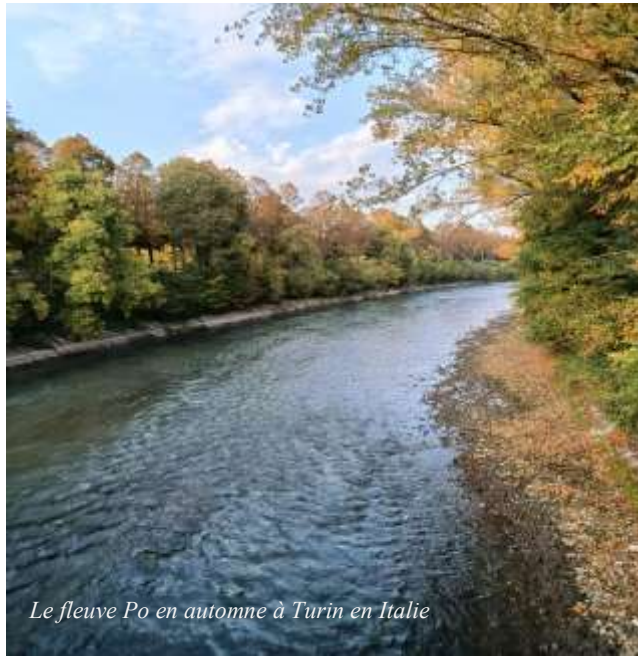


Université Joseph KI-ZERBO

École Doctorale Lettres, Sciences Humaines et Communication

**Laboratoire d'Études et de recherches sur les Milieux et les Territoires
(LERMIT)**

L Û N G A



Le fleuve Po en automne à Turin en Italie

Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou - L ù n g a

Numéro 14 – Octobre 2025

Volume 1

Numéro ISSN édition numérique : 2424-7375

L ù N G A



Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou - L ù n g a

R-G-O est une revue scientifique annuelle. Éditée et diffusée par le Laboratoire d'Études et de recherches sur les Milieux et les Territoires (LERMIT), elle est dotée d'un comité scientifique. Les numéros sont publiés soit en version papier, soit en ligne, soit enfin les deux à la fois.

Les opinions émises dans les articles n'engagent que leurs auteurs. La revue n'est pas responsable des manuscrits qui lui sont confiés et se réserve le droit d'y opérer des modifications, pour des raisons éditoriales.

Université Joseph KI-ZERBO

**École doctorale Lettres, Sciences
Humaines et Communication**

**Laboratoire d'Études et de
Recherches sur les Milieux et les
Territoires (LERMIT)**



Burkina Faso

Unité - Progrès - Justice

Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou (RGO LUNGA)

Directeur de publication : YAMEOGO Lassane

Rédacteur en chef : OUEDRAOGO Lucien

Rédacteur en chef adjoint : YANOOGO Pawendkigou Isidore

Comité scientifique

- BIKPO Céline, Professeur, Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire
- DAMBO Lawali, Professeur, Université Abdou Moumouni, Niger
- BOUREIMA Amadou, Professeur, Université Abdou Moumouni, Niger
- TOURE Mamoutou, Professeur, Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire
- KASSI Irène épouse DJODJO, Maître de Conférences, Université Felix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire
- SY Boubou Aldiouma, Professeur, Université Gaston Berger de Saint-Louis, Sénégal
- MBOW Cheickh, Professeur, Université Cheick Anta Diop, Sénégal
- TENTE Brice Hugues Agossou, Professeur, Université d'Abomey Calavi, Bénin
- OGOUWALE Euloge, Professeur, Université d'Abomey Calavi, Bénin
- YABI Ibouraima Fidèle, Professeur Université d'Abomey Calavi, Cotonou, Bénin
- GNELE José Edgar, Professeur, Université de Parakou, Bénin
- KOLA Edinam, Professeur, Université de Lomé, Togo
- BOUKPESSI Tchaa, Professeur, Université de Lomé, Togo
- KADOUZA Padabo, Professeur, Université de Kara, Togo
- NDOUTORLENGAR Médard, Maître de Conférences, Université de Sarh, Tchad
- SOUMARE Mamy, Maître de Conférences, Université de Bamako, Mali
- DIPAMA Jean-Marie, Professeur, Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou Burkina Faso
- SOME Yelezoumin Corentin, Professeur, Université Norbert ZONGO, Koudougou, Burkina Faso
- NIKIEMA-MEUNIER Aude, Maître de recherche, Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), Ouagadougou, Burkina Faso
- YANOOGO P. Isidore, Professeur, Université Norbert ZONGO, Koudougou, Burkina Faso
- KABORE Oumar, Maître de recherche, Centre National de la Recherche

- Scientifique et Technologique (CNRST), Ouagadougou, Burkina Faso
- OUEDRAOGO Lucien, Directeur de recherche, Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), Ouagadougou, Burkina Faso
- YAMEOGO Lassane, Professeur, Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso
- OUEDRAOGO Blaise, Maître de recherche, Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), Ouagadougou, Burkina Faso
- DANSERO Egidio, Professeur, Università degli Studi di Torino, Italie
- COURTIN Fabrice, Directeur de recherche, Institut de recherche pour le développement (IRD), France
- MAGRIN Geraud, Professeur, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, France
- OREKAN O. A. Vincent, Professeur, Université d'Abomey Calavi, Cotonou, Bénin
- NGUIMALET Rufin Cyriaque, Université de Bangui, Bangui, Centrafrique
- KIBORA Ludovic, Directeur de recherche, Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), Ouagadougou, Burkina Faso
- BAMBARA Evariste, Maître de Conférences à l'Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso
- BASSOLE Clotaire, Maître de Conférences à l'Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso
- KANSAYE Boureima, Juriste, Université des sciences juridiques et politiques de Bamako, Mali

Comité de rédaction

- OUEDRAOGO Lucien, Géographie/SIG et télédétection
- YAMEOGO Lassane, Géographie rurale
- SODORE Abdoul Azise, Géographie / Aménagement
- SANOU Korotimi, Aménagement du territoire
- ROUAMBA Jérémie, Géographie de la santé
- OUEDRAOGO Mahamady, Géographie de la santé /SIG
- KARAMBIRI Sheila Médina, Géographie rurale
- KARAMBIRI Bienvenue Lawankiléa Chantal Noumpoa, Environnement
- OUOBA Pounyala Awa, Géographie physique
- NIKIEMA D. Edwige, Géographie de la santé
- OUEDRAOGO Blaise, Géographie, SIG et télédétection
- KABORE Oumar, Environnement / SIG et télédétection
- SOMA Assonsi, Géographie urbaine
- VALEA Françoise, Environnement
- ZOUNGRANA B. Jean-Bosco, Environnement, SIG et télédétection
- GANSAONRE Raogo Noel, Gestion des ressources Naturelles

