



CONSEIL AFRICAIN ET MALGACHE POUR L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

01 BP 134 OUAGADOUGOU 01 (BURKINA FASO)
TEL (226) 25 36 81 46 - FAX (226) 25 36 85 73 - Email: comes@lecomes.org

Article 12

Titre : Variabilité spatio-temporelle de l'humidité relative au Bénin

Auteurs : Vincent Mahoungon GOHOUNGO, **Clément Adéyèmi KOUCHADE**, Gabin KOTO N' GOBI, Macaire AGBOMAHENA, Irénée Vianou MADOGNI et Basile Bruno KOUNOUHEWA

Journal : Afrique SCIENCE volume 21, numéro 5, pp. 94-108 (2022)

Lien : <http://www.afriquescience.net>

Bases de données d'indexation : Comité de lecture

Nom : KOUCHADE

Prénoms : Adéyèmi Clément

Institution : Université d'Abomey-Calavi

CTS: Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Tel: +229 94398889

email : ckouchade@yahoo.fr

REVUE INTERNATIONALE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

« La science est universelle » dit-on, puisque les lois qui gouvernent notre univers s'imposent à tous les Humains de la planète Terre, indépendamment de leur

[Lire l'intégralité](#)



Consultez le dernier numéro paru [VOL.21, N°6 (2022)]

[Consulter le numéro](#)

Ce que nous faisons

Afrique Science vous offre plusieurs services dont le traitement des articles jusqu'à leur publications dans les normes mais aussi d'autres services parmi tant d'autres.



Passer des annonces

Long established that a reader.

Long established fact that a reader will be distracted by the readable content of a page when looking at its layout. The point of using Lorem Ipsum is that. Has a more-or-less normal.



Fil d'actualités

Variations of passages available.

There are many variations of passages of Lorem Ipsum available, but the majority have suffered alteration in some form, by injected humour, or randomised words which.



Vente des articles au public

Majority have suffered.

Established fact that a reader will be distracted by the readable content page when looking at its There are many variations of passages of Lorem Ipsum available.

Dernieres Parutions

Vol.21, N°6 (2022)

Vol.21, N°5 (2022)

Vol.21, N°4 (2022)

Vol.21, N°3 (2022)

Vol.21, N°2 (2022)

Vol.21, N°1 (2022)

Vol.20, N°6 (2022)

Vol.20, N°5 (2022)

Vol.20, N°4 (2022)

Vol.20, N°3 (2022)

Vol.20, N°2 (2022)

Vol.20, N°1 (2022)

Vol.19, N°6 (2021)

Vol.19, N°5 (2021)

Vol.19, N°4 (2021)

Vol.19, N°3 (2021)

Vol.19, N°2 (2021)

Vol.19, N°1 (2021)

Vol.18, N°6 (2021)

Vol.18, N°5 (2021)

Vol.18, N°4 (2021)

Vol.18, N°3 (2021)

Vol.18, N°2 (2021)

Vol.18, N°1 (2021)

Vol.17, N°6 (2020)

Vol.17, N°5 (2020)

Auteurs Satisfaits

Table content of a page when lookin at its layout. The point of using is that it has a more-or-less normal. Distrib of letters, as opposed. Table content of a page when lookin at its layout. The point of using is that it has a more-or-less normal. Distrib of letters, as opposed.

Saliou Toure, Professeur



La ministre Bakayoko-Ly Ramata lance le prix PASRES du jeune Chercheur en Parasitologie

21 Avril 2016

Established fact that a reader will be distracted by the readable content of a page when looking at its layout... ❏



Des bourses de perfectionnement pour des enseignants chercheurs et établissements

22 Avril 2016

Established fact that a reader will be distracted by the readable content of a page when looking at its layout... ❏

- [⇄ Vol.17, N°4 \(2020\)](#)

- [⇄ Vol.17, N°3 \(2020\)](#)

- [⇄ Vol.17, N°2 \(2020\)](#)

- [⇄ Vol.17, N°1 \(2020\)](#)

- [⇄ Vol.16, N°6 \(2020\)](#)

- [⇄ Vol.16, N°5 \(2020\)](#)

- [⇄ Vol.16, N°4 \(2020\)](#)

- [⇄ Vol.16, N°3 \(2020\)](#)

- [⇄ Vol.16, N°2 \(2020\)](#)

- [⇄ Vol.16, N°1 \(2020\)](#)

- [⇄ Vol.15, N°6 \(2019\)](#)

- [⇄ Vol.15, N°5 \(2019\)](#)

- [⇄ Vol.15, N°4 \(2019\)](#)

- [⇄ Vol.15, N°3 \(2019\)](#)

- [⇄ Vol.15, N°2 \(2019\)](#)

- [⇄ Vol.15, N°1 \(2019\)](#)

- [⇄ Vol.14, N°6 \(2018\)](#)

- [⇄ Vol.14, N°5 \(2018\)](#)

- [⇄ Vol.14, N°4 \(2018\)](#)

- [⇄ Vol.14, N°3 \(2018\)](#)

- [⇄ Vol.14, N°2 \(2018\)](#)

- [⇄ Vol.14, N°1 \(2018\)](#)

- [⇄ Vol.13, N°6 \(2017\)](#)

- [⇄ Vol.13, N°5 \(2017\)](#)

- [⇄ Vol.13, N°4 \(2017\)](#)

- [⇄ Vol.13, N°3 \(2017\)](#)

- [⇄ Vol.13, N°2 \(2017\)](#)

- [⇄ Vol.13, N°1 \(2017\)](#)

- [⇄ Vol.12, N°6 \(2016\)](#)

- [⇄ Vol.12, N°5 \(2016\)](#)

- [⇄ Vol.12, N°4 \(2016\)](#)

- [⇄ Voir tous les numeros](#)

Description

Afrique Science est une revue électronique (non imprimée) internationale des sciences et technologie, multi-disciplinaire (Math, physique, chimie, biosciences, géosciences et sciences de l'ingénieur), qui paraît aux mois de Janvier, Mai et Septembre de chaque année.

Acces rapide

- [■ Accueil](#)

- [■ Editorial](#)

- [■ Numeros Paris](#)

- [■ Espace Annonceurs](#)

- [■ Actualites](#)

Qui sommes nous ?

- [■ Directeur de Publication](#)

- [■ Secretariat Scientifique](#)

- [■ Comite de Lecture](#)

- [■ Conditions de soumission](#)

- [■ Frais de publication](#)

Partenaires



Variabilité spatio-temporelle de l'humidité relative au Bénin

Vincent Mahoungon GOHOUNGO^{1*}, Clément Adéyèmi KOUCHADE¹, Gabin KOTO N' GOBI¹,
Macaire AGBOMAHENA^{1,2}, Irénée Vianou MADOGNI¹ et Basile Bruno KOUNOUHEWA¹

¹ Université d'Abomey-Calavi, FAST, Laboratoire de Physique du Rayonnement (LPR), 01 BP 526 Cotonou, Bénin

² Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Caractérisation Thermophysique des Matériaux et Appropriation Energétique (LaboCTMAE/EPAC/UAC), 01BP 526 Cotonou, Bénin

(Reçu le 04 Mai 2022 ; Accepté le 14 Juin 2022)

* Correspondance, courriel : gohoungo81@gmail.com

Résumé

Cette étude présente la cartographie spatiale et temporelle de l'humidité relative à Cotonou, Bohicon et Savè (milieu subéquatorial), à Kandi, Parakou et Natitingou (milieu soudanien) au Bénin. Notre objectif, mettre à la disposition des usagers (Industriel, Agriculteurs, Chercheurs, etc) un outil d'aide à la décision afin de mieux exploiter, les matériaux et produits hygroscopiques. Elle a utilisé les données météorologiques des six stations précitées sur 50 ans (1966-2016). Les résultats indiquent une forte variabilité de l'humidité relative du nord au sud. Cependant, l'humidité relative a été relativement plus stable au cours des 50 années à Kandi, Parakou et Natitingou, qu'à Cotonou, Bohicon et Savè pendant les saisons des pluies. L'humidité relative est plus élevée au sud-Bénin dans le littoral et plus faible au nord. Février est le mois le plus sec (environ 30 % d'humidité à Kandi). Juillet est le mois le plus humide où le taux d'humidité est estimé à 83 % à Cotonou et 78 % à Kandi.

