectionnées.

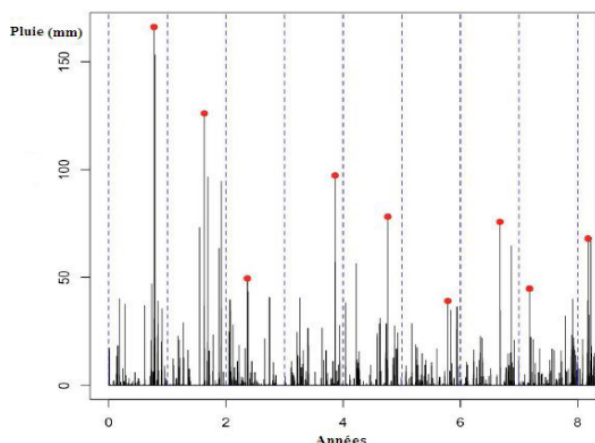


Figure 2. sélection des données maxima par bloc (une valeur par année)

Pour réaliser une étude IDF la même procédure sera suivie pour chaque pas de temps (15mn, 30mn, 1 heure...etc.), on aura pour chaque année le maximum de pluie pour chaque pas de temps. Pour appliquer la GEV les spécialistes recom-

mandent un nombre d'années assez élevé (> 25 ans au moins), l'estimation sera d'autant plus meilleure que la taille du fichier sera grande. La GEV consiste à calculer les paramètres suivants: Un paramètre d'échelle σ (un paramètre de position μ et un paramètre de forme ξ , lesquels permettront d'estimer les quantiles de retour). La GEV est une famille qui réunit trois lois d'ajustement : GUMBEL ; lois de FRECHET, lois de WEIBULL, le paramètre de forme ξ initialement calculé décidera de laquelle de ces trois lois utiliser (voir tab1)

- $\xi = 0$ correspond au domaine d'attraction de GUMBEL
- $\xi > 0$ correspond au domaine d'attraction de FRECHET.
- $\xi < 0$ correspond au domaine d'attraction de WEIBULL.

1. Les données

Pour faire le travail, nous avons utilisé les données publiées dans le mémoire de fin d'études au niveau de l'IHFR de Mlle Boukhaloua Z. (juin 2008). [3] Les données concernent les deux stations Alger Dar El Beida et Oran (IHFR). Ces données ont été obtenues après dépouillement des pluviogrammes pour Alger DEB de 1981 à 2001 (21 ans), et Oran IHFR de 1990 à 2006 (17 ans). Les données sont supposées stationnaires, indépendante identiquement distribuées, critères du caractère aléatoire simple d'une série. A regarder les données de près, nous avons remarqué que ces dernières ne sont pas organisées en maximas annuels, mais pour chaque pas de temps les valeurs retenues sont celles dépassant un certain seuil (excès), et non pas seulement le maximum absolu. Ainsi, pour chaque année, et pour chaque pas de temps (15mn, ... 24h), correspond un fichier de taille bien supérieur au nombre d'années d'observation. On dit alors que la série est tronquée. A titre d'exemple : à l'IHFR, pour le pas de temps de 15mn, ce n'est pas le cumul maximum de l'année qui a été retenu, mais tous les cumuls égalant ou dépassant 03 mm en 15mn, pour cette intensité ($3\text{mm}/15\text{mn} = 12\text{mm}/\text{h}$), et pour l'année 1996, six (06) épisodes pluvieux ont égalé ou dépassé ce seuil. Pour la période 1990-2006 à la station IHFR, on compte 122 épisodes pluvieux pour ce pas de temps et pour cette intensité. Autre exemple à la station DEB, on a compté 114 épisodes pluvieux dont les hauteurs de pluie ont égalé ou dépassé 11 mm en 03 heures (soit $3.67\text{mm}/\text{heure}$) pour toute la période 1981-2001.

2. METHODE

La méthode POT

La méthode de la GEV et ses trois variantes (spécialement Gumbel) n'est pas appropriée pour modéliser ces séries, d'autant plus que le nombre d'années dépouillées pour chaque station est inférieur au nombre recommandé pour ce genre d'étude, qui doit être minimum 25 ans. Les spécialistes recommandent pour ce genre de séries de passer à une autre méthode : la loi de Pareto Généralisée "GP" ou « Generalized Pareto Distribution en anglais "GPD", qui s'appuie sur le théorème de

Loi des valeurs extrêmes généralisée(GEV)	Lois qui découlent de la GEV
$H_{\xi,\mu,\sigma}(X) = \exp(-[1 + \xi(\frac{X-\mu}{\sigma})]_{+}^{\frac{-1}{\xi}})$ si $\xi \neq 0$	LOI DE GUMBEL : $\xi \rightarrow 0$ $H_{\xi,\mu,\sigma}(X) = \exp(\exp(-[\xi(\frac{X-\mu}{\sigma})]^{\frac{-1}{\xi}}))$ si $\forall X \in R$
	LOI DE FRECHET : $\xi > 0$ $H_{\xi,\mu,\sigma}(X) = \begin{cases} 0 & \text{si } X \leq \mu \\ \exp(-\frac{x-\mu}{\sigma}^{\frac{-1}{\xi}}) & \text{sinon.} \end{cases}$
	LOI DE WEIBULL : $\xi < 0$ $H_{\xi,\mu,\sigma}(X) = \begin{cases} \exp(-(-\frac{x-\mu}{\sigma})^{\frac{-1}{\xi}}) & \text{si } X < 0. \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$

Table 1. Les différentes lois de la famille GEV.

BalkemadeHaan-Pickands. Cette loi est justement appropriée pour ajuster les séries tronquées, sauf qu'il faut désigner un seuil pour le déroulement des calculs. Il s'agit d'un modèle POT (Peaks Over Threshold) où Threshold veut dire "seuil" en anglais.(voir fig3)

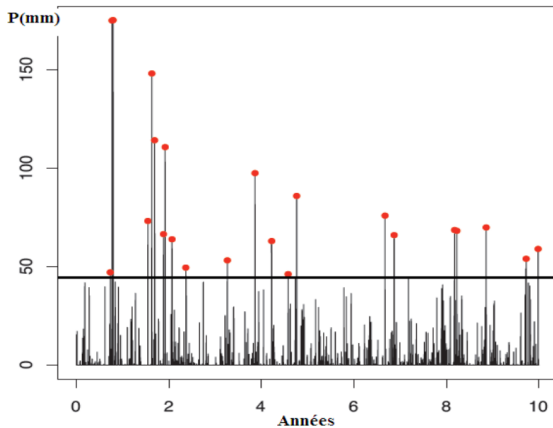


Figure 3. Méthode POT :sélection des données supérieures à un seuil.

Le modèle renvoie deux paramètres pour la GPD (échelle et forme); le seuil ici représente le paramètre de position (borne inférieure). Si le paramètre de forme égale zéro, la série sera plutôt ajustée par la loi "exponentielle", c'est la loi équivalente à la loi de Gumbel dans la GEV, dans ce cas, le modèle ne renvoie plus qu'un seule paramètre : l'échelle, ou le Gradex (gradient de l'exponentielle, c'est la pente de la droite asymptotique d'ajustement). Le tableau 2 (tab2) résume les lois de la famille GPD

Annualisation

Le passage d'une GPD à une GEV se fait grace à ce qu'on appelle l'annualisation des séries: on calcule λ coefficient d'annualisation.

$$\lambda = \frac{n}{n_a}$$

n et n_a représentent respectivement : la taille de la série et le nombre d'années

Equivalence gpd et gev

$GPD \rightarrow GEV$:

$$\sigma_{GEV} = \sigma_{GPD} \lambda^{-\xi}, \xi_{GEV} = \xi_{GPD} = \xi$$

$$\mu = u + \frac{\sigma_{GPD}(1 - \lambda^{-\xi})}{\xi}$$

$EXP \rightarrow GUM$:

$$\mu = u + \sigma \ln(\lambda), \sigma_{EXP} = \sigma_{GUM} = \sigma$$

Ces correspondances ont été démontrées en utilisant la relation de LANGBEIN-TAKEUCHI (1984):

$$F_A(x) = \exp(-\lambda(1 - F_T(x)))$$

$$F_A(x) = 1 + \frac{\ln(F_A(x))}{\lambda}$$

$F_A(x)$: loi Annuelle de probabilités.

$F_T(x)$: loi de probabilité d'une série Tronquée.

Il y'a correspondance entre les paramètres de la loi Exponentielle ajustée sur la série tronquée et les paramètres de la loi de Gumbel, loi annualisée: -les paramètres d'échelle restent égaux: $\sigma_{GUM} = \sigma_{EXP} = \sigma$ les deux lois possèdent la même pente asymptotique, c'est à dire le même gradex. - les paramètres de positions sont réunis dans l'équation :

$$\mu = u + \sigma \ln(\lambda)$$

outre l'annualisation, il est impératif de designer le "seuil", pour chaque pas de pour chaque pas de temps (chaque série),pour les calculs ultérieurs,

3. Outils de travail

La complexité des équations GEV et GPD nécessitant un outil rationnel detravail ; les calculs ont été réalisés sur logiciel R, grâce notamment au package "extRemes", gracieusement mis à la disposition publique par un éminent spécialiste en la matière, l'américain "Eric Gilleland".

Loi de Pareto généralisé GDP	Lois qui découlent de la GDP
Pour un seuil u ,	Loi exponentielle: $\xi \rightarrow 0$
$G_{\xi,\mu,\sigma} = 1 - (1 - \xi(\frac{z-u}{\sigma}))^{\frac{1}{\xi}}$	$G_{\xi,\mu,\sigma} = 1 - \exp(-\frac{x-u}{\sigma})$
si $\sigma \neq 0$	Borne inférieure u , borne supérieure $+\infty$. LOI DE PARETO de type I : $\sigma > 0$ LOI BETA : $\sigma < 0$

Table 2. Les différentes lois de la famille GPD

4. Résultats

les coefficients d'annualisation

Les coefficients utilisés pour l'ajustement du modèle GPD(GP), ont été calculés et consignés dans les tableaux tab3 et tab4 :

La modélisation

L'ajustement par la GPD permet conduit tout d'abord aux paramètres d'échelle et de forme estimés par la méthode du maximum de vraisemblance(MLE) très recommandée dans ce cas. Les résultats sont consignés dans les tableaux tab5 et tab6.

Les paramètres du modèle, estimés par la méthode du maximum de vraisemblance(MLE) tres recommandée dans ce cas, et les résultats sont consignés dans le tableau :

Remarque

Une observation faite sur le paramètre de forme pour la station de l'IHFR nous permet de conclure que certaine valeurs de ξ sont plus proches de zéro en valeur absolu. Ainsi, ais il est préférable de recalculer le modèle avec la loi Exponentielle, les paramètres de la loi Exponentiel estimés à partir de l'ajustement des séries tronquées sur ORAN

Contrôle d'Ajustement

Le package offre les différents graphes caractérisant la qualité de l'ajustement, NOTAMMEN LE Q_QPLOT,ainsi que les critères AIC et BIC. Les graphes de la figure fig4 suivante illustre le contrôle de l'ajustement.

Les Quantiles de Retour

le tableaux (tab9et tab10) contient les quantiles de retour sur la ville d'Oran obtenus avec la loi exponentielle. (Hauteur des pluies, en mm).

4.5 Graphes

IDF

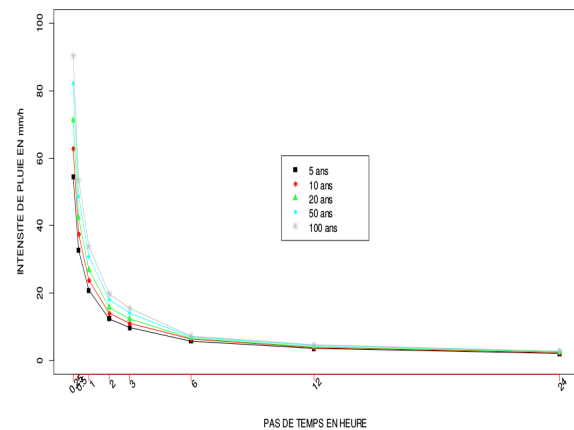


Figure 5. Representation des IDF à Oran

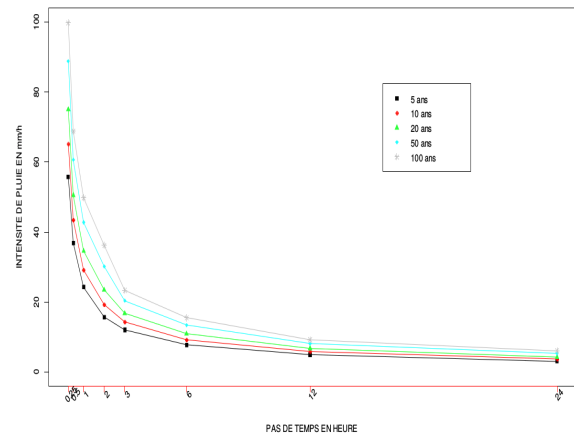


Figure 6. Representation des IDF à Dar El Beida..

Remarque :

A travers les courbes IDF que nous venons de tracer deux lois essentielles se dégagent:

- Pour une même période de retour, l'intensité d'une pluie est d'autant plus forte que sa durée est courte.
- A durée de pluie égale, une précipitation sera d'autant plus intense que sa fréquence d'apparition sera petite (donc son temps de retour sera grand).

Durée(h)	1/4	1/2	1	2	3	6	12	24
Seuils(mm)	3	3.8	6	8	11	13	15	17
Effectifs	122	129	108	107	84	85	90	86
λ	7.17	7.58	6.35	6.29	4.94	5.00	5.29	5.06

Table 3. coefficients d'annualisation pour la station Oran ihfr

Durée(h)	1/4	1/2	1	2	3	6	12	24
Seuils(mm)	3	4	6	8	11	13	15	17
Effectifs	183	186	158	151	114	127	143	152
λ	8.71	8.85	7.52	7.19	5.43	6.05	6.51	7.24

Table 4. coefficients d'annualisation pour la station Alger DEB

Coefficients de Montana

Les coefficients de Montana s'adressent aux collectivités locales désireuses d'engager des travaux d'assainissement. Ils intéressent aussi les cabinets d'étude, d'expertises ou d'assurance dans le cadre d'études pluviométriques. Ils constituent une référence pour dimensionner les ouvrages destinés à évacuer ou canaliser les eaux. Les coefficients de Montana permettent de connaître, pour une durée de pluie donnée, la hauteur d'eau maximale attendue pour chacune des durées de retour suivantes (durée généralement utilisée) : 5 ans, 10 ans, 20 ans, 30 ans, 50 ans et 100 ans. Les coefficients de Montana permettent de déterminer pour un intervalle de temps compris entre 2 pas de temps (ou durées de cumul) non-consécutifs la hauteur de pluie ou l'intensité maximale selon différentes durées de retour. Les coefficients de Montana sont liés aux intensités par la formule:

$$I = \frac{a}{t^b}$$

I : intensité en $mm.h^{-1}$.

t : le pas de temps.

a et b sont appelés coefficients de Montana, ils sont utiles pour les calculs de dimensionnement des ouvrages hydrauliques, et propres à chaque région. L'estimation des paramètres de Montana est simplifiée en prenant le logarithme de cette formule de manière à obtenir une relation linéaire tel que :

$$\ln(I) = \ln(a) - b \ln(t)$$

Après calcul on obtient les coefficients de Montana a et b pour les deux stations dans le tableau suivant:

	Alger		Oran	
Return level	A	B	A	B
T=5	2.2	2.3	1.2	1.3
T=10	2.2	2.3	1.2	1.3
T=20	2.2	2.3	1.2	1.3
T=50	2.2	2.3	1.2	1.3
T=100	2.2	2.3	1.2	1.3

5. choix du seuil

Dans ce travail nous avons pris les seuils tels que choisis par l'auteur de l'ouvrage, mais à l'heure actuelle beaucoup de spécialistes ont mis et continuent de mettre à notre disposition des méthodes rationnelles pour régler la question. Un des outils de choix du seuil est le graphe de la fonction moyenne des excès (FME), accompagné du graphe threshold .plot

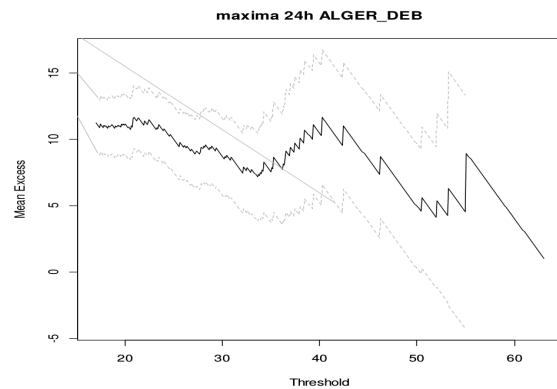


Figure 7. choix du seuil par la méthode de la fonction moyenne des excès(mean excess plot)

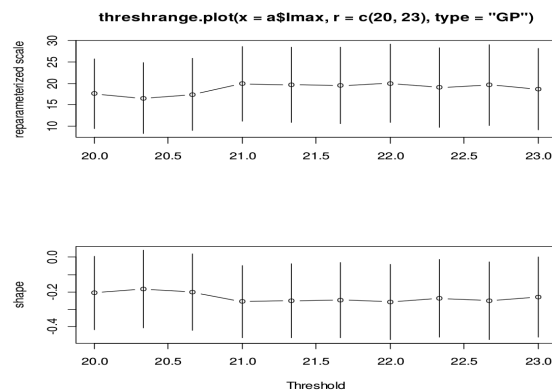


Figure 8. choix du seuil par la méthode de la fonction moyenne des excès(mean excess plot)

Pas de temps(h)	1/4	1/2	1	2	3	6	12	24
Paramètre σ	3.1	3.5	4.9	4.3	5.7	10.0	11.3	13.15
Erreur standard	0.4098	0.4012	0.6055	0.6367	0.8763	1.3925	1.4581	1.9223
Paramètre σ	-0.008	1.7e-7	3.6e-7	1.8e-7	6.5e-8	-0.260	-0.199	-0.171
Erreur standard	0.0869	0.0823	0.1018	0.0951	0.1105	0.0906	0.0747	0.0997

Table 5. Les paramètres de la loi de Pareto généralisé GP estimés à partir de l’ajustement des séries tronquées sur ORAN_IHFR

Pas de temps(h)	1/4	1/2	1	2	3	6	12	24
Paramètre σ	2.6	3.2	3.8	4.3	6.4	7.7	10.5	12.3
Erreur standard	0.2622	0.3479	0.4781	0.5535	0.9502	1.0363	1.2718	1.4748
Paramètre σ	0.0659	0.0955	0.1576	0.2268	0.1204	0.1402	0.0951	0.1298
Erreur standard	0.0662	0.0764	0.0962	0.1017	0.1124	0.0989	0.0864	0.864

Table 6. Paramètres de la loi de Pareto généralisé GP estimés à partir de l’ajustement des séries tronquées sur ALGER_DEB

L’interprétation de ces graphes est souvent difficile mais l’idée est de rechercher le seuil dans un intervalle qui présente une linéarité, par cette méthode le choix du seuil est empirique. il est à noter que la sélection rationnelle du seuil est un sujet d’actualité, et reste encore à l’état de recherche. Quelques auteurs ont proposé des méthodes. applicables dans R, tels que les packages ”tea”, ”threshr”, et d’autres .

6. Conclusion

La méthode POT est très intéressante pour modéliser les extrêmes non seulement en cas de nombre d’années insuffisant mais même pour un nombre d’années assez élevé, ainsi même si on dispose de quarante ou soixante années, la méthode GPD, augmente considérablement la taille du fichier grâce à la technique de l’annualisation.

La seule difficulté réside dans le choix du seuil, qui doit optimum; ni trop bas sinon les estimations seront biaisées, ni trop élevé, sous peine de négliger des valeurs déterminantes.

References

- [1] Paul Meylan, Anne-Catherine Favre, and André Musy. *Hydrologie fréquentielle: une science prédictive*. PPUR presses polytechniques, 2008.
- [2] Eric Gilleland, Richard W Katz, et al. extremes 2.0: an extreme value analysis package in r. *Journal of Statistical Software*, 72(8):1–39, 2016.
- [3] Zoubida Boukhaloua. *Les courbes intensité durée fréquences exemples d’Alger et d’Oran*. IHFR d’Oran, 2007.

Pas de temps(h)	1/4	1/2	1	2	3	6	12	24
Paramètre σ	3.082	3.594	4.3701	5.1631	5.89	7.9607	9.4666	11.224
Erreur standard	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2

Table 7. Paramètres de la loi de Pareto généralisé « GP » estimés à partir de l’ajustement des séries tronquées sur ALGER.DEB.

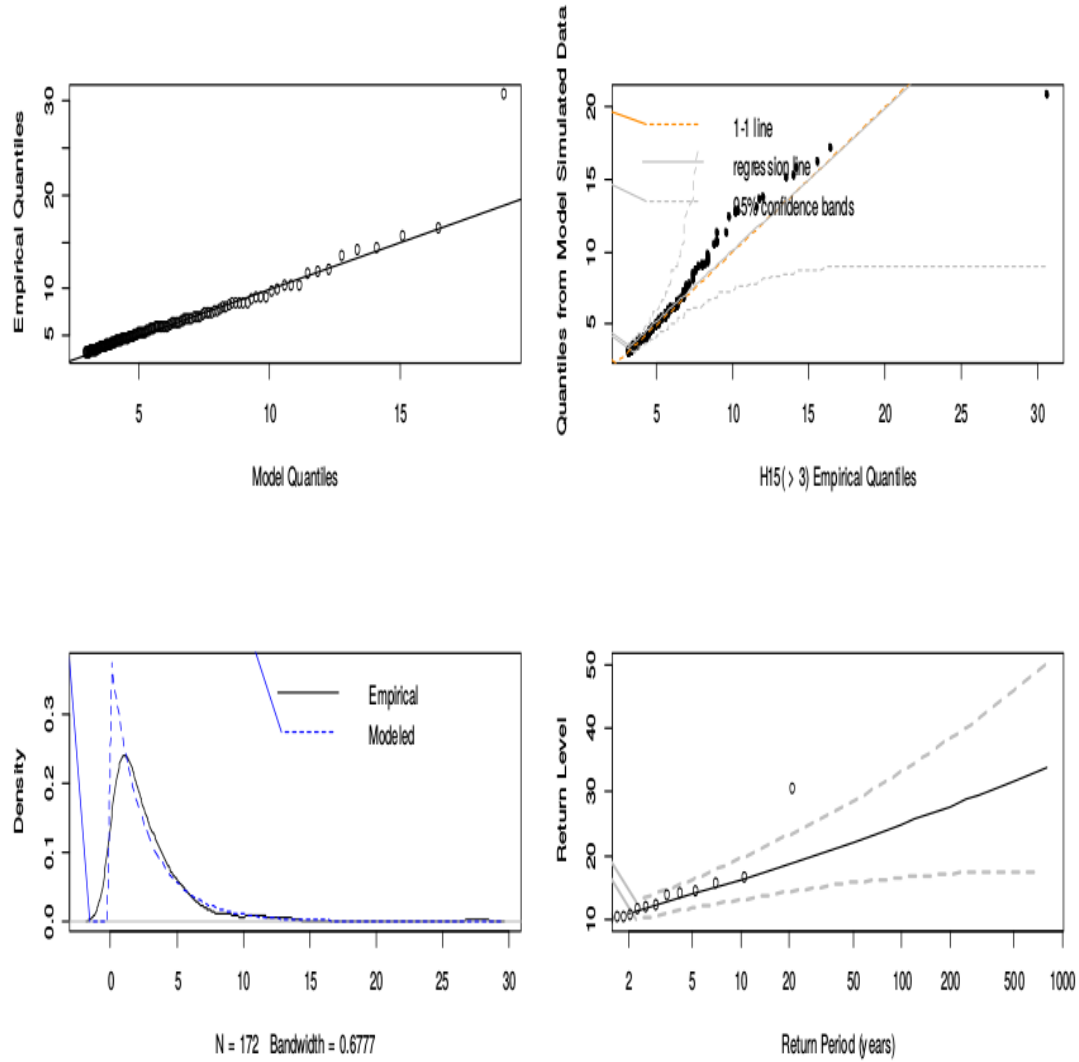


Figure 4. Températures prévues par ALADIN en fonction des températures observées

Durée de retour (an) pas de temps (jour)	5	10	20	30	50	100
1/4	13.69	15.80	17.90	19.20	20.80	22.90
1/2	16.80	19.30	21.80	23.30	25.10	27.60
1	20.90	24.00	27.00	28.80	31.00	34.00
2	25.60	29.20	32.70	34.80	37.51	41.10
3	29.60	33.70	37.70	40.10	43.10	47.20
6	38.50	44.00	49.60	52.80	56.80	62.40
12	45.70	52.30	58.80	62.60	67.50	74.10
24	53.10	60.90	68.70	73.20	79.00	86.80

Table 8. Niveaux de retour sur la ville d’Oran obtenus avec la loi exponentielle.

Durée de retour (an) pas de temps (jour)	5	10	20	30	50	100
$\frac{1}{4}$	13.93	16.29	18.75	20.25	22.19	24.93
$\frac{1}{2}$	18.43	21.73	25.27	27.45	30.31	34.43
1	24.22	29.11	34.56	38.04	42.75	49.78
2	31.34	38.52	46.92	52.48	60.26	72.36
3	36.02	42.82	50.21	54.83	60.97	69.94
6	46.42	55.48	65.47	71.78	80.25	92.77
12	59.07	69.64	80.94	87.90	97.06	110.22
24	72.92	87.08	102.57	112.31	125.32	114.41

Table 9. Niveaux de retour (quantiles) sur la ville d'Alger.

Contribution à l'analyse des tendances pluviométriques et hydrométriques dans la basse vallée de la Soummam

Amina Amel ADEM^{1*}, Idir DEHMOUS¹, Mohamed MESBAH², Mohamed CHETTIH³

Abstract

La présente étude consiste à analyser l'évolution des régimes pluviométriques et hydrométriques au niveau de la basse vallée de la Soummam. Elle vise à extraire les informations susceptibles de nous renseigner sur les caractéristiques, les tendances, le mode de variabilité des pluies et des débits, et d'identifier les extrêmes en utilisant des tests statistiques et la méthode de l'analyse en ondelette continue.

Les résultats mettent en évidence plusieurs modes de variabilité des chroniques étudiées; avec une tendance à la baisse observée à partir des années 70.

Variabilité, Précipitations, Débits, Basse vallée de la Soummam, Transformée en Ondelettes

¹ Office National de la Météorologie (CNPM-ONM), Dar El Beida, Alger

² Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene (USTHB-FSTGAT), Bab-Ezzouar, Alger

³ Université Amar Telidji (Laboratoire de Recherche en Génie Civil), Laghouat

*Correspondante: adem.amina.amel@gmail.com

Contents

Introduction	43
1 Caractéristiques des données	43
2 Méthodes d'approches	44
3 Résultats et discussions	44
4 Conclusion	47
References	48

Face aux besoins en eau sans cesse croissants et devant l'hypothèse d'un changement climatique, l'intérêt porté à l'étude des précipitations s'est nettement renforcé. En effet, de nombreux travaux ont été menés dans ce sens en Algérie, certains évoquent des déficits pluviométriques qui se traduisent par des sécheresses persistantes [1], d'autres mettent l'accent sur la récurrence des inondations [2]. La variabilité spatio-temporelle des précipitations est considérable et peut parfois générer des situations extrêmes, dont les impacts sur l'environnement sont non négligeables. Ces fluctuations représentent donc un sérieux problème pour le développement du pays ; où de nombreux aspects tels que l'agriculture et les ressources hydriques y sont sensibles. Ils doivent alors faire l'objet d'une caractérisation détaillée. La présente étude se veut être une contribution à la compréhension de la variation des précipitations et des débits dans une région de l'Est de l'Algérie. Elle consiste à analyser l'évolution des régimes pluviométriques et hydrométriques; à travers des tests statistiques et la transformée en ondelettes, une méthode qui a influencé de nombreux domaines, entre autres celui de la climatologie. La zone d'étude concerne la basse vallée de la Soummam (Fig1); située à 150 km à l'Est d'Alger. Cette région occupe le sous-bassin versant de la Soummam et s'étend de Sidi Aïch jusqu'à la mer sur environ 35 km de longueur et jusqu'à 2 km de largeur par

endroits [3].

