



Impacts de la variabilité et des changements climatiques sur les conditions agroclimatiques du maraîchage à Parakou (Bénin) de 1960 à 2024

Alao Chabi Chaffa Afouda Rodrigue^{*1,2}, Komi Kossi³, Houedakor Koko Z. Brigitte³, Yabi Ibouaïma⁴, Klassou Komi Selom⁵

⁽¹⁾Université de Lomé (UL). Centre d'Excellence Regional sur les Villes Durables en Afrique (CERViDA-Dounedon). 01 BP 1515 (Togo). E-mail : afoudarodrigueac@gmail.com

⁽²⁾Université de Parakou. Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH). Laboratoire de Climatologie et Ethnoclimatologie Tropical. BP 123 (Bénin)

⁽³⁾Université de Lomé (UL). Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FSHS). Laboratoire de recherche sur les Espaces, les Echanges et la Société Humaine (LaREESH). 01 BP 1515 (Togo)

⁽⁴⁾Université d'Abomey-Calavi (UAC). Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FASHS). Laboratoire Pierre Pagney "Climat, Eau, Ecosystème et Développement" (LACEEDE). BP 526 (Cotonou - Bénin)

⁽⁵⁾Université de Lomé (UL). Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FSHS). Laboratoire de recherche sur la Dynamique de l'Environnement et des Sociétés (LARDYMES). 01 BP 1515 (Togo)

Reçu le 04 septembre 2026, accepté le 24 septembre 2026, publié en ligne le 29 septembre 2026

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i3.33>

RESUME

Description du sujet. Le maraîchage constitue une activité économique majeure et une source essentielle de sécurité alimentaire dans la commune de Parakou, au centre-nord du Bénin, mais reste fortement tributaire des conditions climatiques.

Objectif. Cette étude évalue l'impact de la variabilité et du changement climatiques sur les conditions agroclimatiques du maraîchage à Parakou à partir des séries mensuelles de précipitations, de températures maximales et minimales de la station synoptique sur la période de 1960–2024 (65 ans).

Méthodes. L'évapotranspiration potentielle (ETP) mensuelle a été estimée par la formule de Hargreaves-Samani, permettant de construire un bilan hydrique climatique ($P - ETP$) mensuel et annuel, ainsi que des indicateurs de calendrier agro-climatique (démarrage et fin de la saison des pluies utile, durée de la saison). Les besoins en eau de cinq cultures maraîchères représentatives (tomate, laitue, carotte, gboma, piment) ont été estimés par l'approche des coefficients culturaux (K_c , FAO-56), permettant de comparer les besoins en irrigation de complément selon le calendrier cultural. Les tendances ont été testées par la méthode de Mann-Kendall couplée à l'estimateur de pente de Sen.

Résultats. Les résultats montrent un déficit hydrique climatique chronique (bilan annuel moyen de -822 mm), une hausse significative de l'ETP annuelle ($+4,9$ mm/décennie, $p = 0,005$) et une dégradation significative du bilan hydrique annuel ($-28,1$ mm/décennie, $p = 0,025$), tandis que le démarrage de la saison des pluies utile tend à se retarder significativement ($p = 0,009$). Les cultures conduites en contre-saison (démarrage en novembre) nécessitent une irrigation de complément massive, de $343,5$ mm (laitue) à $728,9$ mm (tomate) par cycle, contre un besoin quasi nul pour un cycle démarant en saison des pluies (mai). Les maraîchers s'adaptent à ces risques en développant de nouvelles stratégies impliquant la modification des pratiques culturales, l'adoption de nouvelles spéculations, la mise en place de nouvelles techniques de captage et de gestion efficiente des ressources en eau.

Conclusion. Au regard de l'efficacité des stratégies identifiées et des limites qu'elles présentent, il importe que les autorités municipales développent une politique sectorielle plus sensible aux risques climatiques, afin de renforcer l'adaptation des maraîchers.

Mots-clés : vulnérabilité, variabilité climatique, changement climatique, maraîchage, agro-climatologie, Parakou.

ABSTRACT

Impacts of climate variability and change on agroclimatic conditions for market gardening in Parakou (Benin) from 1960 to 2024

Description of the subject. Market gardening is a major economic activity and a key source of food security in the Parakou municipality, north-central Benin, yet it remains highly dependent on climatic conditions.