SOMMAIRE

1	MBAYE Ibrahima : Facteurs climatiques et risques d'infections respiratoires aiguës dans le quartier de Belfort, commune de Ziguinchor au Sénégal.....	1
2	SORO Kanigui Lacina, ANDON N'Guessan Simon et YEO Gnènessongui : Gestion des déchets sanitaires solides d'une ville secondaire de la Côte d'Ivoire : cas de la ville de Korhogo	17
3	YAMOUSSA Adam et TRAORE Issouf : Optimisation de l'itinéraire de collecte des déchets solides ménagers dans l'arrondissement 9 de Ouagadougou.....	41
4	ZANNOU Sandé : Analyse spatiale de l'accessibilité aux infrastructures sanitaires dans la commune de Klouekanme au sud-ouest du Bénin.....	61
5	DAHANI Dramane : Inégalités socio-spatiales d'accès aux services d'eau potable dans l'arrondissement 6 de Bobo Dioulasso au Burkina Faso.....	79
6	COULIBALY Amadou, DIABAGATE Abou, KOFFI Orphée Souade Déborah : Songon, une commune en expansion à l'épreuve des équipements socio-collectifs dans la banlieue ouest du district autonome d'Abidjan.....	99
7	OUANDE Moumouni : Mutation du système foncier de l'espace hydroaménagé de la commune rurale de Bama à l'ouest du Burkina Faso... ..	123
8	GUEDENON Dèhou Janvier, AHOUANDJINOUE Nathanaël Olawolé Dotu et GIBIGAYE Moussa : <i>Eichornia crassipes</i> et pollution métallique au cadmium (cd) et au plomb (pb) dans le delta de l'Ouémé, au Bénin (Afrique de l'Ouest).....	147
9	BOKO Nouvêwa Patrice Maximilien, MEHINTO DOVONOU Flore, DABA Moussilima, ETENE Cyr Gervais, YABI Ibouaïma, OGOUWALE Euloge, VISSIN Expédit W, HOUSSOU Christophe Sègbè, BŁAŚEJCZYK Krzysztof : Vague de froid au cœur d'un harmattan dans la commune de Natitingou.....	163
10	KOFFI Guy Roger Yoboué : La cacaoculture à l'épreuve du <i>swollen shoot</i> dans la sous-préfecture de Kononfla (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire).....	185
11	ALASSANE Abdourazakou : Facteurs de dégradation du peuplement de <i>borassus</i> dans la préfecture de Tandjouare au Nord-Togo.....	203

VAGUE DE FROID AU COEURS D'UN HARMATTAN DANS LA COMMUNE DE NATITINGOU

BOKO Nouvêwa Patrice Maximilien^{1*} ; **MEHINTO DOVONOU** Flore¹ ; **DABA** Moussilima¹; **ETENE** Cyr Gervais¹; **YABI** Ibouaïma¹, **OGOUWALE** Euloge¹ ; **VISSIN** Expédit W. ¹ ; **HOUSSOU** Christophe Sègbè¹ ; **BLAŚEJCZYK** Krzysztof²

¹*Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Eaux, Écosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi (UAC)- Bénin, patrice.boko7@gmail.com**

²*Faculty of Geography and Regional Studies, University of Warsaw, Warszawa, Pologne*

RESUME :

Cette analyse se concentre sur l'étude des conditions climatiques à travers l'indice de refroidissement (CWI) dans une région donnée, sur une période de cinq mois, de novembre à mars. L'objectif est d'évaluer la fréquence des jours très froids, ainsi que l'identification des périodes de vagues de froid, en utilisant une valeur de seuil de 14,01 °C.

Les données de température, et de la vitesse de vent à l'échelle journalière ont été collectées. L'indice Climatic Winter Index (CWI) a été utilisé pour identifier et analyser les jours très frais et les vagues de fraîcheur pour chaque mois de la saison sèche. En identifiant les jours où la valeur était inférieure à 14,01 °C. De plus, nous avons cherché des périodes consécutives de cinq jours ou plus avec des valeurs inférieures à ce seuil pour déterminer les vagues de froid.

Les résultats de cette analyse montrent que la fréquence des jours très froids varie considérablement d'un mois à l'autre. En novembre, janvier et février, la majorité des jours sont caractérisés par des températures inférieures à 14,01 °C, avec respectivement 28, 11 et 21 jours très froids. En décembre, tous les jours du mois satisfont à ce critère, avec 31 jours très froids. En revanche, en mars, aucun jour ne correspond à cette catégorie. De plus, des périodes de vagues de froid ont été identifiées dans les mois de novembre, janvier et février, caractérisées par cinq jours consécutifs ou plus avec des valeurs de CWI inférieures à 14,01 °C. Le pourcentage de jours très froids pour la période considérée est donc d'environ 58,94%. Ces périodes, bien qu'espacées peuvent avoir entraîné une hypothermie aux personnes exposées pendant trop longtemps. Ceci peut entraîner une condition médicale potentiellement dangereuse où la température corporelle chute en dessous de la normale, ce qui peut causer des problèmes de santé graves, voire la mort.

Mots clés : Natitingou, Climatic Winter Index (CWI), vague de froid

ABSTRACT:

COLD WAVE AMIDST HARMATTAN IN THE MUNICIPALITY OF NATITINGOU.

This analysis focuses on studying the climatic conditions using the Cold Weather Index (CWI) in a specific region over a five-month period, from November to March. The objective is to assess the frequency of very cold days and identify cold spells using a threshold value of 14.01°C.

Daily temperature and wind speed data were collected for analysis. The Climatic Winter Index (CWI) was used to identify and analyze very cold days and cold spells for each month during the dry season, by identifying days with values below 14.01°C. Furthermore, consecutive periods of five days or more with values below this threshold were sought to determine cold spells.

The results of this analysis show that the frequency of very cold days varies significantly from month to month. In November, January, and February, the majority of days are characterized by temperatures below 14.01°C, with 28, 11, and 21 very cold days, respectively. In December, all days of the month meet this criterion, with 31 very cold days. However, in March, no days fall into this category. Moreover, cold spell periods were identified in November, January, and February, characterized by five consecutive days or more with CWI values below 14.01°C. The percentage of very cold days for the entire period is approximately 58.94%. These periods, although spaced out, could have led to hypothermia in individuals exposed for too long. Hypothermia is a potentially dangerous medical condition where the body temperature drops below normal, which can cause serious health problems, even death.

Keywords: Natitingou, Climatic Winter Index (CWI), cold spell

INTRODUCTION

L'Harmattan, vent sec et froid provenant du Sahara, joue un rôle déterminant dans les conditions climatiques de nombreuses régions d'Afrique de l'Ouest, notamment la commune de Natitingou au Bénin. En plus de provoquer une sécheresse marquée, l'Harmattan est fréquemment associé à des vagues de froid intenses qui modifient significativement le ressenti thermique et l'environnement quotidien des populations locales (IfèKa A. *et al.*, 2021, p.5). Ces épisodes de froid peuvent engendrer des effets délétères sur la santé publique, notamment une augmentation de la mortalité, comme l'ont démontré Analitis A. *et al.* (2008, p.1399) dans plusieurs grandes villes européennes.

Dans le contexte spécifique de Natitingou, il est donc crucial d'évaluer comment ces vagues de froid, combinées aux caractéristiques particulières de l'Harmattan, affectent les conditions de vie et le bien-être des habitants. Pradhan B. *et al.* (2019, p.8) ont montré que les populations vulnérables