Mots-clés : *pression partielle de vapeur d'eau, pression de vapeur saturante, température, activité de l'eau.*

Abstract

Spatio-temporal variability of relative humidity in Benin

This study presents the spatial and temporal mapping of relative humidity in Cotonou, Bohicon and Savè (subequatorial environment), in Kandi, Parakou and Natitingou (Sudanian environment) in Benin. Our objective, make available to the users (Industrialists, Farmers, Researchers, etc) a tool to help make the decision in order to better exploit hygroscopic materials and products. It used meteorological data from the six stations mentioned above over 50 years (1966-2016). The results indicate a strong variability of relative humidity from north to south. However, the relative humidity has been relatively more stable over the 50 years in Kandi, Parakou and Natitingou, what to Cotonou, Bohicon and Savè during the rainy seasons. Relative humidity is higher in the south-Benin in the littoral and lower in the north. February is the driest month (about 30 % humidity in Kandi). July is the wettest month where the humidity rate is estimated at 83 % in Cotonou and 78 % in Kandi.

Keywords : *partial pressure of water vapour, Saturating vapor pressure, temperature, water activity.*

1. Introduction

Dans le contexte actuel de changements climatiques et environnementaux, la maîtrise de l'évolution temporelle et spatiale des paramètres météorologiques, notamment celle de l'humidité relative est un enjeu planétaire. Depuis 1896, S. Arrhenius a posé la première formule liant les gaz atmosphériques au changement climatique [1]. Il a en effet mis en évidence l'importance de la vapeur d'eau dans la détermination de la sensibilité du climat à un forçage externe tel que l'augmentation des émissions de dioxyde de carbone (CO_2) et du rayonnement solaire. Généralement le déficit hygrométrique est intégré dans les systèmes de contrôle de l'environnement pour gérer les taux d'humidité et pour optimiser les irrigations [2]. L'humidité relative est la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air par rapport au maximum qu'il pourrait contenir à une température et une pression données. Sa variabilité impacte plusieurs domaines de la vie. Elle constitue par exemple un paramètre potentiellement efficace pour maîtriser le développement et la persistance de microorganismes pathogènes [2]. L'humidité relative joue un rôle important dans l'élaboration des cinétiques de séchage de certains produits [3, 4]. En science du bois, la variation de l'humidité relative influence la grande majorité des paramètres physique et mécanique du bois dont le point de saturation des fibres [5]. Elle induit des contraintes internes qui peuvent entraîner la propagation de la fissure dans le bois [6]. L'humidité relative peut être à l'origine de grosses déformations ou d'attaques fongiques au niveau des structures en bois ; lorsque l'essence utilisée ne présente pas de durabilité naturelle suffisante ou si les conditions de séchage ou d'humidification sont mal contrôlées. Cette sensibilité à l'humidité relative peut constituer un frein à l'utilisation du bois dans la construction si les interactions eau-bois sont mal maîtrisées même si les normes de constructions sont respectées [7]. En agriculture, l'humidité relative joue un rôle important dans la croissance des plantes. Elle a une importance pour l'équilibre hydrique du sol. En deçà de 30 % d'humidité relative, les plantes ferment leurs stomates pour limiter les pertes d'eau, ce qui arrête la transpiration, cité par [8].

Par ailleurs, ces auteurs estiment que, lorsque l'humidité relative est élevée comme par exemple au début de la saison des pluies, elle favorise la germination. Au contraire, une faible humidité relative prolonge la dormance voire la photosynthèse, la transpiration limitée et le rendement n'est pas optimal. Pour les études agronomiques de la phénologie de *Cola millenii* K. Schum au Bénin, [9] estime qu'il existe une corrélation positive avec la température maximale et corrélation négative avec l'humidité relative de l'air pendant la floraison et la fructification. En climatologie, l'humidité relative est l'un des facteurs essentiels de l'évaporation atmosphérique et, de l'aridité [9, 10]. Par ailleurs, l'humidité relative intervient également dans l'estimation de l'humidité atmosphérique condensable [11 - 14]. Elle joue un rôle clé dans le cycle hydrologique, aussi bien dans le bilan radiatif et chimique de l'atmosphère terrestre. Celle-ci exerce un effet interactif important sur la météo et le climat global et varie avec altitude [1]. L'humidité relative intervient également en médecine traditionnelle chinoise notamment dans le traitement par exemple de la réflexologie plantaire, de l'auriculothérapie, des principes de la médecine traditionnelle chinoise, de la diététique et de la santé en général [15]. Par ailleurs dans l'élevage de certaines races de mammifères, l'humidité relative joue un rôle important. En effet, elle constitue l'un des paramètres climatiques qui influencent beaucoup la fécondité et la variabilité du taux mensuel de vêlage des vaches de race Borgou au Bénin [16, 17]. De nombreuses études ont été publiées sur les liens entre la COVID-19 et le climat. C'est le cas par exemple des études menées par Predict Services qui font apparaître le rôle potentiel de la température et de l'humidité dans la propagation de la COVID-19 [18]. Leurs résultats ont montré également que le climat joue potentiellement un rôle dans la propagation de nombreux virus respiratoires. Par ailleurs, pour [19] l'élévation de l'humidité de l'air intérieur peut avoir un impact positif sur la qualité de l'air intérieur perçue, la symptomatologie oculaire et éventuellement la performance au travail dans l'environnement de bureau. Une variation de l'humidité relative, favorise la transmission et la survie du virus de la grippe dans de

nombreuses études. De même, elle peut contribuer indépendamment ou conjointement au risque de infections à rhinovirus (HRV), soit par une altération de la survie et la propagation des virus dans le l'environnement ou en raison de changements dans la sensibilité de l'hôte [20, 21]. Le rôle que joue l'humidité relative dans les activités terrestres est réel et palpable. L'objectif de cette étude est de présenter la variabilité temporelle et spatiale de l'humidité relative sur toute l'étendue du territoire béninois. Elle a utilisé les données météorologiques des six stations précitées sur 50 ans (1966-2016) à Cotonou, Bohicon et Savè (milieu subéquatorial), à Kandi, Parakou et Natitingou (milieu soudanien). Ce travail peut constituer un outil de décision indispensable dans les domaines cités plus haut.

2. Matériel et méthodes

2-1. Description du contexte climatique et acquisition de données des stations synoptiques

Le Bénin est un pays de l'Afrique de Ouest situé entre les latitudes 6° et 12°3' N et les longitudes 1°2' et 4°8' E. Il s'étend du Nord au Sud sur une longueur d'environ 750 km et occupe une superficie d'environ 114 763 km² [22]. C'est un pays qui jouit essentiellement d'un climat du type tropical continental caractérisé par deux saisons dans le Nord (une pluvieuse et une sèche) et quatre saisons plus ou moins marquées dans le Sud (deux pluvieuses et deux sèches). Le réseau d'observation météorologique classique du Bénin est composé de : 6 stations synoptiques (*Figure 1*) ; 20 stations agro climatiques et 62 postes pluviométriques alors que le réseau d'observation météorologique automatique est composé de :

- 11 stations synoptiques automatiques ;
- 19 stations agro climatologiques automatiques [23] ;
- 19 stations pluviométriques automatiques.