Objective. This study assesses the impact of climate variability and change on the agro-climatic conditions of market gardening in Parakou, using monthly rainfall, maximum and minimum temperature series from the synoptic station over the 1960–2024 period (65 years).

Methods. Monthly potential evapotranspiration (PET) was estimated using the Hargreaves-Samani formula, allowing the construction of a monthly and annual climatic water balance ($P - PET$), along with agro-climatic calendar indicators (onset and end of the useful rainy season, season length). Trends were tested using the Mann-Kendall method combined with Sen's slope estimator.

Results. Results show a chronic climatic water deficit (mean annual balance of -822 mm), a significant increase in annual PET ($+4.9$ mm/decade, $p = 0.005$), and a significant deterioration of the annual water balance (-28.1 mm/decade, $p = 0.025$), while the onset of the useful rainy season shows a significant delaying trend ($p = 0.009$). Market gardeners are adapting to these risks by developing new strategies involving changes in farming practices, the adoption of new crops, and the implementation of new techniques for water harvesting and efficient water resource management.

Conclusion. In view of the effectiveness of the identified strategies and their limitations, it is important for municipal authorities to develop a sector-specific policy that is more responsive to climate risks in order to strengthen the adaptive capacity of market gardeners.

Keywords: vulnerability, climate variability, climate change, market gardening, agroclimatology, Parakou.

1. INTRODUCTION

Le maraîchage occupe une place croissante dans les systèmes de production agricole urbains et périurbains d'Afrique de l'Ouest, en particulier à Parakou, principale ville du Nord du Bénin, où il constitue une source de revenus et de sécurité alimentaire pour de nombreux ménages. Cette activité, pratiquée aussi bien en saison pluvieuse qu'en contre-saison grâce à l'irrigation de complément, reste néanmoins structurellement dépendante des conditions climatiques locales : disponibilité en eau, régularité des pluies, demande évaporatoire de l'atmosphère.

Les impacts des changements climatiques sur les ressources en eau et les divers secteurs d'activités socio-économiques des populations se font de plus en plus sentir avec des conséquences immédiates et durables sur l'environnement biophysique et économique (Doukpolo, 2007). Cette variabilité climatique influence les différentes activités économiques des populations notamment la production agricole et maraîchère, puisque les systèmes de production dépendent en partie du climat (Agossou *et al.*, 2012 ; Djohy, 2015).

Dans un contexte de changement climatique avéré en Afrique de l'Ouest, caractérisé par une hausse généralisée des températures et une variabilité pluviométrique accrue, la question de la vulnérabilité du maraîchage aux évolutions climatiques se pose avec une acuité particulière. Cette situation climatique affecte la production agricole et les différents moyens d'existence des producteurs des pays en développement, compromettant ainsi leur sécurité et leur bien-être (Bognini, 2011 ; Djohy *et al.*, 2015). Au cours des dernières décennies, les ressources d'eau ont été très exposées aux impacts des changements climatiques et ont connu de ce fait une déplétion considérable (Vissin, 2007 ; PANA, 2008). De plus,

les phénomènes climatiques extrêmes prennent de plus en plus d'ampleur et, les modèles probabilistes prédisent qu'à l'horizon 2050, le Nord du Bénin sera victime d'un accroissement de pluies périodiques, d'une diminution des précipitations à l'échelle saisonnière et d'un accroissement de la durée des saisons sèches (Boko *et al.*, 2012). Dans ces conditions, la diminution des précipitations à l'échelle saisonnière et l'accroissement de la durée des saisons sèches (Boko *et al.*, 2012), constituent une contrainte majeure pour le développement du maraîchage (Zoundjè *et al.*, 2013).

Plusieurs travaux ont déjà été consacrés à la vulnérabilité climatique de l'agriculture et du maraîchage en Afrique de l'Ouest et au Bénin. À l'échelle sous-régionale, Bognini (2011) a documenté les impacts des changements climatiques sur les cultures maraîchères du Nord du Burkina Faso, tandis qu'au Bénin, Zoundjè *et al.* (2013) ont analysé la vulnérabilité de la production maraîchère à la variabilité hydro-climatique saisonnière dans la commune d'Adjohoun, et Agossou *et al.* (2012) ont caractérisé, à l'échelle nationale, la perception des perturbations climatiques et les stratégies d'adaptation des producteurs agricoles béninois. À Parakou même, les travaux antérieurs ont surtout porté sur la variabilité climatique et les risques hydrodynamiques associés, notamment l'érosion urbaine (Akognongbe *et al.*, 2012), ou, dans le cadre de notre propre mémoire de Master, sur la vulnérabilité et l'adaptation des cultures maraîchères aux risques hydro-climatiques dans la ville, à partir d'enquêtes de terrain et de la perception des producteurs (Alao, 2024).