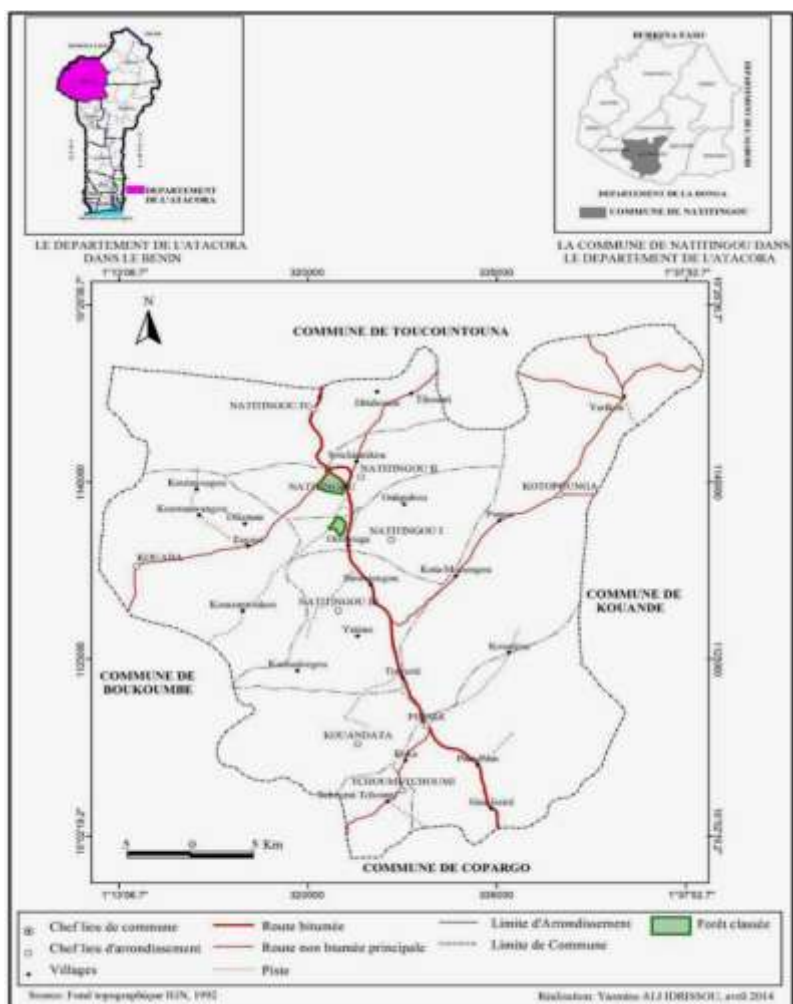
exposées aux événements de froid sévère subissent des impacts sanitaires, sociaux et économiques significatifs, soulignant l'importance d'études locales précises. Par ailleurs, les rapports récents du GIEC (IPCC, 2021) insistent sur la nécessité de mieux comprendre les phénomènes climatiques extrêmes dans les régions tropicales, où leurs impacts peuvent être amplifiés par des facteurs socio-économiques.

Cette étude se donne pour objectif d'analyser l'influence d'une vague de froid durant la période de l'Harmattan sur la commune de Natitingou, en portant une attention particulière à la perception des habitants, aux conditions sanitaires et aux comportements d'adaptation. Díaz J. *et al.* (2019, p.308) soulignent l'importance de coupler données climatiques et retours des populations pour élaborer des stratégies d'atténuation efficaces, une démarche que cette étude entend suivre. Enfin, les travaux de Wang Y. *et al.* (2016, p.145) démontrent que la prise en compte de ces phénomènes dans la planification locale est essentielle pour renforcer la résilience des communautés face aux changements climatiques.

Ainsi, la question centrale de cette recherche est la suivante : Comment une vague de froid au cœur de l'Harmattan influence-t-elle les conditions de vie, la santé et la perception des habitants de la commune de Natitingou ?

1. PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

Situé au Nord-ouest du Bénin, la Commune de Natitingou est au centre du département de l'Atacora. Logée dans le massif montagneux, la Commune de Natitingou s'étend entre les parallèles 10°07' et 10°30' de latitude nord et entre les méridiens 1°15' et 1°30' de longitude est. La Commune de Natitingou couvre une superficie de 3,045 Km² soit 12,8 % de la superficie totale du département. Elle est limitée au Nord par la Commune de Toucountouna, au sud et à l'est par la Commune de Kouandé et à l'ouest par la Commune de Boukoumbé (figure 1).

Figure 1 : Situation géographique de la Commune de Natitingou

Le climat de Natitingou est tropical, avec une période très chaude et sèche **de novembre à mars** et une période pluvieuse d'avril à octobre. En période sèche, l'Harmattan, le vent chargé de poussière du désert du Sahara, peut souffler. La ville est située au nord-ouest du Bénin, à une altitude de 450 mètres

2. DONNEES ET METHODES

2.1. Données utilisées

2.1.1. Données climatiques

Les données climatiques ont été obtenues à partir de sources météorologiques locales, comprenant les relevés de température quotidienne et la vitesse de vent à l'échelle journalière pendant la période de novembre, décembre, janvier et février de 1991 à 2022 qui représente la période d'occurrence de l'harmattan à

Natitingou. Ces données ont été utilisées pour caractériser et identifier les périodes de vagues de froid.

2.2. Méthodes de traitement des données

2.2.1. Identification de vague froid

L'indice de refroidissement (Cold Weather Index) a été utilisé pour caractériser une vague de froid. Il est conçu pour quantifier la sensation de froid ressentie par la peau en fonction de la température de l'air (°C) et de la vitesse du vent. Cet indice est utilisé pour avertir les personnes des conditions de froid extrême et des risques associés, tels que l'hypothermie. La formule standard couramment utilisée est :

$$\text{Cold Weather Index (CWI)} = 13.12 + 0.6215 \times T - 11.37 \times V^{0.16} + 0.3965 \times T \times V^{0.16}$$

avec :

CWI=t l'indice de refroidissement en degrés Celsius.

T = la température de l'air (°C) & V= la vitesse du vent (m/s).

Le CWI (Indice de Refroidissement Éolien) est généralement interprété en fonction de plages de valeurs qui correspondent à différentes sensations thermiques. Voici une interprétation typique basée sur les valeurs de CWI :

Au-dessus de 26°C : Il est généralement considéré comme très chaud. Les conditions peuvent être associées à un stress thermique élevé, en particulier si la température réelle est également élevée.

De 18°C à 26°C : Ces valeurs indiquent généralement un confort thermique, où les conditions sont agréables et modérées.

De 9°C à 18°C : C'est généralement considéré comme frais à tempéré, offrant un confort thermique, mais pas nécessairement chaud.

En dessous de 9°C : Ces valeurs indiquent généralement des conditions froides, et la sensation thermique peut devenir désagréable avec un refroidissement important.

Le calcul des valeurs de CWI par mois a permis de calculer la moyenne de la valeur CWI par mois et la moyenne sur l'ensemble de la période.

2.2.2. Calcul du pourcentage de jours très froid

Pour calculer le pourcentage de jours très froids pour la période considérée, la formule suivante a été :

$$PJTF = (NJ-CWI_{14,01} / NTJP) \times 100$$

Avec PJTF = Pourcentage de jours très froids

NJ- $CWI_{14,01}$ = Nombre de jours avec CWI inférieur à 14,01

NTJP = Nombre total de jours dans la période

2.2.3. Méthode d'analyse des tendances de vague de froid

Les tendances ont été déterminées en effectuant une régression linéaire. Les pentes issues de cette régression ont ensuite été classées en trois catégories selon leur niveau de significativité statistique.