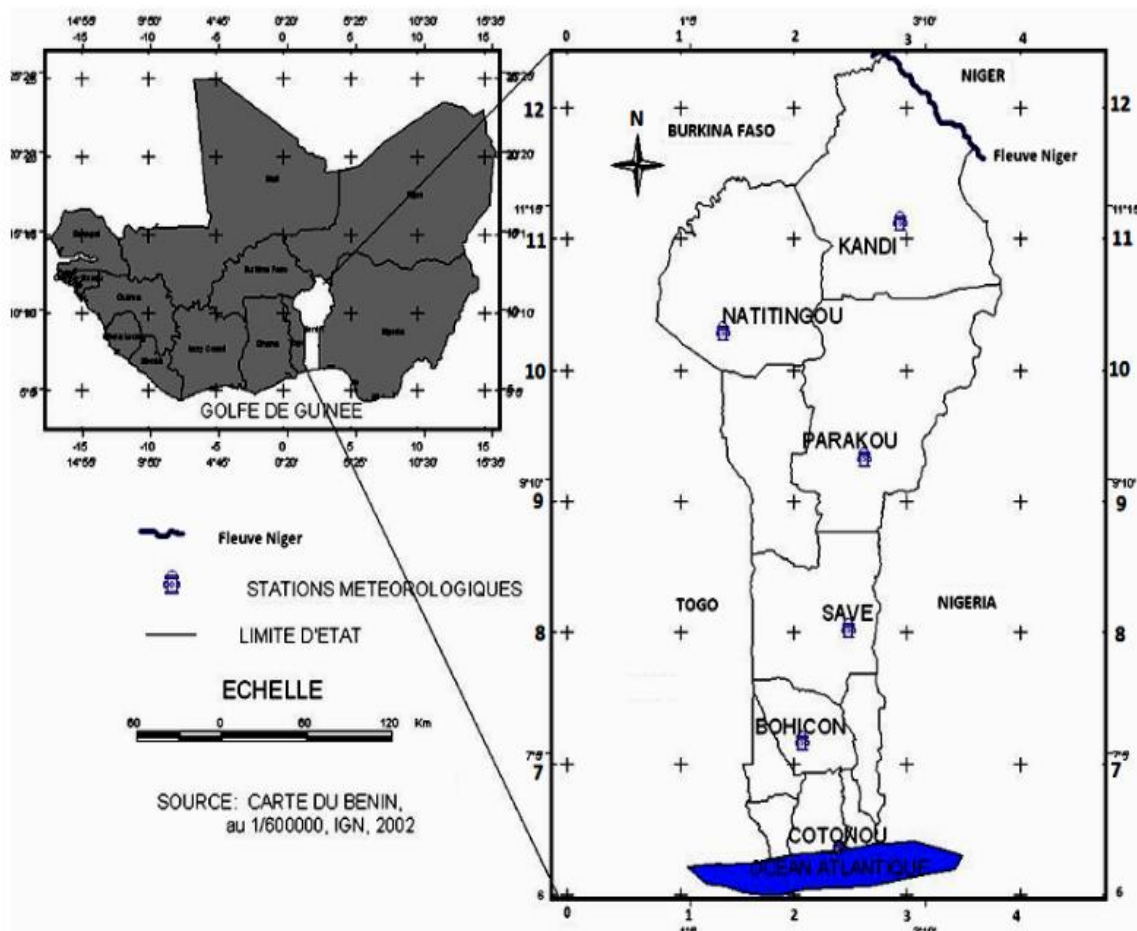


Figure 1 : Localisation des stations synoptiques du Bénin, extrait de [24]

2-2. Traitement des données

L'humidité relative (Hr) de l'air correspond à la pression partielle de vapeur d'eau dans l'air par rapport à la capacité de vapeur d'eau maximale que l'air peut contenir. Elle s'exprime en pourcentage et dépend de la température (T) et de la pression (P). Dans le cadre de cette étude, des données journalières brutes fournies par Météo-Bénin sur les six stations ont été traitées. Seules les données de l'humidité relative sont utilisées. Grâce à Excel, les moyennes inter mensuelles et interannuelles ont été déterminées par station. Un dépouillement par le logiciel Arc GIS a permis d'avoir la répartition mensuelle de l'humidité relative sur toute l'étendue du territoire du Bénin.

3. Résultats et discussion

3-1. Spatialisation de l'humidité relative de 1966-2016 au Bénin

Les *Figures 2, 3, 4 et 5* présentent les cartographies spatiales mensuelles de l'humidité relative moyenne de chacune de six stations météorologiques du Bénin sur 50 ans (1966 à 2016). De l'analyse de ces figures, nous constatons une régularité dans l'évolution de l'humidité relative qui est plus forte au sud dans le littoral et faible au nord, dans les régions de Kandi et de Natitingou sauf à l'extrême nord où l'humidité relative a été certainement perturbée par le fleuve Niger. Elle reste cependant constante suivant les latitudes jusqu'à hauteur de Parakou avant de continuer avec une décroissance radiale centrée à Kandi.

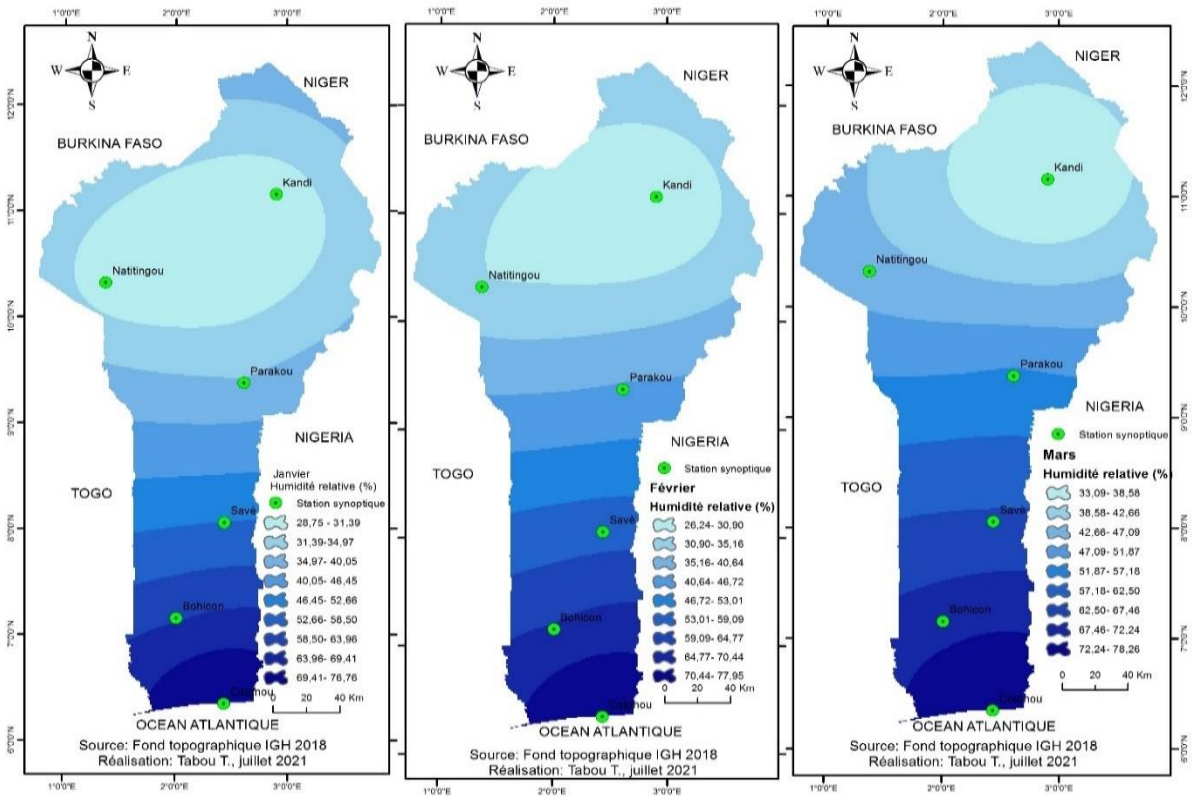


Figure 2 : Cartographie de l'humidité relative des stations synoptiques au Bénin : janvier, février et mars 1966 - 2016

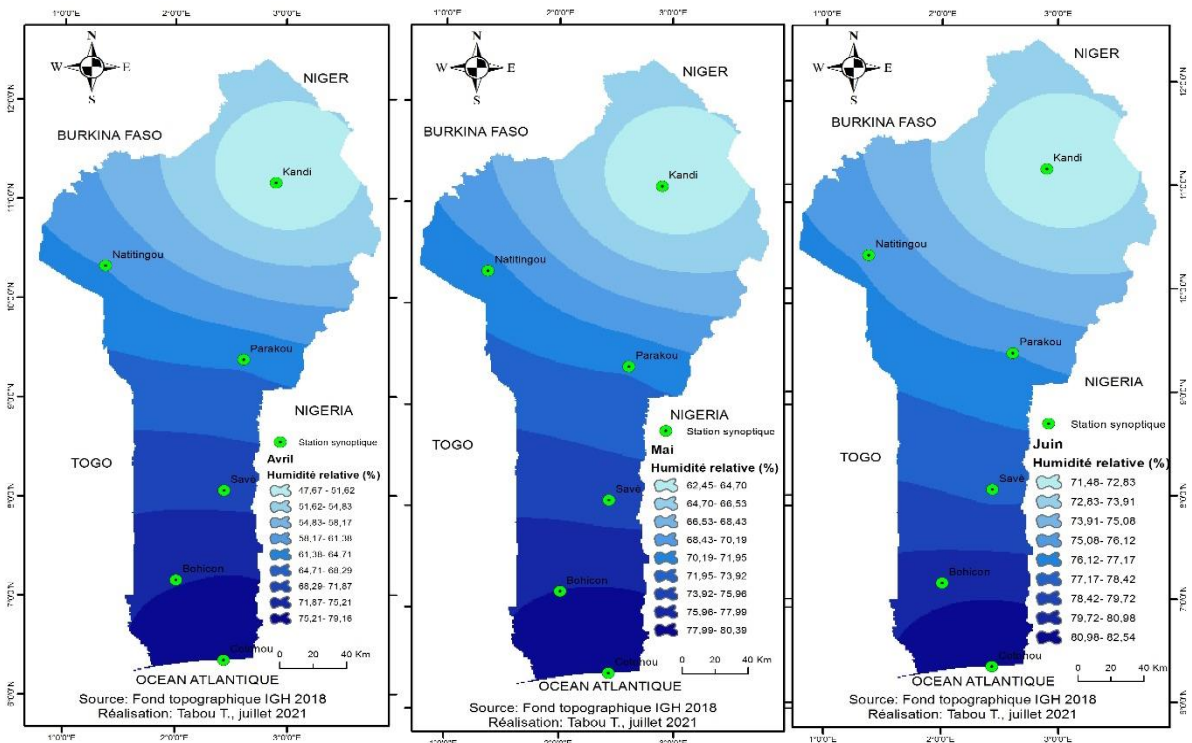


Figure 3 : Cartographie de l'humidité relative des stations synoptiques au Bénin : avril, mai juin 1966 - 2016