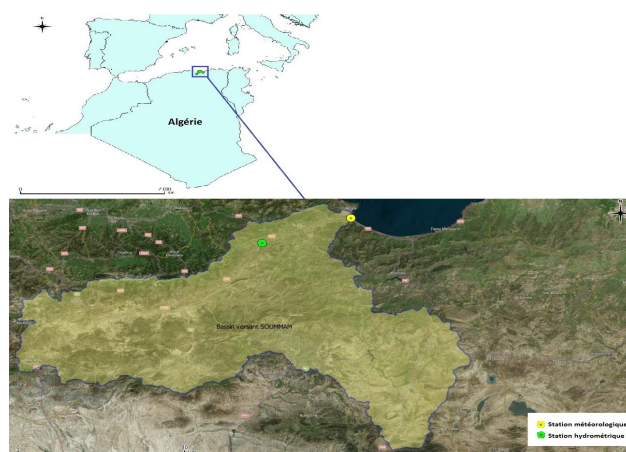


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

1. Caractéristiques des données

Les données ayant fait l'objet de cette étude sont issues de la station météorologique de l'aéroport de Béjaïa et de la station hydrométrique de Sidi Aïch (tableau 1), obtenues respectivement de l'Office National de la Météorologie et l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Le tableau n°1 illustre les caractéristiques des stations utilisées, leurs coordonnées géographiques ainsi que les échelles et les périodes des données utilisées. Il convient par ailleurs de noter que le choix des stations météorologique (aéroport de Béjaïa) et hydrométrique (Sidi Aïch), est conditionné surtout par la disponibilité des données et que les chroniques des débits sont lacunaires à l'échelle journalière.

Table 1. Caractéristiques des données

Station	Code	X	Y	Echelle	Période
Béjaïa	60402	36,716	5,066	Mensuelle	1936-2012
				Annuelle	1936-2012
				Journalière	1970-2012
Sidi Aïch	151001	36,602	4,678	Annuelle	1953-1996
				Journalière	1953-1986

2. Méthodes d'approches

La méthode de la moyenne mobile : elle permet de réduire l'amplitude des variations interannuelles et de ne faire apparaître que les grandes tendances.

L'indice pluviométrique de Nicholson : c'est un indice utilisé pour déterminer les différentes phases de cycle sec et humide des pluies et des débits. L'indice de Nicholson apparaît comme une variable centrée réduite des pluies annuelles, il s'exprime comme suit :

$$I_p = (X_i - X_m) / \sigma \quad (1)$$

I_p : indice pluviométrique

X_i : pluviométrie de l'année i

X_m : pluviométrie moyenne interannuelle sur la période de référence

σ : écart type de la pluviométrie interannuelle sur la période de référence [4].

Le coefficient d'hydraulicité (coefficient de débit) : il correspond au rapport du débit annuel (ou mensuel) au débit moyen de la série d'observation, il permet de positionner le débit d'une année donnée (ou mois) par rapport à une année (ou un mois) considérée comme normale. Pour un coefficient supérieur à 1, c'est une année humide à écoulement important; s'il est inférieur à 1 le cours d'eau est de faible débit et l'année est considérée comme sèche [3].

Les tests statistiques : nous avons opté pour le test de Pettitt; un test non paramétrique particulièrement sensible à un changement de moyenne, la procédure bayésienne de Lee et Heghinian; une approche paramétrique qui requiert une distribution normale des variables étudiées [5]. Ainsi que la procédure de segmentation d'Hubert; adaptée à la recherche de multiples changements de moyenne dans la série [4]. Ces tests sont utilisés dans l'objectif de détecter les changements brusques (ruptures) qui opèrent au sein séries étudiées.

La transformée en ondelettes continue :

elle nous permet de déterminer le mode de fluctuation des précipitations et des débits, elle se prête à différentes études ; comme l'identification des oscillations climatiques, les fronts froids atmosphériques, la dispersion des vagues de l'océan, ou encore la variabilité hydrologique et son lien avec la l'Oscillation Nord Atlantique (NAO) au Nord-est de l'Algérie [6]. Cette méthode décompose le signal en ondelettes filles à longueur finie et localisée dans le temps à partir d'une référence fonction

d'onde (ondelette mère).

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

Où

$\psi_{a,b}(t)$: ondelette analysante ou ondelette fille.

a : paramètre d'échelle.

b : paramètre de position.

t : temps.

3. Résultats et discussions

La non-stationnarité de la variance :

Une série de données est dite stationnaire lorsque l'on ne retrouve pas de variations temporelles significatives, autres que les fluctuations aléatoires dans les valeurs classées chronologiquement. La non-stationnarité des données journalières est examinée à travers la variance calculée sur des intervalles de temps de plus en plus grands avec un pas d'incrément de 25 jours choisi dans la majorité des cas [7]. La variance des précipitations (Fig.2) se caractérise par l'existence de sauts dus à la présence de fortes précipitations, mais qui tend progressivement vers une limite fixe sans sauts (valeur constante).

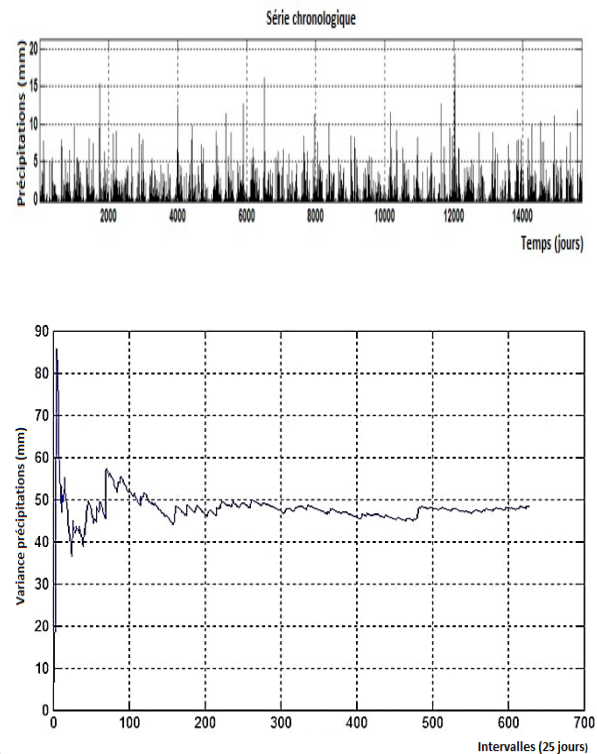


Figure 2. Mise en évidence d'un phénomène de non-stationnarité de second ordre. Précipitations journalières à la station de Béjaïa (1970-2012)

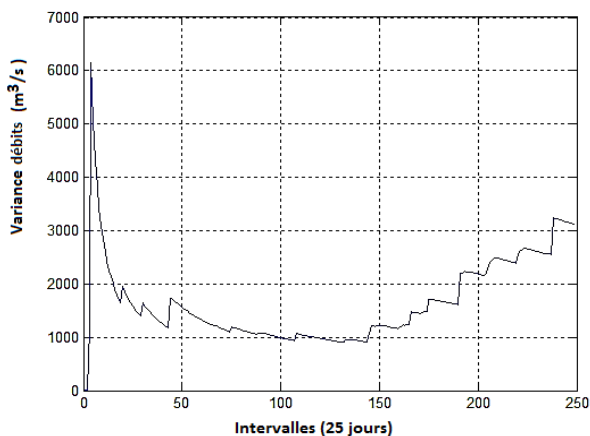
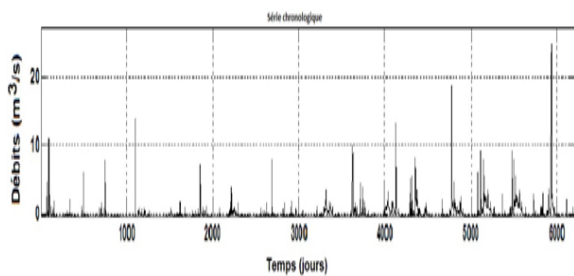


Figure 3. Mise en évidence d'un phénomène de non-stationnarité de second ordre. Débits journaliers à la station de Sidi Aïch (1958-1973)

Les chroniques des débits sont subdivisées en deux périodes en raison de quelques lacunes, leur variance est également caractérisée par des sauts due à des crues qui concentrent une importante part d'énergie (Fig.3).

La non-stationnarité de la variance des pluies journalières à la station de Béjaïa à cette échelle est donc peu évidente, contrairement à celle des débits journaliers qui présente une forte variabilité des moments (phénomène d'intermittence) dès l'ordre 2 (variance).

Les tendances évolutives des chroniques pluies et débits :

L'analyse des courbes de pluies (Fig.4) et de débits (Fig.5) lissées sur un pas de temps de cinq ans indique une tendance à la baisse dès l'année 1974 pour les pluies et une tendance à la baisse à partir des années 70 pour les débits.

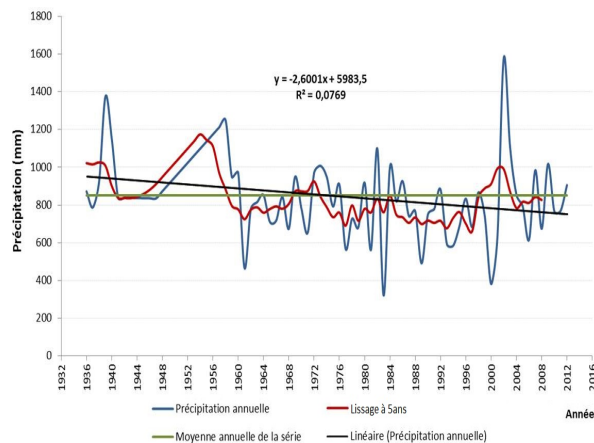


Figure 4. Évolution des pluies moyennes annuelles à la station de Béjaïa (1936 -2012)

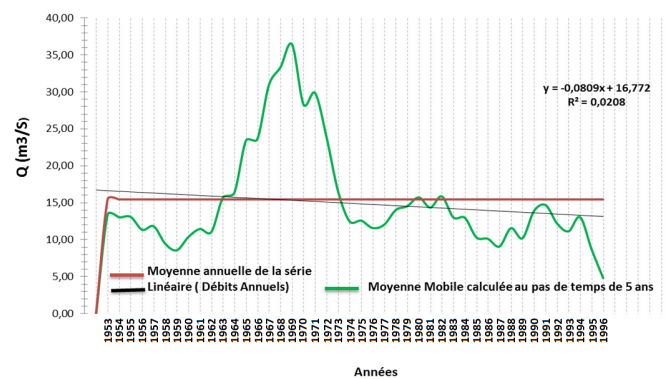


Figure 5. Évolution des débits moyens annuels à la station de Sidi Aïch (1953 -1996)

Les modes de variabilité :

Les indices centrés réduits (équation 1) que nous avons calculé pour les précipitations (Fig.6) et les débits (Fig. 7), indiquent une succession d'années excédentaires et déficitaires. Un déficit assez marqué est enregistré au cours de l'année 1983, une date déjà signalée dans d'autres travaux relatifs aux études des variations climatiques dans le Nord de l'Algérie [8].

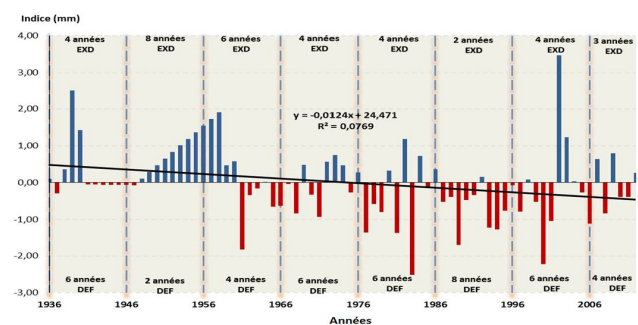


Figure 6. Indices centrés réduits des valeurs moyennes des précipitations annuelles à la station de Béjaïa (1936 -2012)

Concernant les années d'abondance hydrologique (Fig.7), l'année 1969 est la plus ponctuée. Ceci est confirmé à travers les inondations exceptionnelles enregistrées dans le pays; dont une récurrence de l'oued au niveau de la commune de Sidi Aïch [9].

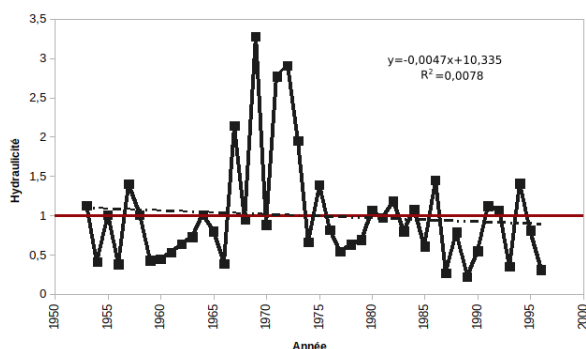


Figure 7. Diagramme de l'évolution de l'hydraulicité à la station de Sidi Aïch (1953 -1996)

L'identification des ruptures :

Les résultats des tests statistiques (Tab.2) indiquent l'existence d'une rupture en 1960 pour les données pluviométriques (Fig.8), et deux dates de rupture (1966 et 1986) pour les données hydrométriques. Ces ruptures correspondent à des modifications des régimes pluviométriques et hydrométriques (tendance à la baisse).

Table 2. Principaux résultats des tests statistiques

Test	Précipitation	Débit
Période	1936-2012	1953-1996
Pettitt(KronoStat)	1960	Absence de rupture
Pettitt(Xlstat)	1960	1966
Méthode Bayésienne	1960	1986
Hubert(début)	1936-1961	Pas de rupture
Hubert(fin)	1960-2012	Pas de rupture

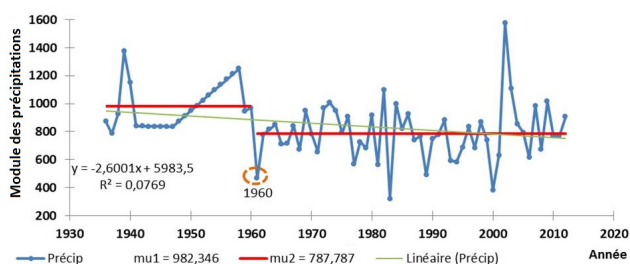


Figure 8. Résultats du test de segmentation appliqué aux précipitations moyennes annuelles à la station de Béjaïa (1936 -2012)

La moyenne glissante représentée sur le graphique (figure 8) montre une légère tendance à la baisse des précipitations à partir de 1960.

L'analyse en ondelettes continue

Les spectres en ondelettes de Morlet permettent d'analyser les variations localisées de puissance (variance) et de visualiser les instationnarités du contenu fréquentiel d'un signal.

Appliquée aux chroniques étudiées sur un pas de temps journalier, les spectres obtenus mettent en évidence différents modes de variabilité à l'échelle saisonnière, annuelle et pluri-annuelle (2 – 32 semaines, 52 semaines et 130 semaines).

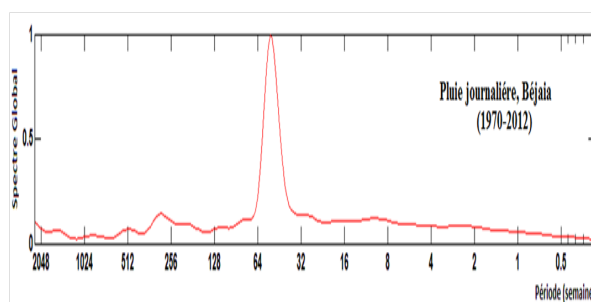
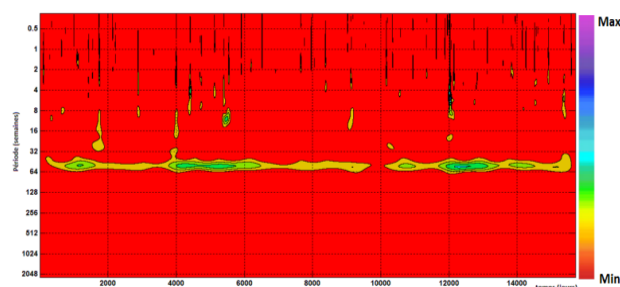
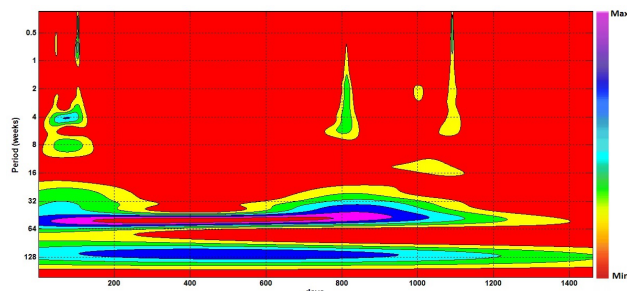


Figure 9. Graphique de la transformée par ondelette de la série pluviométrique de Béjaïa (spectre en ondelettes de Morlet et spectre global)

Le spectre local des pluies (Fig. 9) indique la présence quasi-continue de la saisonnalité annuelle (52 semaines), mais qui est tout de même interrompue durant l'année 1997. Avec la sécheresse intense et persistante qu'a connue l'Algérie entre 1975 et 1998, cette discontinuité temporelle correspond donc à une phase déficitaire [10]. Les périodicités trimestrielles et semestrielles sont présentes mais pas majoritaires sur la série, elles s'observent surtout avant l'année 1997 avec évidemment un pouvoir inférieur à celui de l'annuelle.



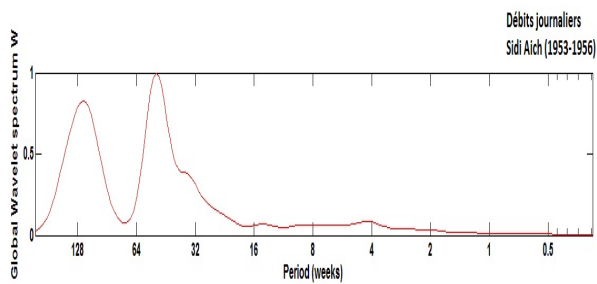


Figure 10. Graphique de la transformée par ondelette de la série hydrométrique de Sidi Aïch entre 1953-1956 (spectre en ondelettes de Morlet et spectre global)

Les spectres des débits présentent des anomalies au cours de la période 1979 – 1986 (Fig.12). Un minimum d'énergie est observé en 1981 ; pouvant correspondre à une phase déficitaire, et un maximum en 1982 qui pourrait être une crue. La variabilité saisonnière (4 – 32 semaines) est visible sur certains spectres des deux figures 10 et Fig12, mais l'est moins sur le spectre local des débits relatifs à la période 1958 – 1973 (Fig.11).

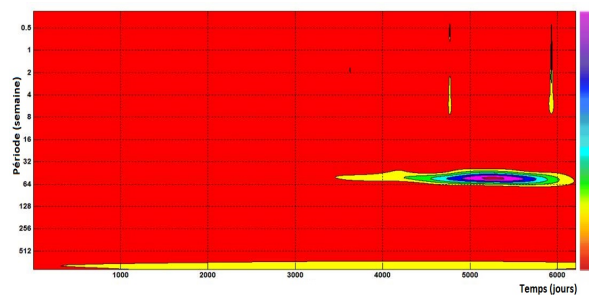


Figure 11. Graphique de la transformée par ondelette de la série hydrométrique de Sidi Aïch entre 1958-1973 (spectre en ondelettes de Morlet et spectre global)

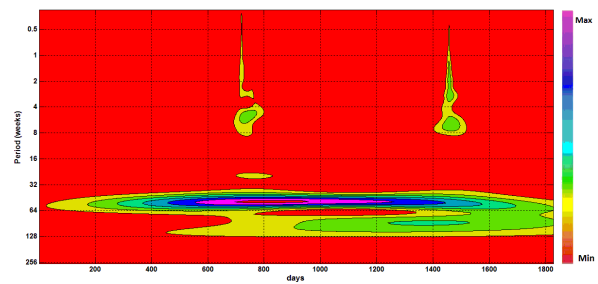


Figure 12. Graphique de la transformée par ondelette de la série hydrométrique de Sidi Aïch entre 1958-1973 (spectre en ondelettes de Morlet et spectre global)

À titre de comparaison, les résultats des ondelettes et du coefficient de l'hydraulicité, indiquent que les années 1981 et 1982 ont enregistré respectivement une phase de déficit et d'excès. Une autre anomalie est visible pour l'année 1973 (Fig.11), elle présente une hydraulicité élevée, qui comparée à d'autres travaux [9] pourrait correspondre à une crue (les inondations de 1973).

4. Conclusion

Pour déceler les changements des régimes pluviométriques et hydrométriques nous avons utilisé des tests statistiques et la méthode de la transformée en ondelettes continue. Cette dernière qui se base sur le traitement du signal, a pour objectif de déterminer les changements temporels et les modes de variabilité des pluies et des débits. Le recours à celle-ci peut-être qualifié comme une amélioration méthodologique qui peut déboucher sur des aspects nouveaux; dans la mesure où elle permet de détecter des tendances latentes invisibles par les autres méthodes, même si certains résultats semblent parfois insignifiants.

Durant notre étude, cette méthode avait permis d'identifier certaines valeurs non détectées par les tests statistiques. Les spectres des précipitations ont révélé une autre date de rupture (1997), qui correspond à une période de sécheresse. Les spectres relatifs aux débits mettent en évidence des anomalies,

ayant concentré un maximum d'énergie en 1973 et 1982; pouvant correspondre à des crues.

En dépit du fait que les résultats obtenus semblent en accord avec la littérature, il n'est pas évident de réaliser une synthèse convaincante à l'échelle de la zone étudiée, et cela en raison du nombre restreint des stations étudiées et du manque de test de signifiante analytique. Ce dernier peut être réalisé par la méthode de simulation aléatoire de Monte-Carlo.

References

- [1] Mohamed Meddi and PIERRE Hubert. Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du nord-ouest de l'algérie. *IAHS publication*, pages 229–235, 2003.
- [2] Khadidja Ketrouci, Mohamed Meddi, and Boucif Abdesselam. Étude des crues extrêmes en algérie: cas du bassin-versant de la tafna. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 23(4):297–305, 2012.
- [3] ADEM Amina Amel. Évaluation et gestion de l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau des zones côtières et des écosystèmes dépendants: Cas de la zone côtière de béjaia. 2014.
- [4] RMN Fossou, N Soro, VB Traore, T Lasm, S Sambou, T Soro, RK Orou, MT Cisse, and A Kane. Variabilité climatique et son incidence sur les ressources en eaux de surface: cas des stations de bocanda et de dimbokro, centre-est de la côte d'ivoire en afrique de l'ouest. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 10(4):118–134, 2014.
- [5] Hélène Lubes-Niel, J Masson, J Paturel, and Eric Servat. Variabilité climatique et statistiques. etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 11(3):383–408, 1998.
- [6] Zineb Zamrane. *Recherche d'indices de variabilité climatique dans des séries hydroclimatiques au Maroc: identification, positionnement temporel, tendances et liens avec les fluctuations climatiques: cas des grands bassins de la Moulouya, du Sebou et du Tensift*. PhD thesis, Université Montpellier, 2016.
- [7] David Labat. *Non-linéarité et non stationnarité en hydrologie karstique*. PhD thesis, Toulouse, INPT, 2000.
- [8] Mohamed Abdelkader BENYETTOU and Abdellah BOUKLIKHA. *Variations et tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie*. PhD thesis.
- [9] LAHLAH Salah. Les inondations en algérie. 2004.
- [10] A Demmak and A Ould Amara. La sécheresse en algérie des années 1970/1990 et son impact sur les ressources en eau. *Table ronde: sécheresse-changement climatique-désertification*, 10p, 2001.

Étude statistiques des vagues de chaleur à l'horizon 2100 à Adrar et à Béchar

Houari BENMOUSSA ^{1*}

Abstract

Une étude statistique sur les vagues de chaleur sur la région sud-ouest de l'Algérie a été réalisée sur 2 wilayas : Adrar et Bechar. Une définition de la vague de chaleur a été proposée sur la base des données climatologiques dans les 2 stations météorologiques représentant ces deux régions. L'étude statistique couvre la période 1984-2018. Une tentative de projection future sur l'occurrence des vagues de chaleur purement statistique a été réalisée. Les résultats obtenus montrent une augmentation prévue des jours successifs de canicule sur les deux régions à l'horizon 2100.

Keywords

Vague de chaleur, Canicule, Projection future

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

*Correspondant: horbec27@gmail.com

Contents

Introduction	43
1 Méthodologie	43
1.1 Description des données	43
1.2 Identification des seuils	43
1.3 Étude climatologique	44
1.4 Projection future	44
2 Résultats et discussion	44
3 Conclusion	46
References	46

Parmi les risques de catastrophes naturelles, les vagues de chaleur sont responsables d'un grand nombre de décès, de maladies et de pertes économiques à travers le monde. Comme celles-ci augmenteront en fréquence, en durée et en sévérité dans les décennies à venir dans le contexte du changement climatique, ces événements extrêmes constituent un véritable danger pour la santé humaine. Les systèmes d'avertissement reliés à la chaleur sont donc fortement recommandés par les autorités de santé publique pour réduire les risques de pertes en vies humaines. Ainsi, les critères d'alertes publiques fondés sur des données probantes sont nécessaires pour réduire les impacts sur la santé humaine avant et durant les vagues de chaleur extrême. Au niveau international, des plans d'action relatifs à la santé (incluant les avertissements et systèmes d'alerte) en période de canicule ont été établis dans certains pays comme au Canada, au Etats-Unis et en France.

En Algérie : La vigilance météorologique a été officiellement mise en place le 23 mars 2017, à l'occasion de la célébration de la JMM, par Mr le Ministre des Travaux Publics et des Transport. Ce dispositif est le fruit d'un programme de modernisation de l'établissement et de la volonté de Météo Algérie de mettre en place un dispositif complet et d'actualité

visant à informer simultanément les pouvoirs publics, les médias et la population sur des risques météorologiques potentiels, leur gravité, leur évolution, leurs conséquences attendues et des conseils de comportement adaptés.

Dans ce contexte, nous avons réalisé une étude statistique sur la fréquence des vagues de chaleur sur la région Sud-ouest de l'Algérie en particulier Adrar et Béchar. L'objectif de cette étude est de comprendre l'historique des canicules pour ces deux régions puis mettre en évidence, dans le contexte du changement climatique, l'évolution de leurs fréquences à l'horizon 2100. Ceci aidera nos décideurs à prendre part de leurs dangers et prendre les dispositions nécessaires afin de minimiser leurs impacts. Après cette introduction nous allons décrire dans le chapitre 2 la méthodologie suivie pour réaliser cette étude. Ensuite, nous présenterons dans le chapitre 3 les résultats obtenus et leurs analyses. Puis nous terminons par une conclusion.

1. Méthodologie

Description des données

Nous avons utilisé pour cette étude les données d'observation des températures des stations de Béchar et d'Adrar. Ces deux stations sont mises en service en 1930 et 1957, respectivement, et fonctionnent en continu 24/24 heures. La qualité de ces données est contrôlée par le système de gestion et de contrôle des données climatologiques (CLICOM) mise en place au niveau de la région Sud-Ouest. Afin de répondre aux recommandations exigées par les climatologues sur la longueur de la série de données utilisée pour toutes études climatologiques, nous avons pris la période 1984-2018 ; soit 35 ans de données.

Identification des seuils

Pour qu'une journée chaude soit qualifiée caniculaire, il faut que sa température maximale enregistrée égale ou dépasse

certaines seuils. Ces seuils peuvent différer d'une région à une autre selon le climat.

Pour définir les seuils, nous avons pris en compte la méthode utilisée par l'Environnement et Changement climatique Canada [1]. Cette méthode considère à la fois les températures minimales et maximales. Ainsi, pour notre étude, on considère une journée de canicule lorsque la somme des températures maximale et minimale journalière ($T_{Max} + T_{Min}$) est supérieure au double de la température ou égale à 70°C pour la station de Béchar et 75 °C pour la station d'Adrar. Nous avons pris en considération pour arriver à ces seuils les valeurs de la température moyenne minimale et maximale pour les deux stations considérées. Donc, pour le mois de juillet, les températures moyennes maximale et minimale sont, respectivement, de l'ordre de 45.8° et 28.4°C pour la station d'Adrar et 40.3°C et 27.1°C pour la station de Béchar. Alors que pour le mois d'Aout ces températures valent : 44.9°C et 28.2 pour la station d'Adrar et 39.3°C et 26.6°C pour la station de Béchar.

Étude climatologique

Notre étude consiste à suivre l'évolution de la température minimale et maximale des mois Juin, Juillet et Août pour la période 1984-2018. La marge de la somme des données des températures minimales et maximales ($T_n + T_x$) varie de : 48.0°C à 84,7°C pour la station d'Adrar et de 39.3°C à 77.3°C pour la station de Bechar. Le maximum absolu enregistré par les stations de Béchar est du 45.0°C. Il est enregistré la journée de 24 juillet 2018. La station d'Adrar a enregistré un maximum de 49.6°C la journée du 28 juillet 2014. Dans notre cas d'étude, il est possible d'ajuster par une loi théorique les périodes de canicule. Vu la forme de distribution de l'histogramme des périodes de chaleur (forme en J), le modèle markovien du 1er ordre nous semble adéquat pour cette valeur discrète [2].

$$T_n = \alpha_{11}(n-1)\alpha_{10} \quad (1)$$

est la probabilité d'observer une période de canicule d'une longueur n donnée et α représente la probabilité d'observer une journée de canicule le lendemain, sachant qu'aujourd'hui la journée a été également caniculaire.

Projection future

D'après le rapport spécial du GIEC (2018), il est très probable que les vagues de chaleur seront plus fréquentes et dureront plus longtemps. Toutefois, des extrêmes froids pourront continuer de se produire occasionnellement en hiver. Il existe trois méthodes d'ajustement : la méthode des points extrêmes, la méthode de Mayer et la méthode des moindres carrés [3].