- valeur de $p > 0,05$ = tendance non significative (à la hausse ou à la baisse)
- $0,01 < \text{valeur } p < 0,05$ = tendance significative, (à la hausse ou à la baisse)
- valeur $p < 0,01$ très significative (à la hausse ou à la baisse)

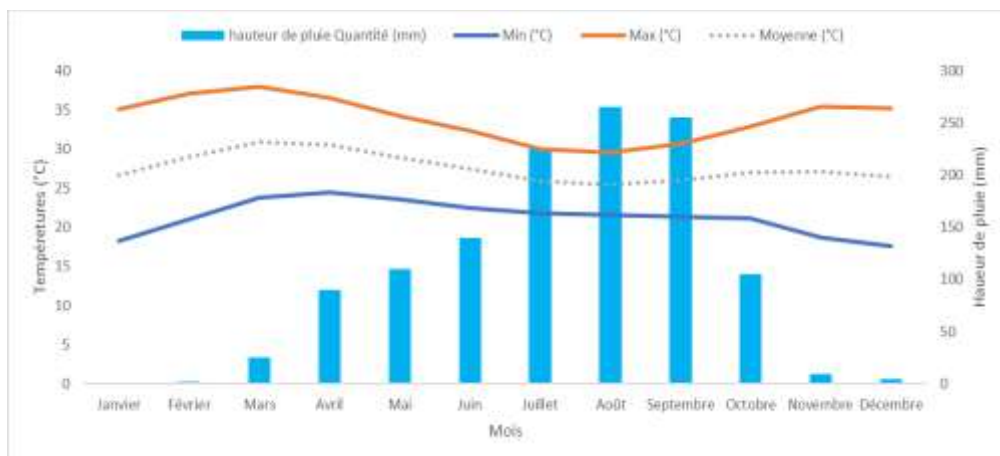
La limite de significativité est établie à partir de la statistique t de Student, utilisée pour tester l'hypothèse nulle, qui stipule que la pente est égale à zéro. Ainsi, une tendance est considérée comme significative si la probabilité p du test t appliqué à la pente est inférieure à 0,05, tandis qu'elle est jugée non significative lorsque cette probabilité dépasse ce seuil.

3. Résultats et discussion

3.1. Profil climatologique de Natitingou

Les données des paramètres climatologiques ont permis de dresser un portrait précis du climat de Natitingou, en mettant en lumière les interactions entre températures et précipitations. Ce diagramme de Franklin (figure 2) révèle une nette bipolarité saisonnière, caractéristique des climats tropicaux soudano-guinéens.

Figure 2 : Profil mensuel des températures et précipitations à Natitingou



Source des données : Météo Bénin, 2024

L'examen de cette figure montre que la période Novembre à Mars est caractérisée par des précipitations extrêmement faibles (Saison Sèche), voire quasi inexistantes, avec des valeurs oscillantes entre 1 mm (Janvier) et 9 mm (Novembre). C'est le moment où l'influence de l'Harmattan, un vent sec et froid venu du Sahara, est prédominante. Concernant les températures, bien que les maximales restent élevées (autour de 35-38°C), les températures minimales chutent significativement, atteignant leur point le plus bas en décembre (17,6°C) et janvier (18,2°C). L'amplitude thermique journalière est alors très forte, signifiant des journées chaudes et des nuits fraîches.

De Mai à Septembre c'est la saison umide avec une nette augmentation des précipitations, atteignant des sommets en août (265 mm), suivis de près par septembre (255 mm) et juillet (225 mm). C'est l'expression de la mousson, apportant l'humidité nécessaire à la végétation et aux activités agricoles. Durant cette période, les températures minimales sont plus élevées et plus stables (autour de 21-23°C), réduisant l'amplitude thermique journalière et rendant l'atmosphère plus douce et humide.

Les mois de Avril et Octobre sont des périodes de transition. En effet, ces mois marquent les passages d'une saison à l'autre. Ainsi en avril on constate une nette augmentation des précipitations (90 mm), annonçant le début de la saison des pluies. Quant octobre, la baisse commence avec 105 mm. Les températures restent globalement élevées durant ces mois de transition.

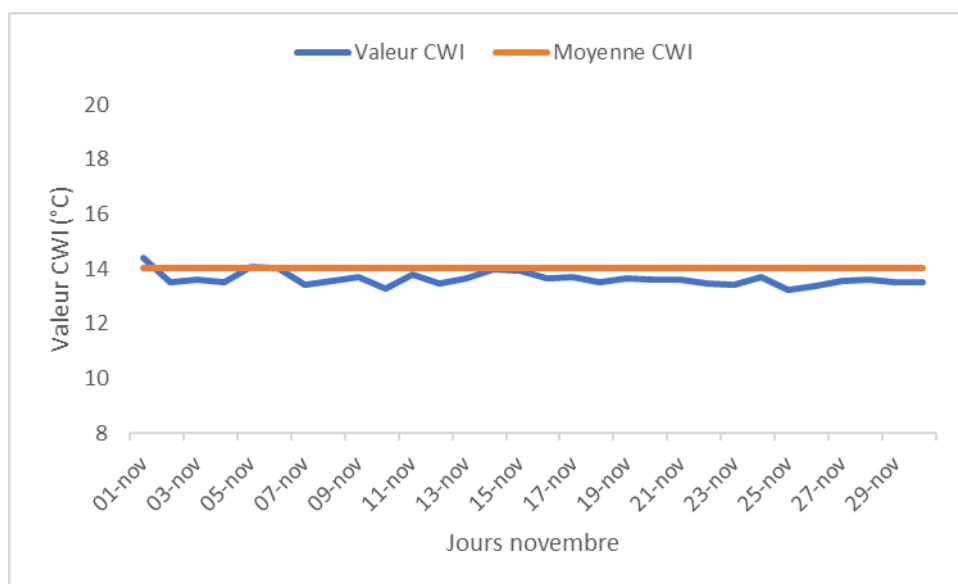
Il apparaît clairement que les épisodes de vagues de froide sont étroitement liés à la saison sèche, en particulier aux mois de décembre, janvier et février. La concomitance des températures minimales les plus basses de l'année (inférieures à 20°C) et de l'extrême sécheresse atmosphérique crée des

conditions où la sensation de froid est la plus marquée. L'absence de nuages durant ces nuits favorise un important refroidissement radiatif, accentuant la baisse des températures. En revanche, durant la saison humide, les températures minimales plus élevées et l'humidité ambiante rendent les vagues de froid très improbables.

3.2. Identification de vague de froid dans le mois de novembre

La figure 3 illustre la tendance générale montre des variations des valeurs de l'indice de refroidissement en degrés Celsius (CWI) tout au long du mois de novembre.

Figure 3 : Tendance de la valeur de CWI dans le mois de novembre à Natitingou



Source des données : Météo Bénin, 2024

La figure illustre l'évolution journalière de l'indice Cold Weather Index (CWI) pour le mois de novembre à Natitingou sur la période 1991-2022. On observe une relative stabilité des valeurs du CWI tout au long du mois, oscillant entre environ 13,25 °C et 14,42 °C. Cette faible amplitude dans les variations indique que les conditions climatiques sont modérément fraîches, sans fluctuations brusques ou épisodes de froid intense. La moyenne mensuelle constante autour de 14,01 °C confirme une tendance générale à une ambiance tempérée, typique du début de la période d'Harmattan.