Ces études, principalement qualitatives ou fondées sur la perception des acteurs et une mobilisation ponctuelle des données pluviométriques, n'ont pas

permis de quantifier, sur une base statistique robuste et une série longue, l'ampleur et la significativité des tendances climatiques affectant spécifiquement le calendrier et les besoins en eau du maraîchage. La présente étude se distingue de ces travaux antérieurs à plusieurs égards : elle mobilise une série climatique longue de 65 ans (1960-2024), rarement disponible à cette échelle temporelle pour une station synoptique du Bénin ; elle couple, pour la première fois à Parakou, le bilan hydrique climatique (P-ETP), des indicateurs de calendrier agro-climatique testés statistiquement (Mann-Kendall, pente de Sen) et une estimation quantifiée des besoins en eau de cinq cultures maraîchères représentatives selon l'approche des coefficients culturaux FAO-56 ; enfin, elle transforme en résultats quantitatifs et datés les constats qualitatifs établis antérieurement sur le terrain, offrant ainsi une base statistique objective aux stratégies d'adaptation déjà identifiées par les producteurs.

L'objectif de cette étude est d'évaluer, sur la période 1960–2024, l'impact de la variabilité et du changement climatiques sur les conditions agro-climatiques du maraîchage à Parakou afin d'apprécier le sens et l'intensité des évolutions climatiques en cours et leurs implications concrètes pour la pratique du maraîchage.

L'intérêt de cette étude est à la fois scientifique et opérationnel. Sur le plan scientifique, elle actualise et objective, à partir d'une série climatique longue et d'une méthodologie reproductible, la connaissance des tendances agro-climatiques affectant le maraîchage dans le domaine soudanien du Bénin, une région pour laquelle les études de vulnérabilité climatique du secteur maraîcher restent proportionnellement moins nombreuses que

dans le sud du pays ou dans la bande sahéenne stricte ; l'approche méthodologique proposée, combinant bilan hydrique climatique, indicateurs de calendrier agro-climatique et besoins en eau culturaux, est par ailleurs transférable à d'autres villes du domaine soudano-guinéen confrontées à des contraintes climatiques similaires. Sur le plan opérationnel, l'étude fournit aux maraîchers et aux services techniques agricoles des repères quantifiés (dates de semis à privilégier, besoins en irrigation de complément selon la culture et le calendrier) directement mobilisables pour la planification des campagnes maraîchères, et offre aux autorités municipales et aux structures de gestion des ressources en eau des éléments objectifs pour orienter les investissements dans les infrastructures de mobilisation de l'eau (retenues, forages, aménagement de bas-fonds). Enfin, dans la mesure où le maraîchage constitue à Parakou une activité économique majeure et un pilier de la sécurité alimentaire des ménages urbains et périurbains, la sécurisation climatique de cette filière revêt un intérêt socio-économique direct pour la résilience alimentaire de la ville.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Zone d'étude et données

La ville de Parakou (9°21'N, 2°37'E, environ 350 m d'altitude) est située dans le département du Borgou, au centre-nord du Bénin avec une superficie de 441 km² et une population de 255478 habitants (Figure 1). Elle est dans le domaine climatique soudanien caractérisé par une saison des pluies unimodale (avril/mai à octobre) et une saison sèche marquée (novembre à mars) (Akognongbe *et al.*, 2012).