Cette méthode consiste à calculer de façon successive la moyenne des valeurs observées. L'ensemble des points moyens obtenus permet de tracer une droite de tendance

et une prévision.[4] C'est la méthode d'ajustement la plus fiable car elle permet d'obtenir les résultats les plus précis. Cette fonction linéaire répond à une équation du type :

$$y = ax + b$$

y : en ordonnée est la variable expliquée de la série (nombre de jour de canicule)

x : en abscisse est la variable explicative (le temps) en générale dans notre cas la prévision des canicules est un résultat fourni en passant par le calcul des coefficients saisonniers et la droite de tendance impliquant.

$$A = \frac{\sum x_i y_i - N(\bar{x}_i \bar{y}_i)}{\sum x_i^2 - N\bar{x}_i^2} \quad (2)$$

$$B = y_i - A\bar{x}_i \quad (3)$$

On aura l'équation de la tendance pour les stations Adrar et Béchar respectivement comme suit :

$$y = 0.59x + 17.37 \quad (4)$$

$$y = 0.347x + 16.2 \quad (5)$$

Avec: x_i = rang

y_i = nombre des jours de canicule corrigés par le coefficient saisonnier.

N = nombre des rangs (série de 35 ans, $N=35$)

$\bar{x}_i$ = somme de rangs/ N

$\bar{y}_i$ = la somme totales des jours canicule (1984/2018)/ N

Le traitement de ces données a été fait en utilisant les nouvelles fonctionnalités de prévision du logiciel Excel 2016.

2. Résultats et discussion

L'analyse climatologique des résultats obtenus par les deux stations nous donne des informations sur les statistiques concernant les journées de forte chaleur durant la saison estivale pour la période 1984-2018 : Adrar : nombre de séquence chaude ($\geq 75^\circ\text{C}$) est de l'ordre de 157 (un total de 845 jours représente +25% de la période des trois mois de chaleur). Bechar : nombre de séquences chaudes ($\geq 70^\circ\text{C}$) est 98 (un total de 491 jours et un taux de 15%). A partir des figures 1 et 2, on remarque que pour les 35 dernières années les séquences de deux jours de chaleur représente (+34%) dont les courtes durée de chaleur sont importantes (moins de quatre jours consécutif) représente (+60%) des cas à la station d'Adrar. la station de Bechar, (+60%) pour les courtes durées, dont (+33%) pour le cas de deux jours de chaleur. En effet les statistiques appliquées (distribution des périodes de forte chaleur) aux longues séries de température

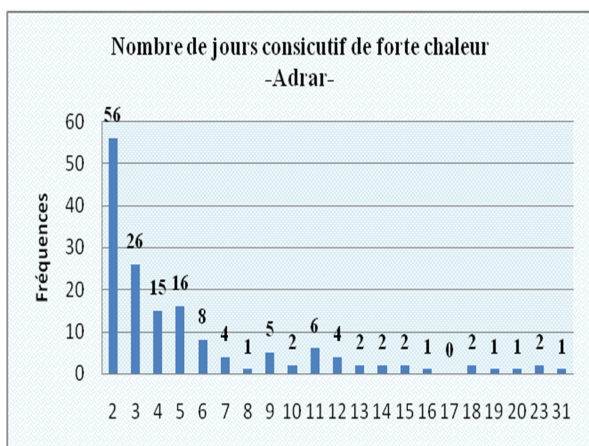


Figure 1. Fréquence des jours ou ($T_{max} + T_{min} \geq 74^{\circ}\text{C}$) Adrar

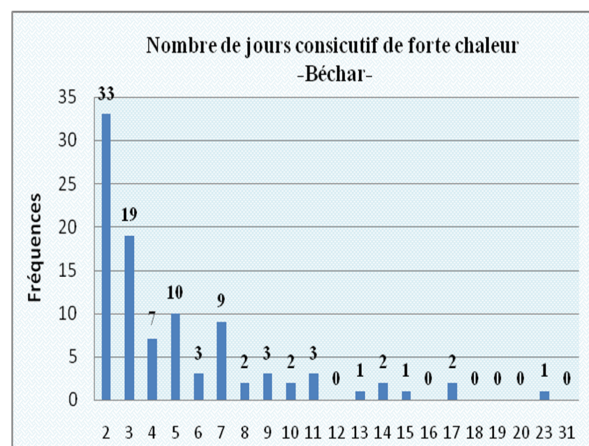


Figure 2. fréquence des jours ou ($T_{max} + T_{min} \geq 70^{\circ}\text{C}$) Bechar

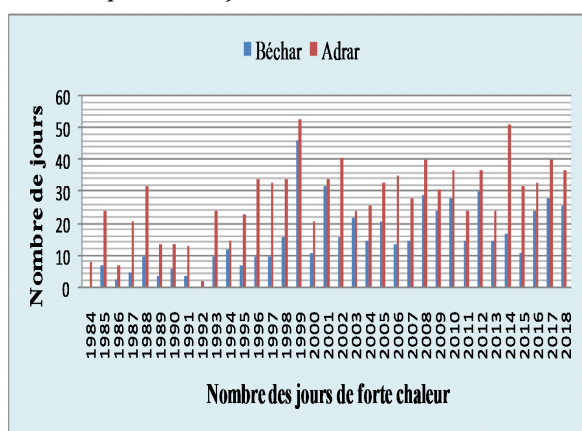


Figure 3. Nombre de jour de forte chaleur Bechar et Adrar et la tendance

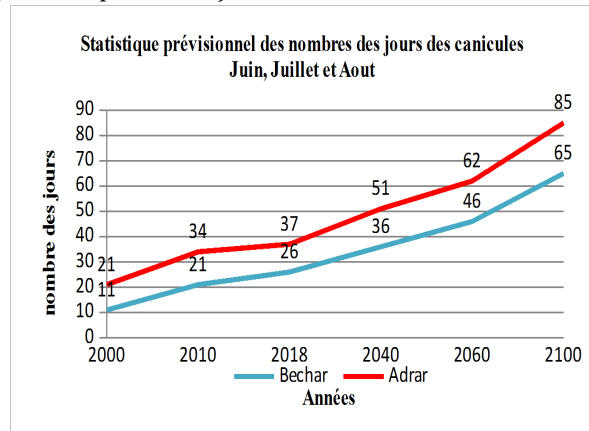


Figure 4. Projection future des nombres de jours canicules

montrent les mois les plus chauds de l'année : juillet (62% à Béchar et 65% Adrar), et août (32% à Béchar et 35% Adrar).

La figure (Fig 3) montre une chronologie des séquences des vagues de chaleur pour les deux stations, l'année 1999 est exceptionnelle pour les deux points de d'étude, 46 jours de chaleur à Bechar et 53 à Adrar, On remarque que les périodes de chaleur les plus courtes, à Béchar et Adrar, sont également les plus nombreuses, encore des séquences plus longues sont observées ces dernières années (31, 23, 20 jours 2018, 2017, 2016 pour Adrar et 23, 17, 17 jours 2018, 2017, 2016 pour Béchar). La conformation des données des deux stations montre la persistance des conditions météorologiques laudatives à l'existence des séquences de forte chaleur Figure (2 et 3). La figure 3 présente l'évolution annuelle des jours de canicules durant la période 1984/2018, une tendance à la hausse pour les deux stations, une valeur exceptionnelle en 1999 pour les deux stations, une valeur exceptionnelle en 1999 pour les deux stations, une valeur exceptionnelle en 1999 pour les deux stations, une valeur exceptionnelle en 1999 pour les deux stations, un taux énorme pour les deux mois juillet et août (62 jours). Selon le GIEC, les risques dus au phénomène de réchauffement climatique sont nombreux. L'Algérie ne sera pas à l'abri de bouleversements météorologiques. Ainsi, l'Algérie du Nord est majoritairement une région à risque extrême

(selon l'index « Climate Change Vulnerability »). Dû au changement climatique, l'Algérie connaîtra une baisse des précipitations, entraînant une désertification de la région Nord de l'Algérie et une dégradation des systèmes agricoles, selon les données fournies par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, et aussi les températures vont augmenter de 3,7% à 4.8% d'ici un siècle.

Le nombre de jours de vagues de chaleur devrait donc logiquement augmenter ? Les données que nous avons étudiées montrent clairement un changement significatif du nombre de journées chaudes. Entre 1984 et 2018, dans les stations Béchar et Adrar, respectivement dans les 16 et 28 jours par an, nous constatons un changement dans la moyenne des deux stations en divisant la série en périodes (1984/2001) et (2000/2018). Béchar d'une moyenne de 9.5 jours/an augmente à 21.2 et pour Adrar de 21.9 à 33.7 jours par an, une croissance de plus de onze jours.

En effet, tous les signes des recherches faites sur le changement climatique brusque à notre zone, nous donne la possibilité de prendre les résultats de notre projection en terme phénomène tel que le cas de notre étude (Canicule) en considération. La figure 4 qui représente les projections future

des nombres de jours canicules, montre une augmentation significative du nombre de jours de vagues de chaleur de 37 à 85 jours par an, d'un taux de 40% des mois de chaleur en 2018 arrive à 92% en 2100 à la station d'Adrar, et de 28% en 2018 arrive à 71% en 2100 à la station de Béchar.

3. Conclusion

En conséquence, il faut s'attendre à ce que des phénomènes de canicule comme celui qui s'abat sur le pays cette année, sur une absence de politique climatique mondiale, on peut tabler sur une augmentation de 4 °C de la température moyenne du globe à « l'horizon 2100 », en effet les figures ci-dessus nous faire conclure, une tendance à la hausse pour les deux stations (aussi pour Tindouf, Timimoune et Beni-Abbes). La synchronisation du phénomène, Les séquences de chaleur les plus courtes (2 à 4 jours) sont les plus fréquentes et les séquences de longue durée sont bien remarquables durant les dernières années. Comme chaque entreprise l'étude des données et leurs amplitudes chronologique, on constate qu'il y a une activité vers la hausse des canicules.

Ce résultat nous oblige à prendre les précautions en avenir dans les différents secteurs météorologiques (prévision, climatologie et instrumentation) et d'adopter des systèmes d'alerte qui suit l'évolution de ce phénomène en avenir.

References

- [1] Robert Quayle and Fred Doehring. Heat stress: A comparison of indices. *Weatherwise*, 34(3):120–124, 1981.
- [2] BELAID ABDERRAHMANI, M Haouari, A Dobbi, M Hadjel, and N Hassini. Analyse et modelisation des extremes de temperature au niveau de quelques stations types du nord ouest algerien. 2015.
- [3] Robert Nau. Forecasting with moving averages. *Fuqua School of Business, Duke University*, pages 1–3, 2014.
- [4] FACI Mohammed and MATARI Amar. Contribution à l'étude des canicules en algérie (cas d'oran et de béchar). *International Journal of Innovative Technical and Applied Sciences*, 1(01):001–012, 2017.

Étude de comblement de lacunes : Cas des séries pluviométriques observées du réseau de l'ONM

KERTALI Fouzia ^{1*}

Abstract

Les données manquantes sont fréquentes dans les séries météorologiques et peuvent entraîner d'importantes erreurs dans l'estimation statistique des paramètres. Ce travail expose les différentes méthodes théoriques de traitement des séries lacunaires. La méthode de double masse est choisie dans cette étude pour rattraper des données manquantes d'une série de données pluviométriques. L'efficacité de cette méthode est mise en exergue après un second test appliqué sur un autre jeu de données.

Keywords

comblement de lacune, méthode de double masse, donnée pluviométrique manquante, homogénéité.

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

*Correspondante: fouzia.khadidja@yahoo.com

Contents

Introduction	47
1 Méthode de comblement des données manquantes	47
2 Cas d'étude et choix de méthode	48
2.1 Description des données utilisées	48
2.2 Méthode et discussion	48
Test de la médiane : appliquée à la série de référence (Dar El Beida) • Méthode des doubles masses	
2.3 Calcul du gain	51
2.4 Extension de la série Y :	51
3 Test de validation de la méthode	52
4 Conclusion	55
References	55

La climatologie est la science du climat. Mais son domaine d'application n'est pas restreint à ce dernier. Il s'agit d'une discipline beaucoup plus vaste. Elle emprunte à d'autres sciences des notions ou des résultats dont elle a besoin en faisant appel à des moyens techniques de plus en plus sophistiqués. On peut citer quelques unes : toutes les sciences concernant l'atmosphère comme la physique, la biologie, l'agronomie, l'hydrologie, l'économie, l'informatique et surtout les statistiques pour le traitement et l'utilisation rationnelle des données. [1] Pourquoi corriger la série climatique ? Parmi les questions qui agitent les scientifiques à propos du changement climatique revient continuellement celle de la comparaison de la variabilité climatique actuelle avec celle du passé. A l'échelle du dernier millénaire, les mesures directes ne sont pas disponibles, il faut donc les reconstruire. Cependant, depuis le XIX^{ème} siècle, nous disposons de nombreuses longues séries d'observation instrumentales. Mais leur qualité doit être étudiée au préalable. Par définition, une série d'observation météorologique[2] est dite homogène lorsque les conditions de mesure n'ont

pas varié au cours du temps. L'homogénéité ou plutôt l'absence d'homogénéité des longues séries instrumentales en climatologie est un problème connu depuis longtemps, le déplacement des postes climatologique au cours du temps, la modification des sites de mesure, de l'instrumentation, des méthodes de calcul des paramètres météorologiques[3] et les changements d'observateurs, parmi tant d'autres, vont se traduire par autant de sauts dans les séries de données. Or, ces ruptures artificielles peuvent être du même ordre de grandeur que les phénomènes qu'on cherche à mettre en évidence dans les séries climatiques, comme les tendances, les cycles, etc. Leur correction est donc indispensable avant toute étude climatique sérieuse.

1. Méthode de comblement des données manquantes

En statistique, on parle de valeur manquante lorsqu'on ne dispose pas d'observation pour une variable donnée ou pour un individu donné. Le problème de la gestion des données manquantes est un vaste sujet. Les données manquantes ne peuvent pas être ignorées lors d'une analyse statistique. Selon leur proportion et leur type, des solutions différentes vont être choisies. On pourra soit tirer les variables ou les individus présentant des données manquantes ou imputer des valeurs aux données manquantes ou encore développer des méthodes (ou algorithmes) qui permettent de mener les analyses en présence de données manquantes. En statistique, on définit trois types de données manquantes :

- Données manquantes complètement aléatoire (MCAR)
- Données manquantes aléatoires (MAR).
- Données manquantes non aléatoires (NMAR).

Les modèles mathématiques les plus connues pour combler les données manquantes sont :

- a. **Les méthodes d'imputation les plus simples** : consistent à remplacer les données manquantes par leur moyenne ou leur médiane.
- b. **Imputation par tirage conditionnel** : on peut améliorer l'idée de l'imputation par la moyenne en réalisant de l'imputation par tirage conditionnel. Le principe est d'utiliser l'information apportée par les variables renseignées. Plusieurs approches sont possibles :
 - b.1. Estimer la loi jointe et générer conditionnellement une réalisation pseudo-aléatoire de cette loi. Mais il est généralement difficile d'estimer une loi jointe au-delà de deux ou trois variables. Une alternative intéressante et plus facile à mettre en œuvre et qui consiste à utiliser une méthode des plus proches voisins.
 - b.2. Réaliser une classification à partir des variables complètement renseignées et estimer la moyenne conditionnelle par classe. On peut voir cette approche comme une sorte de généralisation de la méthode des plus proches voisins.
 - b.3. Construire un modèle de régression à partir des individus complètement renseignés et l'utiliser pour prédire les données correspondantes aux données manquantes.
- c. **Imputation par analyse factorielle** : Considérons le cas de données issues de variables quantitatives. L'analyse en composante factorielle permet de reconstruire des données par projection dans un espace de dimension réduite. Cette caractéristique peut être exploitée pour remplacer des données manquantes. L'approche la plus naïve consiste à estimer la matrice de covariance à partir des individus renseignés puis d'estimer les paramètres de l'analyse en composantes principales et enfin à construire les données manquantes.

2. Cas d'étude et choix de méthode

Soient deux stations pluviométriques X et Y situées à quelques kilomètres l'une de l'autre. Ces stations ayant fonctionné sur une période connue. En supposant que les séries pluviométriques des précipitations annuelles de la station X est la station de référence et que l'erreur recherchée se trouve au niveau de la station pluviométrique Y (série à étudier). Pour résoudre le problème qui se pose nous avons choisi la méthode de construction de modèle par régression à partir des individus complètement renseignés, on demande donc de :

- Vérifier l'homogénéité de la série de la station de référence X en appliquant le test de la médiane.
- Détecter l'erreur systématique de la station étudiée et faire la correction par la méthode des doubles masses s'il y'a des erreurs.

- Projeter sur un diagramme de dispersion les séries avant et après correction.
- Vérifier l'homogénéité de la série Y.
- Donner la droite de régression de Y en X.
- Calculer le gain obtenu pour l'extension.
- Faire l'extension de la série courte à la série longue.

Description des données utilisées

Les données utilisées pour cette étude sont les données des précipitations annuelles obtenues de l'Office National de la Météorologie (ONM) et relevées à la station de Dar El Beida qui est une station de référence (ou de base) et la station d'Alger Port qui est supposée être la station à étudier, et ce, sur une période 24 ans allant de 1983 jusqu'au 2018. La série d'Alger port présente des lacunes entre 1995 et 2001.

Méthode et discussion

L'homogénéisation des données consiste à identifier les séries pluviométriques et vérifier s'il n'existe pas d'erreurs systématiques qu'il convient de rechercher et de corriger s'il y'a lieu pour la fiabilité de l'information et de tester enfin la série de référence utilisée pour d'autres séries.

Test de la médiane : appliquée à la série de référence (Dar El Beida)

- N_s : nombre total de série de + ou de - dans la série tels que ; + Pour les $X_i > m$ (médiane) Pour les $X_i < m$
- T_s : taille de la plus grande série de + ou de - au-dessus de la médiane
- N_s suit une loi normale et T_s suit une loi binomiale.

Pour un seuil de signification compris entre 91% et 95 %, les conditions du test sont les suivantes :

$$N_s > \frac{1}{2}(N+1 - U_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{N+1})$$

$$T_s < 3.3 \log_{10}(N+1)$$

Où N : représente le nombre total de valeurs de la série de référence Si les conditions du test sont vérifiées, on conclut que la série étudiée est homogène au seuil $1 - \alpha$.

Résultat du test sur la série de Dar El Beida :

- $N = 36$, $m = 594$, $U_1 - \frac{\alpha}{2} = 1.96$ (lu sur la table de gauss pour un seuil de signification $1 - \alpha = 95\%$).
- $N_s = 18$ (déterminé sur la série) > 12.53 (calculé).
- $T_s = 3$ (déterminé sur la série) < 8.43 (calculé).

Année	Dar El Beida	Alger port	Année	Dar El Beida	Alger port
1983	335	363	2001	443	-
1984	886	577	2002	478	528
1985	709	379	2003	733	739
1986	748	592	2004	706	845
1987	489	498	2005	539	739
1988	578	458	2006	609	681
1989	320	295	2007	804	793
1990	457	330	2008	530	707
1991	433	368	2009	621	581
1992	758	540	2010	649	810
1993	491	396	2011	673	838
1994	458	479	2012	853	873
1995	553	-	2013	883	908
1996	803	-	2014	555	561
1997	548	-	2015	439	612
1998	611	-	2016	567	575
1998	807	-	2017	680	609
1998	283	-	2018	630	586

Table 1. Données pluviométriques utilisées dans cette étude

La série de référence est donc homogène. L'homogénéité de la série de référence étant vérifiée, cette dernière servira de base pour la détection des erreurs systématiques dans la série à étudier.

Cependant, les stations pluviométriques auxquelles les séries sont concernées doivent appartenir aux mêmes conditions climatiques.

Il est important d'identifier la station de base ou de référence pour pouvoir détecter et corriger les erreurs de la station à étudier.

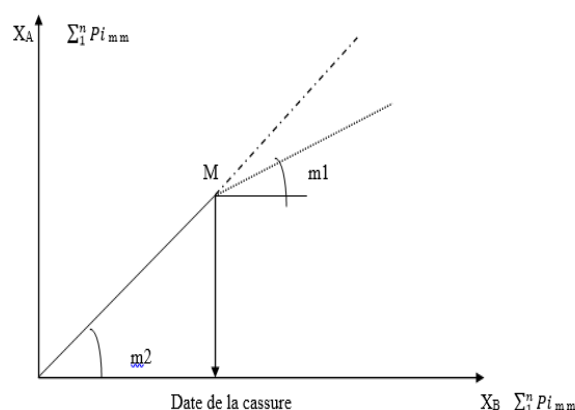


Figure 1. Méthode des doubles masses et son principe

Méthode des doubles masses

La station à étudier est celle d'Alger Port (Y) qu'il convient de vérifier et de corriger en cas d'erreurs et d'étendre pour son utilisation future. Dans cette étude, la méthode des doubles masses est utilisée. Les valeurs correspondantes à la même période d'observation sont reportées en coordonnées rectangulaires, obtenant une courbe dite courbe de double cumul. Si les données de la station contrôlée sont homogènes par rapport à celles de la station de base, la courbe des doubles cumul prend une forme de droite (Fig. 1). Si elle possède une cassure à partir d'un point M, les observations à partir de ce point sont considérées hétérogènes. Dans le cas où l'hétérogénéité est détectée, la correction s'effectue par modification de la pente de la droite de double cumul des données antérieures ou postérieures à la date de la cassure.

On considère les données observées en multipliant le rapport de pente $\frac{m_1}{m_2}$ par la valeur erronée dans la série observée.

Procédé :

Le tableau 2 représente les valeurs initiales et cumulées des précipitations annuelles au niveau des deux stations pluviométriques. La méthode de la double masse appliquée aux cumuls annuels des deux stations a permis de confirmer l'homogénéité de la série des pluies annuelles de la station (Y) comme le montre la figure 2.

Année	Précipitations annuelles en mm relevées à la station de base (X)	Précipitations annuelles en mm relevées à la station à étudier (Y)	Cumul à la station (X) en (mm)	Cumul à la station (Y) en (mm)
2002	478	528	478	528
2003	733	739	1211	1267
2004	706	845	1917	2111
2005	539	739	2457	2850
2006	609	681	3066	3531
2007	804	793	3870	4324
2008	530	707	4400	5031
2009	621	581	5021	5611
2010	649	810	5670	6421
2011	673	838	6343	7259
2012	853	873	7196	8131
2013	883	908	8079	9039
2014	555	561	8634	9600
2015	439	612	9073	10211
2016	567	575	9640	10786
2017	680	609	10319	11395
2018	630	586	10950	11981

Table 2. Cumul annuel des précipitations au niveau des 2 stations.

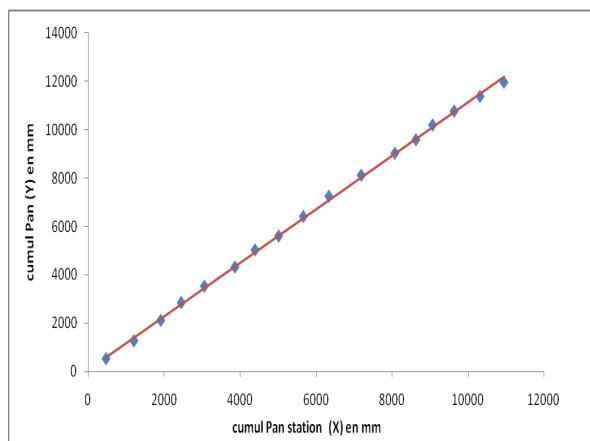


Figure 2. Représentation graphique des données

La droite de régression régressant Y en X :

$$Y = 0,733X + 232,6 \quad (1)$$

avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,55$ ce qui donne un coefficient de corrélation $r = 0,74$.

Test de corrélation :

Le coefficient de corrélation est un indice statistique qui exprime l'intensité et le sens (positif ou négatif) de la relation linéaire entre deux variables. C'est une mesure de la liaison linéaire. C'est-à-dire de la capacité de prédire une variable X par une autre Y à l'aide d'un modèle linéaire.

Matrice de corrélation (Pearson (n)) :

Variables	Alg.DEB	Alg.PORT
DEB	1.000	0.741
AORT	0.741	1.000

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de

signification $\alpha=0,05$

Test de Sphéricité de Bartlett :

χ^2 (valeur observée)	11,526
χ^2 (valeur critique)	3,841
DDL	1
P-value	< 0,0001
α	0,05

Interprétation du test :

H_0 : Il n'y a pas de corrélation significativement différente de 0 entre les variables.

H_a : Au moins l'une des corrélations entre les variables est significativement différente de 0.

Étant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification

$\alpha = 0,05$, on doit rejeter l'hypothèse nulle H_0 , et retenir l'hypothèse alternative H_a .

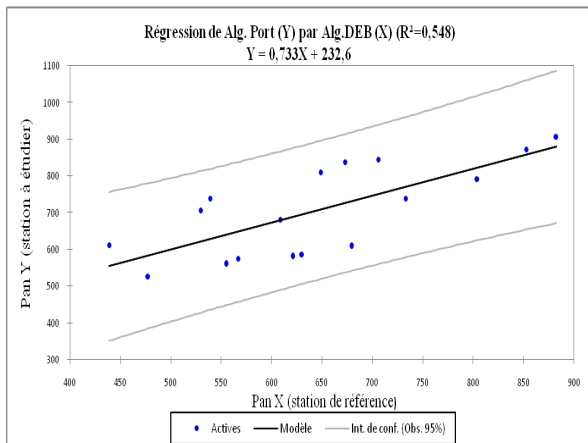


Figure 3. Relation entre la station de référence (Alger DEB) matérialisée par (X) et celle d'Alger port par (Y)

Cette droite permettra de faire l'extension de la série Y, c'est-à-dire combler les lacunes de la série des pluies relative à Alger port.

Calcul du gain

Avant de combler les lacunes, [4] il convient de chercher la taille de la nouvelle série, c'est-à-dire, en d'autres termes, cela revient à calculer le gain. Les séries étant de tailles différentes, il est difficile d'étendre la série courte à la série longue sans préalablement connaître jusqu'à combien de valeurs peut on étendre la série courte.

Rappel :

Le bénéfice de l'extension de la série Y à l'aide de la série X pour la connaissance de la série Y est d'autant plus grand que le coefficient de corrélation est élevé.

$$E = 1 + \left(1 - \frac{N}{K}\right) \left[\frac{1 - (K-2)r^2}{K-3}\right] \quad (2)$$

E: Efficacité relative de $\bar{y}_K$ et de $\bar{y}$ définie par le rapport de la variance de $\bar{y}$ et celle de $\bar{y}_K$.

Ce bénéfice est traduit, en utilisant E sous forme d'un gain réel d'information que l'on exprime à l'aide du nombre d'années efficaces ou fictives N' à laquelle correspond l'échantillon Y étendu.

N' varie de K à N (gain maximum, liaison fonctionnelle entre X et Y et $r = 1$)

$$N' = \frac{K}{E}$$

avec $K > 3$

Pour notre cas :

$K = 17, R^2 = 0.55$ d'où $r = 0.74$

$N = 36, N' \approx 22, E = 0.78$

Ceci représente une série de vraies valeurs observées dans laquelle on pourrait avoir la même confiance que dans les 17 observations et 7 valeurs reconstituées.

Extension de la série Y :

On commence d'abord de combler les lacunes par les années les plus récentes en utilisant l'équation 1 régissant la relation de Y en X. Les résultats sont présentés dans le tableau 3 :

Après comblement des lacunes de la station d'Alger Port, le coefficient de corrélation est significatif. Il est passé de 0.74 à 0.83 (Fig. 4). La droite de régression régissant la relation Y en X est :

$$Pan(Y) = 0.7333Pan(X) + 232.6 \quad (3)$$

Avec Pan représente les précipitations annuelles.

Test de corrélation :

Matrice de corrélation :

Variables	Alg.DEB (X)	Alg.Port (Y)
Alg. DEB (X)	1.000	0.837
Alg. Port (Y)	0.837	1.000

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha = 0.05$

χ^2 (valeur observée)	25,968
χ^2 (valeur critique)	3,841
DDL	1
P-value	< 0,0001
α	0,05

Interprétation du test :

H_0 : Il n'y a pas de corrélation significativement différente de 0 entre les variables.

H_a : Au moins l'une des corrélations entre les variables est significativement différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification $\alpha = 0.05$, on doit rejeter l'hypothèse nulle H_0 , et retenir l'hypothèse alternative H_a .

L'erreur quadratique moyenne :

Pour tester la méthode appliquer on calcule l'erreur relatives quadratique moyenne donnée par l'expression suivante :

$$ER = \frac{\sum_1^n (V_O - V_R)}{\sum_1^n (V_O - V_R)^2}$$

V_O : Valeur observée

V_R : Valeur rattrapée

ER calculé = 0.02, Où n est le nombre de valeur rattrapée.

Année	Précipitations annuelles en mm relevées à la station de base (X)	Précipitations annuelles en mm relevées à la station à étudier (Y)
1995	553	638
1996	803	821
1997	548	634
1998	611	680
1999	807	824
2000	283	440
2001	443	558
2002	478	528
2003	733	739
2004	706	845
2005	539	739
2006	609	681
2007	804	793
2008	530	707
2009	621	581
2010	649	810
2011	673	838
2012	853	873
2013	883	908
2014	555	561
2015	439	612
2016	567	575
2017	680	609
2018	630	586

Table 3. Comblement des données manquantes (valeurs en rouge) avec la méthode de double masses.