Une régression linéaire a été effectuée pour analyser la tendance de cette évolution sur la période. Les pentes de régression ont montré une légère tendance à la baisse du CWI sur le mois, bien que cette tendance ne soit pas

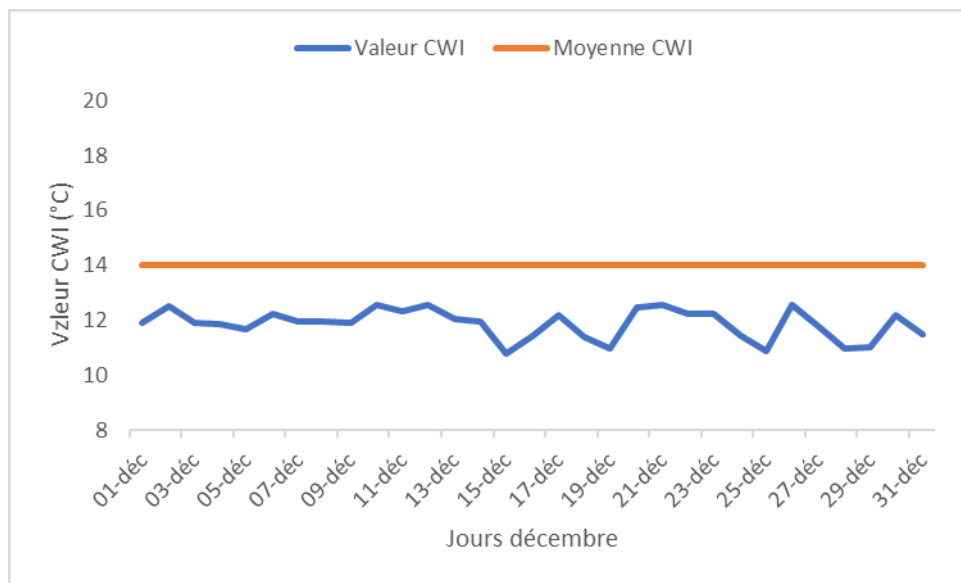
marquée de manière significative. En effet, la valeur de p obtenue pour cette régression est supérieure à 0,05, ce qui signifie que cette tendance est non significative. Cela indique que les variations journalières de l'indice CWI ne révèlent pas de changement net dans les conditions climatiques durant ce mois.

L'absence de pics marqués en dessous de 13 °C ou au-dessus de 15 °C suggère que novembre est caractérisé par un refroidissement éolien modéré, sans conditions extrêmes. Ceci correspond à un ressenti thermique frais mais supportable pour la population locale. Cette stabilité relative du CWI durant novembre indique que les impacts du froid liés à l'Harmattan ne sont pas encore pleinement ressentis, ce qui est conforme aux observations climatiques régionales où le début de la saison froide reste modéré.

Enfin, cette figure montre que novembre à Natitingou est une période de transition vers des températures plus fraîches, avec un stress thermique faible à modéré. Étant donné que la tendance observée n'est pas significative, il sera intéressant de comparer cette tendance aux mois suivants pour détecter l'intensification éventuelle des vagues de froid. Un suivi dans les mois à venir permettra de mieux évaluer l'évolution des conditions climatiques et l'intensification éventuelle des vagues de froid, si la valeur de p devient significative avec des variations plus marquées.

3.3. Identification de vague de froid dans le mois de décembre

Figure 4: Tendance de la valeur de CWI dans le mois de décembre à Natitingou



Source des données : Météo Bénin, 2024

La figure montre l'évolution journalière du Cold Weather Index (CWI) pour décembre à Natitingou sur la période 1991-2022. Contrairement à novembre, on observe une baisse générale des valeurs du CWI, qui fluctuent entre environ 10,78 °C et 12,57 °C, avec une moyenne mensuelle toujours fixée à 14,01 °C pour référence. Cette diminution notable du CWI traduit un refroidissement plus marqué en décembre, caractéristique de l'intensification de la saison froide liée à l'Harmattan. Plusieurs jours enregistrent des valeurs proches ou inférieures à 11 °C, témoignant d'épisodes de froid plus prononcés comparés au mois précédent.

Une régression linéaire a été réalisée sur les données du mois de décembre pour analyser la tendance de l'évolution du CWI. La pente obtenue montre une légère tendance à la baisse du CWI, ce qui est en accord avec l'observation d'un refroidissement plus marqué durant ce mois. La valeur de p pour cette régression est inférieure à 0,05, ce qui signifie que cette tendance est significative. Cela suggère qu'il y a une véritable tendance à la baisse du CWI pendant le mois de décembre, confirmant l'intensification des vagues de froid.

Cette période semble donc correspondre à une phase de vague de froid plus tangible, susceptible d'avoir un impact plus important sur le confort thermique et la santé des populations locales, notamment les groupes vulnérables. L'intervalle réduit entre les valeurs journalières reflète une certaine constance dans la fraîcheur, suggérant que le froid persiste de façon régulière plutôt qu'à travers des pics isolés.

Les données de cette figure montrent clairement que décembre constitue un mois plus froid à Natitingou, avec une intensification du stress thermique dû au froid par rapport à novembre. Ce constat met en avant la nécessité d'actions adaptées pour prévenir les effets négatifs du froid prolongé sur les populations locales. Cette tendance, maintenant confirmée par la significativité statistique, souligne l'importance de prendre en compte l'évolution des températures pour planifier des interventions en matière de santé publique et de prévention des risques liés au froid.

3.4. Identification de vague de froid dans le mois de janvier

Figure 5: Tendence de la valeur de CWI dans le mois de janvier à Natitingou



Source des données : Météo Bénin, 2024

La figure illustre une nette hausse des valeurs du Cold Weather Index (CWI) au cours du mois de janvier, comparativement aux mois précédents. Les valeurs journalières varient de 8,87 °C à 18,13 °C, avec une moyenne de référence toujours fixée à 14,01 °C. On remarque que les premiers jours du mois présentent des valeurs relativement basses (autour de 9-12 °C), témoignant de la persistance d'une vague de froid prolongée en début de mois. Toutefois, à partir du 7-8 janvier, une tendance à la hausse significative du CWI s'installe, atteignant des pics supérieurs à 16 °C, voire 18 °C vers la mi-janvier.

Pour analyser l'évolution du CWI durant le mois de janvier, un modèle de régression linéaire a été appliqué aux données. La pente obtenue montre une tendance clairement à la hausse des valeurs de CWI, ce qui confirme un réchauffement progressif du climat local durant ce mois. La valeur de p associée à cette régression est inférieure à 0,01, ce qui indique que cette tendance est très significative. Ainsi, la forte augmentation des températures à partir du 7 janvier est statistiquement confirmée, et cette évolution suggère une réduction du stress thermique dû au froid pour la population locale.

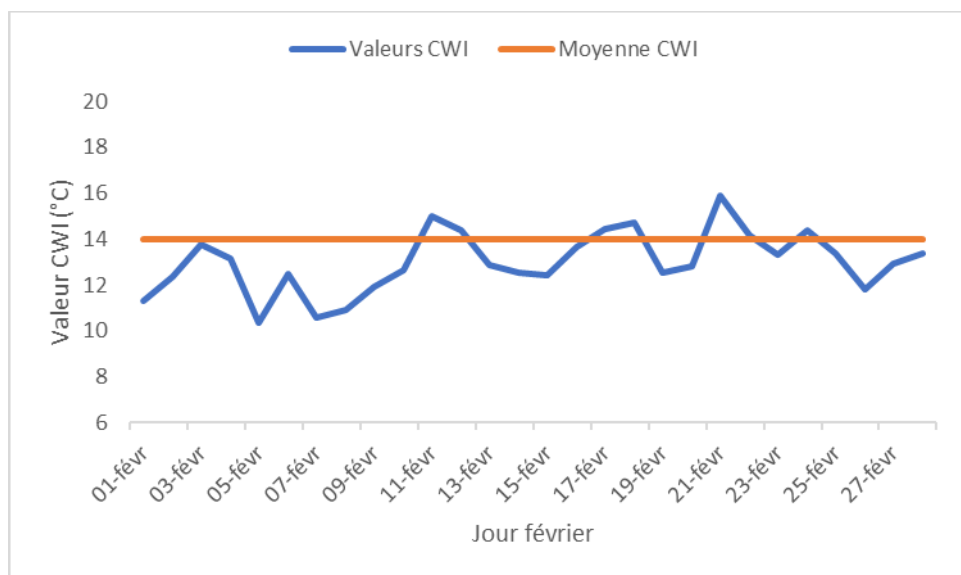
Cette hausse suggère un réchauffement progressif, possiblement lié à une diminution de l'effet de l'Harmattan et à l'évolution des conditions climatiques dans la région. Ce réchauffement relatif pourrait signifier une réduction du stress thermique lié au froid pour les populations locales. Cependant, la

fluctuation importante des valeurs tout au long du mois montre une instabilité thermique, avec des alternances entre périodes plus froides et d'autres plus chaudes, ce qui peut avoir des implications pour la gestion du confort thermique et des risques sanitaires.