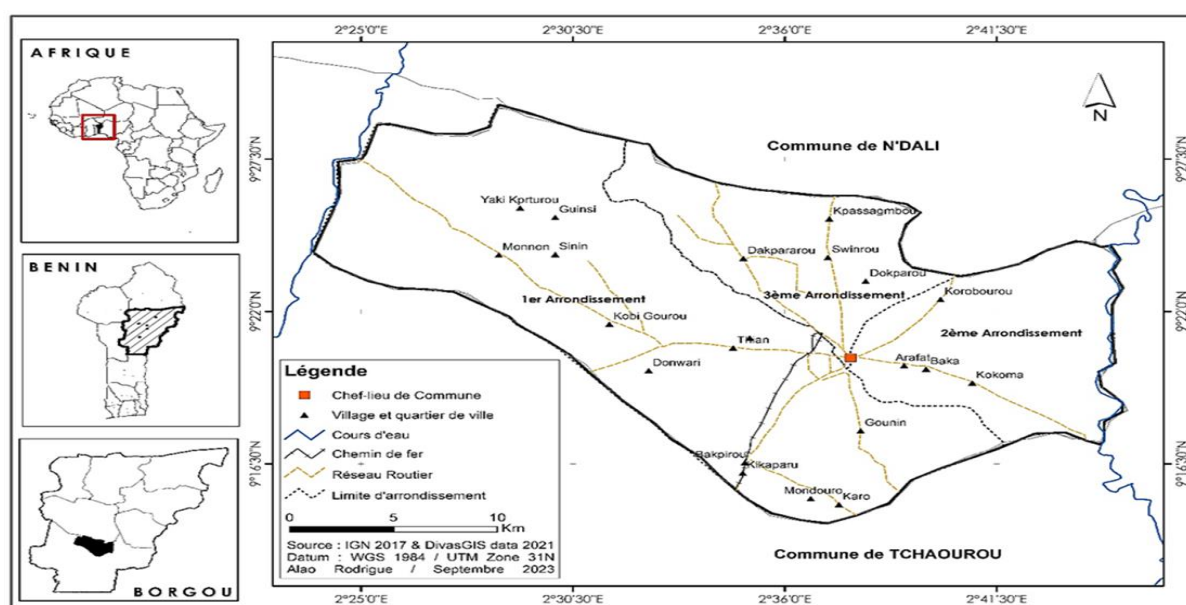


Figure 1. Situation géographique de la ville de Parakou

Les sols hydromorphes temporairement inondés sont généralement situés dans les bas-fonds où la roche mère est de type granitique ou granito-gneissique (Soumanou, 2008). La ville de Parakou est située dans la zone agro-écologique cinq du Bénin, zone dite de production vivrière dominée par les tubercules, les céréales et les légumineuses. Les données utilisées sont les séries mensuelles de précipitations (mm) et de températures maximales et minimales (°C) de la station synoptique de Parakou sur la période 1960–2024 (65 ans), fournies par Météo Bénin. La température moyenne mensuelle est calculée comme la moyenne arithmétique des températures maximale et minimale.

2.2. Méthodes

Évapotranspiration potentielle (Hargreaves-Samani)

En l'absence de données journalières de rayonnement, de vent et d'humidité relative nécessaires à la méthode de référence FAO Penman-Monteith, l'évapotranspiration potentielle (ETP) mensuelle a été estimée par la formule empirique de Hargreaves-Samani (1985), qui ne requiert que la température et le rayonnement extraterrestre théorique : $ET_o = 0,0023 \times Ra \times (T_{moy} + 17,8) \times \sqrt{(T_{max} - T_{min})}$, où ET_o est l'ETP journalière (mm/jour), Ra le rayonnement extraterrestre (converti en équivalent d'évaporation, mm/jour), T_{moy} , T_{max} et T_{min} les températures moyenne, maximale et minimale du mois (°C). Le rayonnement extraterrestre Ra a été calculé pour la latitude de Parakou (9,34° N) suivant l'équation standard FAO-56, pour le jour julien médian de chaque mois. L'ETP journalière est ensuite multipliée par le nombre de jours du mois pour obtenir l'ETP mensuelle.

Bilan hydrique climatique

Le bilan hydrique climatique mensuel est calculé comme la différence entre précipitations et évapotranspiration potentielle : $BH = P - ETP$. Un bilan positif indique un mois climatiquement excédentaire en eau (recharge potentielle), un bilan négatif un mois déficitaire nécessitant un apport hydrique complémentaire (irrigation) pour la conduite des cultures maraîchères. Le bilan hydrique annuel est la somme des bilans mensuels de l'année.

Calendrier agro-climatique : démarrage, fin et durée de la saison des pluies utile

En l'absence de données pluviométriques journalières, le démarrage de la saison des pluies utile a été déterminé, pour chaque année, comme le premier mois pour lequel le cumul pluviométrique dépasse à la fois 20 mm et la moitié de l'ETP

mensuelle ($P \geq ETP/2$ et $P > 20$ mm), ce critère approximant à l'échelle mensuelle le critère agronomique classique de démarrage de saison (cumul ≥ 20 mm sur trois jours consécutifs, sans séquence sèche supérieure à 7 jours dans les 30 jours suivants). La fin de la saison utile correspond symétriquement au dernier mois remplissant ce même critère. La durée de la saison des pluies utile est déduite du nombre de mois compris entre le démarrage et la fin.