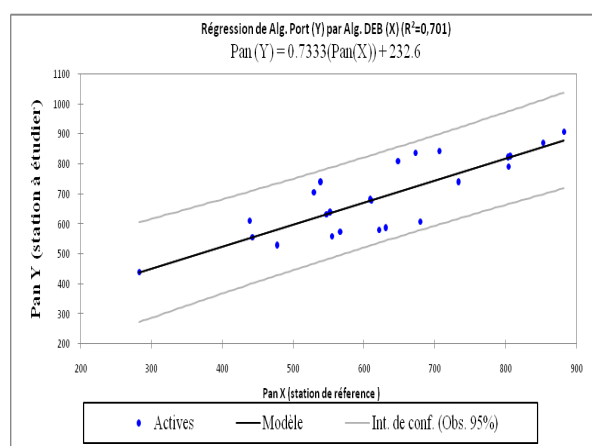


Figure 4. Relation de Y en X après comblement de la série lacunaire Y (Alger Port)

3. Test de validation de la méthode

Pour valider la méthode, on procédera à une vérification à travers un test sur la série d'Oran Es Senia qui est la station de référence et la station d'Oran port qui sera considérée comme une station à tester. Les données des deux stations étant homogènes ne possèdent pas de lacunes. La méthode consiste à enlever volontairement quelques valeurs de la

série d'Oran port et d'essayer d'estimer ces valeurs en appliquant la méthode de double masse utilisée précédemment. On procédera par la suite à la comparaison des résultats obtenus avec les données réelles. On suppose que la série d'Oran port est lacunaire de 1987 jusqu'à 1991 et de 2015 à 2018, les données sont présentées dans le tableau suivant :

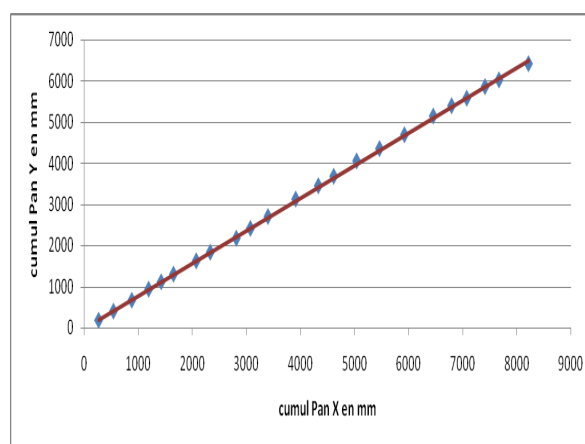


Figure 5. Représentation graphique des données du cumul des précipitations issues du tableau N:5.

Année	Précipitations annuelles en mm relevées à la station de base (X) (Essenia)	Précipitations annuelles en mm relevées à la station à étudier (Y) (Oran port)
1988	264	171
1989	274	222
1990	458	409
1991	352	381
1992	340	265
1993	311	268
1994	232	179
1995	405	235
1996	347	271
1997	286	199
1998	227	188
1999	421	323
2000	260	209
2001	482	341
2002	260	239
2003	391	398
2004	381	312
2005	272	208
2006	325	290
2007	513	424
2008	418	325
2009	286	230
2010	423	373
2011	423	299
2012	462	338
2013	533	458
2014	339	248
2015	280	184
2016	338	281
2017	258	164
2018	546	394

Table 4. Données de précipitations au niveau des stations d'Oran Es Senia et d'Oran Port. Les valeurs en rouge sont les valeurs qui seront supposées manquantes.

La droite de régression régissant Y en X :

$$Y = 0.778X + 0.917$$

(4)

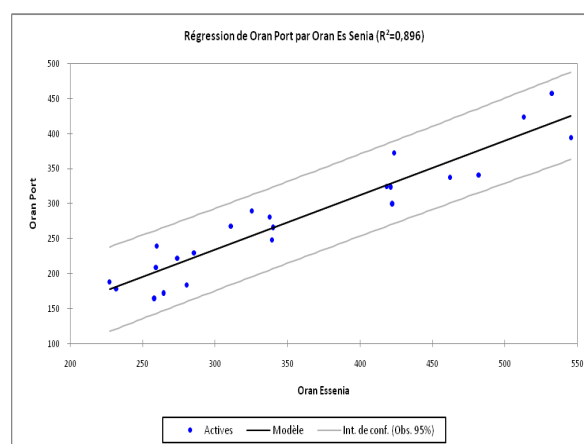


Figure 6. Relation entre la station de référence (Es Senia) matérialisée par (X) et celle d'Oran port par (Y)

avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,55$ ce qui donne un coefficient de corrélation $r = 0.94$.

Année	Précipitations annuelles en mm relevées à la station de base Oran Es Senia(X)	Précipitations annuelles en mm relevées à la station à étudier Oran port (Y)	Cumul à la station Oran Es Senia (X)en (mm)	Cumul à la station Oran port(Y) en (mm)
1988	264	171	264	171
1989	274	222	539	393
1992	340	265	879	659
1993	311	268	1190	927
1994	232	179	1422	1106
1998	227	188	1649	1294
1999	421	323	2070	1617
2000	260	209	2330	1826
2001	482	341	2812	2167
2002	260	239	3071	2406
2006	325	290	3396	2696
2007	513	424	3909	3120
2008	418	325	4328	3445
2009	286	230	4613	3675
2010	423	373	5037	4048
2011	423	299	5459	4347
2012	462	338	5921	4685
2013	533	458	6454	5143
2014	339	248	6793	5391
2015	280	184	7073	5575
2016	338	281	7411	5856
2017	258	164	7669	6020
2018	546	394	8214	6414

Table 5. Données de précipitations annuelles relevées au niveau des deux stations (Oran Es Senia et Oran Port) ainsi que Cumul annuel des précipitations au niveau des 2 stations

Calcul du gain :

$K = 23$; $R^2 = 0.896$ d'où $r = 0.94$

$N = 31$; $N' = 29.4$; $E = 0.78$

Extension de la série Y :

On commence d'abord de combler les lacunes par les années les plus récentes en utilisant l'équation 4 régissant la relation de Y en X. Les résultats sont présentés dans le tableau 6:

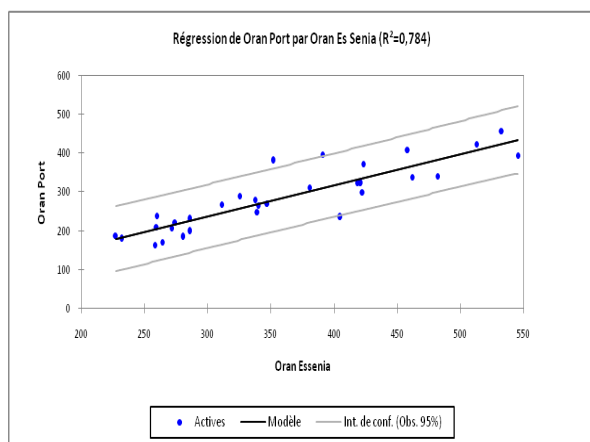


Figure 7. Relation entre la station de référence (Oran Es Senia) et celle d'Oran port

Après comblement des lacunes de la station d'Oran Port le coefficient de corrélation est significatif.

Il est passé de $r = 0.88$ (Fig. 7) à 0.96 (Fig. 8).

La droite de régression régissant la relation Y en X est :

$$Pan(Y) = 0.792Pan(X) - 5.348 \quad (5)$$

avec Pan est le cumul des précipitations annuelles.

L'erreur quadratique moyenne :

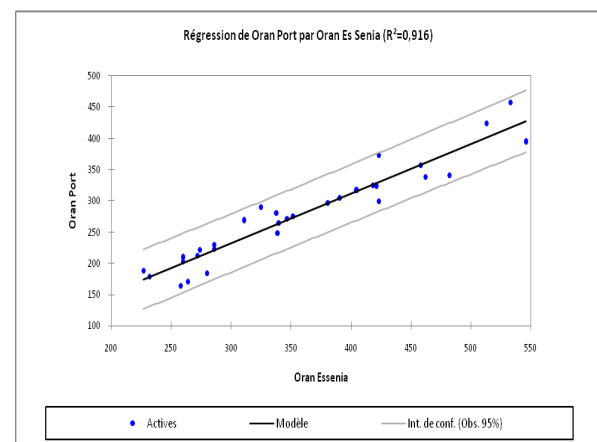


Figure 8. Relation entre la station de référence (Oran Es Senia) et celle d'Oran port après comblement

Année	Précipitations annuelles en mm relevées à la station de base Oran Es Senia(X)	Précipitations annuelles en mm relevées à la station à étudier Oran port (Y)	Précipitation annuelles en mm estimées à la station (Y) à étudier (Oran port)
1988	264	171	-
1989	274	222	-
1990	458	409	357
1991	352	381	275
1992	340	265	-
1993	311	268	-
1994	232	179	-
1995	405	235	316
1996	347	271	271
1997	286	199	223
1998	227	188	-
1999	421	323	-
2000	260	209	-
2001	482	341	-
2002	260	239	203
2003	391	398	305
2004	381	312	297
2005	272	208	212
2006	325	290	-
2007	513	424	-
2008	418	325	-
2009	286	230	-
2010	423	373	-
2011	423	299	-
2012	462	338	-
2013	533	458	-
2014	339	248	-
2015	280	184	-
2016	338	281	-
2017	258	164	-
2018	546	394	-

Table 6. Comparaison entre les valeurs réelles et les valeurs estimées.

$ER = 0.04$ De ce fait, on peut conclure que la méthode appliquée a pu en gros restituer les valeurs réelles malgré quelques différences, ce qui nous permettra de dire que cette méthode pourra constituer une alternative dans le rattrapage des données manquantes.

4. Conclusion

Les résultats obtenus dans cette modeste étude nous permettent d'ouvrir un chantier portant sur la reconstruction des longues séries des principaux paramètres climatologiques du réseau d'observation de l'ONM dans notre pays. A travers cette méthode d'imputation, notre choix s'est porté sur la méthode des doubles masses qui reste une méthode dépendante de la disponibilité des données et du type de paramètres étudié. Un cas d'étude effectuée sur la série d'Oran port nous a permis de tester l'application et d'apprécier cette méthode sur des données réelles. Les données rat-

trapées malgré qu'elles soient différentes en termes de valeurs, cette méthode a pu mettre en exergue une tendance proche de la réalité des quantités de pluie observées et l'erreur quadratique moyenne calculée entre les deux séries réelles et estimées reste relativement faible. Nous recommandons l'emploi d'autres méthodes de comblement de lacunes afin de tirer définitivement les meilleures approches à appliquer qui dépendent fortement de la nature du paramètre météorologique concerné ainsi que la longueur de la période lacunaire.

References

- [1] Yves Brunet-Moret. Etude de l'homogénéité de séries chronologiques de précipitations annuelles par la méthode des doubles masses. *Cah ORSTOM, ser Hydrol*, 8(4):3-31, 1971.

- [2] Présidente Mme LAGHA KARIMA Mr ADJLOUA, AZROU Mebrouk, Examinatrice Mme BARACHE AICHA, Rapporteur Mr AISSANI DJAMIL, and Rapporteur Mr AKDIM ABDELGHANI. Analyse statistique du couple pluie-température du bassin versant de la soummam. 2015.
- [3] Karima SOLTANI and Mahmoud HAOUARI. Reconstitution des séries mensuelles de températures maximales et minimales sur l'ouest algérien. *JAMA*, 1:83–87, 2017.
- [4] l'Institut des sciences mathématiques. Mathématiques de la planète Terre. <http://www.breves-de-maths.fr/pourquoi-corriger-les-series-climatiques/>, 2018. [en ligne; accées 2018].

Développement d'une Interface web pour la coordination Sigmet

Mohamed MEZRED^{1*}

Abstract

Dans le cadre de ce travail, une interface web permettant la visualisation des messages Sigmet a été développée. Alimentée en temps réel par des messages Taf, Metar et Sigmet, cette interface permettra aux prévisionnistes d'être complémentaires sur la prise de décision entre les prévisionnistes des pays du Maghreb dans la rédaction des messages sigmet. Ces données seront archivées dans une base bien structurée et interactive qui pourra être consultée à travers l'interface. En plus de l'archivage, cette interface a plusieurs fonctionnalités, elle permettra de voir la FIR (Fight Information Region) du pays voisin, la surveillance, la vérification des Sigmets et de tracer la zone d'alerte des renseignements Sigmet quand cela est nécessaire.

Keywords

Sigmet, Metar, Taf, CVM

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

*Correspondant: m.mezred@meteo.dz

Contents

Introduction	57
1 Interface web coordination sigmet	57
2 Fonctionnement	58
3 Conclusion	58
References	58

Les organismes internationaux tels que l'OACI (Organisation de l'aviation civile internationale) et l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) ont encouragé leurs pays membres à fournir des efforts pour l'élaboration d'une plateforme web permettant de faire apparaître les phénomènes pouvant être dangereux pour l'aviation civile. Sur la demande de l'OACI, lors de l'Atelier de Marrakech en Avril 2017, il était question de relancer ce projet de coordination Sigmet et qu'elle soit appliquée dans les Pays du Maghreb. L'Algérie a donc pris en charge ce projet suite aux recommandations de la 22ième réunion de la DMG/OACI et va coordonner avec nos voisins Maghrébins pour la réussite de ce projet. Nous avons fait des propositions visant à harmoniser les aspects complexes du processus de coordination à savoir la plateforme web visant à faciliter la mise en œuvre des procédures de coordination sigmet entre les CVM (Centre de Veille Météorologique) désignés pour assurer la veille des conditions météorologiques dans une région déterminée ou pour émettre des avertissements concernant des phénomènes météorologiques particuliers qui pourraient influencer sur l'exploitation aéronautique. La possibilité d'inclure davantage de prestataires de services météorologiques aéronautiques dans le processus régional de coordination est une conséquence de ce projet. L'augmentation continue du nombre de vols s'est accompagnée d'une demande croissante de renseignements plus récents, exacts et harmonisés. Une meilleure coordination

est nécessaire pour fournir aux utilisateurs des produits et des services d'une façon sûre est continue.

Suites aux excellents résultats obtenus en Asie et en Europe à savoir Met [1] alliance (Europe de l'Ouest, PT EAST (Europe de l'Est), HongKong et Japan, NAM/CAR régions (Amérique), l'Algérie s'est donc engagé à piloter ce projet sur l'Afrique du Nord puisque nous sommes membre de la DMG (Data Management Group) et représentant du Maghreb dans ce groupe de travail OACI. Ce projet a permis d'anticiper et de réagir pour éviter les phénomènes météorologiques dangereux pour l'aviation à grande échelle suite à l'organisation des discussions pré-tactiques sur une zone ayant affecté plusieurs FIRs, donc l'OACI encourage les états à développer cette technique dans d'autres régions.

1. Interface web coordination sigmet

C'est une interface WEB conçue en PHP «Hypertext Preprocessor» [2] pour répondre aux exigences des utilisateurs (prévisionniste chargé de l'émission des sigmet)[3]. Sa réalisation est précédée d'une méthodologie d'analyse et de conception qui a permis la représentation graphique des informations sur une « carte » regroupant les trois FIRs Algérie, Maroc et Tunisie. Ensuite, les informations issues des messages sigmet sont décodées pour extraire la validité et les coordonnées géographiques pour pouvoir tracer une aire représentant la zone d'information sigmet. Ces données sont lues à partir d'une base conçue sur un serveur MYSQL puis elles sont transférées vers le serveur WEB de l'O.N.M par le biais de programmes de transformation et de transfert écrits en PHP. Quant aux bases de données, nous avons utilisé MYSQL [4], pour la gestion et la réalisation de l'interface qui sera entièrement automatique. Cette étape est précédée d'une méthodologie d'analyse et de conception permettant de formaliser les différentes étapes du développement de cette application à savoir l'acquisition des données opmet

via notre système commutateur de message puis l'archivage de ces données dans un dossier pour être décodés et chargés dans une base de données MySQL.

Cette application répond à certaines règles décrites sur les manuels de l'OACI qui concernent le partage de l'information et la valorisation de la coopération entre les CVM. Les étapes de conception sont au nombre de trois (voir figure 1) à savoir, l'authentification (connexion), l'affichage des cartes avec les différents messages de données, l'édition et le décodage des sigmet pour extraire les coordonnées géographiques qui permettront de tracer un polygone délimitant une zone sigmet.

Ces cartes tracées représentent les données opmet. Un exemple est donné dans le tableau 1 pour chaque message et chaque point de la carte correspond à une station de l'Algérie, du Maroc et de la Tunisie, en ayant choisi comme validité le dernier message opmet reçu depuis le SMT (Système Mondial de Communication) selon le choix de l'utilisateur. Comme toute application WEB, cette interface a été développée en utilisant des programmes codés en PHP, CSS, HTML5, SQL, Javascript. En ce qui concerne le « mapping » nous avons utilisé Javascript chart et Geojson avec les bibliothèques javascript.Charts4 (charts.js, Echarts, Geodata). Cette application a été développée sur un serveur Mysql utilisant Xamp sur linux. Les protocoles d'échange de données entre le commutateur de message Messir.com et notre serveur se fait via ftp.

Entête	Exemple
Taf	TAF DAUB 022300Z 0300/0324 04008KT 9999 FEW040 SCT200BECMG0306/0309 16010KT BECMG 0316/0319 33012KT
Metar	METAR DATM 010600Z 18008KT CAVOK 17/M04 Q1015
sigmet	DTTC SIGMET 15 VALID 050745/051000 DTTA -DTTC TUNIS FIR SFC VIS 2000M SA OBS SOUTH OF N3400 INTSE

Table 1. Exemple de message Opmet

2. Fonctionnement

Dans un premier temps, l'utilisateur de l'interface aura à s'identifier puisque c'est un espace restreint dédié aux professionnelles prévisionnistes des centres de veille météorologique. Après identification, il faut lancer le lien coordination 'sigmet for Maghreb state' où s'affiche une carte du Maghreb

qui donne la main pour afficher en temps réel, les messages Metar (figure 2) de l'heure en cours, les Tafs (prévision d'aérodrome) ayant une validité de trois (3) et six (6) dernières heures.

Concernant le sigmet, une aire délimitant la zone des renseignement Sigmet est tracé selon les coordonnées géographiques de la zone extraite du message lui même. Comme on peut le voir sur la figure 3, la zone sigmet tracée en bleu a une validité qui est lue à partir du message Sigmet, sous comme le centre émetteur et les informations sur le phénomène dangereux. Par contre sur la figure 4, nous pouvons afficher le contenu du message Sigmet en temps réel où le prévisionniste peut coordonner avec les prévisionnistes des pays voisins sur l'évolution du phénomène météorologique dangereux à travers les limites de la FIR.

3. Conclusion

A travers cette nouvelle interface dynamique, les prévisionnistes des centres de veille météorologique des pays du Maghreb peuvent ainsi voir l'évolution des phénomènes dangereux pour l'exploitation aéronautique sur toutes les aires des FIR et d'être en cohérence avec les autres prévisionnistes des pays voisins et élaborer des messages expertisés. Ce travail peut être élargi en représentant graphiquement tout les messages météorologique utilisés dans la météorologie aéronautique ainsi que les cartes de prévision tels que les vents en altitude et TEMSI (temps significatif en altitude) qui peut servir aux compagnies aériennes pour leur suivi en temps réel des phénomènes dangereux. Aussi les éventuels développements de cette application devrait porter sur un meilleur fond de carte (faire apparaître les reliefs, type de sol etc..) et aussi développer la coordination sigmet sur les FIRs du sud de l'Algérie, Maroc et Tunisie.

References

- [1] DMG ICAO, METG. *EUR OPMET Data Management Handbook*. Number V-4. ICAO, 8 edition, 2018.
- [2] Rodolphe Rimelé. *HTML 5 - Une référence pour le développeur web*. 2e edition, 2013.
- [3] ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE. *GUIDE RÉGIONAL DES RENSEIGNEMENTS SIGMET POUR L'AFRIQUE ET L'OCEAN INDIEN (AFI)*. ESAF, WACAF, OACI, 9 edition, 2007.
- [4] Philippe Rigaux. *Pratique de MySQL et PHP*. 2e edition, 2003.

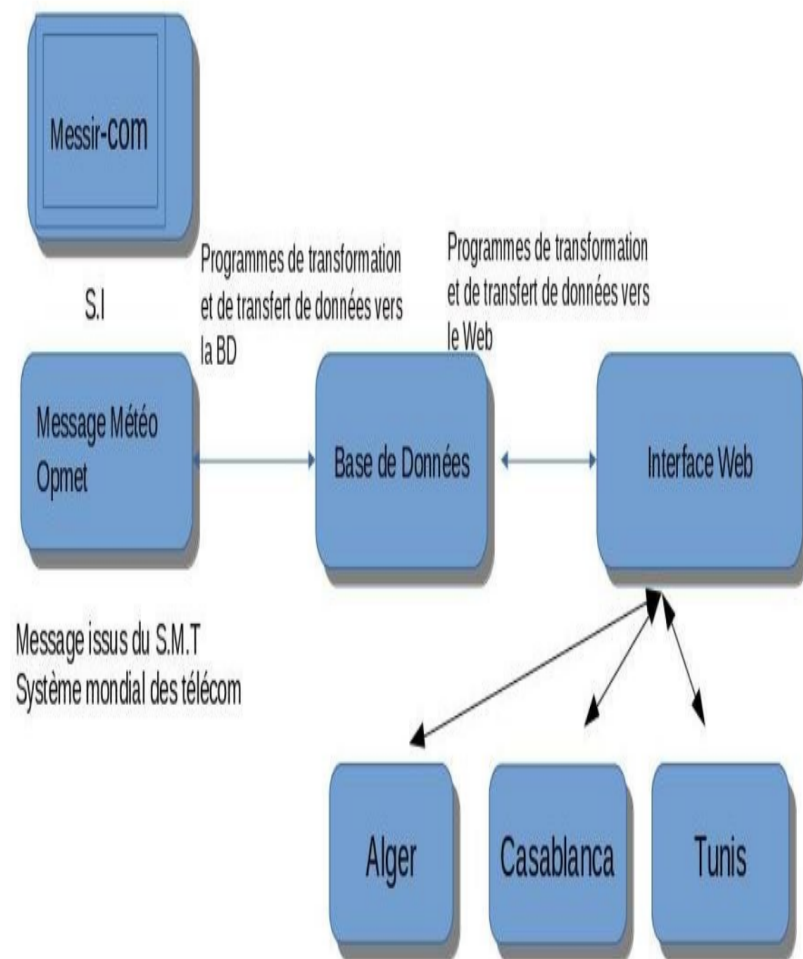


Figure 1. Schéma descriptif de l'application

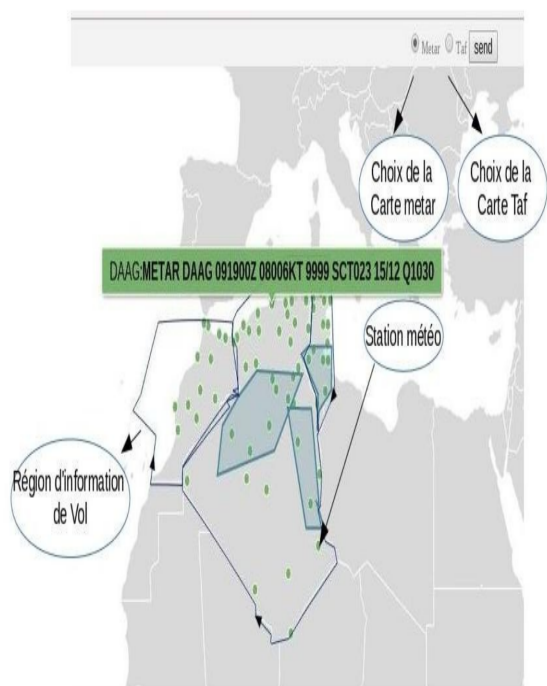


Figure 2. Affichage automatique du Message Metar



Figure 3. affichage de la carte délimitant un polygone et l'information sur le Phénomène Météorologique



Figure 4. affichage automatique du Message Metar

Application de l'indice Hot-Dry-Windy (HDW) pour la contribution à la prévision des feux de forêts au Nord de l'Algérie

Salah SAHABI ABED^{1*}, Selmane AHMED NOUR EL ISLAM¹, Amina BOUCETTA¹, Brahim Djebbar¹, Mehdi KERROUCHE¹

Abstract

Un nouvel indice de prévision des feux de forêts mis au point récemment par une équipe de chercheurs américains et élaboré sur la base de trois paramètres météorologiques fondamentaux dans le déclenchement et la propagation des feux de forêts à savoir : la température, l'humidité et le vent est testé et validé sur le nord de l'Algérie en saison estivale. Cet indice appelé HDW (Hot-Dry-Windy) faisant l'objet de la présente étude vise à apporter une contribution aux services en charge des forêts dans le pays. A ce titre, des cartes de HDW prévues sont établies avant et pendant des journées où l'on a relevé des incendies de forêt en Algérie pendant l'été de l'année 2017, ce qui a permis d'évaluer sa pertinence dans le monitoring de ce phénomène. Les données prévues des paramètres météorologiques issues du modèle AROME en exploitation et archivées à MétéoAlgérie sont utilisées pour élaborer des cartes de cet indice prévues 24 heures à l'avance au nord de l'Algérie, et ce, au pas de temps tri-horaire. Un système de vigilance météorologique dédié aux feux de forêts conçu sur la base des seuils climatologiques de cet indice est ainsi proposé. Ce système illustre grâce à la prévision à l'échelle quotidienne de l'indice HDW maximal le niveau de vigilance requis.

Keywords

feux de forêt, indice HDW, prévision des feux de forêts. Modèle AROME

¹ Office national de la météorologie (CCN), Dar El Beida, Alger

*Correspondant: salah_sahabi@yahoo.com

Contents

Introduction	61
1 Méthodologie – Données utilisées :	62
2 Résultats :	63
3 Tentative d'élaboration d'une carte de vigilance feux de forêts sur une base météorologique :	67
4 Conclusion	67
References	68

Les feux de forêt sont devenus des événements très dangereux ces dernières années en raison de leur fréquence et de leur répartition spatiale qui ne cessent de s'étendre. L'ampleur importante de ce phénomène engendrant de plus en plus des conséquences dévastatrices, affecte à la fois l'environnement et la sécurité de l'homme. Les feux de forêt ont un lien direct avec le climat et donc, avec les conditions atmosphériques qui sévissent.

En raison des impacts de ce phénomène sur les sociétés et les économies des pays, plusieurs chercheurs ont mis en œuvre plusieurs types d'indices de feux de forêts visant essentiellement sa prévision. On retrouvera cependant dans la littérature, l'Indice Forêt-Météo (FWI) (en anglais Forest Fire Weather Index) utilisé par le service forestier du Canada [1] et établi sur la base des conditions météorologiques propres aux incendies de forêt. Le FWI est fondé sur la teneur en humidité de trois classes de combustibles forestiers en plus de l'effet du vent sur le comportement du feu. Il consiste en six composantes : trois sous-indices primaires représentant l'humidité du combustible; deux sous-indices intermédi-

aires représentant le taux de propagation du feu et la consommation des combustibles et un indice final représentant l'intensité du feu sous forme du taux de rendement d'énergie par unité de longueur. Cet indice se réfère fondamentalement à une forêt standard de pin, mais il sert utilement comme un indice global du danger d'incendies de forêt au Canada. Il est élaboré au moyen des observations journalières des conditions météorologiques de température, d'humidité relative, de vitesse du vent et de pluviosité (si elle existe) relevée à midi. John J. Keetch et al. [2] ont proposé en 1968 un autre indice basé sur la sécheresse pour le contrôle des feux de forêts aux USA. Cet indice est basé sur la teneur en humidité qui est en fonction de la densité de la forêt, la pluie, l'humidité au sol et l'humidité dans le sol.

En Australie, on utilise McArthur Forest Fire Danger Index (FFDI) [3]. Cet indice est également basé entre autres, sur les paramètres météorologiques. Le FFDI est un outil incontournable dans l'évaluation des risques d'incendie en Australie. Il est associé à un intervalle de seuils de classes allant du faible à l'extrême. La formulation du FFDI [4] est basée sur la température maximale de la journée en cours, la vitesse du vent, l'humidité relative et un composant représentant les combustibles disponibles, appelés facteur de sécheresse. L'avancée technologique a permis et d'alerte des feux de forêts basé sur l'imagerie satellitaire. En effet, NASA a mis au point une plateforme dénommée

FIRMS (Fire Information for Resource Management System) qui diffuse les données de feu actif en temps réel dans les 3 heures d'observation par satellite, grâce à la fois au spectro-radiomètre imageur de résolution modérée (MODIS) et le radiomètre imageur infrarouge Visible Suite (VIIRS). L'impact des feux de forêts à l'échelle planétaire a suscité un intérêt important dans le contexte des changements climatiques. Sur ce plan, des relations liant les effets des feux de forêts sur l'intensification des gaz à effet de serre ont été établies. A ce titre, des mesures et une analyse d'un feu de forêt boréale intégrant les effets des gaz à effet de serre, les aérosols, les dépôts de carbone noir sur la neige et la mer de glace et les changements albédo de surface sont effectués après le feu. L'étude a conclu que l'effet net de tous les agents devait augmenter le forçage radiatif et donc contribuer davantage au réchauffement climatique. Dans l'objectif de prévoir et de contrôler ces feux de forêts, une nouvelle étude avait mis en évidence récemment (en 2018) un nouvel indice appelé HDW (Hot, Dry, Windy). Cet indice mis au point par une équipe de chercheurs américains [5] reste très simple à concevoir. Il combine en effet des paramètres purement météorologiques disposant d'un pouvoir important dans l'influence sur le potentiel de l'air au déclenchement de feu : il s'agit de la température, l'humidité et la vitesse du vent.