Janvier apparaît donc comme un mois de transition climatique à Natitingou, avec un passage progressif du froid intense vers des conditions plus tempérées, mais avec des variations notables qui nécessitent une vigilance continue. Cette instabilité thermique, confirmée par la significativité de la tendance, souligne la nécessité d'adapter les stratégies de gestion des risques sanitaires et du confort thermique tout au long de ce mois.

3.3. Identification de vague de froid dans le mois de février

Figure 6: Tendance de la valeur de CWI dans le mois de février à Natitingou



Source des données : Météo Bénin, 2024

La figure montre une relative stabilité des valeurs du Cold Weather Index (CWI) tout au long du mois de février, avec des valeurs journalières oscillant entre environ 10,38 °C et 15,92 °C, autour de la moyenne de référence 14,01 °C. Contrairement au mois de janvier, où une hausse progressive était observée, février présente un profil plus homogène avec des fluctuations modérées. On note toutefois quelques pics isolés, notamment autour du 11, 17 et 21 février, où les valeurs atteignent ou dépassent 14,5 °C, indiquant des périodes ponctuelles de températures légèrement plus élevées.

Pour analyser l'évolution du CWI durant le mois de février, une régression linéaire a été effectuée sur les données. La pente obtenue pour ce mois montre une stabilité générale, avec une légère tendance à la hausse, mais bien moins

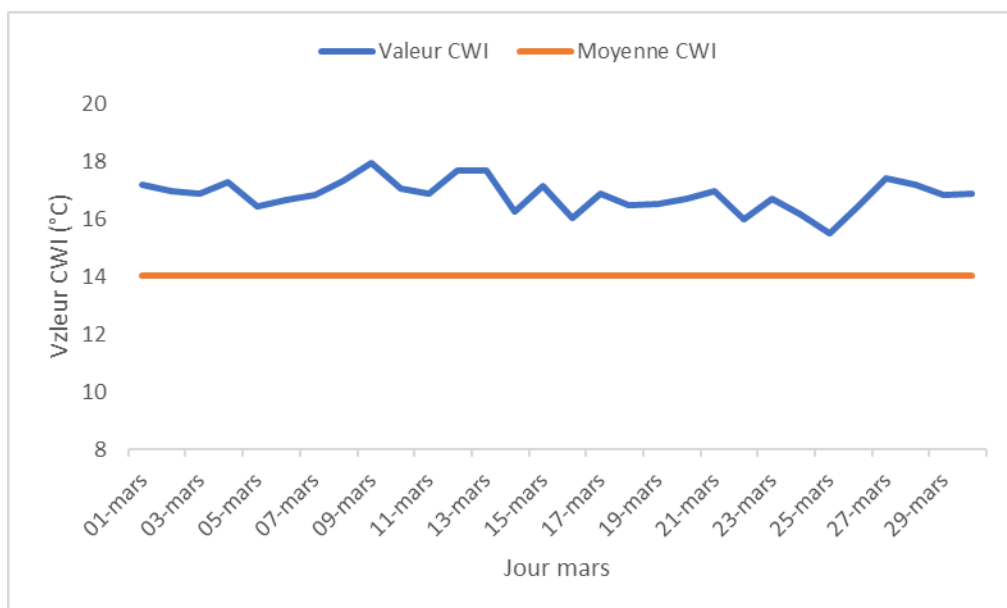
marquée que celle observée en janvier. La valeur de p associée à cette régression est de 0,08, ce qui signifie que la tendance observée est non significative. Cela indique que les variations du CWI durant ce mois sont principalement dues à des fluctuations naturelles, sans changement net ou significatif dans les conditions climatiques.

Le reste du mois est marqué par des valeurs généralement proches de la moyenne, suggérant que le climat durant cette période est relativement stable, avec un refroidissement modéré mais constant. Ces observations peuvent indiquer que la phase la plus intense de la vague de froid s'estompe en février, laissant place à un climat plus tempéré et moins stressant en termes de froid pour la population. La stabilité relative du CWI sur ce mois pourrait faciliter la planification des mesures d'adaptation au froid et réduire les risques sanitaires liés aux variations extrêmes.

Le mois de février à Natitingou correspond à une période de transition climatique où le stress thermique lié au froid est moins prononcé qu'en janvier, mais reste à surveiller, notamment lors des pics de températures basses. L'absence de significativité statistique dans cette tendance suggère qu'il n'y a pas encore d'intensification marquée des vagues de froid, mais il demeure essentiel de continuer à surveiller l'évolution des conditions climatiques durant ce mois pour anticiper toute variation extrême.

3.5. Identification de vague de froid dans le mois de mars

Figure 7: Tendance de la valeur de CWI dans le mois de mars à Natitingou



Source des données : Météo Bénin, 2024

La figure met en évidence des valeurs du Cold Weather Index (CWI) nettement supérieures à la moyenne de référence (14,01 °C) sur toute la période de mars, avec des valeurs journalières oscillant entre environ 15,5 °C et 17,94 °C. Ce mois se caractérise par une hausse claire du CWI par rapport aux mois précédents, indiquant un réchauffement progressif après la période plus froide de janvier et février. Les pics les plus élevés sont observés autour des 8, 9, 12 et 13 mars, avec des valeurs dépassant systématiquement 17 °C, marquant les journées les plus chaudes du mois.

La pente de la régression montre une nette tendance à la hausse du CWI, en accord avec l'élévation des températures observée au cours du mois. La valeur de p pour cette régression est inférieure à 0,01, ce qui indique que cette tendance est très significative. Cette augmentation marquée et statistiquement confirmée du CWI suggère un réchauffement progressif et continu des températures, indiquant la fin de la vague de froid et le début de conditions climatiques plus clémentes.

Cette élévation des températures suggère que la vague de froid touche à sa fin, et que le climat devient progressivement plus clément, même si des variations quotidiennes existent. Le maintien de valeurs au-dessus de la moyenne pendant une longue période peut signifier une réduction significative du stress thermique dû au froid pour les habitants et les activités locales. Toutefois, cette hausse rapide après une période froide peut aussi entraîner des impacts sur les populations vulnérables, notamment en termes d'adaptation physiologique et de santé.

Le mois de mars illustre une phase de transition vers des conditions plus chaudes, mettant fin à la période froide caractéristique de l'harmattan, et apportant un soulagement progressif face au stress thermique. La forte significativité de la tendance confirme que les conditions de froid sévère sont désormais derrière nous, mais il est important de continuer à surveiller l'évolution pour anticiper les impacts du réchauffement sur la santé publique.

3.6. Synthèse des vagues de froid dans la commune de Natitingou

L'analyse des données de l'indice de refroidissement (CWI) pour les mois de novembre, décembre, janvier, février et mars révèle une tendance générale à la baisse des températures au fur et à mesure que l'on avance dans la saison hivernale, avec décembre étant le mois le plus froid suivi de janvier, février, novembre, et enfin mars qui est le mois le moins froid. Le tableau suivant représente l'ensemble des valeurs de CWI pour les mois de novembre, décembre, janvier, février et mars.