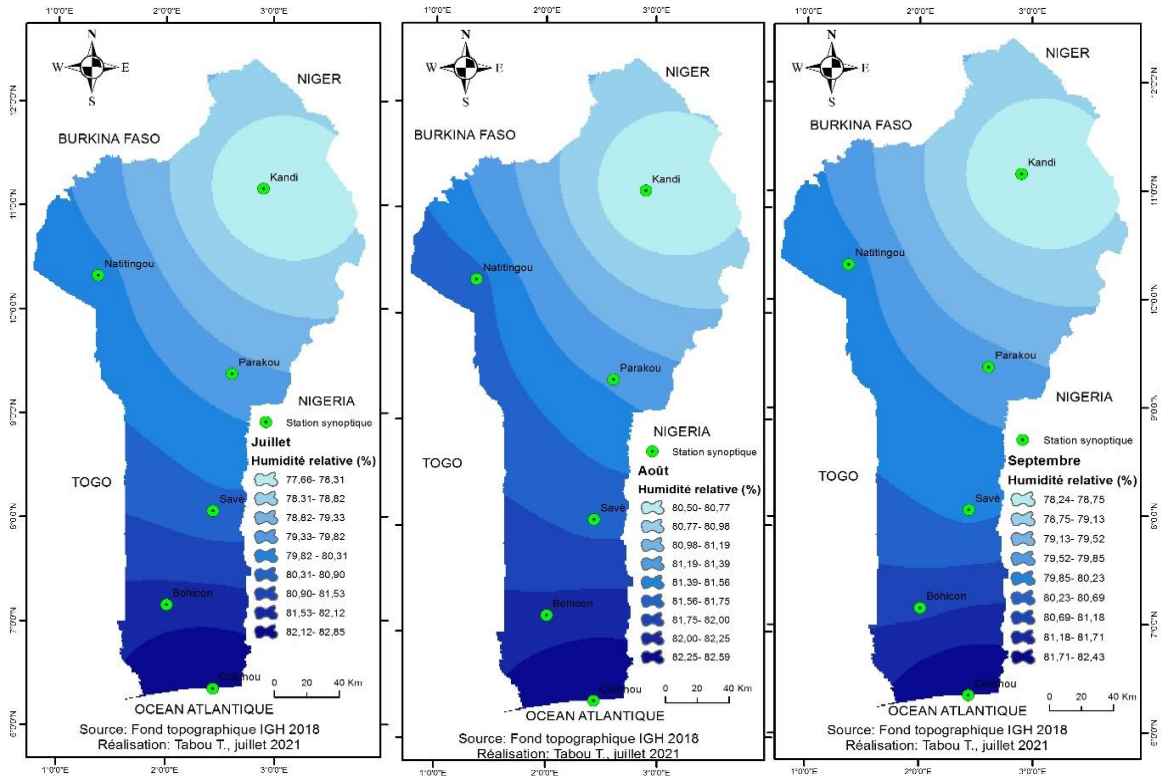


Figure 4 : Cartographie de l'humidité relative des stations synoptiques au Bénin : juillet, août et septembre 1966 - 2016

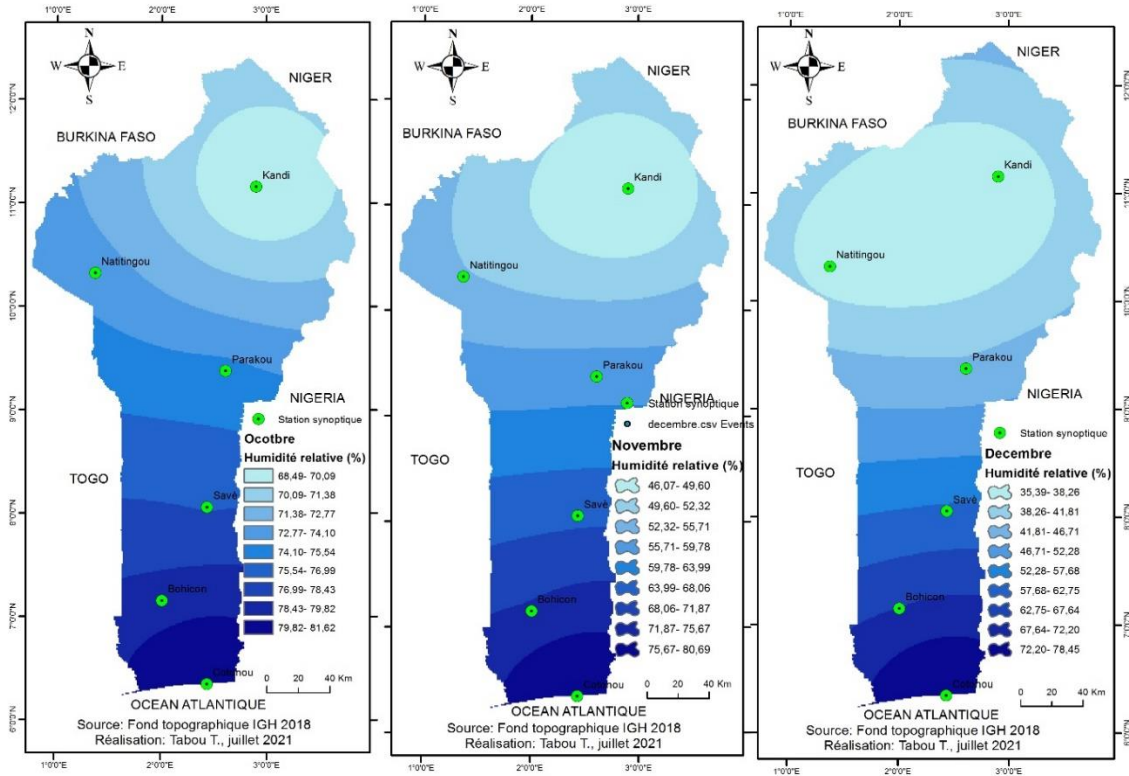


Figure 5 : Cartographie de l'humidité relative des stations synoptiques au Bénin : octobre, novembre et décembre 1966 - 2016

3-2. Variabilité de l'humidité relative en zone subéquatoriale et soudanienne de 1966 - 2016 au Bénin

Le **Tableau 1** ci-dessous présente la moyenne maximale et minimale de l'humidité relative. Il montre qu'en régime à pluviométrie bimodal (Bohicon, Cotonou, Savè), les maximales de l'humidité relatives sont observées respectivement en Juin, Juillet, Aout avec un pic en juillet. Ce qui correspond bien à la saison pluvieuse ; les minimas sont notés en Janvier. En régime à pluviométrie unimodal (Parakou, Kandi, Natitingou), l'humidité relative maximale est observée en Août, avec la minimale en Février. De façon générale, le mois le plus sec est celui de février (environ 30 % d'humidité à Kandi) et le mois le plus humide est celui de juillet où l'humidité peut atteindre 83 % à Cotonou et 78 % à Kandi. Si dans le littoral, la fluctuation de l'humidité n'est grande (de 70 % à 83 %), telle n'est pas le cas à partir de Savé où on peut noter un gradient de plus de 40 unités d'humidité relative (de 53 à 80 % pour Savé, de 40 à 80 % pour Parakou, de 30 à 80 % pour Natitingou et de 26 à 77 % pour Kandi). Nos résultats corroborent avec [25 - 27]. La variation de l'humidité relative est en fonction des vents et des masses d'air associés. Dans un premier temps, les alizés de la mousson emmènent du Golfe de Guinée, un air humide, avec une humidité relative moyenne de 75 % et 85 % puis en saison sèche (période pré-humide et post-humide). L'arrivée de l'harmattan agit dans les zones sahariennes et sahéliennes et transporte un air sec dont l'humidité relative chute à 10-20 % voire 40 % en décembre-janvier-février.