Le calcul de l'indice HDW au moyen des données prévues deviendra après une bonne maîtrise, un outil d'aide à la décision incontournable puisqu'il permettra de fournir des informations à l'avance sur le jour où les conditions climatiques peuvent déclencher des feux erratiques et donc contribuera au suivi dans la diffusion des alertes. Les conditions atmosphériques régissant cet indice dépendent exclusivement donc de la température, de l'état hygrométrique et du vent. Cependant, l'inclusion d'autres composants comme la topographie ou les combustibles pourra influencer la capacité et la performance de l'indice à prévoir le vrai potentiel de l'atmosphère à déclencher le feu ; c'est ce qui fait de cet indice un indice purement atmosphérique contrairement à beaucoup d'autres indices existants dans la littérature. Durant les dernières décennies, l'Algérie est devenue un des pays de la Méditerranée les plus touchés par les feux de forêt. Plus de 42555 événements de feux ont été observés au nord du pays durant la période 1985-2010 où plus de 910640 hectares ont été ravagés ; ce qui représente l'équivalent de 22% de la surface forestière [6]. Ce taux correspond à une moyenne annuelle de 1637 feux et 35025 ha de surface touchée [7].

Vu la complexité, la dangerosité et l'importance de ce phénomène recurrent, sa prévision a fait l'objet depuis quelques années d'une attention particulière au sein de l'Office National de la Météorologie (ONM). La participation active de l'ONM dans des projets méditerranéens à l'instar de « Climasouth » dirigé par la Direction Générale des Forêts (DGF) a permis d'acquérir des connaissances importantes sur ce sujet. Dans le cadre de la prévention contre

les phénomènes extrêmes pouvant engendrer des feux de forêts, Météo Algérie s'est investi pleinement grâce à la diffusion régulière de l'information à travers son système d'alerte de vigilance sur les journées caniculaires prévues. Les services de la protection civile sont alertés de ces journées considérées très favorables au déclenchement des feux de forêts, ce qui permettra par voie de conséquence à ces derniers de mobiliser les moyens d'intervention nécessaires suffisamment à l'avance. D'autres secteurs clé reçoivent également et régulièrement ces messages d'alerte entre autres, la direction générale des forêts et les réseaux de distribution électrique ou la Sonelgaz, les autorités locales... Plusieurs institutions mondiales spécialisées accordent un intérêt capital à ce phénomène. La figure 1 élaborée par l'Institut des Nations Unies pour la Formation et la Recherche (UNITAR) à travers le Programme Opérationnel pour les Applications Satellitaires (UNOSAT), montre la répartition de la densité des feux de forêts durant la saison estivale au nord de l'Algérie durant la période allant du 1er Juin au 23 Août 2012. Cette année illustre parfaitement le degré de danger des feux de forêts en Algérie et met en évidence l'impact important de l'augmentation de la température maximale sur la densité des feux. Ces feux ont pour rappel ravagé des forêts entières dans plusieurs wilayas à l'instar de Tipaza, Médéa, Bouira, Tizi Ouzou etc, qui ont connu durant cette période des températures maximales anormalement élevées.

Notre travail s'inscrit donc dans le cadre de la continuité de la contribution à la gestion des catastrophes relatives aux feux de forêts dans le contexte climatique adopté par l'ONM et initié par le projet « Climatsouth ». L'ONM en intégrant ce projet avait la charge de prédire d'autres types d'indices de forêts dans le contexte du changement climatique grâce à l'application de la méthode de la descente d'échelle sur les scénarios des projections futures du climat.

Dans cette étude, nous nous intéressons sur les feux de forêt dont le contexte purement météorologique où nous essayons d'élaborer et de vérifier la pertinence de l'indice HDW dans la contribution à la prévision des incendies de forêt. Notre travail est subdivisé en deux parties principales :

- La climatologie de l'indice HDW : calculée sur une période de 30 ans dans l'objectif de fixer les seuils d'alerte.
- La prévision de l'indice HDW : basée pour notre cas sur les sorties du modèle de prévision météorologique AROME au-dessus des 3 wilayas avant, pendant et après la date d'incendie de forêts observé dans le passé.

1. Méthodologie – Données utilisées :

Le potentiel d'évaporation de l'atmosphère est représenté par l'humidité et la température. Il est donc indispensable de trouver une relation qui lie à la fois ces deux paramètres,

car ils ne peuvent pas être considérés indépendants, à l'instar du déficit de pression de vapeur « VPD » (en anglais Vapor Pressure Deficit), qui n'est d'autre que la différence entre la pression de vapeur d'eau à une température donnée et la pression de vapeur saturée pour la même température. Le VPD s'avère plus informatif que l'humidité relative, car il représente le degré de sécheresse de l'atmosphère, ce qui constitue un élément important dans le suivi des conditions hygrométriques de l'atmosphère et permettra par conséquent d'estimer la probabilité de déclenchement des feux (Alan F. Srock et al. 2018). La figure suivante explique le choix du VPD par rapport à l'humidité. Le VPD représente en effet, la différence entre la tension de vapeur saturante et la tension de vapeur de l'air atmosphérique. On s'aperçoit d'après la figure 2 que l'on peut avoir la même valeur d'humidité pour deux températures différentes, ce qui n'est pas très informatif dans le cas des feux de forêts.

Les deux points en orange sur la figure 2 ont deux températures différentes : +10°C et +35°C pour la même valeur d'humidité qui est de 20% ; c'est-à-dire que ces points ayant les deux conditions de températures sont équivalents en terme d'humidité. Alors que le degré de sécheresse matérialisé par le VPD montre clairement que celui-ci augmente d'une façon exponentielle avec la température bien que l'humidité relative reste constante. Dans le domaine de la surveillance des feux de forêts, le VPD demeure un indicateur plus intéressant que l'humidité relative dans le sens où il matérialise mieux le degré de sécheresse et donc renseigne au mieux sur les conditions propices et favorables de déclenchement de feu.

Un avantage de cet indice demeure également dans la possibilité de le calculer sur n'importe quel lieu sur terre, et cela, sur une échelle temporelle et spatiale bien définie (échelle synoptique et méso-échelle.).

Calcul de l'Indice HDW :

La prévision des feux consiste en premier lieu à comprendre comment les paramètres météorologiques pouvant engendrer ces feux évoluent dans le temps et peuvent provoquer le déclenchement des incendies. Le principe du calcul de l'indice HDW repose sur ces paramètres météorologiques. L'indice proposé consiste à multiplier le vent par le déficit de pression de vapeur d'eau. Donc, plus le vent est fort et l'atmosphère est sèche, plus la propagation du feu sera rapide et on aura plus de difficultés, par conséquent, à le contrôler.

La formule de calcul est la suivante :

$$HDW = U.VPD \quad (1)$$

Avec : $VPD = es - e$

U : Vitesse maximale du vent (m/s)

es : Tension de vapeur saturante de l'air (hpa)

$$es = 6.112 \exp\left(\frac{17.62T}{243.12 + T}\right) \quad (2)$$

e : Tension de vapeur (hpa)

$$e = \frac{RH.es}{100} \quad (3)$$

T : Température en °C

RH : Humidité relative de l'air (%)

VPD : Déficit de Pression de vapeur

L'unité de l'indice HDW est hpa.m.s-1. Dans la plupart des cas, cet indice est considéré sans unité.

Choix du cas d'étude :

Nous nous sommes intéressés au cas de la journée du 30 Juillet 2017. Durant cette journée, la presse algérienne a fait état de l'ampleur des dégâts provoqués par les incendies enregistrés sur plusieurs wilayas au nord du pays. Les villes sélectionnées dans cette étude sont respectivement El-Taref, Tizi-Ouzou et Tlemcen. Le choix de ces 3 wilayas est dicté par le fait qu'elles aient connu de graves incendies de forêt en cette journée, en plus de cela, nous envisageons tester l'indice HDW sur des sites ayant des caractéristiques géographiques différentes. Notre travail est basé sur le calcul de l'indice HDW à l'aide des champs de sorties du modèle de prévision AROME tourné à l'ONM ayant une résolution spatiale importante équivalente à 3km. L'ensemble des paramètres météorologiques prévus 24 heures à l'avance au-dessus des trois wilayas citées précédemment ont été récupérés de la base archivée et concernent : la température, l'humidité et les composantes horizontales du vent. Le calcul de l'indice HDW est réalisé au moyen d'un script conçu en code Fortran sur les points de grille de toute la partie Nord de l'Algérie et pour chaque heure. Nous procéderons ensuite à la cartographie de l'indice HDW en s'appuyant sur le logiciel QGIS et Python (figure 3)

2. Résultats :

Sur la figure 4, nous mettons en exergue sur l'évolution temporelle des paramètres météorologiques (température, humidité et vitesse du vent) et l'indice HDW associé prévu par le modèle AROME 1 jour à l'avance au-dessus de la wilaya d'El-Taref (pris comme un exemple d'illustration ici) pour la journée sans feux de forêts du 29 Juillet 2017. Étant donné que l'indice HDW est proportionnel à la vitesse du vent et à la température, ce dernier suit sensiblement la même forme géométrique que les courbes de ces deux paramètres. Cette tendance confirme le rôle de l'augmentation de la température dans le déclenchement du feu et le rôle du vent dans sa propagation. La figure 4 montre clairement également que le HDW est inversement proportionnel à l'humidité, ce qui montre que la sécheresse à travers le déficit hygrométrique atmosphérique est un facteur prépondérant dans la contribution au départ des feux.

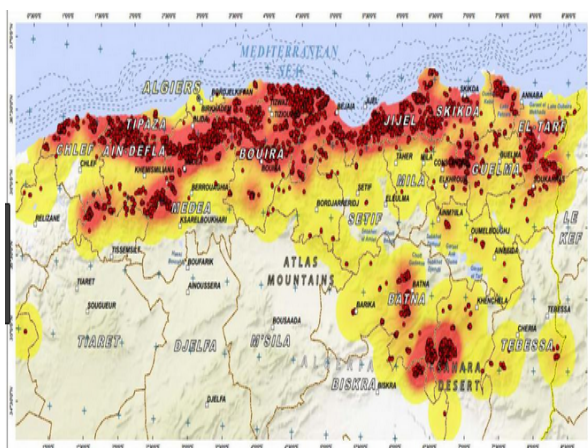


Figure 1. Densité de feux de forêt au nord de l'Algérie entre 1 Juin et 23 Août 2012 (source : UNITAR/UNOSAT)

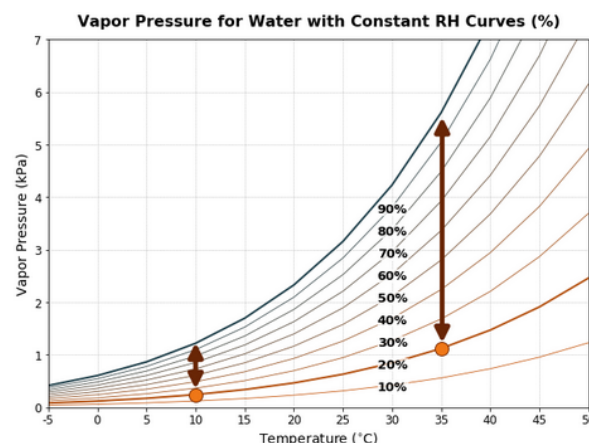


Figure 2. Pression de vapeur d'eau et courbes d'humidité relative associées

Calcul de l'indice HDW Prévu au nord de l'Algérie :

L'efficacité du système d'alerte repose sur la capacité de prévoir suffisamment à l'avance le phénomène dangereux ainsi que son intensité. Comme à l'ONM le modèle AROME permet de prévoir les paramètres météorologiques servant à calculer l'indice HDW, nous nous sommes penchés sur le calcul du HDW prévu 24 heures à l'avance sur la base des prévisions de ces paramètres météorologiques. Ce calcul nous renseignera sur l'évolution temporelle prévue du HDW et donc, sur les probabilités du déclenchement des feux de forêts pendant les 24 heures suivantes, ce qui marque l'efficacité et la force d'un tel système d'alerte précoce. Dans notre cas d'étude, nous nous sommes servis des données prévues des paramètres météorologiques des journées du 29 et 30 Juillet 2017, où nous avons élaboré l'indice HDW maximal en 24 heures prévu sur la base des paramètres météorologiques prévus également. L'établissement des cartes de prévision de l'indice HDW maximal permettra dans le futur de mettre en œuvre un système d'alerte sur les feux de forêts à base météorologique en opérationnel au niveau du centre de prévision de l'ONM (figure 5).

La figure 5 à gauche montre de faibles valeurs de l'indice HDW ne dépassant guère 170. Alors, vers 15H00 le 30 Juillet, l'indice HDW maximal prévu par le modèle met en évidence des valeurs très élevées dépassant les 300. Le seuil pour lequel une valeur de l'indice HDW prévue lui sera attribuée une forte probabilité de déclenchement de feux est traité dans le chapitre suivant.

Elaboration des seuils de l'indice HDW en vue d'établir des cartes de prévision des feux de forêts

a- Détermination de la climatologie de l'indice HDW

Nous utilisons les données de ré-analyses ERA-Intérim, qui sont très utilisées dans le domaine de la recherche et très réputées pour leur qualité. Nous nous servons de ce jeu de données en raison également de leur disponibilité sur une longue période qui servira par conséquent à établir la climatologie de l'indice HDW. Ce type de données est échantillonné chaque 6 heures et disponibles en points de grilles et maillées sur le domaine global. La base ERA-Intérim en provenance du Centre Européen ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts) est une base de données actualisée chaque mois. Pour notre cas d'étude, les données suivantes en format netcdf ont été ainsi téléchargées :

- La température à 2m ; la température du point de rosée qui servira au calcul de l'humidité et les deux composantes horizontales du vent (U et V).
- La grille utilisée est de 0.5°x0.5° de résolution spatiale pour le réseau de 12H00 relative aux données des mois de Juin, Juillet, Août et Septembre sur la région nord de l'Algérie. Le réseau de 12H00 est sélectionné arbitrairement, car il est supposé coïncider avec le maximum de température et un minimum d'humidité et par conséquent, il représentera le moment d'un maximum de sévérité atmosphérique favorable au déclenchement des feux.

Un script a été conçu afin de convertir les données originales du format netcdf vers le format ASCII. Puis, on a procédé au calcul de (e), (es), (VPD) et enfin le HDW à 12H00 et pour chaque jour de la saison estivale Juin-Septembre.

Elaboration des seuils de l'indice HDW

La distribution des données du HDW ne suivant pas la loi normale en raison des paramètres atmosphériques : le vent et l'humidité, l'approche des auteurs à l'origine de cet indice

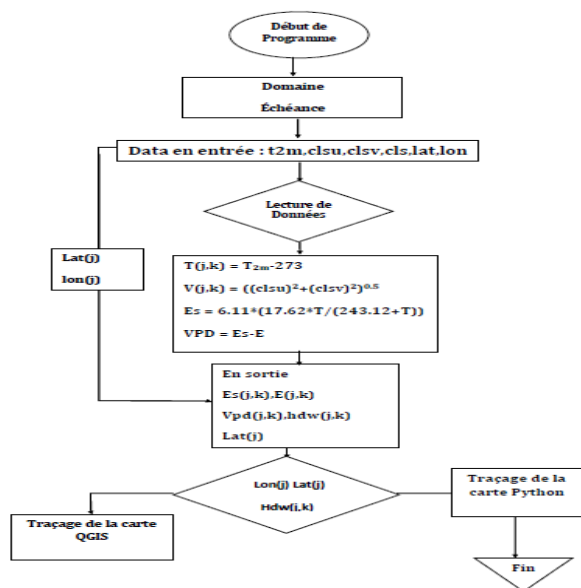


Figure 3. Organigramme conduisant à calculer l'indice HDW

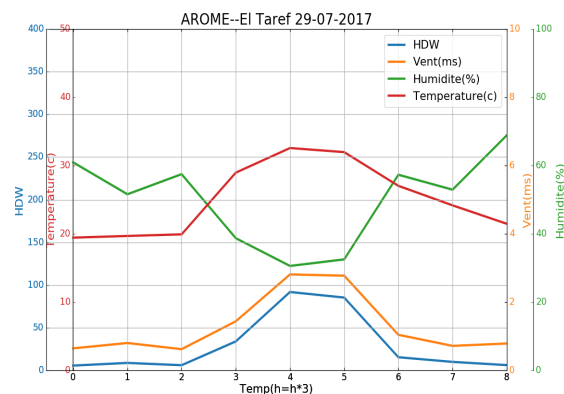


Figure 4. Evolution horaire prévue des paramètres météorologiques et de l'indice HDW durant la journée du 29 Juillet 2017 (journée sans incendie de forêt).

se sont basés sur le calcul des percentiles en vue de décrire la variabilité de l'indice HDW à l'aide de sa climatologie. Pour notre cas, cette climatologie est déduite durant la saison Juin-Septembre et ce, sur une période de 30 ans (1989-2018). Cette méthode servira à la suite de fixer les seuils d'alerte et le niveau de vigilance correspondant. Un niveau très élevé de l'indice HDW (équivalent à un haut percentile) pourra en effet correspondre à une forte probabilité d'un déclenchement d'un feu de forêt. Dans notre cas, il s'avère que les seuils pour lesquels une vigilance s'impose correspondront à des valeurs d'indice HDW supérieures au 75ème percentile déduit de la climatologie. Ce constat est tiré du fait que pour des journées où l'on a enregistré des incendies de forêt, le HDW se situait entre le 75ème et le 95ème percentile (voir les cas d'El-Taref, Tizi-Ouzou et Tlemcen plus loin). A cet égard, nous élaborons les cartes du 25ème ; 50ème ; 75ème et 95ème percentiles des 3 wilayas choisies pour cette étude afin de classer le niveau de danger voire de vigilance appropriée. Ces cartes nous permettront par la suite de vérifier la valeur du HDW maximal relatif à une journée d'incendie répertoriée. Les graphiques représentant les percentiles calculés pour les régions de : El-Taref, Tizi Ouzou et Tlemcen, pour les mois de la saison allant de Juin à Septembre sur la période 1989-2018 sont présentés respectivement sur les figures 6, figure 7 et figure 8.

La classification du climat basée sur la méthode de Koppen-Geiger (non présentée ici) montre que les 3 wilayas El-Taref, Tizi-Ouzou et Tlemcen jouissent d'un climat méditerranéen chaud en été de Classe « Csa ». Les valeurs des percentiles du HDW d'El-Taref et de Tizi-Ouzou demeurent par assez proches en termes d'intensité, par contre Tlemcen met en

évidence des percentiles assez élevés. Le comportement de l'évolution des paramètres : température maximale, humidité, vent et indice HDW pour une journée sans feux de forêts le 29 Juillet 2017 a été illustrée pour le cas de la wilaya d'El-Taref dans la figure 4.

Pour mettre en évidence le comportement de ces paramètres et celui du HDW lors d'une journée d'incendie, nous allons traiter de manière individuelle les cas des 3 wilayas sélectionnées dans cette étude. Pour la wilaya d'El-Taref durant la journée du 30 Juillet 2017 (où l'on a enregistré des incendies de forêts), un HDW de 265 a été prévu vers 15H00 (alors qu'il était de moins de 90 au maximum le 29 Juillet 2017 vers 12H00). A cette valeur de HDW, l'humidité relative a été prévue d'avoisiner 20%, le vent de 4m/s et la température de 40°C (figure 9).

Etude de cas des 3 wilayas

1. Cas de la région d'El-Taref

a. Evolution temporelle de l'indice HDW sur 3 jours :

L'évolution temporelle prévue de l'indice HDW du 29 au 31 Juillet 2017 pour la région d'El-Taref, montre un maximum de HDW relevé le 30 du mois de Juillet 2017 à 15H00 avec une valeur de 265 (figure 10). C'est en cette journée que la DGF avait véritablement enregistré des incendies à El-Taref.

b. Cartographie de l'indice HDW prévu pour la wilaya d'El-Taref :

Nous présentons l'indice HDW calculé sur la base des paramètres météorologiques prévus par le modèle AROME pour la journée du 30 Juillet 2017 au-dessus de toute la région nord de

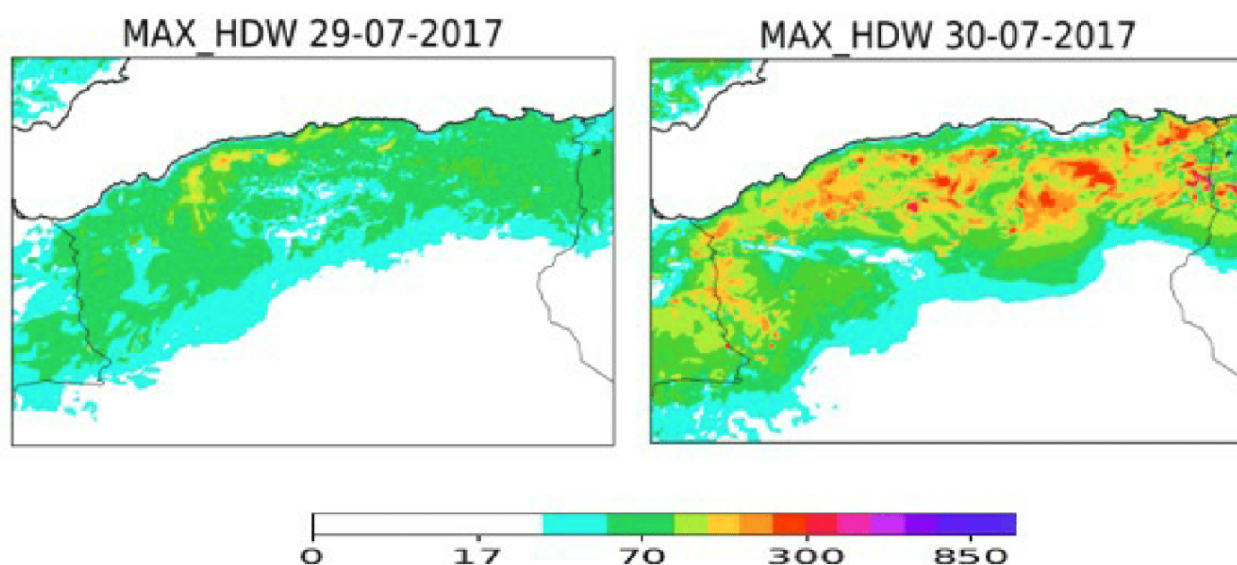


Figure 5. Carte de prévision des feux de forêts pour les 29 (à gauche) et 30 (à droite) Juillet 2017 pour la région nord de l'Algérie.

l'Algérie. L'indice HDW étant calculé sur des points de grille distants donc de 3km, ceci matérialise l'intérêt de l'élaboration d'une carte géographique prévue de l'indice HDW à différents réseaux temporels et étalé sur une large zone permettant d'appréhender les zones à risque potentiel important d'incendies. Nous élaborons sur la base du réseau de 00H00 de la journée du 30 Juillet 2017 des cartes prévues du HDW à 06H00 ; 09H00 ; 12H00, 15H00 et 18H00 (figure 11). L'évolution tri-horaire prévue montre clairement que vers la région d'El-Taref, un maximum de l'indice HDW sera enregistré vers 15H00. La valeur de l'indice HDW devra dépasser 265. Climatologiquement, cette valeur d'après la figure 5 se situe entre le 75ème et le 95ème percentile. Ce qui permet de conclure qu'il y a lieu de surveiller la valeur du HDW pour la région d'El-Taref à compter du 75ème percentile.

Comme nous pouvons constater sur la carte de 15H00 (figure 11) que le risque d'incendie dans d'autres wilayas est très important. Effectivement, des foyers d'incendies ont été observés simultanément dans plusieurs wilayas en cette journée entre autres, les wilayas de Bouira, Batna, Souk-Ahras, Guelma.etc.

2. Cas de la wilaya de Tizi Ouzou :

a. Evolution temporelle de l'indice HDW sur 3 jours :

Le second cas traité dans cette étude est celui de Tizi-Ouzou. Les dates choisies sont celles relatives aux incendies de forêts observés plutôt entre le 09 et 11 Juillet 2017. Le graphe 12 caractérise l'évolution de l'indice HDW déterminé au-dessus de la wilaya de Tizi-Ouzou durant cette période. On constate d'après la figure 12 que le HDW maximal a été observé à 09H00 le 11 Juillet 2017 avec une valeur de 264. D'après la climatologie du HDW de Tizi-Ouzou à cette date (figure 6), cette valeur se situe entre le 75ème et le 95ème

percentile, ce qui va correspondre donc à une forte probabilité d'avoir le feu, puisque les services de la DGF ont enregistré en cette journée des incendies de forêts. Après cette heure, l'indice HDW a légèrement diminué vers 230 à 12H00 puis 180 à 15H00 pour atteindre 60 à 18H00.

b. Cartographie de l'indice HDW prévu pour la wilaya de Tizi-Ouzou :

Les cartes d'évolution tri-horaire prévue de l'indice HDW (figure 13) montrent qu'au-dessus de la région de Tizi-Ouzou et vers 06H00, toutes les valeurs se trouveraient au-dessous de 200, c'est-à-dire au-dessous du seuil du 75ème percentile, ce qui correspond à une situation sans risque potentiel de déclenchement de feux de forêts. Alors qu'un maximum de HDW a été prévu de 264 vers 09H00 au-dessus de cette wilaya. Cette valeur maximale en cette date d'après la figure 6 illustrant sa climatologie en période estivale, montre qu'elle se classe entre le 75ème et le 95ème percentile. La carte de 12H00 quant à elle marque la persistance des valeurs élevées du HDW même en dehors de cette wilaya, au moment où Tizi-Ouzou enregistre des valeurs voisines de 230 c'est-à-dire au-dessus toujours du 75ème percentile. A cet effet, on peut conclure qu'il est nécessaire de surveiller la valeur du HDW pour la région de Tizi-Ouzou à partir du 75ème percentile également.

3. Cas de la wilaya de Tlemcen :

A Tlemcen, des incendies de forêts ont été également relevés le 11 Juillet 2017. Néanmoins, le maximum de l'indice HDW est prévu d'être observé vers 12H00 atteignant la valeur 320. La figure 7 montre que cette valeur se trouve également dans l'intervalle allant du 75ème percentile et le 95ème percentile. Un système d'alerte mis en place devra donc surveiller cet indice à compter du 75ème percentile pour cette wilaya. La figure 14 montre une intensité importante

du HDW est prévue vers 12H00 auquel correspondrait une humidité relative de 08%, une température de +37°C, et une vitesse de vent avoisinant les 6m/s. L'effet combiné de la température et du vent avec un taux faible d'humidité aura fortement contribué au déclenchement du feu.

3. Tentative d'élaboration d'une carte de vigilance feux de forêts sur une base météorologique :

L'objectif escompté dans cette étude étant de mettre en œuvre un système d'alerte précoce, purement météorologique sur le déclenchement des feux de forêts. La prévision de l'indice HDW offrira sans doute la possibilité de cartographier l'évolution prévue de cet indice sur la base de la prévision des paramètres météorologiques. Comme nous avons pu établir des niveaux d'alerte basés sur des percentiles déterminés au moyen de la climatologie calculée sur 30 ans, les indices HDW prévus dans les journées où l'on a recensé des incendies ont pu être par conséquent localisés au sein de ces intervalles (percentiles). Les trois cas d'étude représentant les 3 wilayas et en raison de leur similitude climatique ont tous mis en évidence des indices de HDW maximums prévus situés entre le 75ème et le 95ème percentile. De ce fait, nous avons jugé que l'on peut classer le risque de déclenchement des feux de forêts (niveau de vigilance dont il faut faire preuve) en fonction de ces niveaux de percentiles. A ce titre, la classe 0-25ème percentile matérialisera une situation de non-risque total de feux de forêts, et une couleur verte lui sera attribuée (couleur du niveau de vigilance équivalent au niveau 0). Celle entre le 25e et 75e percentile est considérée comme le 1er niveau de vigilance de couleur jaune où nous devons par conséquent être attentif. Entre le 50ème et le 75ème percentile, le niveau lui est attribué une couleur orange ; il s'agit du niveau 2 et il est demandé donc d'être vigilant. Une vigilance absolue s'imposera dès que l'indice HDW prévu ait dépasser le 75ème percentile correspondant au niveau 3, tel qu'il a été démontré dans les 3 wilayas sélectionnées par cette étude et qui ont toutes enregistré des incendies au moment où leurs indices HDW maximums prévus se situaient entre le 75ème et le 95ème percentile.