Tableau I : Récapitulatif des valeurs CWI dans la commune de Natitingou

Jours	CWI_novembre	CWI_décembre	CWI_Janvier	CWI_février	CWI_mars
1	14,42	11,91	11,9	11,28	17,19
2	13,5	12,5	9,19	12,37	16,96
3	13,6	11,91	8,87	13,76	16,85
4	13,53	11,84	10,33	13,13	17,25
5	14,06	11,66	12,34	10,38	16,41
6	14,05	12,23	13,35	12,47	16,67
7	13,4	11,94	14,66	10,6	16,84
8	13,57	11,94	16,53	10,9	17,3
9	13,69	11,91	16,15	11,92	17,94
10	13,29	12,57	15,25	12,66	17,07
11	13,8	12,34	13,37	14,98	16,86
12	13,47	12,57	15,84	14,38	17,67
13	13,63	12,05	18,13	12,85	17,68
14	13,99	11,94	16,68	12,51	16,26
15	13,93	10,78	16,53	12,45	17,12
16	13,66	11,44	16,42	13,67	16,03
17	13,69	12,18	15,27	14,46	16,87
18	13,53	11,38	15,32	14,74	16,49
19	13,67	10,98	14,01	12,52	16,53
20	13,6	12,47	16,16	12,8	16,7
21	13,59	12,57	13,85	15,92	16,97
22	13,47	12,23	12,21	14,16	16
23	13,44	12,25	13,34	13,33	16,7
24	13,68	11,44	15,84	14,39	16,18
25	13,25	10,88	15,09	13,39	15,5
26	13,37	12,57	18,13	11,83	16,42
27	13,56	11,78	16,99	12,92	17,42
28	13,61	10,98	14,6	13,4	17,18
29	13,53	11	14,26		16,84
30	13,52	12,2	15,84		16,85
31		11,47	15,46		16,78

Source : traitement des données climatologiques, 2024

Le mois de novembre se caractérise par une forte baisse des températures, avec 28 jours où la valeur de CWI est inférieure à 14,01 °C. Une période de vague de froid significative est observée du 7 au 30 novembre, couvrant 24 jours consécutifs. Le mois de Décembre se présente comme le mois le plus froid de cette période, avec 31 jours où la valeur de CWI est inférieure à 14,01 °C. Tout le mois de décembre est considéré comme une période de vague de froid, couvrant 31 jours consécutifs.

Quant au mois de Janvier, il présente 10 jours avec des valeurs de CWI inférieures à 14,01 °C. Une période de vague de froid est observée du 1er au 6 janvier, couvrant 6 jours consécutifs. En février, 21 jours ont une valeur de CWI inférieure à 14,01 °C. Une période de vague de froid est identifiée du 1er au 10 février, couvrant 10 jours consécutifs. Quant au mois de mars, il ne présente aucun jour où la valeur de CWI est inférieure à 14,01 °C, indiquant une amélioration des conditions météorologiques et un réchauffement progressif. Le tableau suivant fait la synthèse des vagues de froid.

Tableau II : Synthèse des vagues de froid dans la commune de Natitingou

	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Nombre de jours avec CWI inférieur à 14,01
Nombre de jours en dessous de 14,01 °C	28	31	11	21	00	89 jours
Périodes de vagues de froid (5 jours consécutifs ou plus en dessous de 14,01 °C)	1-6 janvier	1-31 décembre	7-30 novembre	1-10 février	0	
Pourcentage de jours très froids = $(89 / 151) \times 100$	≈ 58,94%					

Source : Traitements statistiques, 2024

L'observation de ce tableau permet de remarque la mise en évidence l'évolution des températures au cours de la période hivernale, avec une intensification du froid en décembre, suivi de janvier et février, tandis que novembre présente également une période significative de froid. Mars marque une amélioration des conditions météorologiques, marquant potentiellement la fin de la saison froide. En considérant le nombre total de jours dans la période soit 151 jours, le pourcentage de jours très froids pour la période considérée est donc d'environ 58,94%.

L'analyse du chiffre de 58,94 % de jours très froids pour la période considérée révèle que plus de la moitié des jours (environ 59 %) ont des températures froides, avec des valeurs de CWI inférieures à 14,01 °C. Cela suggère que la région ou la période en question connaît une fréquence relativement élevée de conditions climatiques froides pendant cette période.

Ces conditions climatiques froides peuvent avoir diverses implications, notamment sur le confort thermique des habitants, les besoins en chauffage, la disponibilité des activités de plein air, et même sur l'agriculture et la météo locale. Il est essentiel de prendre en compte ces données dans la planification des activités quotidiennes, des mesures de précaution en cas de froid extrême et des politiques publiques liées au climat.

En outre, cette analyse peut également être utile pour évaluer les tendances climatiques à long terme et les variations saisonnières dans la région étudiée, ce qui pourrait avoir des implications importantes pour la prise de décision et l'adaptation aux changements climatiques.

Les vagues de fraîcheur, caractérisées par des températures très froides sur une période prolongée, peuvent entraîner plusieurs conséquences sur la santé des populations. Le tableau suivant illustre les conséquences potentielles des vagues de fraîcheur. Ces informations peuvent être essentielles pour la planification des activités saisonnières, la gestion de l'énergie et la préparation aux conditions climatiques.

Tableau III: Conséquences potentielles des vagues de fraîcheur

1	Hypothermie	L'exposition prolongée au froid peut entraîner une hypothermie, une condition médicale potentiellement dangereuse où la température corporelle chute en dessous de la normale, ce qui peut causer des problèmes de santé graves, voire la mort.
2	Maladies respiratoires	Les températures froides peuvent aggraver les problèmes respiratoires préexistants tels que l'asthme et la bronchite. De plus, les infections respiratoires, comme la grippe, sont plus courantes en hiver.
3	Gelures	L'exposition au froid extrême peut provoquer des gelures, endommageant la peau et les tissus sous-jacents. Dans les cas graves, cela peut entraîner la perte de membres.
4	Augmentation de la pression artérielle	Le froid peut provoquer une contraction des vaisseaux sanguins, ce qui peut augmenter la pression artérielle et accroître le risque de crises cardiaques et d'accidents vasculaires cérébraux.
5	Stress psychologique	Les vagues de froid prolongées peuvent entraîner des niveaux élevés de stress, d'anxiété et de dépression chez certaines personnes en raison de l'isolement, des préoccupations concernant la sécurité et des difficultés liées à la mobilité.
6	Perturbation des services de santé	Les conditions hivernales extrêmes peuvent perturber la prestation de soins de santé, entravant l'accès aux hôpitaux et aux services médicaux, ce qui peut entraîner des conséquences graves pour les patients.
7	Augmentation de la mortalité	Les vagues de froid sont associées à une augmentation des décès, en particulier parmi les populations vulnérables telles que les personnes âgées, les sans-abris et les personnes à faible revenu.
8	Impact socio-économique	Les coûts liés aux soins de santé, aux pertes de productivité et aux dommages matériels dus au froid peuvent avoir un impact significatif sur l'économie et la société en général.

Source : recherche documentaire, 2024

DISCUSSION

L'analyse des données climatiques pour la commune de Natitingou révèle une saison hivernale marquée par des températures significativement basses, particulièrement entre novembre et février, avec une intensification du stress thermique froid en décembre et janvier. Ce profil climatique, caractérisé par une proportion élevée de jours avec un indice de refroidissement (CWI) inférieur à 14,01 °C (environ 59 % sur la période étudiée), corrobore les observations faites par Ifeka A. *et al.* (2021, p. 5) qui soulignent la fréquence et l'intensité des épisodes de froid dans certaines zones d'Afrique de l'Ouest lors de l'Harmattan. Cette étude s'inscrit ainsi dans la continuité des travaux sur les impacts climatiques extrêmes dans les régions tropicales.