Tableau 1 : L'humidité relative moyenne maximale et minimale de 1966 - 2016

Stations	Maxi - Mois - Année	Mini - Mois - Année
Bohicon	96,17 % - Juin - 2009	40,34 % - Janvier - 1983
Cotonou	89,72 % - Juillet - 1968	55,9 % - Janvier - 1986
Savè	86,13 % - Aout - 2004	23,26 % - Janvier - 1983
Parakou	85,98 % - Aout - 2015	16,83 % - Février - 1992
Kandi	86,15 % - Aout - 2015	19,11 % - Février - 1997
Natitingou	87,43 % - Aout - 2015	18,58 % - Février - 2000

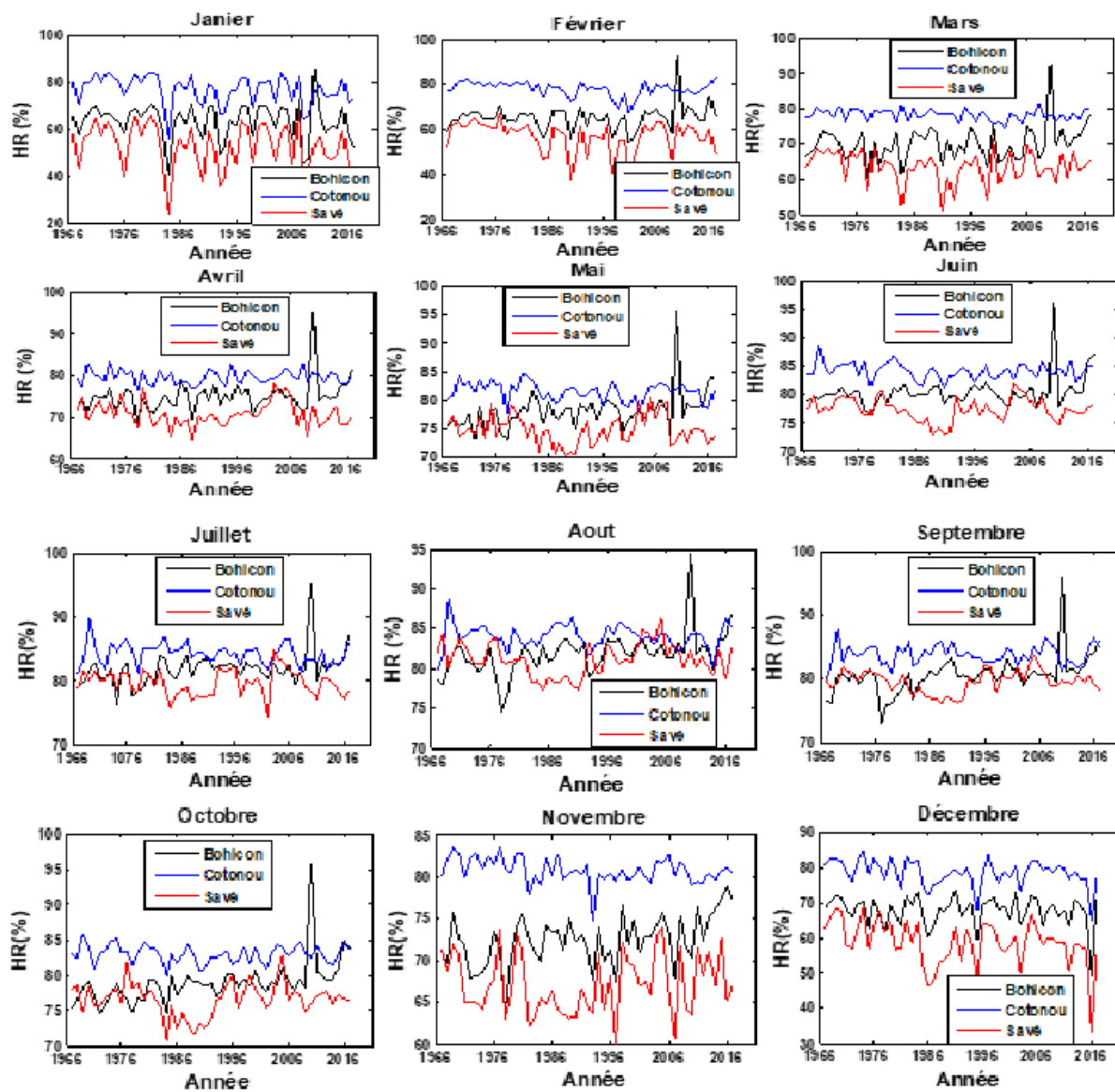


Figure 6 : *Variation de l'humidité relative moyenne mensuelle au Bénin en zone subéquatoriale (Bohicon-Cotonou-Savè) : 1966 - 2016*

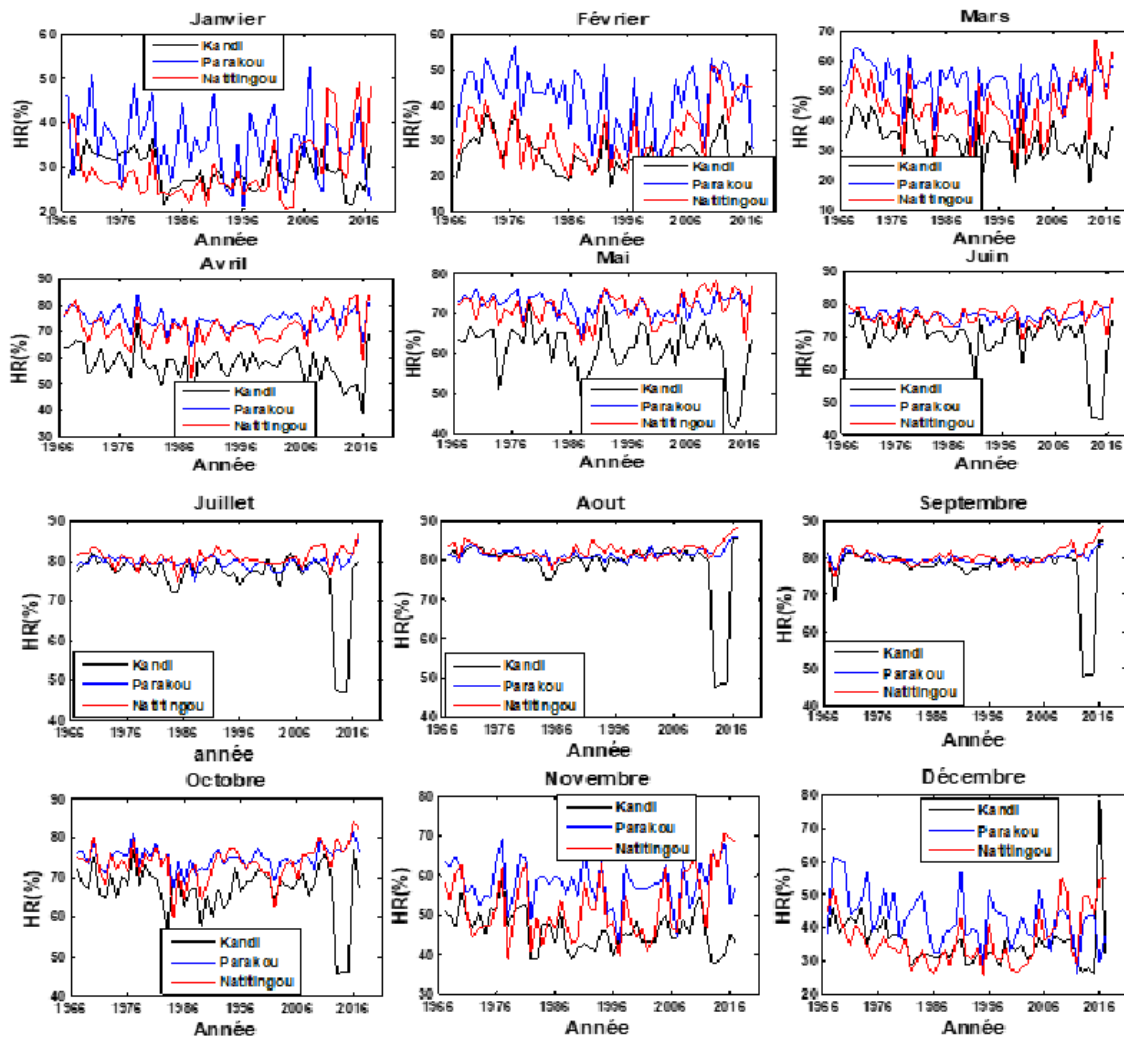


Figure 7 : Variation de l'humidité relative moyenne mensuelle au Bénin en zone soudanien (Kandi-Parakou-Natitingou) : 1966 - 2016

Les **Figures 6 et 7** détaillent la variation annuelle de l'humidité relative pour un mois fixe et par station. Il est utile de constater une relative stabilité de ces valeurs moyennes avec tout de même une petite décroissance perceptible sur chaque station. Cette fluctuation est certainement dû au changement climatique avec une tendance à la hausse de la température de l'univers. Ces résultats montrent clairement, pour toutes les stations de la zone soudanaise, que pendant le trimestre mars-avril-mai, avant l'installation complète de la saison pluvieuse, et le trimestre octobre-novembre-décembre qui marque la fin de la saison pluvieuse l'humidité relative est relativement faible. L'analyse des graphes de la **Figure 6 et 7** indique que l'humidité relative évolue à la baisse sur l'ensemble de la période d'étude et sur toutes les stations sauf à Bohicon et Natitingou où l'humidité annuelle est actuellement en hausse d'année en année avec un minimum remarquable pour Natitingou dans les années 1990.