Dans notre cas, et dans le but de proposer une carte de vigilance météorologique relative aux feux de forêts au nord de l'Algérie, nous avons calculé le HDW maximal prévu pour la journée du 30 Juillet 2017 qui a connu le déclenchement des foyers d'incendie de forêt sur la majeure partie nord du pays. Ces indices HDW maximums sont calculés dans le domaine couvrant chaque wilaya (points de grille du champ de HDW prévu sur la base des données prédites par AROME). Les seuils servant à établir les niveaux de vigilance et les couleurs à attribuer sont ceux basés sur les percentiles indiqués précédemment. A titre d'illustration, nous avons calculé les seuils percentiles de quelques wilayas pour en servir d'autres avoisinantes portant les mêmes caractéristiques

climatiques (basé sur la classification de Koppen- Geiger) et de manière arbitraire dans l'attribution du niveau requis en attendant d'établir la climatologie de l'indice HDW sur les 30 années pour chaque wilaya individuellement. Cette carte de vigilance relative à la journée du 30 Juillet 2017 est présentée dans la figure 16.

CARTE DE VIGILANCE
DES FEUX DE FORÊTS
Journée du: 30-07-2017

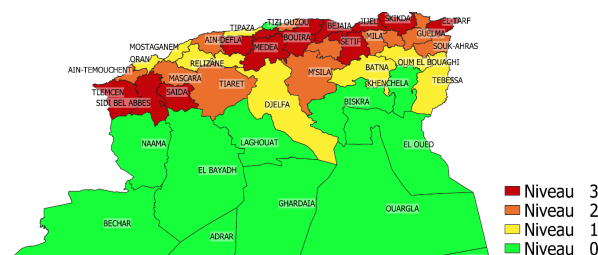


Figure 16. Tentative de carte de vigilance des feux de forêts établie sur la base météorologique (indice HDW) relative à la journée du 30 Juillet 2017.

D'après le principe de cette approche, la journée du 30 Juillet 2017 aurait placé plusieurs wilayas au nord du pays en vigilance rouge et un bon nombre d'entre elles en vigilance orange, et ce, 24 heures à l'avance. Les wilayas pour lesquelles le niveau de vigilance était le plus élevé (niveau 3) ont toutes connu des incendies de forêt durant cette journée. Il restera donc à restituer des cartes de vigilance météorologiques feux de forêts sur d'autres cas de journées d'incendies pour s'assurer définitivement de l'efficacité de ce système d'alerte.

4. Conclusion

Dans cette étude, nous nous sommes servis de l'expérience récente d'une équipe de chercheurs américains ayant élaboré un indice de feux de forêts appelé HDW et basé exclusivement sur des paramètres météorologiques. L'approche dans la conception de cet indice constitue un nouveau concept dans la contribution à la prévention des feux de forêts pour l'Algérie et pourra par conséquent servir d'outil d'aide de décision et de vigilance contre les feux. L'indice HDW prévu a été calculé et cartographié sur la partie nord de l'Algérie pendant la période des incendies de forêt enregistrés en Algérie en mois de Juillet 2017 avec des intervalles tri-horaires. Dans cette étude, nous avons testé la pertinence et la robustesse de l'indice HDW sur des cas réels. A cet effet, nous avons sélectionné 3 wilayas (El-Taref, Tizi-Ouzou et Tlemcen) qui ont connu en Juillet 2017 des incendies de forêts importants. La prévision des paramètres météorologiques per-

mettant de calculer l'indice HDW prévu est issue du modèle AROME ayant la meilleure résolution spatiale actuellement opérationnel à MétéoAlgérie (3Km). L'évolution tri-horaire de cet indice avant, pendant et après la journée où un incendie a été réellement observé montre une forte corrélation entre l'intensité de l'indice HDW et ce phénomène. A cet égard, nous avons noté que pour chaque jour auquel on a relevé un départ de feux, il lui correspondait une valeur très élevée de l'indice HDW. L'étude a mis en exergue les valeurs percentiles basées sur la climatologie de l'indice HDW établie sur une période de 30 ans et calculées durant la saison des feux de forêts qui s'étale du mois de Juin jusqu'à Septembre (saison propice au départ des feux). Le calcul des percentiles climatologiques a montré que lors d'une journée d'incendie de forêt, la valeur du HDW dépassait en cette date le 75ème percentile climatologique de la wilaya concernée. Ceci a donc permis d'établir des seuils pour lesquels nous avons proposé des niveaux de vigilance appropriés. Par conséquent, la prévision quotidienne des paramètres météorologiques à travers le modèle AROME pourra servir à prévoir l'indice HDW et donc, contribuer à concevoir un système d'alerte précoce ou de vigilance sur les incendies de forêts. Pour illustrer la faisabilité de mise en œuvre d'une telle carte de vigilance, nous avons sélectionné la journée du 30 Juillet 2017 pour les wilayas d'El-Taref et Tizi-Ouzou et la journée du 11 Juillet 2017 pour Tlemcen pour le calcul l'indice HDW maximal. Le niveau de vigilance et la couleur appropriée ont été basés sur des seuils relatifs aux percentiles. L'étape suivante consistera alors à achever le calcul de la climatologie de cet indice pour toutes les wilayas au nord de l'Algérie sur la période 1989-2018 pour en déduire des niveaux de vigilance appropriés. Une phase d'expérimentation de l'évaluation de la performance de ce système d'alerte pendant la saison d'été est plus qu'indispensable avant de le mettre en mode opérationnel.

Un autre volet non-négligeable reste à réaliser ; il s'agit d'évaluer de manière objective cette approche et la capacité de cet indice à prévoir correctement les départs de feux, car il y a lieu de prendre en compte les erreurs ou les biais des valeurs des paramètres météorologiques prévues par le modèle AROME et qui à leur tour risquent d'affecter le niveau de vigilance attendu. Le système devra permettre au prévisionniste d'apporter les modifications/corrections nécessaires de ces paramètres météorologiques avant la validation de ladite carte de vigilance.

Comme, il restera à restituer les indices HDW pour les journées où l'on a enregistré des incendies de forêts au nord du pays dans le passé pour évaluer définitivement la capacité de cet indice à prévoir les feux de forêts et évaluer en conséquence la pertinence de cette approche. Enfin, les précipitations peuvent affecter de manière non-négligeable le couvert végétal et elles pourraient donc défavoriser le départ des feux malgré que les conditions atmosphériques prévoient un indice HDW élevé. A ce titre, il demeure indispensable d'étudier le comportement de cet indice pour un jour donné par rapport aux précipitations cumulées durant les 3, 2 ou 1 jour avant.

References

- [1] Charles Edward Van Wagner et al. *Structure of the Canadian forest fire weather index*, volume 1333. Citeseer, 1974.
- [2] John J Keetch and George M Byram. A drought index for forest fire control. *Res. Pap. SE-38. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station.* 35 p., 38, 1968.
- [3] Andrew J Dowdy, Graham A Mills, Klara Finkele, and William de Groot. Index sensitivity analysis applied to the canadian forest fire weather index and the mcarthur forest fire danger index. *Meteorological Applications*, 17(3):298–312, 2010.
- [4] I. R. Noble, A. M. Gill, and G. a. V. Bary. McArthur's fire-danger meters expressed as equations. *Australian Journal of Ecology*, 5(2):201–203.
- [5] Jessica M. McDonald, Alan F Srock, and Joseph J. Charney. Development and Application of a Hot-Dry-Windy Index (HDW) Climatology. *Atmosphere*, 9(7):285, 2018.
- [6] Ouahiba Meddour-Sahar and Christine Bouisset. Les grands incendies de forêt en Algérie : problèmes humains et politiques publiques dans la gestion des risques. *Méditerranée. Revue géographique des pays méditerranéens / Journal of Mediterranean geography*, (121):33–40, 2013.
- [7] Ouahiba Meddour-Sahar and Arezki Derridj. Forest fires in Algeria: Space-time and cartographic risk analysis (1985-2012). *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 23(2):133–141, 2012.

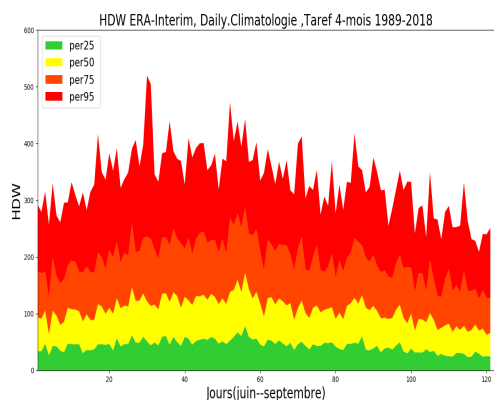


Figure 6. Percentiles climatologiques (25ème ; 50ème ; 75ème et 95ème) de l'indice HDW quotidien calculés pour la région d'El Taref (36.6N, 8.3 E) sur la période 1989-2018 pour les mois Juin, Juillet, Août et Septembre

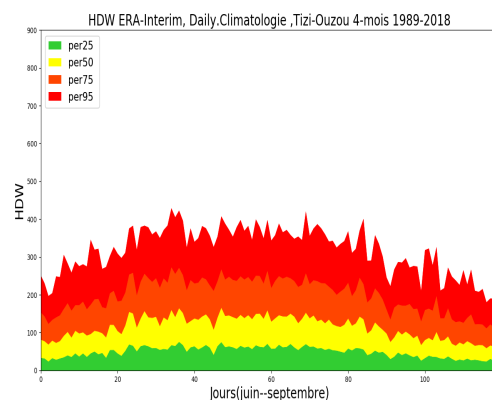


Figure 7. Percentiles climatologiques (25ème ; 50ème ; 75ème et 95ème) du HDW calculés pour Tizi-Ouzou (36.6N, 3.8 E) sur la période 1989-2018 pour les mois Juin, Juillet, Août et Septembre.

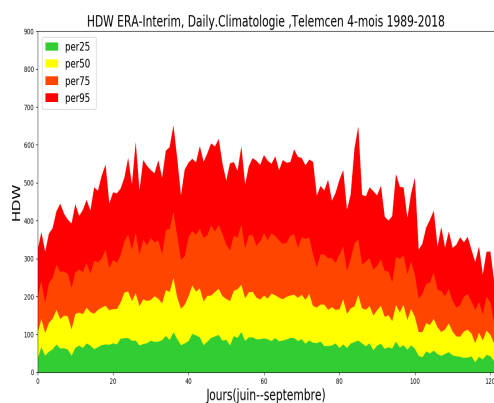


Figure 8. Percentiles climatologiques (25ème ; 50ème ; 75ème et 95ème) du HDW calculés pour Tlemcen (34.7N, 1.19 W) sur la période 1989-2018 pour les mois Juin, Juillet, Août et Septembre.

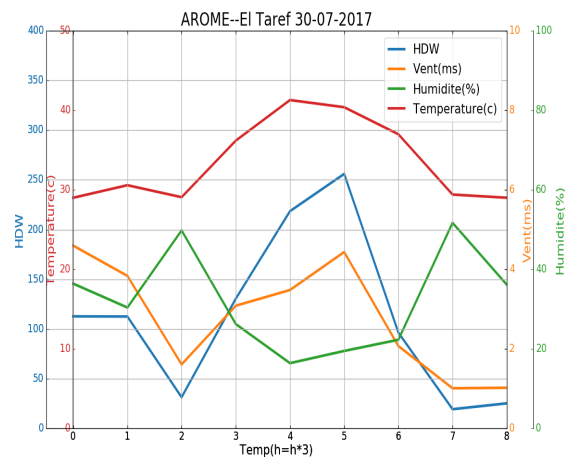


Figure 9. Evolution des paramètres météorologiques et de l'indice HDW prévus le 30 Juillet 2017 (journée avec incendies de forêts) au-dessus d'El-Taref

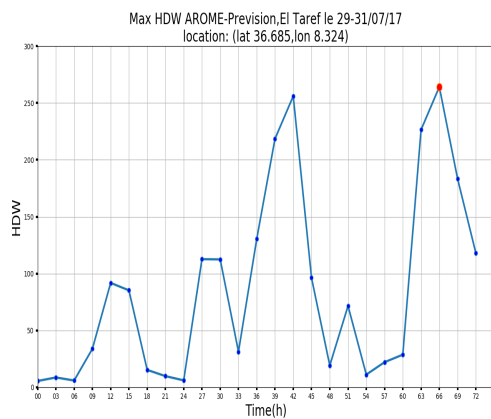


Figure 10. l'évolution de HDW sur la wilaya d'El-Taref durant les trois jours du 29 au 31 Juillet 2017.

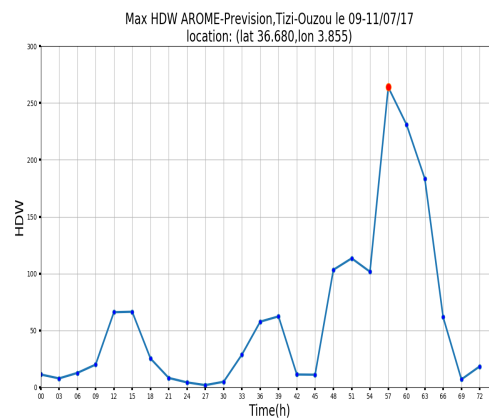


Figure 12. Evolution de l'indice HDW sur la wilaya de Tizi-Ouzou durant les trois jours du 09 au 11 Juillet 2017

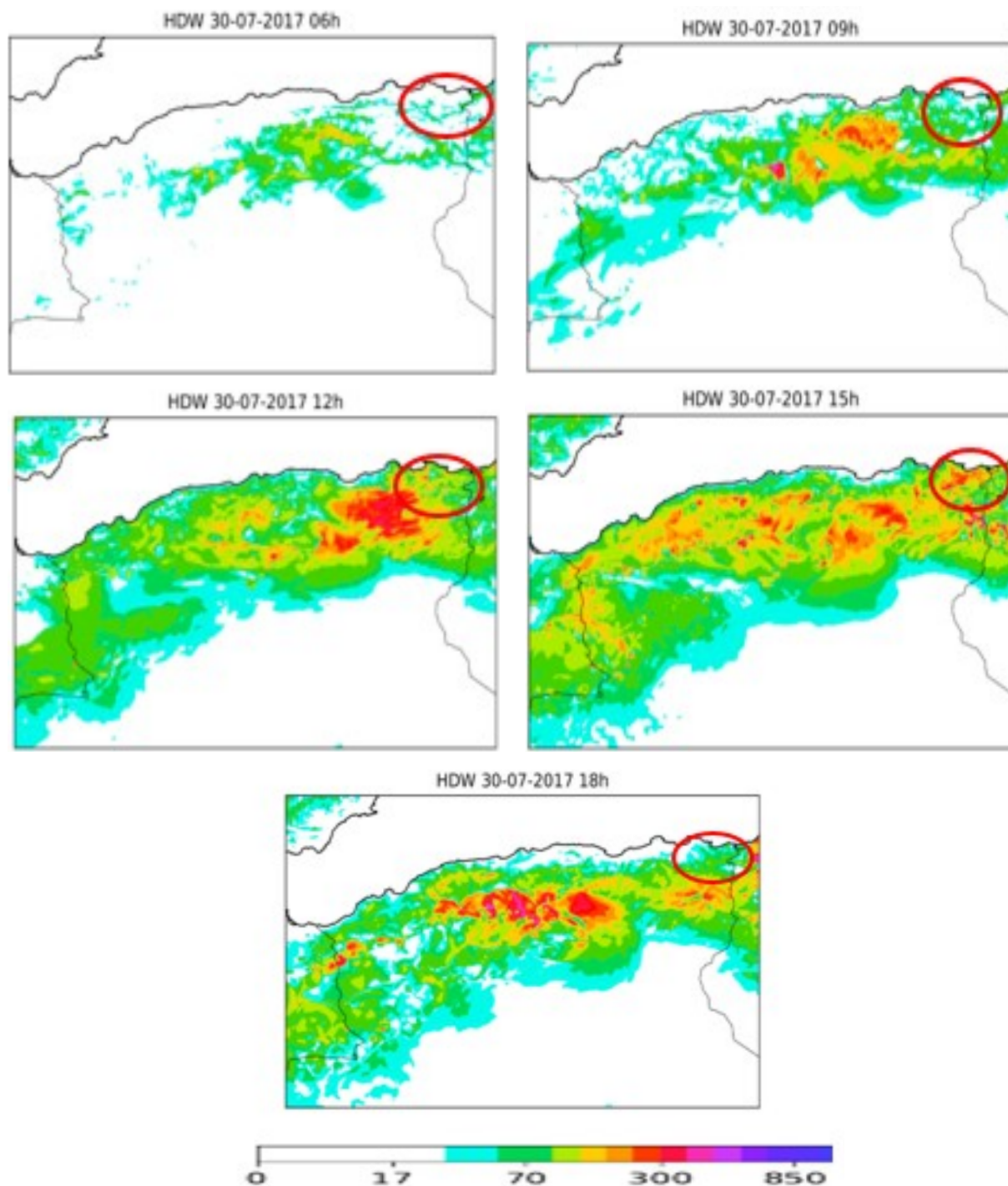


Figure 11. carte de l'indice HDW prévu pour la wilaya d'El-Taref le 30 Juillet 2017 à 06H00 ; 09H00 ; 12H00 ; 15H00 et 18H00.

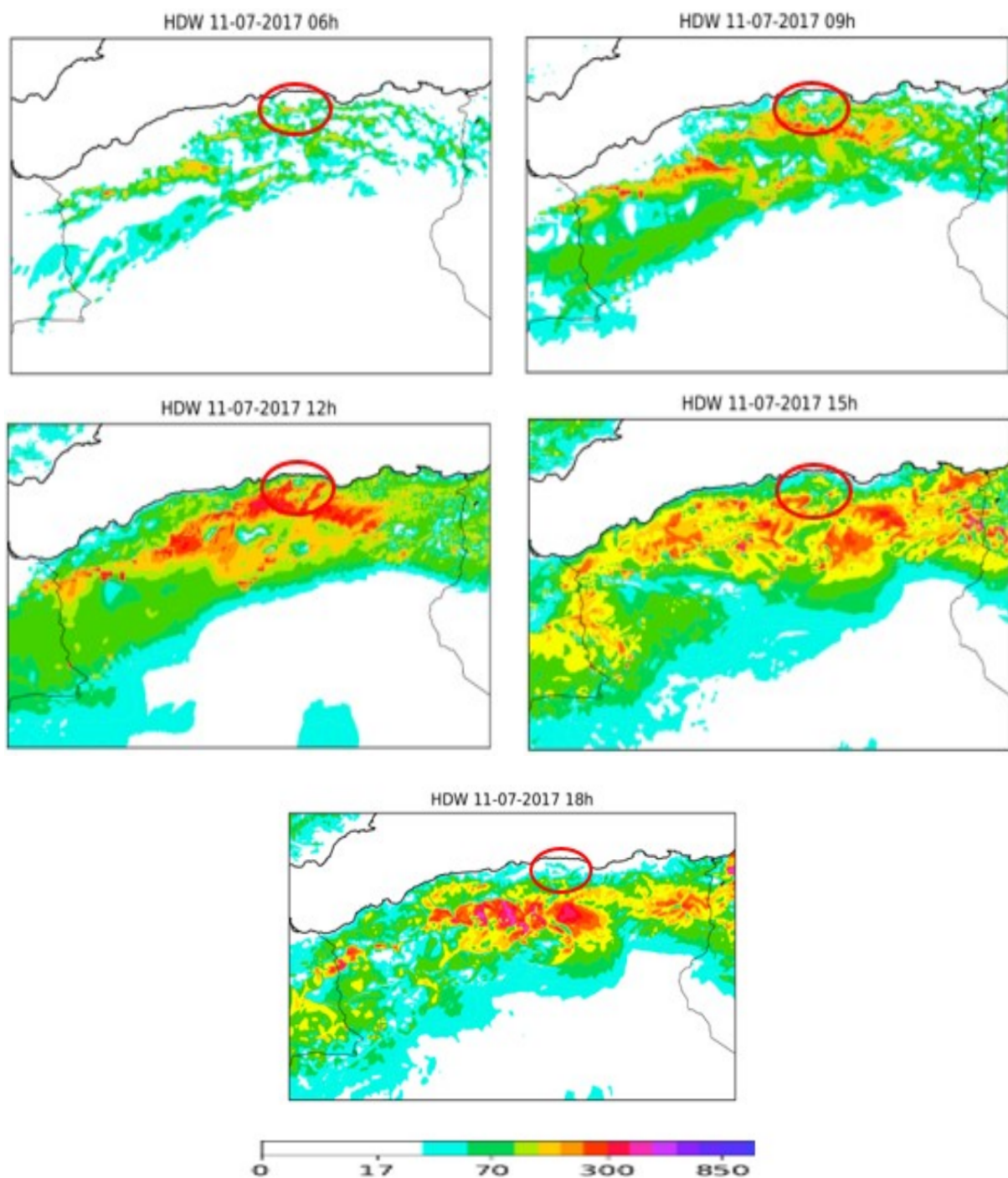


Figure 13. Cartes tri-horaires de l'indice HDW prévu pour la wilaya de Tizi-Ouzou le 11 Juillet 2017 à 06H00 ; 09H00 ; 12H00 ; 15H00 et 18H00.

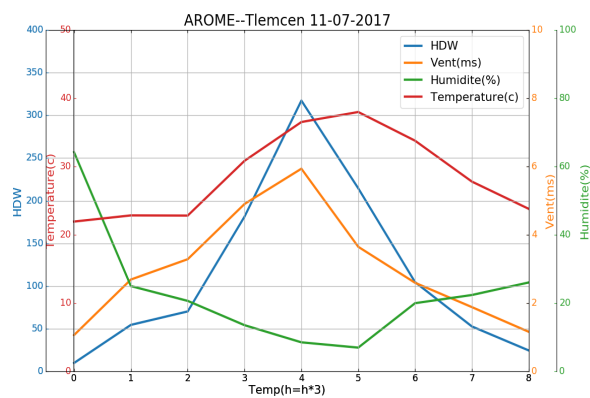


Figure 14. Evolution des paramètres météorologiques et de l'indice HDW prévus le 11 Juillet 2017 (journée avec incendie de forêt) au-dessus de Tlemcen

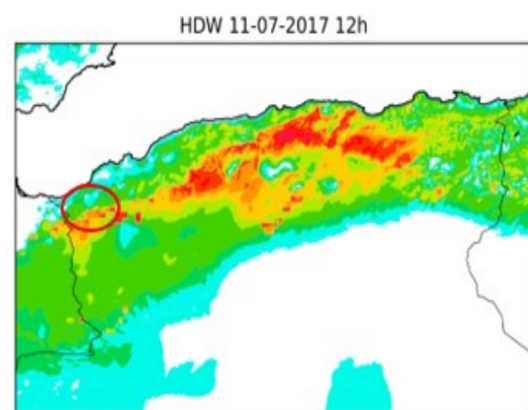


Figure 15. Carte de l'indice HDW prévu pour la wilaya de Tlemcen le 11 Juillet 2017 à 12H00.

Adaptation de l'internet des objets (lot) pour l'acquisition des données météorologiques de Vent et de pression

KAMECHE Mohamed Sofiane ^{1*}, AOUNALLAH Mehdi ¹,

Abstract

L'IoT (Internet of Things) envahit petit à petit notre quotidien. Des capteurs nous renseignent sur notre environnement, de nouvelles possibilités d'interactions avec les objets apparaissent, les routines du quotidien s'automatisent. . . Dans cet article nous proposons une initiation dans cet univers par la création complète d'une solution permettant l'acheminement de la donnée du capteur de vent-sonique et le baromètre numérique vers une interface de consultation à distance et un archivage de ses informations dans une base de données locale ou distante.

Keywords

lot (Internet Of Things) , capteur Vent sonique, baromètre numérique, Dashbord, node-red

¹ Office national de la météorologie (CNPM-ONM), Dar El Beida, Alger

*Correspondants: s.kameche@meteo.dz , m.aounallah@meteo.dz

Contents

Introduction	74
1 Objectif du DASHBOARD météorologique de mesure de vent et de pression	74
2 Conception et réalisation	75
2.1 Qu'est-ce qu'un Node-Red?	75
2.2 Réalisation du Dashboard	75
2.3 Objectifs	76
2.4 Calcul de la vitesse moyenne et maximale du vent	
76	
3 Base de données	77
4 Conclusion	78

Le monde de la connectivité et de la programmation informatique ne cesse d'évoluer, il s'installe à travers la mise à profit et la généralisation de son utilisation par des internautes prenant parfois l'aspect d'une application sous forme d'open source. Notre vision est d'exploiter le maximum de plates formes déjà existantes avec la spécificité de son adaptation à travers des commandes correctives lui permettant une toute autre utilisation ou à la limite on pourrait dire une finalité dans l'utilisation désirée. L'objectif de ce travail consiste à un assemblage d'une gamme d'instructions régissant un programme préétabli en vue de le rendre plus apte à répondre à notre préoccupation, il s'agit donc d'une exploitation en conformité avec un cahier des charges émis sur la base d'une lecture très détaillée et une précision de communication d'interprétation de données en un temps record facilitant ainsi une prise de décision adéquate et appropriée en situation d'urgence. Il s'agit par conséquent de fixer dès le départ les objectifs et de concevoir une maquette permettant une simulation en temps réel en tenant compte de la complexité de la variation des mesures établies par les capteurs météorologiques. De ce fait, on pourra parler d'un outil per-

mettant une interprétation et une exploitation de l'information en temps réel, puis de concevoir une approche aidant à la prise de décision et enfin un stockage de l'ensemble des données relatives aux mesures effectuées.

Ainsi, l'idée est de réaliser une plateforme à moindre coût offrant une large gamme de fonctionnalités. On passe de l'étape de la collecte de l'information, des moyens de communication de cette dernière et enfin du choix du modèle d'exploitation. Tout cela bien évidemment avec un temps de réponse record et une fiabilité irréprochable. C'est ainsi que cette opération concerne la collecte des données émises, leur transport, la capacité à créer des flux de données et de traiter l'information reçue, mais aussi de déclencher des actions sur des capteurs actifs. . . Le fil conducteur de ces plateformes est de permettre la création rapide de nouvelles applications ou services. IBM a réalisé une solution à travers un logiciel open source offrant la possibilité à la création de chaînes de traitement. Cette solution se nomme Node-Red (<https://nodered.org/>). Son principe est de permettre de créer des liaisons rapides, des sources de données à des capteurs, composants de traitement sur site local ou à distance, et de créer des chaînes de valeurs en un temps-record.

1. Objectif du DASHBOARD météorologique de mesure de vent et de pression

L'intérêt de concevoir un Dashboard spécifique à l'observation du vent sonique et du baromètre numérique est dicté par l'importance de ces paramètres dans le domaine de la navigation aérienne. L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) n'a pas cessé de mettre l'accent sur l'importance de la disponibilité de ces deux principaux paramètres et de leur fiabilité. A cet égard, l'Office National de la Météorologie (ONM) a jugé utile de concevoir une interface

permettant à l'observateur météorologue d'effectuer la lecture du vent et de la pression en temps réel depuis sa station. A ce titre, un projet de réalisation de ce Dashboard a été lancé et l'accent a été mis sur la fréquence utile des observations à véhiculer et à afficher, ainsi que le mode d'archivage des données. Outre cela, un déport pourrait également être envisagé vers la tour de contrôle permettant ainsi aux contrôleurs de vol de disposer des mêmes informations et au même moment.

2. Conception et réalisation

Qu'est-ce qu'un Node-Red?

A la racine, il s'agit d'une application basée sur du Node.js et qui offre la possibilité d'accomplir un design, des liaisons, des chaînes de traitement dans un environnement Web. On peut considérer un Node-Red comme un ETL (Extract-transform-load): une palette de connectiques, des composants, des possibilités de liaison entre plusieurs modules à travers des flux de données. Le Node-Red se comporte comme un serveur Web, il n'est pas énérgivore. Il est cependant capable même de fonctionner sur un Raspberry Pi (un nano-ordinateur) qui facilite la tâche pour concevoir et déployer des scénarios d'automatisation. Ce progiciel offre la possibilité en quelques clics de créer des scénarios plus puissants, où toutes les fonctions, modules, connecteurs mis à disposition de l'outil sont exploitables aisément, comme il est aussi possible de créer ses propres modules. Le principe consistait alors à se servir de l'usage des instruments « vent sonique » et « baromètre numérique » simultanément pour transférer le flux d'informations de mesure via un procédé d'affichage convivial permettant de lire en temps réel les valeurs mesurées des deux paramètres météorologiques (Vent et pression), et en même temps d'effectuer quelques statistiques utiles préconisées par l'Organisation Météorologique Mondiale entre autres, la moyenne du vent sur 2 minutes et sur 10 minutes, la force et la vitesse du vent Maximum, la pression minimale et maximale observées, en plus d'un graphique illustrant l'évolution temporelle de ces deux paramètres sur une période de temps prédéfinie. 3.2 Qu'est-ce qu'un DASHBOARD?