Test de Mann-Kendall et pente de Sen

Les tendances des indicateurs agro-climatiques annuels (ETP, bilan hydrique, dates et durée de la saison des pluies utile) ont été testées par le test non paramétrique de Mann-Kendall (Mann, 1945 ; Kendall, 1975), qui évalue la significativité d'une tendance monotone sans hypothèse sur la distribution de la série, au seuil $\alpha = 0,05$. L'amplitude des tendances a été estimée par la pente de Sen (Sen, 1968), médiane des pentes calculées entre toutes les paires de points de la série, exprimée par an puis convertie par décennie.

Besoins en eau des cultures maraîchères (approche des coefficients culturaux Kc)

Les besoins en eau de cinq spéculations maraîchères représentatives de Parakou sont la tomate (*Solanum lycopersicum*), la laitue (*Lactuca sativa*), la carotte (*Daucus carota subsp. sativus*), le gboma (*Solanum macrocarpon*) (légume-feuille de type amarante/morelle) et le piment (*Capsicum annum*) ont été estimés selon l'approche du coefficient cultural simple (K_c) de la FAO (Allen et al., 1998) : $ET_c = ETP \times K_c$, où ET_c est l'évapotranspiration maximale de la culture (besoin en eau, mm), ETP l'évapotranspiration potentielle de référence (Hargreaves-Samani) et K_c le coefficient cultural, variable selon le stade phénologique.

Pour chaque culture, quatre stades ont été considérés stade initial (K_{c_ini}), développement (interpolation linéaire entre K_{c_ini} et K_{c_mid}), mi-saison (K_{c_mid}) et fin de saison (interpolation linéaire entre K_{c_mid} et K_{c_end}) avec des durées de stade et des valeurs de K_c issues des références FAO-56 pour des conditions tropicales/climat chaud. Un coefficient cultural moyen pondéré sur l'ensemble du cycle a été calculé pour chaque culture, puis appliqué à l'ETP mensuelle moyenne afin d'estimer le besoin en eau mensuel (ET_c) et le bilan hydrique cultural mensuel ($P - ET_c$). Le besoin en irrigation de complément sur cycle complet a été estimé pour deux scénarios de calendrier cultural : un cycle démarrant en saison des pluies (mai, mois de démarrage le plus fréquent de la saison utile) et un cycle de contre-saison démarrant en novembre, période de forte demande maraîchère en début de saison sèche.

3. RESULTATS

3.1. Climagramme ombrothermique et bilan hydrique climatique mensuel

La figure 2 montre le climagramme ombrothermique du milieu d'étude.