La stabilisation relative du CWI en novembre (autour de 14 °C) marque une période de transition vers la saison froide, avec un stress thermique modéré, tandis que la baisse notable en décembre traduit une vague de froid plus prononcée, comparable à ce que Pradhan B. *et al.* (2019, p. 6) ont observé dans des contextes montagneux, où les vagues de froid affectent directement le bien-être des populations. Le constat d'une baisse du stress thermique froid en février et mars, avec un réchauffement progressif, illustre une phase de transition climatique importante, confirmant les tendances saisonnières décrites dans les rapports du GIEC (IPCC, 2021, p. 14).

Ces fluctuations thermiques ont des répercussions multiples sur la santé publique et les conditions de vie locales. Les effets du froid prolongé peuvent augmenter la mortalité et la morbidité, particulièrement chez les populations vulnérables, comme le rapportent Analitis A. *et al.* (2008, p. 1402) dans leur étude européenne sur les effets du froid. Les conséquences potentielles identifiées ici (hypothermie, maladies respiratoires, stress psychologique, etc.) sont en ligne avec les observations de Wang Y. *et al.* (2016, p. 142) qui soulignent l'importance de la préparation et de la sensibilisation aux risques sanitaires liés au froid.

L'instabilité thermique observée en janvier, avec des alternances entre pics froids et périodes plus chaudes, soulève également la question de l'adaptation physiologique et sociale des habitants. Selon Díaz J. *et al.* (2019, p. 310), ces transitions climatiques peuvent aggraver le stress thermique, nécessitant une vigilance accrue des autorités sanitaires et une meilleure compréhension des comportements d'adaptation. La variabilité thermique appelle à des dispositifs de surveillance et des mesures ciblées pour limiter les impacts négatifs sur la santé.

Sur le plan méthodologique, l'utilisation de l'indice CWI s'est avérée pertinente pour détecter et caractériser les vagues de froid dans ce contexte tropical. Cependant, comme le suggère Moreno-Garcia (1994, p. 710), la prise

en compte des variations microclimatiques in situ serait un complément utile afin de mieux saisir les différences locales et spatiales, notamment entre zones urbaines et rurales ou entre différents quartiers. L'intégration future de données portables et mobiles, comme recommandé par K. Lundgren-Kownacki *et al.* (2018, p. 355), permettrait d'affiner ces analyses.

Enfin, les résultats mettent en lumière l'importance pour les décideurs locaux de développer des stratégies d'adaptation robustes. Ces stratégies doivent combiner sensibilisation aux risques du froid, renforcement des infrastructures adaptées (logements, centres de santé), et mesures sociales pour protéger les populations à risque, notamment les personnes âgées et les enfants. Ces recommandations rejoignent les conclusions des études internationales (Pradhan B *et al.*, 2019 ; Analitis A. *et al.*, 2008), qui insistent sur la nécessité d'un cadre intégré de gestion des risques liés aux extrêmes climatiques.

CONCLUSION

Cette étude a permis de caractériser les vagues de froid liées à l'Harmattan dans la commune de Natitingou sur la période 1991-2022 à travers l'analyse de l'indice de refroidissement (CWI). Les résultats montrent une présence marquée du froid entre novembre et février, avec un pic d'intensité en décembre, et un retour progressif à des températures plus tempérées à partir de mars. Plus de la moitié des jours durant cette période connaissent des températures ressenties comme très froides, soulignant l'importance des épisodes hivernaux pour le climat local.

Ces conditions climatiques, bien que peu extrêmes, engendrent néanmoins des impacts significatifs sur la santé et le bien-être des populations, notamment les plus vulnérables. Les risques associés aux vagues de froid incluent des affections respiratoires, l'hypothermie, des stress psychologiques et des perturbations dans l'accès aux services de santé, comme l'ont confirmé diverses études similaires à travers le monde.

Face à ces constats, il devient crucial pour les autorités locales et les acteurs de santé publique de mettre en œuvre des mesures adaptées. Celles-ci doivent inclure la sensibilisation de la population aux risques liés au froid, le renforcement des infrastructures d'accueil et de soins, ainsi que le développement de politiques d'adaptation climatiques intégrées. Par ailleurs, l'amélioration des dispositifs de suivi microclimatique permettra une meilleure anticipation des épisodes de froid et une gestion plus efficace des risques.

Enfin, cette recherche ouvre des perspectives pour approfondir l'étude des impacts du froid en milieu tropical, notamment en intégrant des mesures fines de terrain et en analysant les stratégies d'adaptation des populations locales face à ces événements climatiques. Une collaboration multidisciplinaire entre

climatologues, professionnels de santé et sociologues sera indispensable pour mieux comprendre et atténuer les effets des vagues de froid sur les communautés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANALITIS Antonis, KATSOUYANNI Klea, BIGGERI Annibale, BACCINI Michela, FORSBERG Bertil, BISANTI Luigi, KIRCHMAYER Ursula, BALLESTER Ferran, CADUM Ennio, GOODMAN Patrick et HOJS Ana, SUNYER Oriol, TIITTANEN Pekka & MICHELOZZI Paola, 2008. « Effects of cold weather on mortality: Results from 15 European cities within the PHEWE project ». *American Journal of Epidemiology*. 168 (12):1397-1408.

AÑEL Juan, FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ Manuel, LABANDEIRA Xavier, LÓPEZ-OTERO Xiral & DE LA TORRE Laura, 2017. « Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector », *Atmosphere* 2017, 8(11), 209; <https://doi.org/10.3390/atmos8110209>

DÍAZ Julio, CARMONA Rocio, MIRÓN Isidro, LUNA Yolanda, LINARES Cristina 2019. «Time trends in the impact attributable to cold days in Spain: Incidence of local factors» *Science of The Total Environment*, Volume 655, 10 March 2019, pp.305-312.

IFEKA Adolphus, BALOGUN Ifeoluwa A., AKINBOBOLA Ademola and BALOGUN Richard, 2021. «Evaluation of Heat and Cold wave events over West Africa », in *Scientific Research Journal (SCIRJ)*, Volume IX, Issue IX, September 2021 22 ISSN 2201-2796, Scientific Research Journal, <http://dx.doi.org/10.31364/SCIRJ/v9.i09.2021.P0921879>

IPCC 2021. « Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis ». Contribution of *Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmontte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L., Connors, C. Pean, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. O. Yelekci, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

LÓPEZ-BUENO José Antonio, DÍAZ Julio, NAVAS-MARTIN Miguel Angel, MIRÓN Isidro, FOLLOS Fernando, José Manuelle VELLÓN, ASCASO-SANCHEZ M., LUNA Yolanda, MARTÍNEZ Gerardo Sanchez, LINARES Cristina, 2022. «Temporal evolution of threshold temperatures for extremely cold days in Spain », *Science of The Total Environment*, Volume 844, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157183> , pp.157-183.

PRADHAN Bandana, SHARMA Puspa & PRADHAN Pushkar, 2019. « Impact of Cold Wave on Vulnerable People of Tarai Region, Nepal », in *Climate Change and Global Warming*, 14 p.

WANG Yan, SHI Lihua, ZANOBETTI Antonella, SCHWARTZ Joel, 2016.
« Estimating and projecting the effect of cold waves on mortality in 209 US
cities », *Environment International* 94, pp.141-149,
DOI:10.1016/j.envint.2016.05.008

WHO. *Report on Assessment of Health Effects of Cold Waves in Terai Nepal*.
Kathmandu: The Green Move Consultancy; 201