- Le tableau de bord (le dashboard) est une représentation visuelle des informations les plus importantes, regroupées sur un écran afin de pouvoir être facilement comprises. C'est un outil d'évaluation et de visualisation, constitué de plusieurs indicateurs de sa performance à des moments donnés ou sur des périodes données.
- La visualisation des données joue un rôle important dans chaque entreprise ; C'est pourquoi on utilise différents procédés d'affichage – tableaux, indicateurs, graphismes, rapports et bien d'autres.



Figure 1. DASHBOARD-DAAG (Tableau de bord) mis à la disposition de l'observateur au niveau de la station Aérodrôme Houari Boumédiène Alger

- Actuellement le problème existant, est le nombre important d'informations à visualiser. Le champ d'information reste trop complexe. Il est par conséquent difficile d'évaluer les paramètres ; C'est pourquoi il existe le DASHBOARD qui possèdent une interface d'utilisateur facilitent la visualisation des données en temps réel.
- L'utilisation de tableaux de bord simplifie énormément l'exécution du processus : vous ne sélectionnez que les métriques clés dont vous avez vraiment besoin, et qui seront dorénavant rassemblées dans un seul tableau de bord et les monitorer en temps réel.

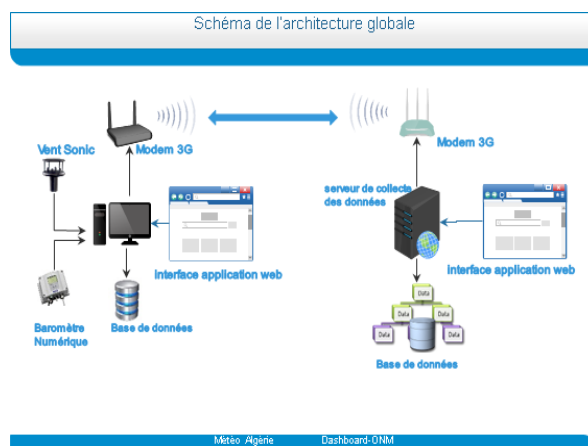


Figure 2. Schéma de l'architecture globale du dispositif

Réalisation du Dashboard

Le but du projet étant de permettre une connexion de plusieurs capteurs, dans notre cas précisément, il s'agit du vent sonique (anémomètre à ultrason) et un baromètre numérique, puis les relier dans une seule machine, ce qui induira une interprétation et un traitement par une seule application. Les deux capteurs

possèdent une terminaison physique en RS232 (port série), cette dernière sera branchée à un ordinateur qui va être muni d'une interface RS232 dédiée à cela.

Objectifs

- Avoir un accès rapide et visuel sur les données et en temps réel via une interface web, le tout connecté à travers le réseau 3G de l'ONM de chaque site individuellement ou plusieurs à la fois.
- Avoir une base de données numérique qui peut être exploitée à distance ou localement. Cette interface qui est très ergonomique, se compose de plusieurs tuiles qui contiennent des informations essentielles notamment sur le vent (vitesse, direction, force, rose des vents, moyennes, vent max sur 24 heures), la barométrie. Une fois la trame de données obtenue (à l'instant t), celle-ci va être décomposée et traitée via plusieurs segments qui vont traiter chaque variante de l'information comme indiqué sur la figure suivante :

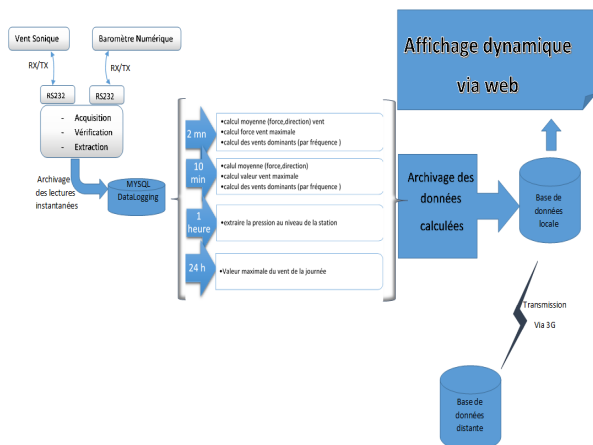


Figure 3. Schéma de conceptuel du système informatique du dispositif.

Chaque segment de la trame constitue une donnée qui lui a été attribuée une tuile, dans l'exemple ci-dessous nous avons une trame propre et complète émise par le capteur vent sonique.

Q,285,010.51,N,00,17

285:indique la direction du vent.

010.51: indique la vitesse du vent.

N:indique l'échelle unitaire de la vitesse du vent en nœud.

Calcul de la vitesse moyenne et maximale du vent

Le calcul se fait sur une tranche périodique de 2 minutes et de 10 minutes avec un même principe. Pour cela la console (DASHBOARD) est connectée à une base de données. Prenant l'exemple d'une tranche périodique de 2 minutes : Puisque le capteur vent sonique génère une trame chaque seconde, cette dernière est enregistrée dans la table de la base de

données. Le calcul est effectué alors automatiquement. Ce calcul comprend :

- a- Calcul des composantes (U, V) du vent :

$$U_i = -F_i \cos\left(\frac{2\pi\theta_i}{360}\right)$$

F_i : Force du vent

$$\vec{U} = \frac{1}{N} \sum_i \vec{U}_i$$

$$\vec{V} = \frac{1}{N} \sum_i \vec{V}_i$$

- b- Calcul de la vitesse max :

$$V_{max} = \max F_i$$

- c- Calcul de la vitesse moyenne :

$$V_{moy} = \frac{1}{N} \sum_i F_i$$

- d- Calcul de la direction moyenne :

- e- Le baromètre numérique :

Le calcul de pression se fait entièrement par la partie électronique. Les données sont transmises à travers le port RS232. Il s'agit par conséquent d'une simple lecture de flux réceptionné et de son affichage. Une partie de l'application figure en backend protégé par un nom d'utilisateur et un mot de passe

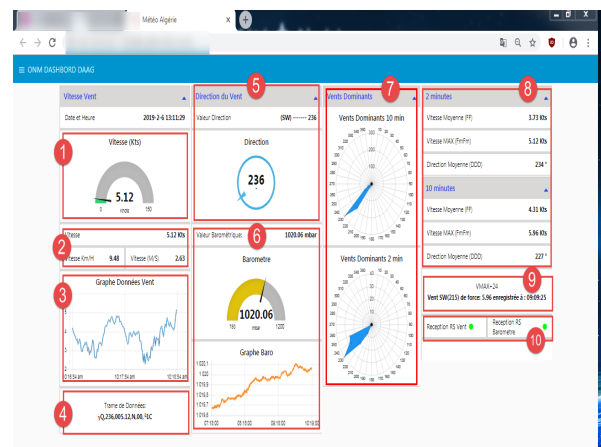


Figure 4. Interface ergonomique et responsive accessible à distance en temps réel (ici station de l'Aérodrome d'Alger DAAG)

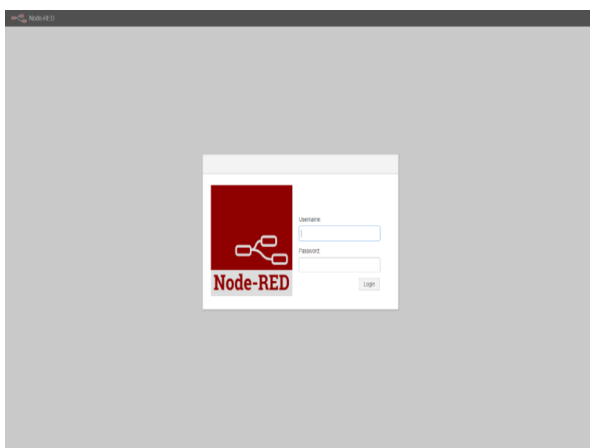


Figure 5. Accès au Backend de l'application

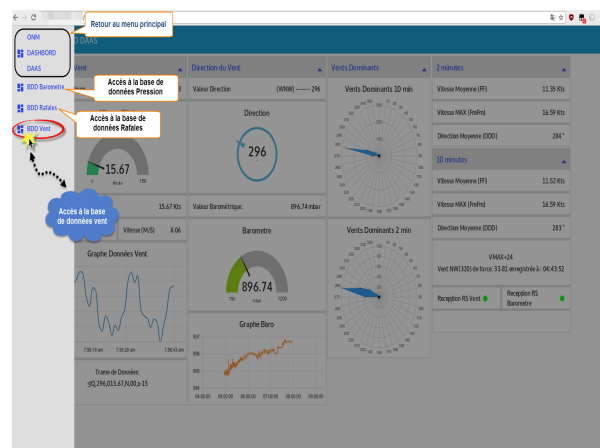


Figure 7. Menu de l'exploitation permettant l'accès aux données archivées

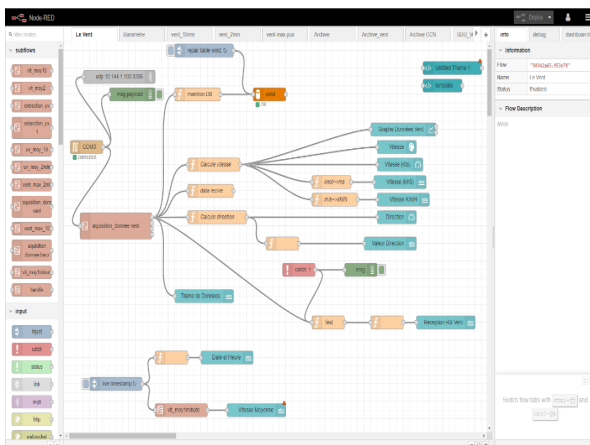


Figure 6. Backend de l'application dédié à la maintenance.

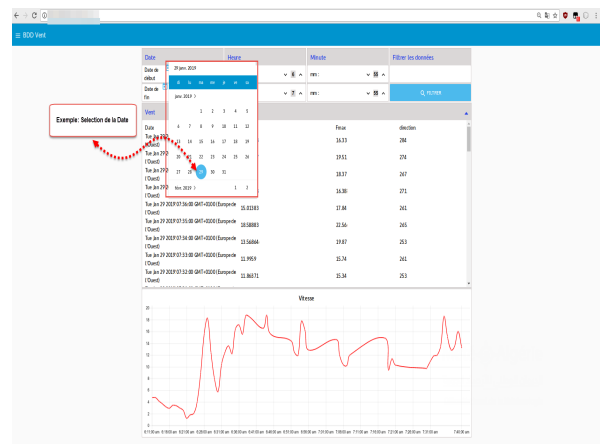


Figure 8. Données du vent archivées accessibles via interface web interactive

3. Base de données

Afin que toutes les opérations précédentes se déroulent correctement, et pour avoir une donnée archivée en même temps, la base de données reste vitale pour notre cas. Pour cela nous avons utilisé une base type relationnelle sur un serveur MYSQL pour remplir ce rôle. L'architecture de la base a été conçue d'une manière judicieuse et simple pour optimiser le principe du fonctionnement. Chaque paramètre de mesure est transmis à la base de données, l'information est affichée dans des tuiles répertoriées et mise à la disposition de l'observateur. L'archivage peut être effectué en local et/ou sur un site distant, la consultation des archives peut être exploitée en local (sur site) ou à distance sans aucune interruption de la plate-forme. La période de l'archivage peut être choisie et son étendue modifiée si nécessaire.

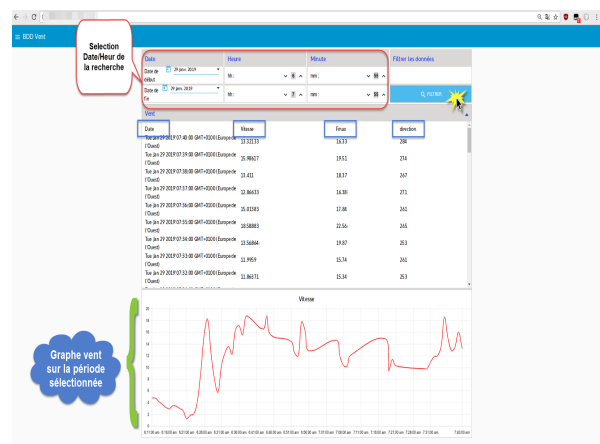


Figure 9. Données pression archivées accessibles via interface web interactive

4. Conclusion

L'Internet des objets (Internet Of Things en anglais) a été labellisé comme « la prochaine révolution industrielle » en raison de la façon dont la technologie va changer la manière de vivre, de travailler, de se divertir et de voyager, ainsi que la façon dont les gouvernements et les entreprises interagissent avec le monde d'où notre intérêt à l'intégrer dans le domaine de la météorologie en mettant au point un outil aidant l'observateur à avoir une donnée de vent instantanément accessible et à tout moment. Cet outil très convivial, une fois déployé dans les stations, facilitera énormément la tâche à l'observateur notamment dans les stations d'aérodrome. Comme, il permettra d'éviter les erreurs de lecture des valeurs extrêmes de vent et de pression habituellement effectuée visuellement. En plus de cela, un archivage de données de haute résolution temporelle est assuré via cette interface.

Dans le cadre de l'amélioration de son service vers les clients aéronautiques, l'ONM pourra envisager un déport des données de vent et de pression en temps réel grâce à l'installation de cette application dans la tour de contrôle des aérodromes. La force de ce Dashboard réside dans le fait qu'il est extensible et donc pourra renfermer d'autres calculs et graphiques relatifs au vent et la pression en même temps. L'ONM pourra donc à travers cette expérience réussie d'envisager l'application des procédés similaires à d'autres paramètres météorologiques.

Références

<https://nodered.org/docs/> (consulté le 15-04-2018)
<https://nodejs.org/en/docs/> (consulté le 17-05-2018)
<https://dev.mysql.com/doc/> (consulté le 21-05-2018)

Gestion du flux de données en provenance du GTS ou SMT (Système Mondial des Télécommunications)

Mohamed Arab Benamara^{1*}, Idir DEHMOUS¹, Mohamed BOUZGHAIA¹

Abstract

La mesure ou l'observation est très importante ou même capitale dans le domaine de la météorologie, elle est utile pour les deux branches de cette dernière, la première branche est la climatologie qui consiste essentiellement à archiver des observations pour les statistiques faites en prévision climatique (modèles statistiques et climatologiques), la deuxième branche est la prévision numérique du temps (PNT) qui consiste à faire tourner des modèles numériques, ces derniers sont initialisés par la combinaison d'un état atmosphérique connu (prévision à courte échéance) et les observations valides au moment du lancement de la prévision.

Au niveau de l'ONM, la collecte des messages d'observations météorologiques est assurée par le cntm (centre national des télécommunications météorologiques), en qualité de centre national de de centre régional des télécommunications (CRT). Les services demandeurs de ces messages sont variés. Par ailleurs, afin d'assurer une exploitation optimale des messages, leurs transmissions via le Système Mondial des Télécommunications de l'OMM se fait d'une manière automatique au moment opportun.

Pour la période de l'étude du 01 au 31 mars 2018, le nombre total de messages textes METAR, SYNOP, TEMP, TAF ET AMDAR inventoriés a dépassé le million, soit 1009419. Pour les statistiques des retards, le retard moyen global des messages reçus était 3.38 heures depuis l'heure de l'émission jusqu'à l'heure de la réception. Pour l'inventaire des fichiers binaires, les retards moyens dans l'émission/réception varient de 1,33 h à 7,5 h.

Keywords

Message d'observation, CRT, SMT, classification des messages

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

*Correspondant: m.benamara@meteo.dz

Contents

Introduction	79
1 Méthodologie	79
2 Classification des Messages selon leurs Formats et contenus	80
3 Statistiques des Messages	81
3.1 Inventaire des messages	81
3.2 Réception des messages	81
4 Classement des messages selon l'entête WMO	81
4.1 4.1 Vers Une Base de données Interrogeable	81
5 Conclusion	82
References	82

Les observations météorologiques sont variées et diversifiées à ce titre leur classification s'avère difficile et compliquée. Dans notre service qu'est la PNT (prévision numérique du temps), le besoin en données venant des réseaux national et mondial est primordial pour l'aboutissement de nos programmes, de l'initialisation (adaptation dynamique) à l'assimilation (fabrication de l'état initial) jusqu'au contrôle, la mesure ou l'observation météorologique est vitale. De ce fait, avoir une information sur le flux, les types de données et leurs disponibilités est très important.

Dans cette étude, plusieurs approches ont été réalisées pour identifier les types et les formats des messages ainsi que

leurs contenus. La période de l'étude est basée sur les données de la période du 01 au 31 mars de l'année 2018.

Dans notre démarche nous avons commencé par la première classification qui consistait à classer ou séparer le flux de données en fichiers textes et en fichiers binaires. Les fichiers en format texte ont été identifiés en repérant les mots clés de chaque type de message connu (AAXX pour les synops terrestres, METAR pour les metars, AMDAR pour les amdars, etc). L'autre catégorie des fichiers qui arrive via le SMT est de format binaire. Ces derniers sont repérés grâce aux mots clés GRIB [1] et BUFR [2] qui apparaissent en les lisant comme des fichiers textes (en utilisant la commande « vi » ou « cat » sous unix). La deuxième classification ou l'autre démarche qu'on a réalisé dans le but de trouver la méthode optimale était, d'adopter ou de suivre les tables [3] mises au point par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) qui consiste en un système de nomination symbolique des fichiers échangé via le réseau GTS [4], qui est conçu principalement pour fournir un moyen par lequel les messages échangés peuvent être reconnus par le système de gestion des données et garantir l'unicité de chaque bulletin lors des processus d'émission réception.

1. Méthodologie

L'exploitation des messages météorologiques est multiple. Les services demandeurs de ces mêmes messages sont aussi

variés. Par ailleurs, afin d'assurer une exploitation optimale des messages, leurs transmissions à qui de droit, devrait se faire d'une manière automatique au moment opportun. La problématique est la mise en place d'un modèle de classification des messages météorologiques qui assurera une exploitation optimale. Les étapes à suivre sont les suivantes:

- a- Identification des messages météorologiques
- b- Tri et classification des messages météorologiques
- c- Redirection automatique des messages météorologiques

2. Classification des Messages selon leurs Formats et contenus

Pour accomplir ce travail, nous avons procédé par deux approches. La première approche est la classification des observations selon leurs formats.

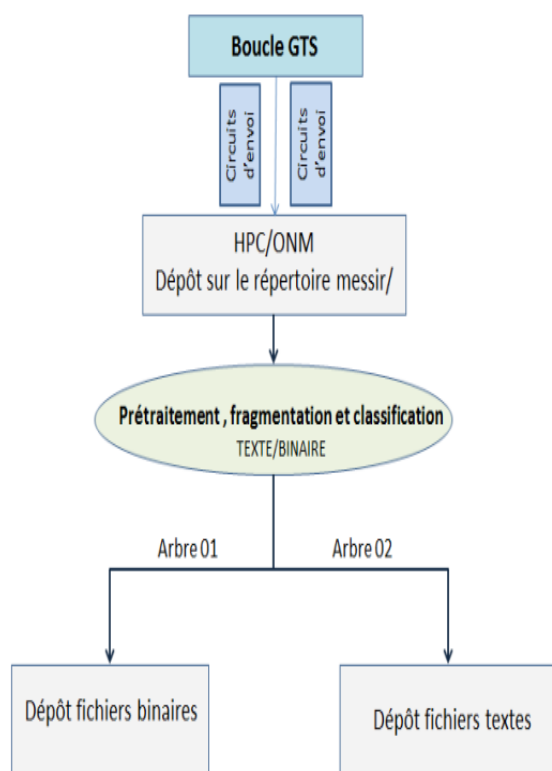


Figure 1. Organigramme de cheminement des données

Ce schéma nous montre le cheminement des données, de la boucle GTS jusqu'à leur séparation selon le type de format texte ou binaire à leurs aboutissements dans leurs dépôts respectifs. Cette classification consistait à classer ou séparer le flux de données en fichiers textes et en fichiers binaires. Ensuite on est passé à la reconnaissance des contenus des fichiers en format texte ou binaire en les repérant

par les mots clés de chaque type de message connu.

Exemple d'un message SYNOP :

```
SMAL20 DAMM 301200 RRA
AAXX 30124
60585 12958 00818 10199 20005 40223 58012 60001
333 0//00=
```

Exemple d'un message METAR

```
SAAL33 DAAA 301900
METAR DAAE 301900Z 19006KT CAVOK 09/07 Q1028=
```

Exemple d'un message AMDAR

```
UDAF01 FAPR 081638
AMDAR 0816
ASC AFZA49 3404S 01837E 081635 F022 PS135 196/013
ASC AFZA49 3404S 01837E 081635 F024 PS124 202/010
```

De même pour les binaires qui sont repérés grâce aux mots clés GRIB et BUFR qui apparaissent en les lisant comme des fichiers textes (en utilisant la commande « vi » ou « cat » sous unix) :

Exemple des messages de types GRIB

```
0002403700^A^M^M
106^M^M
HTXX99 LFPW 280600^M^M
GRIB^@]Â^A^@^@ (^AUÓÿ<80>^Kd
```

Exemple des messages de type BUFR

```
0000039500^A^M^M
966^M^M
ISMA02 EKMI 251200 RRC^M^M
BUFR^@^Ad^D^@^@^V^@^@^@^@^@
```

Les fichiers binaires sont classés en fichiers GRIB et en fichiers BUFR en un premier temps. Puis on les classera selon leurs contenus. Les fichiers en format binaire principalement les GRIB, ont été classés en lisant le « header » ou entête. Le header nous renseigne sur le centre d'émission ou d'élaboration, de la date de sa validation, du paramètre dont il s'agit, du niveau (altitude ou couche), de la résolution horizontale et du domaine ou de la zone couverte par le champs, l'utilitaire utilisé est « wgrib » développé par le NCEP (National Center for Environment Prediction).

Les autres fichiers binaires traités sont en format BUFR, Utilisé principalement pour l'échange des données observations telles que, les données satellites. L'utilitaire utilisé pour leur décodage est « Bufr_dump » développé par l'ECMWF (European Centre for Medium Weather Forecast)

```

1-4   identifier = BUFR
1-3   section1Length = 22
4     masterTableNumber = 0
7-8   bufrHeaderSubCentre = 0
9     updateSequenceNumber = 0
10    section1Flags = 0 [00000000]
11    dataCategory = 4
12    internationalDataSubCategory = 0
13    dataSubCategory = 255

```

3. Statistiques des Messages

Inventaire des messages

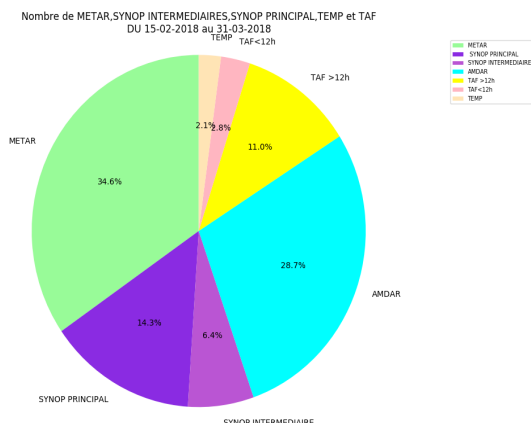


Figure 2. Inventaire des messages

La figure 2 nous montre la part de chaque type de fichier dans l'inventaire que l'on a réalisé durant la période de l'étude.

Réception des messages

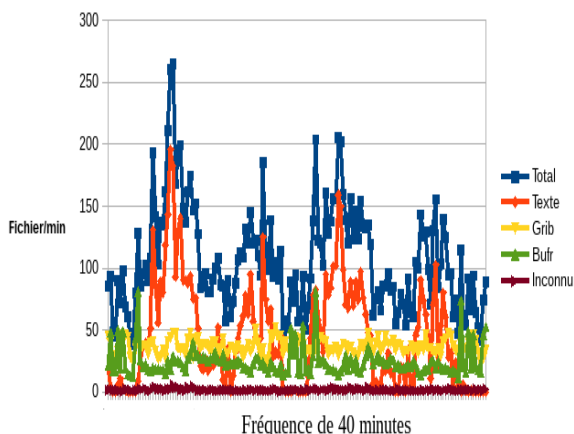


Figure 4. flux de réception des messages

La figure 4, montre le flux de réception important de tous les messages confondus par une fréquence de 40 minutes (texte, bufr, grib, autres). Ci-dessous nous afficherons quelques statistiques des fichiers grib et bufr.

Indicatif	Nombre	Centre	Résolution
HEXW98	76	DAMM	0,08
HEXX00	1522	LFPW	0,50
HEXZ98	38	ECMF	0,50
HEYB98	38	EGRR	1.00

Indicatif	Nombre	Centre	Catégorie
IOBA01	1972	MADRID	SURF-SEA
ISAI01	6352	BRASILIA	SURF-LAND
ISBC01	86	TOKYO	Radar
ISCA01	7	DUBLIN	SURF-LAND

4. Classement des messages selon l'entête WMO

Le système de nomenclature symbolique basé sur des tables mises au point par l'OMM et utilisé par le GTS permettant de :

- Codification commune à tous les types de données.
- Identification rapide grâce aux tables (tables WMO N°386, Vol I)
- Garantir l'unicité de chaque bulletin lors des processus d'émission réception.

La forme générale des noms des fichiers est donnée par une forme symbolique : « TIT2A1A2ii_CCCC_YYGGgg_(BBB) »

Symbole	Signification
TIT2	Forme générale du bulletin et Type de données
A1A2	Emplacement géographique du bulletin
ii	Indicatifs numériques
CCCC	Indicateur international du centre qui est à d'origine du message
YYGGgg	Indicateur Temporel
BBB	Indicateur d'addition, de correction ou d'amendement

A travers ce tableau nous avons essayé de montrer, les motifs qui font la distinction parmi les différents types de messages et aussi en les inventoriant.

Classement Synthétique Par Motif (Résultats)

Type	Sous-Type	Motif	Nombre /jour
GRIB	Arpege	"(R)(Y).+LFPW.*\$	31693
	FFS	"(R)(Y).+EGRR.*\$	13676
	UKMet	"(R)(Y).+ECMF.*\$	838
	Aladin	"(R)(Y).+DAMI.*\$	1921
	UKMet	"(R)(Y).+EGRR.*\$	3121
	GFS	"(R)(Y).+NCEP.*\$	0
	Océano	"(C).*\$	0
	Other	"(R)(Y).*\$	580
	ImageSat	"(E)(T).*\$	0
	Analyses	"(A).*\$	0
Observation de surface	Analyses	"(A).*\$	2
	Climat	"(C).*\$	18
	Previsions	"(P)(T)(C).*\$	3423
	Previsions	"(P).*\$	17
	GRID	"(G).*\$	37
	Obs-Bufr	"(Z)(N).*\$	0
	Obs-Bufr	"(Z)(S).*\$	32392
	Obs-Bufr	"(Z)(U).*\$	11660
	Obs-Bufr	"(Z).*\$	4403
	Pre-Bufr	"(Z).*\$	66
Observations d'altitude	PREX	"(P)(X).*\$	21
	NMIL	"(L).*\$	0
	Notices	"(N).*\$	0
	Pictorial	"(P)(Q).*\$	0
	METAR	"(M)(A).*\$	225
	RAOQB	"(R)(A)(Q)(B).*\$	8806
	SYNOPS	"(S)(Y)(N)(O)(P).*\$	0
	BUOY	"(B)(U)(O)(Y).*\$	6025
	Other	"(S).*\$	0
	Other	"(S).*\$	3523
Alertes	ALERT	"(A)(L)(E)(R)(T).*\$	448
	TELEP	"(T)(E)(L)(E)(P)(H)(O)(N)(E).*\$	6763
	PILOT	"(P)(I)(L)(O)(T).*\$	582
	Other	"(C).*\$	0
	Other	"(N).*\$	97
	Other	"(C).*\$	0
	Other	"(C).*\$	0
	Other	"(C).*\$	0
	Other	"(C).*\$	0
	Other	"(C).*\$	0

Figure 5. inventaire et motifs synthétiques

4.1 Vers Une Base de données Interrogeable

Afin de rendre notre travail exploitable nous sommes passé à l'étape de création de base de données interrogeable dont la démarche est ci dessous : Aperçu de la base de données Base

de données SQLite (Flexibilité + légèreté) Identification des données par :

- Entête
- Date de création
- Date de référence
- Numéros d'ordre

Exemple de Requête

Pour interroger la base de données nous avons suivi les étapes suivantes :

- Commande : GtsGet (Accessible sur le HPC de l'ONM)
- Arguments d'entrée :
 - Date de Début : 3 mois avant la date de la requête
 - Date de Fin : instant de la requête
 - Motif de correspondance de l'entête : "^FT.*\$" (correspondant à tous les TAF courts)
 - Dossier de dépôt des données : "data"

5. Conclusion

Dans le but, d'identifier tous les messages reçus via le SMT, nous avons entrepris dans un premier temps une démarche qui consistait à classer les messages selon leurs types d'écriture et selon leurs contenus repérés par les mots clés qui différencient les messages. Nous avons terminé par un inventaire des messages répertoriés et nous avons donné les statistiques sur le type de messages reçus et les retards entre l'émission et la réception. Dans une seconde étape nous avons opté pour un classement selon les tables établies par l'OMM. Ces tables permettent d'identifier tous les messages quelque soient leurs formats et contenus. Pour la période d'étude, le nombre total de tous les messages textes (METAR, SYNOP, TEMP, TAF et AMDAR) obtenu est de l'ordre de 1009419.