3-3. Tendence évolutive de l'humidité relative interannuelle des stations synoptiques

La tendance évolutive de l'humidité relative (**Figure 8**) présente plutôt une allure quadratique concave, avec une baisse durant les années 1966 à 2016 pour les six stations synoptiques. En zone subéquatoriale, la tendance est surtout à la hausse de 1966 à 2016 à Bohicon. A Cotonou, cette tendance est en baisse jusqu'en 2000 puis elle est plus significative croissante jusqu'en 2016. La même tendance est observée à Savè comme

à Cotonou. En zone soudanienne, Kandi connaît une baisse de l'humidité relative durant toute la période (1966 - 2016). Cette tendance est pratiquement linéaire. Toutefois, la tendance présente deux concavités, dont la première est régressive (1966-1990) et une deuxième progressive (1990 - 2016) à Parakou et à Natitingou. La tendance est surtout à la hausse à partir de 1990 en zone soudanienne, alors qu'elle est moins significative en zones guinéenne et soudano-guinéenne comme [28] durant la période 1960 - 2008.

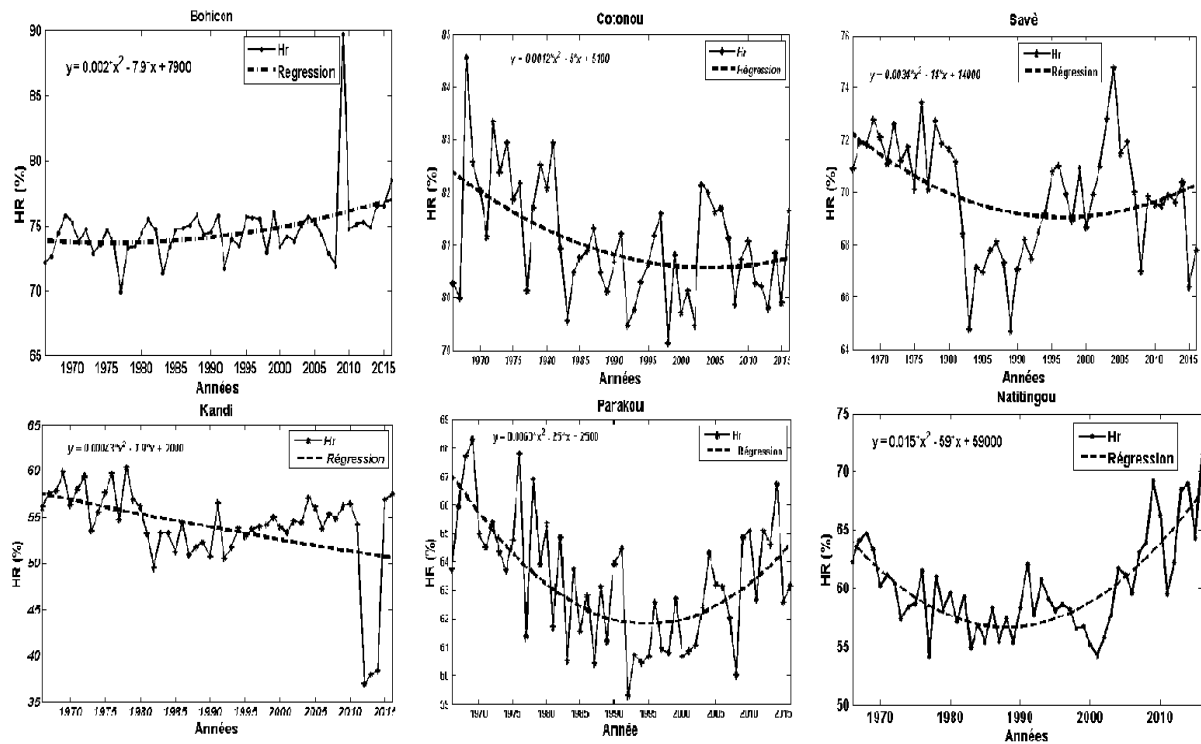


Figure 8 : Courbes de tendance de l'évolution de l'humidité relative interannuelle des stations synoptiques du Bénin : 1966 - 2016

La baisse peu significative de la moyenne annuelle de l'humidité relative (**Figure 8**) s'explique par la baisse quasi-permanente et continue de la pluviométrie et des précipitations annuelles. Des cas de rude sécheresse ont été par exemple constaté sur l'ensemble des sites en 1976 y compris des cas d'inondation en 2010. Ces anomalies sont devenues répétitives durant la période de 1977 - 2004, surtout au niveau des précipitations dans la zone septentrionale du Bénin marqué par une sécheresse généralisée et des déficits pluviométriques [29 - 32]. Pour expliquer l'évolution non stationnaire de l'humidité relative, une autre hypothèse est associée aux processus de rétroaction terre-atmosphère. Différentes études ont indiqué que l'humidité atmosphérique et les précipitations sont fortement liées au recyclage de l'humidité dans différentes régions du monde [33]. Pour cela, l'évapotranspiration peut contribuer largement à la teneur en vapeur d'eau et aux précipitations sur les terres [34 - 37]. Les rétroactions terre-atmosphère peuvent avoir une conséquence marquée sur l'humidité atmosphérique [38], étant donné que l'assèchement du sol peut supprimer l'évapotranspiration, réduire l'humidité relative et ainsi renforcer la demande d'évaporation atmosphérique et peuvent renforcer à nouveau l'assèchement du sol [39, 40]. Dans certaines régions du monde, il existe une forte dépendance entre la variabilité interannuelle de l'humidité relative et celle de l'évapotranspiration des terres [41]. Il insiste en revanche que d'autres régions ont montré une faible corrélation entre la variabilité temporelle de l'humidité relative et l'évapotranspiration des terres. Dans la même veine, [42, 43] montrent que dans certaines conditions climatiques et caractéristiques du sol, l'eau captée par l'humidité relative de l'air contribue à environ 30 % du bilan hydrique total.

3-4. Intérêts de la mise en place d'une carte de l'humidité relative au Bénin

La situation actuelle d'une installation dans la durée de dérèglement climatique fait penser souvent à une élévation continue de la température de l'univers. Nos prédictions font rarement appel à l'humidité relative, pourtant intimement liée à la température ambiante. Sans aucune étude et certainement sur la base d'expériences vécues, nos populations savent qu'il est plus économique d'avoir une porte métallique dans le nord du Bénin que de se tailler une porte en bois qui ne pourra pas traverser une seule saison en raison de la rigidité de l'harman. De la même manière, il est déconseillé de mettre des portes métalliques dans les bordures du littoral presque saturée en humidité. Avec cette carte, il est désormais possible de programmer avec précision les activités hydro-sensibles sur la durée et l'espace du territoire national. En biotechnologie alimentaire par exemple, l'humidité relative intervient dans l'estimation de l'activité de l'eau (a_w). Elle représente la disponibilité de l'eau dans un milieu liquide ou solide. Elle possède également un effet sur les propriétés texturales des aliments. Pour la vitalité et la fonctionnalité des systèmes vivants, la majorité des microbes ne peuvent pas se multiplier en dessous de 0,900 a_w [44, 45]. De même, pour les espèces les plus extrémophiles, la division cellulaire n'est observée que jusqu'à 0,61 a_w [46, 47]. Avec cette carte, il est désormais possible d'identifier le lieu propice naturellement à tous tests biotechnologiques ou de créer les conditions idoines en milieu hostile. Le séchage par exemple entraîne une évaporation de l'eau conduisant à une solidification du milieu à des ratios Hr/a_w très faibles [48]. Plus la valeur de l' a_w est grande, plus l'eau disponible est importante dans les produits et organismes vivants.

Dans ce domaine précis et avec nos relations avec les produits et matériaux hygroscopiques, une telle carte vient à point nommé pour permettre de fixer une certaine norme. Désormais, il est possible d'utiliser du bois dans les ouvrages intérieurs et extérieurs au nord du Bénin, avec un fort gradient d'humidité relative, pourvu que le bois soit bien choisi et que le séchage tienne compte du lieu d'utilisation finale. Il en est de même pour les quantités importantes de produits agricoles qui pourrissent à destination pour faute de maîtrise de leur séchage. Dans la vie archéologique et bactérienne de la division cellulaire, l'activité de l'eau varie de 1 à 0,755 [49 - 51], d'une part, et de 0,755 à 0,605 pour le développement et/ou la germination de certains champignons xérophiles [46, 47], d'autre part. Cette carte est utile pour le développement de technologies dans ce domaine dans notre pays. Dans l'efficacité énergétique des bâtiments, l'humidité relative est capitale et intervient au niveau des enveloppes des bâtiments dans le transfert d'humidité par diffusion de la vapeur, le transport capillaire de l'eau liquide et du transfert convectif de chaleur et d'humidité [52]. Elle intervient également dans le confort thermique dans les bâtiments [52]. De même en hydroponie, pour la croissance des plantes cultivées, l'humidité relative varie entre 50 et 70 % [53]. En effet, elle peut être à l'origine de différents problèmes comme les maladies foliaires et racinaires, le séchage lent du substrat, le stress chez les plantes, la perte de qualité et de rendement des plantes [53]. Pour une production d'igname moyenne par exemple dans la commune de Savalou, l'humidité doit se retrouver entre 67 % et 71 % [54, 55]. Mais à des valeurs inférieures ou supérieures à cet intervalle, correspond une très faible production de l'igname. C'est-à-dire cela engendre le pourrissement surtout sur certaines des variétés d'ignames récoltées et stockées.

4. Conclusion

L'objectif de cette étude est de réaliser la cartographie spatiale et temporelle de l'humidité relative à Cotonou, Bohicon, Savè (milieu subéquatorial), à Kandi, Parakou et Natitingou (milieu soudanien) en vue de donner un outil d'aide à la décision à différentes industries manipulant les matériaux et produits hygroscopiques. Les résultats obtenus sont aussi utiles en agriculture, en climatologie, dans la mobilisation des ressources en eau, en élevage et en médecine. Ils montrent une variabilité de celle-ci selon les régimes pluviométriques et la

proximité des étendues d'eaux. Les résultats montrent une forte variabilité des tendances observées en humidité relative du nord au sud avec un fort gradient au nord et une relative stabilité dans le littoral. L'humidité relative est plus élevée au sud-Bénin dans le littoral et plus faible au nord. Février est le mois le plus sec (environ 30 % d'humidité à Kandi). Juillet est le mois le plus humide où le taux d'humidité est estimé à 83 % à Cotonou et 78 % à Kandi. Cette étude aurait pu être complète si toutes les stations météorologiques disponibles sur toute l'étendue du territoire disposaient de données sur les 50 ans et avaient été prises en compte. Aussi l'effet des microclimats dus à la proximité des points d'eau est indispensable et doit pouvoir améliorer les résultats. Toutefois, le présent travail est un début et va s'améliorer avec la disponibilité de nouvelles données.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ASECNA devenue Météo-Bénin, pour avoir mis les données à notre disponibilité ont servi à la réalisation de ce travail.

Références

- [1] - D. ALRADDAWI, "Rôle de la vapeur d'eau dans le cycle hydrologique en Arctique", Thèse de doctorat, (2017) 189 p.
- [2] - F. ZOZ, "Impact des fluctuations de l'humidité relative de l'air sur la survie de *Listeria monocytogenes* : application à l'amélioration de l'hygiène dans les ateliers de production alimentaire", Thèse de doctorat, (2016) 233 p.
- [3] - B. TOUATI, "Etude théorique et expérimentale du séchage solaire des feuilles de la Menthe (*Mentha viridis*)", Soutenu en, (2008) 142 p.
- [4] - K. DAOUDA, K. K. YOUSOUF, D. C. AKMEL, N. E. ASSIDJO, A. TROKOUREY and J-C. LAGUERRE, "Simulation numérique d'un séchage solaire sous serre à air convectif naturel : Application au séchage de fèves de cacao", (2020)
- [5] - L. LAOU, "Evaluation du comportement mécanique sous sollicitations thermo-hydriques d'un mur multimatériaux (bois, terre crue, liants minéraux) lors de sa construction et de son utilisation", Thèse de Doctorat, (2017)
- [6] - N. A. PHAN, "Construction en bois : adaptation aux changements climatiques ? Effet des variations de l'humidité relative sur l'évolution de la fissuration", Université de Bordeaux, I2M/GCE, 351 cours de la libération-33405 Talence cedex France email : na.phan@i2m.u-bordeaux1.fr, (2015)
- [7] - O. PITOIS, "Maîtrise des transferts et effets induits lors du séchage du bois", Sujet de stage/thèse, (2020)
- [8] - D. V. M. SOSSOU, H. S. T. VODOUNON, "Déterminants Climatiques de la Culture de l'igname dans la Commune de Savalou", (2017)
- [9] - I. F. LAWIN, K.V. SALAKO, A. B. FANDOHAN, A. E. ASSOGBADJO, C. A. I. N. OUINSAVI, "Phénologie de *Cola millenii* K. Schum au Bénin", *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 25 (3) (2021) 161 - 171
- [10] - K. WANG and R. E. DICKINSON, "A review of global terrestrial evapotranspiration : observation, modeling, climatology, and climatic variability", *Rev. Geophys.*, 50, RG2005 (2012) <https://doi.org/10.1029/2011RG000373>
- [11] - T. R. MC VICAR, M. L. RODERICK, R. J. DONOHUE and T. G. VAN NIEL, "Less bluster a head? Ecohydrological implications of global trends of terrestrial near-surface wind speeds", *Ecohydrology*, 5 (2012a) 381 - 388

- [12] - C. KOSMAS, N. G. , J. POESEN and B. VAN WESEMAEL, " The effect of water vapor adsorption on soil moisture content under Mediterranean climatic conditions. *Agriculture Water Management*", Vol. 36, (1998) 157 - 168 p.
- [13] - C. KOSMAS, M. MARATHIANOU, ST. GERONTIDIS, V. DETSIS, M. TSARA and J. POESEN, "Parameters affecting water vapor adsorption by the soil under semi-arid climatic conditions. *Agriculture Water Management*", Vol. 48, (2010) 61 - 78 p.
- [14] - V. M. GOHOUNGO, C. A. KOUCHADE, B. KOUNOUHEWA, "Variabilité saisonnière de l'humidité atmosphérique précipitable en milieu aride ou semi-aride dans la Donga : Bénin (Afrique de l'Ouest)", (2019)
- [15] - M. JANNEAU, " L'humidité en médecine traditionnelle chinoise ", (2011)
- [16] - G. B. KOUTINHOIN, A. K. I. YOUSAO, P. TOBADA, T. M. KPODEKON, V. ADIMATIN, "Influence de l'indice de température et d'humidité relative de l'air sur la fécondité de la vache Borgou élevée selon deux modes d'élevage au Bénin", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3 (6) (2010). Doi: 10.4314/ijbcs. v3i6.53154
- [17] - S. KATE, C. G. HOUNMENO, C. E. AGBANGBA, D. D. S. DEGUENON, M. GBAGUIDI, L. G. K. NAKOU et B. SINSIN, " Effets de l'indice de température et d'humidité relative de l'air sur la fécondité des bovins en zone agropastorale de Banikoara (Nord-Bénin)", *e-Journal of Science & Technology(e-JST)*, (2017)
- [18] - A. ROUMAGNAC, E. De CARVALHO FILHO, R. BERTRAND, A-K. BANCHEREAU et G. LAHACHE, "Étude de l'influence potentielle de l'humidité et de la température dans la propagation de la pandémie COVID-19", 5 (1) (2021) 87 - 102. Published online 2021 janv. 16. French. Doi: 10.1016/j.pxur.2021.01.002
- [19] - P. WOLKOFF, "Indoor Air Humidity, Air Quality, and Health-An Overview", *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Vol. 221, N° 3 (avr. 2018) 376 - 390 p., doi:10.1016/j.ijheh.2018.01.015
- [20] - TM IKÄHEIMO, K. JAAKKOLA, J. JOKELAINEN, A. SAUKKORIPI, M. ROIVAAINEN, R. JUVONEN, O. VAINIO, J. J. JAAKKOLA, " A decrease in temperature and humidity precedes human rhinovirus infections in a cold climate", *Viruses* 8, E244, (2016)
- [21] - J. ZHOU, W. FANG, Q. CAO, L. YANG, V. W. C. CHANG, W. W. NAZAROFF, " Influence of moisturizer and relative humidity on human emissions of fluorescent biological aerosol particles". *Indoor Air*, 26 (2016) 587 - 598
- [22] - E. VISSIN, "Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger", Thèse de doctorat de l'Université de Bourgogne, (2007) 310 p.
- [23] - METEO-BENIN, " Rapport de la situation pluviométrique de 2019", <http://meteobenin.bj/wp-content/uploads/2020/03/Situation-pluviom%C3%A9trique-2019.pdf>
- [24] - G. K. N'GOBI, "Humidité Atmosphérique Condensable au Bénin : Contribution à la correction du stress hydrique chez le maïs en milieu semi-aride", Thèse de doctorat, (2014)
- [25] - PANA, "Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Programme d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques du Bénin", (PANA- Bénin), MEPN, Cotonou, Bénin, (2008) 81 p.
- [26] - A. M. K. KOUASSI, T. KOUAME, Y. B. KOFFI, K. B. DJE, J. E. PATUREL et S. OULARE, "Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonnières en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'Zi (Bandama) en Côte d'Ivoire, (2010)", <https://doi.org/10.4000/cybergeo.23388>
- [27] - D. A. KOUASSI, Y. C. BROU, P.M. K. KOUAKOU, E.O TIENEBO, "Identification des risques climatiques en riziculture pluviale dans le centre de la Côte d'Ivoire", *Agronomie Africaine*, 32 (1) (2020) 1 - 14
- [28] - C. P. GNANGLE, R. GLELE KAKAI, A. E. ASSOGBADJO, S. VODOUNNON, J. A. YABI et N. SOKPON, "Tendances climatiques passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin", *Climatologie*, Vol. 8, (2011). <https://climatology.edpsciences.org>