Les nombres de ces messages en pourcentage étaient de 26.86% pour les metar, 16.05% pour les synop, 22.27% pour les amdar, 1.66% pour les Temp, et 10.71% pour les TAF. En ce qui concerne les statistiques des retards, la moyenne des retards de tous les messages reçus était de 3.38 heures depuis l'heure de l'émission jusqu'à l'heure de la réception. L'inventaire fait dans le cadre de cette étude montre que le nombre des fichiers binaires est plus importants par rapport aux fichiers textes. Ces fichiers contiennent des champs aux points de grille des différents paramètres, pression, humidité relative, précipitation, température, vent, vitesse verticale, rayonnement, divergence, houle et vague en format grib et d'autres en format bufr contiennent les observations en surface, en altitude et des mesures des propriétés océanographiques et limnographiques dont les retards moyens dans l'émission/réception varie entre 1,33 h à 7,5 h.

References

- [1] Ncep wmo grib2 documentation.
- [2] Shawn R Smith, Eric Freeman, Sandra J Lubker, Scott D Woodruff, Steven J Worley, William E Angel, Dave I Berry, Philip Brohan, Zaihua Ji, and Elizabeth C Kent. The international maritime meteorological archive (imma) format. *disponible en la página web: <http://icoads.noaa.gov/e-doc/imma>*, 3, 2016.
- [3] BMO WMO, OMM. *CATALOGUE OF METEOROLOGICAL BULLETINS*. Number 9. 2012.
- [4] WMO. *Manual on the Global Telecommunication System*. Number 386. 8 edition, 2009.

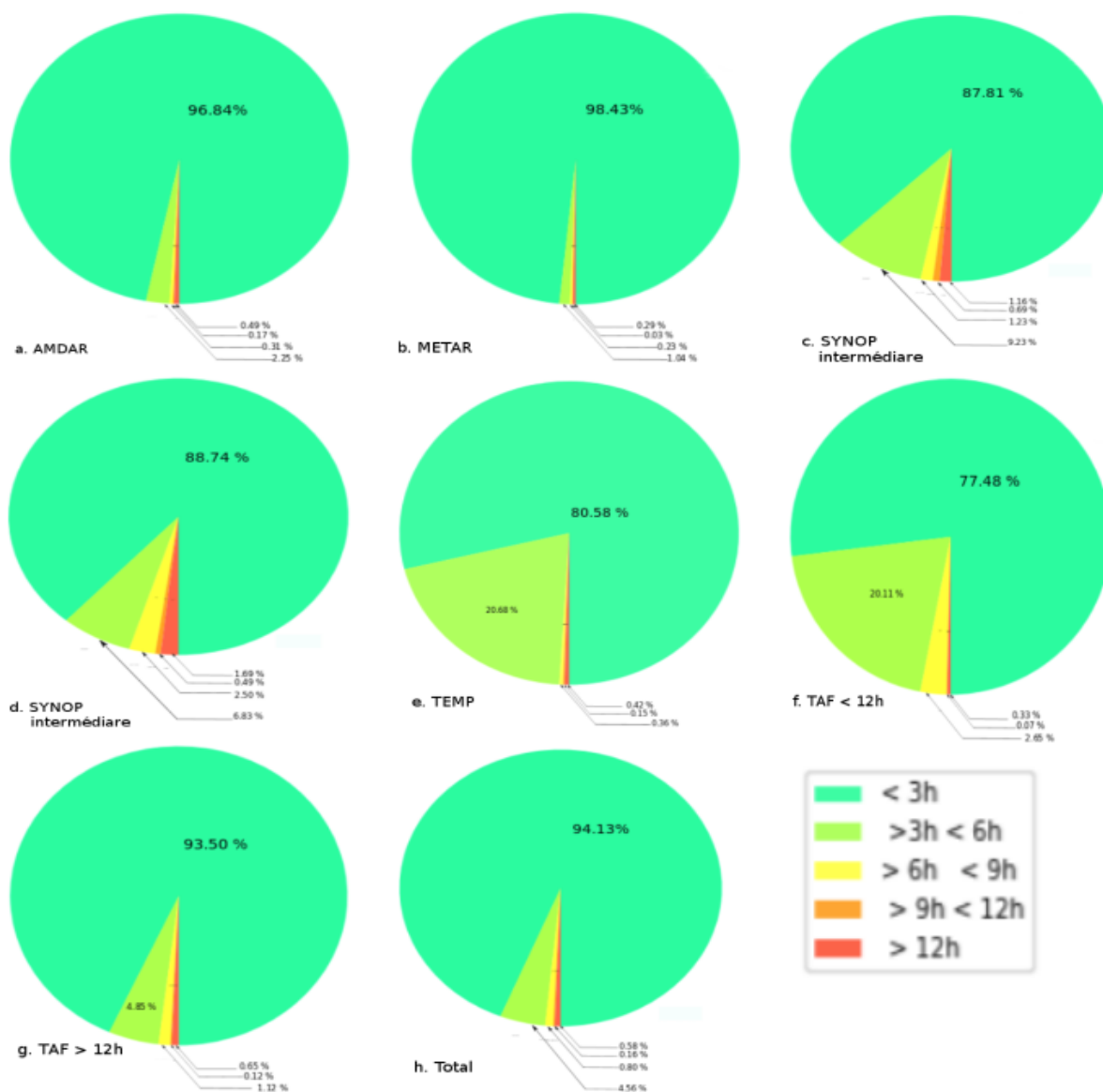


Figure 3. Pourcentage des retards dans la réception par type de message

Méthodes de prévision d'occurrence d'Orage par traitement statistique: Cas d'Alger

BENSABEUR Abdelmadjid ^{1*}

Abstract

Notre travail porte sur les aspects fondamentaux des méthodes statistiques utilisées dans la prévision météorologique. Il a été élaboré dans le but d'améliorer la prévision d'occurrence d'orage sur l'Algérois. L'étude met en relation des occurrences d'orages, diagnostiquées à l'aide des valeurs d'indices d'instabilité déduits du modèle ALADIN-Algérie, complétés par des paramètres mesurés au niveau de la station météorologique de Dar El beida (Pression, température, humidité). Le CAPE est l'indice le plus corrélé à l'occurrence d'orage sur l'Algérois.

Les expériences étaient axées sur la méthode Perfect Prog, basée sur les fonctions pronostiques telles que la régression logistique et l'Arbre de décision (CART). L'utilisation de la CAPE, pour le diagnostic et la prévision d'occurrence d'orage a permis une amélioration substantielle par rapport à une prévision climatologique et, dans une moindre mesure, par rapport à une prévision par persistance.

Keywords

Prévisions météorologiques; indice d'instabilité, prévision d'occurrence d'orage, CAPE.

¹ Office national de la météorologie, Direction régionale ouest

*Correspondant: a_bensabeur@yahoo.fr

Contents

Introduction 84

References 89

Les inondations en Algérie font partie des dix risques majeurs auxquels est confronté notre pays. La cause la plus fréquente de ces inondations est un orage qui se déplace lentement et peut déverser d'énormes quantités d'eau sur une zone. La ville d'Alger reste une des zones les plus exposées au risque orageux. Elle représente le lieu de rencontre de deux masses d'air de températures et degrés hygrométriques différents, une maritime et froide, l'autre continentale et sèche. A cet égard, on peut citer quelques cas d'inondations catastrophiques sur les plans humain, matériel et économique, liées à de fortes précipitations ayant généré des crues dévastatrices sur Alger (Publication du conseil national économique et social, mai 2003) :

- Mars 1974 sur les wilayas d'Alger et de Tizi-Ouzou et qui ont favorisé la formation de crues importantes. Ces pluies et crues ont causé des dégâts énormes : 52 morts, 4 570 habitations détruites, 18 000 sinistrés et la destruction de 13 ponts et de nombreuses routes.
- Le 10 novembre 2001, de dévastatrices inondations alimentées par un violent orage ont dévalées, en flots puissants et continus, des hauteurs du quartier de Bab El Oued, emportant sur leurs passagers des centaines de véhicules et se soldant par la mort de plus d'un millier de personnes et de dizaines de disparus.

De tels événements, sans parler des dégâts matériels, montrent la nécessité et l'importance de la prévision des

orages. En effet l'anticipation de l'arrivée d'un orage important reste encore assez imprécise dans le temps et dans l'espace. Pour ce faire, les prévisionnistes de l'office national de météorologie utilisent différents produits issus des modèles numériques de prévision du temps, des images satellitaires, des stations d'observations au sol, et des radios sondages. Ceci reste insuffisant sans le traitement statistique qui nous permet d'établir la liaison entre les sorties brutes d'un modèle numérique et les paramètres météorologiques nécessaires aux prévisions d'exploitation. Il s'agit en fait d'une «interprétation» de la sortie du modèle, qui donne des renseignements sur la signification de la prévision numérique en ce qui concerne les paramètres météorologiques observés.

2. Méthodologie

Pour procéder à cette étude nous avons divisé notre travail en deux parties. La première partie est basée sur la littérature. Nous avons donné un résumé des principaux points de la méthodologie statistique utilisée dans le développement d'équations pronostiques. La deuxième partie de ce travail sera consacrée aux principaux résultats obtenus et leurs analyses.

2.1. Méthodes de formulation

En fonction d'un type de données utilisé dans le développement et la mise en œuvre d'équations pronostiques, trois méthodes de formulation sont reconnues:

Méthode classique :

Le développement et l'application des équations pronostiques n'utilisent pas la sortie du modèle de prévision numérique

du temps. Les valeurs des prédictors dans un échantillon d'apprentissage sont dérivées des données d'observation disponibles au moment où la prévision doit être publiée.

Méthode Perfect Prog [1]

Dans le développement des équations pronostiques, la prédiction est liée aux valeurs des prédictors observées dans l'intervalle de prévision cible. En appliquant les équations Perfect Prog, les prédictors sont dérivés de la sortie du modèle de prévision numérique du temps.

Méthode des statistiques de modèles de production (MOS) [2]

Dans les deux cas, les prédictors sont dérivés de la sortie du modèle de prévision numérique du temps.

2.2. Type de la fonction pronostique

La fonction pronostique donne une estimation d'une probabilité conditionnelle d'occurrence d'un orage. La fonction pronostique a été déterminée à partir de l'échantillon de données d'apprentissage par 2 méthodes, dans notre cas :

La régression logistique :

La régression logistique (Ricco R., 2011) est une technique prédictive. Elle vise à construire un modèle permettant de prédire / expliquer les valeurs prises par une variable cible qualitative (le plus souvent binaire, on parle alors de régression logistique binaire ; si elle possède plus de 2 modalités, on parle de régression logistique polytomique) à partir d'un ensemble de variables explicatives quantitatives ou qualitatives.

Arbre de décision :

Est un outil d'aide à la décision représentant un ensemble de choix sous la forme graphique d'un arbre. Les différentes décisions possibles sont situées aux extrémités des branches (les « feuilles » de l'arbre), et sont atteints en fonction de décisions prises à chaque étape. L'arbre de décision est un outil utilisé dans beaucoup de domaines variés. Un avantage majeur des arbres de décision est qu'ils peuvent être calculés automatiquement à partir de bases de données par des algorithmes d'apprentissage supervisé. Ces algorithmes sélectionnent automatiquement les variables discriminantes à partir de données non-structurées et potentiellement volumineuses. Ils peuvent ainsi permettre d'extraire des règles logiques de cause à effet (des déterminismes) qui n'apparaissaient pas initialement dans les données brutes. Les algorithmes conçus pour créer des arbres de décision optimisés sont la CART, ASSISTANT, CLS et ID3/ C4.5 (Ricco R., 2011).

2.3. Conditions et données d'étude

Notre étude propose une méthode statistique pour prévoir l'occurrence d'orage sur l'aéroport Houari Boumedienne et ces alentours. Cette étude permettra de déduire les indices d'instabilité, ainsi que les paramètres mesurés les plus corrélés à l'occurrence d'orage. La période d'étude porte sur deux ans, de janvier 2007 au décembre 2008. L'étude met en relation des occurrences d'orages, diagnostiquées à

l'aide des valeurs d'indices d'instabilité déduits du modèle ALADIN-Algérie pour la période 2007 et 2008 avec un pas du temps de trois heures, complétés par des paramètres mesurés au niveau de la station météorologique de Dar El Beida au même heure. Nous avons utilisé pour cette étude la méthode de formulation « Méthode Perfect Prog » [3], et la fonction pronostiques : Régression logistique et l'arbre de décision C. RT (CHART) [4]. En ce qui concerne le logiciel de traitement Nous avons utilisé TANAGRA [5].

a. Optimisation du prédicand

Le prédicand a été définie comme une occurrence d'orage au moins dans une des deux stations (Dar-El-Beida ou Alger port) (source : centre climatologique Météo algérie). La valeur prédite est considérée comme une variable binaire, représentant l'occurrence d'orage ($y = 1$) ou la non-occurrence ($y = 0$).

b. Optimisation des prédictors

L'ensemble des prédictors comprend quelques indices d'instabilités dérivés de l'analyse du modèle ALADIN-Algérie, complétés par des observations des paramètres pression, température et l'humidité mesurés au niveau de la station météorologique de Dar El Beida Alger. Les prédictors dérivés du modèle ALADIN-Algérie concernent les indices d'instabilités suivants :

La CAPE (Convective Available Potential Energy) qui est l'énergie potentielle convective disponible, représente l'énergie potentielle convective susceptible d'être transformée en énergie cinétique dans les mouvements ascendants.

Indice K :

Cet indice a été développé par J.J. George (1960) [6], mesure le risque orageux à partir d'une série d'informations sur la température verticale, sur l'apport d'humidité près du sol et l'apport d'air sec en altitude.

$$K = T(850) - T(500) + Td(850) - T(700) + Td(700) \quad (1)$$

avec : T = température du point d'état, Td = température du point de rosée et les niveaux considérés 850 hPa, 700 hPa et 500 hPa.

Indice Totals Total : Cet indice est en fait la somme de deux indices distincts, soit le total vertical (VT) et le total transversal (CT). Le total vertical représente le profil de la température verticale, tandis que le total transversal donne une image du profil d'humidité. L'équation de l'indice Total-Total est la suivante :

$$TT = Td(850) + T(850) - 2T(500) \quad (2)$$

Avec : T = température du point d'état, Td = température du point de rosée et les niveaux considérés 850 hPa et 500 hPa.

Indice Lifted Index (LI) :

LI, est généralement défini par la différence de température à 500 hPa, le milieu de la troposphère, entre la température de l'environnement ($T_{500 \text{ hPa}}$) et celle d'une parcelle d'air

soulevée adiabatiquement depuis la surface (T particule) en degrés Celsius ($^{\circ}C$) :

$$LI = T(500hPa) - T(particule) \quad (3)$$

2.4. Méthodes statistiques de sélection des meilleurs prédicteurs

La sélection de variables est une étape clé de la modélisation. Dans notre cas, nous sommes confrontés à sept descripteurs des variables explicatives potentielles. Certaines d'entre elles sont redondantes, d'autres n'ont aucun rapport avec l'orage. Nous avons choisi pour la sélection la méthode STEPDISC (Stepwise Discriminant Analysis). Cette méthode repose sur le critère du LAMBDA de WILKS. Pour évaluer le rôle significatif d'une variable, nous utilisons :

- La statistique F qui, a priori, suit une loi de Fisher, nous choisissons comme règle d'arrêt de comparer la valeur de F calculée avec le seuil 3.842.
- La p-value calculée pour la variable à évaluer et la comparer avec le niveau de signification de seuil (5%).
- Le lambda de Wilks (L), est l'indicateur privilégié pour l'évaluation statistique du modèle. Il indique dans quelle mesure les centres de classes sont distincts les uns des autres dans l'espace de représentation. Il varie entre 0 et 1 : vers 0, le modèle sera bon parce que les nuages sont bien distincts ; vers 1, les nuages sont confondus, il est difficile de discerner les individus appartenant à des classes différentes. Il s'agit en réalité d'un test d'analyse de variance multivariée.

a- Stepdisc Approche Foward

Pour le Stepdisc Forward (Tableau 1), nous observons que la variable CAPE a été introduite à la première étape, le F calculé est de 1769,50. A la seconde étape, la variable T avec un F de 98,44.

CAPE	T	KI	Tot	LI
L : 0,3995	0,3686	0,3566	0,3551	0,3512
F : 1769,50	98,44	39,68	4,87	12,87
p : 0,0000	0,0000	0,0000	0,0275	0,0003

Tableau 1 : Classement des prédicteurs

N ^o	prédicteurs
1	CAPE
2	T
3	KI
4	Tot
5	LI

b- Stepdisc Approche Backward

Pour le Stepdisc Backward (Fig.2), nous observons que la variable CAPE a été introduite à la première étape, le F calculé est de 1192,95 à la seconde étape, la variable LI avec un F de 55,86

CAPE	LI	KI	T
L : 0,7088	L : 0,3683	L : 0,3573	L : 0,3640
F : 1192,95	F : 55,86	F : 19,10	F : 41,64
p : 0,0000	p : 0,0000	p : 0,0000	p : 0,0000

Tableau 2 : Classement des prédicteurs

N ^o	prédicteurs
1	CAPE
2	LI
3	Tot
4	T
5	KI

c- Comparaison FORWARD – BACKWARD

En comparant les résultats fournis par les deux approches, nous observons que le sous-ensemble final diffère légèrement. Nous recensons les variables dans le tableau suivant :

N ^o	foward	backward
1	CAPE	CAPE
2	T	LI
3	KI	Tot
4	Tot	T
5	LI	KI

Seule la CAPE est sélectionné dans les deux cas en premier rang. Les résultats montrent que la valeur du F calculée pour la CAPE dépasse largement le second sélectionné. On peut conclure que l'indice CAPE est le prédicteur le mieux corrélé à l'occurrence d'orage.

2.5. Fonctions pronostiques

2.5.1 Régression logistique

Nous avons isolé les observations dédiées à l'apprentissage, 50 % d'individus sont maintenant sélectionnés pour l'apprentissage. La première information fournie est la matrice de confusion (Tableau 3). Nous disposons du taux d'erreur global en resubstitution (erreur = 0.0051), puis de la sensibilité (Rappel- RECALL) et de (1- Précision) pour chaque modalité de la variable à prédire. Si les YES sont les positifs que l'on cherche à détecter en priorité, nous constatons que notre modèle est plus précis (Précision = 143/143 = 1.0000) que sensible (143/146 = 0.9795).

La section Statistiques du modèle (Tableau 4), confronte le modèle étudié (MODEL) avec le modèle trivial composé uniquement de la constante (INTERCEPT). L'idée est d'évaluer la contribution des variables prédictives dans l'explication des valeurs de la variable occurrence d'orage, il faut que les valeurs pour MODEL soient plus faibles que celles de INTERCEPT.

Les indicateurs les plus intéressants sont AIC (Akaike) et SC (BIC de Schwartz) car ils tiennent compte de la complexité du modèle. La déviance (-2LL) du modèle étudié est mécaniquement plus petit que celui du modèle trivial.

Error rate			0.0051			
Values prediction			Confusion matrix			
Value	Recall	1- précision				
				Y	N	Sum
			Y	143	3	146
Y	0.9795	0.0000	N	0	443	443
N	1.0000	0.0067	Sum	143	446	589

Tableau 3. Matrice de confusion.

Predicted attribute	ORAGE	
Positive value	Y	
Number of examples	589	
Model Fit Statistics		
Criterion	Intercept	Model
AIC	661.670	30.954
SC	666.049	39.710
-2LL	659.670	26.954
Model Chi test (LR)		
Chi-2	632,7165	
d.f.	1	
P(>Chi-2)	0,0000	
R-like		
McFadden's R	Cox and Snell's	
0,9591	0,6584	

Tableau 4. Statistiques du modèle

Concernant notre fichier, si l'on s'en tient au critère SC, nous constatons que les prédictives contribuent effectivement. En effet

$$AIC(MODEL) = 30.954 < AIC(INTERCEPT) = 661.670$$

$$SC(MODEL) = 39.710 < SC(INTERCEPT) = 666.049$$

La section *MODELCHI² TEST* (LR) implémente le test du rapport de vraisemblance pour la significativité globale de la régression. La statistique

$$CHI - 2 = LR = -2LL[INTERCEPT] - (-2LL[MODEL]) = 632.7165$$

Le degré de liberté est égal au nombre de variables explicatives (1).

Nous obtenons une p-value de 0.0000 avec la loi du KHI-2 à 1 degrés de liberté. Le modèle est donc globalement significatif au risque 5%. R²-LIKE fournit les pseudo-R². Ils confrontent d'une manière ou d'une autre la vraisemblance du modèle étudié et du modèle trivial. Nous disposons de 3 indicateurs différents (Mc Fadden, Cox and Snell, Nagelkerke). Ils sont proches de 1, à l'exception de Cox and Snell's, la régression est significative.

Attribute	Coef.	Std-dev	Wald	Signif
constant	-29,624142	8,0029	13,7025	0,0002
CAPE	0,224711	0,0648	12,0296	0,0005

Nous disposons ensuite du tableau des coefficients (Tableau 5). Pour chaque descripteur, y compris la constante, nous

avons l'estimation de la valeur du coefficient, son écart-type, la statistique de Wald destinée à en évaluer sa significativité et la p-value s'y rapportant. Nous constatons que toutes les variables sont significatives à 5.

Modèle de prédiction

$$C(cape) = -29.624142 + (0.224711CAPE)$$

$$ORAGE = \exp(C(cape)) / (1 + \exp(C(cape)))$$

0.5 < ORAGE ≤ 1 Présence d'orage.

0 < ORAGE ≤ 0.5 Pas d'orage.

Évaluation du modèle

Diagramme de fiabilité

Le diagramme de fiabilité (Fig.1), (https://eric.univ-lyon2.fr/ricco/cours/cours/pratique_regression_logistique.pdf) cherche également à confronter les probabilités prédites par le modèle (les scores, en abscisse) et les probabilités observées (la proportion de positifs, en ordonnée) dans des groupes d'individus. Si le modèle est bien calibré, les points doivent former une droite. Dans ce cas notre modèle est moins bon, présente une surévaluation (du deuxième au cinquième point).

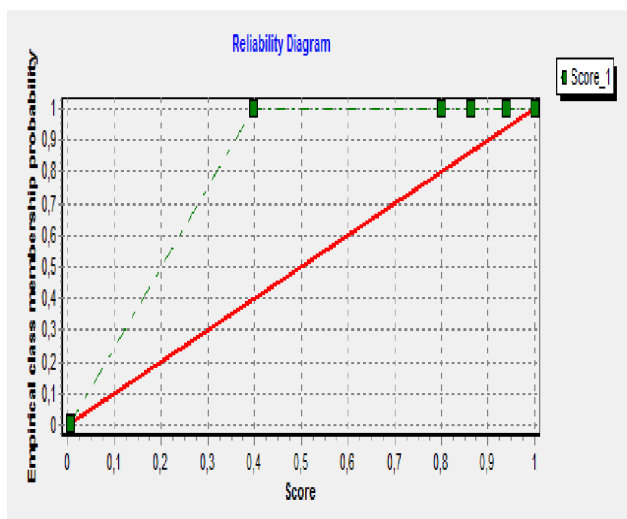


Figure 1. diagramme de fiabilité

Courbe ROC

La courbe ROC (Fig.2), (<http://tutoriels-data-mining.blogspot.fr>) évalue la capacité du modèle à placer les positifs devant les négatifs à partir des scores. Nous obtenons la courbe ROC. L'intéressant dans notre contexte est le critère AUC. Nous avons $AUC = 0.998$. La discrimination fournie par le modèle est « acceptable ».

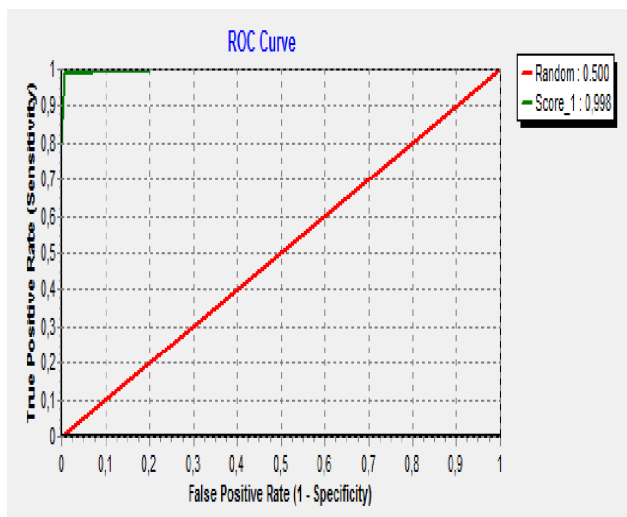


Figure 2. Courbe ROC

Évaluation sur l'échantillon test

Le modèle sur l'échantillon test (fig.8), est précis mais moins sensible ; avec un taux d'erreur acceptable de 0.0119.

Error rate	0.0119					
Values prediction	Confusion matrix					
Value	Recall	1- précision				
				Y	N	Sum
			Y	142	7	149
Y	0.9530	0.0000	N	0	441	441
N	1.0000	0.0156	Sum	142	448	590

Tableau 8. Matrice de confusion (Echantillon test)

Les résultats montrent que le modèle est généralement acceptable, si l'on considère la majorité des indicateurs d'évaluation utilisés jusqu'à présent (matrice de confusion, courbe ROC, évaluation sur test), moins bon sur le diagramme de fiabilité.

2.5.2. Arbre de décision – La méthode CART

La première information fournie est la matrice de confusion. Nous disposons du taux d'erreur global (erreur = 0.0068), puis de la sensibilité (Rappel – RECALL) et de (1- Précision) pour chaque modalité de la variable à prédire. Si les YES sont les positifs que l'on cherche à détecter en priorité, nous constatons que notre modèle est sensible ($288/295 = 0.9763$) et précis (Précision = $288/289 = 0.9989$).

Error rate	0.0068					
Values prediction	Confusion matrix					
Value	Recall	1- précision				
				Y	N	Sum
			Y	288	7	295
Y	0.9763	0.0035	N	1	883	884
N	0.9989	0.0079	Sum	289	890	1179

Tableau 9. Matrice de confusion

Résultat :

CAPE < 125.5000 then ORAGE = N, Pas d'orage

CAPE ≥ 125.5000 then ORAGE = Y, Présence d'orage.

Évaluation sur l'échantillon test:

Le modèle sur l'échantillon test (Tableau 10), est précis mais moins sensible ; avec un taux d'erreur acceptable de 0.0102.

Error rate	0.0068					
Values prediction	Confusion matrix					
Value	Recall	1- précision				
				Y	N	Sum
			Y	143	6	149
Y	0.9597	0.0000	N	0	441	441
N	1.0000	0.0134	Sum	143	447	590

Tableau 10. Matrice de confusion (Echantillon test)

3. Conclusions

Nous avons donc étudié objectivement, sur un échantillon de taille moyenne, les distributions d'un nombre d'indices

d'instabilité calculés à partir des sorties du modèle ALADIN-Algérie, complétés par certains paramètres météorologiques observés à la station météorologique de Dar-El-Beida Alger. Au vu des résultats obtenus, on peut conclure que l'utilisation d'un indice d'instabilité - en particulier celui de la CAPE, est une aide efficace pour la prévision des orages. Ces résultats permettent d'envisager une utilisation pour la prévision opérationnelle. Les seuils proposés peuvent constituer un outil pratique pour les prévisionnistes (Voir chapitre 2.5.1 " modèle de prédiction», ou le chapitre 2.5.2 " Résultat "), c'est une amélioration substantielle par rapport à une prévision climatologique et, dans une moindre mesure, par rapport à la prévision par persistance.

Cette étude présente plusieurs limitations. Parmi ces limitations le fait qu'elle est basée uniquement sur la méthode statistique. En outre certains choix retenus dans cette étude restent arbitraires, comme celui de la taille du domaine spatial autour de la station et celui des plages horaires retenues.

References

- [1] William H Klein, Billy M Lewis, and Isadore Enger. Objective prediction of five-day mean temperatures during winter. *Journal of Meteorology*, 16(6):672–682, 1959.
- [2] Harry R Glahn and Dale A Lowry. The use of model output statistics (mos) in objective weather forecasting. *Journal of applied meteorology*, 11(8):1203–1211, 1972.
- [3] Allan J Bussey, Michael F Remeika, Brian Newton, Daniel DeBenedictis, and Donald C Norquist. A thunderstorm prediction technique based on a perfect-prog approach. Technical report, AIR FORCE RESEARCH LAB KIRTLAND AFB NMSPACE VEHICLES DIRECTORATE, 1999.
- [4] Stéphane Sénési and Rose-May Thepenier. Indices d'instabilité et occurrence d'orage: le cas de l'île-de-france. *La Météorologie*, 1997.
- [5] Ricco Rakotomalala. Tanagra: un logiciel gratuit pour l'enseignement et la recherche. In *EGC*, pages 697–702, 2005.
- [6] Joachim Joseph George and Alfred B Sauer. Closure latch, July 5 1960. US Patent 2,943,880.