- [29] - M. BOKO, F. KOSMOWSKI et E. W. VISSIN, "Les enjeux du changement climatique, au Bénin, Programme pour le dialogue politique en Afrique de l'Ouest, Konrad-Adenauer-Stiftung, (2012)". www.kas.de/westafrika
- [30] - F. AFOUDA, "L'eau et cultures dans le Bénin central et septentrional : Etude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu de la savane africaine", Thèse de doctorat. Paris IV-Sorbonne, (1990) 428 p.
- [31] - C. HOUNDENOU, "Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide. l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation". *Thèse de Doctorat* de l'Université de Bourgogne Dijon, (1999) 390 p.
- [32] - M. LELAY et S. GALLE, "Variabilités interannuelle et intra-saisonnière des pluies aux échelles hydrologiques, la mousson ouest-africaine en climat soudanien", *Hydrological Sciences Journal*, 50 (3) (2005) 511 - 524
- [33] - M. RODELL, H. K. BEAUOING, T. S. L'ECUYER, W. S. OLSONA, J. S. FAMIGLIETTIE, P. R. HOUSERF, R. ADLERB, M. G. BOSILOVICH, C. A. CLAYSONG, D. CHAMBERSH, E. CLARKI, E. J. FETZERE, X. GAOJ, G. GUA, K. HILBURNK, G. J. HUFFMANA, D. P. LETTENMAIERI, W. T. LIUE, F. R. ROBERTSONL, C. A. SCHLOSSERJ, J. SHEFFIELDM and E. F. WOODM, "The observed state of the water cycle in the early twenty-first century", *J. Climate*, 28 (2015) 8289 - 8318
- [34] - A. STOHL and P. JAMES, "A Lagrangian analysis of the atmospheric branch of the global water cycle. II. Moisture transports between Earth's ocean basins and river catchments", *J. Hydrometeorol.*, 6 (2005) 961 - 984
- [35] - M. G. BOSILOVICH and J.-D. CHERN, "Simulation of water sources and precipitation recycling for the Mac Kenzie, Mississippi, and Amazon River basins", *J. Hydrometeorol.*, 7 (2006) 312 - 329
- [36] - P. A. DIRMEYER, C. A. SCHLOSSER and K. L BRUBAKER, "Precipitation, recycling, and land memory : An integrated analysis", *J. Hydrometeorol.*, 10 (2009) 278 - 288
- [37] - R. J VAN DER ENT, H. H. G. SAVENIJE, B. SCHAEFLI and S. C. STEELE-DUNNE, "Origin and fate of atmospheric moisture over continents", *Water Resour. Res.*, 46, W09525 (2010), <https://doi.org/10.1029/2010WR009127>
- [38] - S. I. SENEVIRATNE, J. S. PAL, E. A. B. ELTAHIR and C. SCHAR, "Summer dryness in a warmer climate : A process study with a regional climate model", *Clim. Dynam.*, 20 (2002) 69 - 85
- [39] - S. I. SENEVIRATNE, D. LUTHI, M. LITSCHI and C. SCHAR, "Land atmosphere coupling and climate change in Europe", *Nature*, 443 (2006) 205 - 209
- [40] - A. BERG, K. FINDELL, B. LINTNER, A. GIANNINI, S. I. SENEVIRATNE, B. VAN DEN HURK, R. LORENZ, A. PITMAN, S. HAGEMANN, A. MEIER, F. CHERUV, A. DUCHARNE, S. MALYSHEV and P. C. D MILLY, "Land-atmosphere feedbacks amplify aridity increase over land under global warming", *Nat. Clim. Change*, 6 (2016) 869 - 874
- [41] - S. M. VICENTE-SERRANO, R. NIETO, L. GIMENO, C. AZORIN-MOLINA, A. DRUMOND, A. EL KENAWY, F. DOMINGUEZ-CASTRO, M. TOMAS-BURGUERA and M. PENA -GALLARDO, "Recent changes of relative humidity: regional connections with land and ocean processes". *Earth Syst. Dynam.*, 9 (2018) 915 - 937, <https://doi.org/10.5194/esd-9-915-2018>
- [42] - El K. LAKHAL, A. AYYOUB and Z. El ABIDINE TIBA, "Effect of Harvest of Air Relative Humidity on Water and Heat Transfer in Soil With Crops Under Arid Climatic Conditions", *Journal of Engineering Research and Applications* www.ijera.com, ISSN : 2248-9622, Vol. 5, Issue 5, (Part-6) (May 2015) 55 - 62 p.
- [43] - El K. LAKHAL and A. AYYOUB, Effect of Air Relative Humidity Harvest on Soil Moisture Content Under Moroccan Climatic Conditions. *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 5, Issue 4 (Part-1) (April 2015) 74 - 82 p.
- [44] - S. MANZONI, JP SCHIMEL, A. PORPORATO, "Responses of soil microbial communities to water-stress : results from a meta-analysis", *Ecology*, 93 (2012) 930 - 938

- [45] - FE MOYANO, S. MANZONI, C. CHENU, " Responses of soil heterotrophic respiration to moisture availability : an exploration of processes and models. *Soil Biol Biochem*", 59 (2013) 72 - 85
- [46] - JI PITT, " Xerophilic fungi and the spoilage of foods of plant origin. In: Duckworth RB (ed) *Water Relations of Foods*", Academic Press : London, UK, (1975) 273 - 307 p.
- [47] - JP. WILLIAMS, JE HALLSWORTH, "Limits of life in hostile environments; no limits to biosphere function? *Environ Microbiol*", 11 (2009) 3292 - 3308
- [48] - Q. RIBEYRE, " Influence de l'humidité de l'air sur la perte de charge d'un dépôt nanostructure", Thèse de doctorat, (2015) 184 p.
- [49] - H. ANDERSON, "The reddening of salted hides and fish", *Appl Microbiol*, 2 (1954) 64 - 69
- [50] - WD. GRANT, " Life at low water activity", *Philos Trans R Soc London B Biol Sci*, 359 (2004) 1249 - 1266
- [51] - D. C. MONTGOMERY, "Design and Analysis of Experiment", 8th ed. John Wiley & Sons, Inc, (2013)
- [52] - F. GABSI, "Efficacité énergétique des bâtiments : modélisation hygrothermique et commande prédictive économique régularisée". Thèse de doctorat, soutenue le 29 Mars 2021
- [53] - S. PARENT, " Comment l'humidité influence-t-elle la quantité des cultures ?", (2021)
- [54] - D. V. M. SOSSOU, H. S. T. VODOUNON, " Déterminants Climatiques de la Culture de l'Igname dans la Commune de Savalou", (2017)
- [55] - J-B. K. VODOUNOU et Y. O. DOUBOGAN, "Agriculture paysanne et stratégies d'adaptation au changement climatique au Nord Bénin, (2016)". <https://doi.org/10.4000/cybergeogeo.27836>