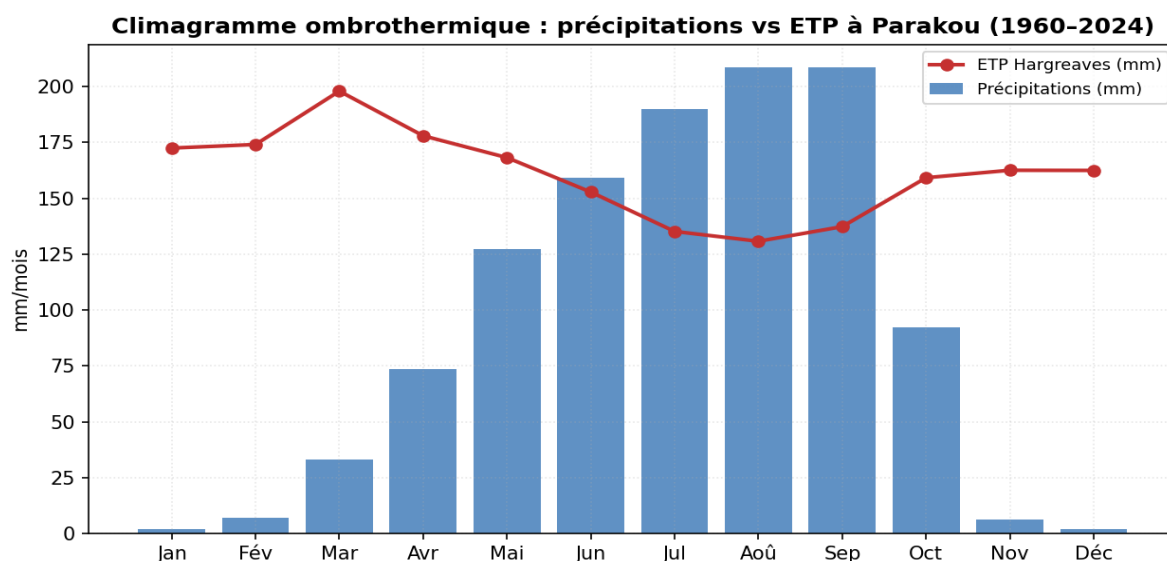


Figure 2. Climagramme ombrothermique : précipitations et évapotranspiration potentielle (ETP, Hargreaves) mensuelles moyennes à Parakou

Source : Météo Bénin (2025)

Le climagramme ombrothermique (Figure 2) met en évidence une forte variabilité saisonnière des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) à Parakou sur la période 1960-2024. Les précipitations augmentent progressivement de mars à août, atteignant un maximum en août (208,6 mm) et en septembre (208,5 mm), avant de diminuer rapidement à partir d'octobre. À l'inverse, l'évapotranspiration potentielle (ETP) est maximale en mars (198,0 mm), puis diminue progressivement jusqu'en août (130,8 mm), période correspondant au pic de la saison des pluies.

Cette évolution traduit le passage d'une saison sèche caractérisée par une forte demande évaporative à une saison humide où les précipitations dépassent les pertes en eau, ce qui justifie que la commune de Parakou est caractérisée par un régime pluviométrique unimodal caractéristique du climat soudano-guinéen. Par contre la figure 3, nous présente le bilan hydrique climatique mensuel moyenne de la commune de Parakou sur la période d'étude.

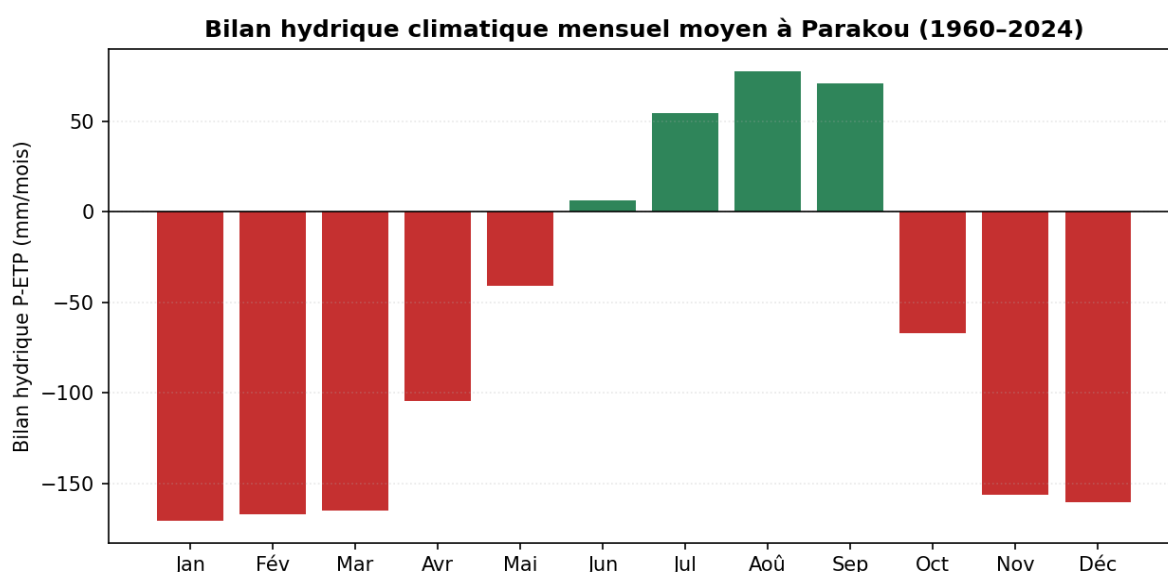


Figure 3 : Bilan hydrique climatique mensuel moyen (P – ETP) à Parakou

Source : Météo Bénin (2025)

La figure 3 illustre clairement l'alternance entre périodes déficitaires et excédentaires. Les déficits hydriques observés de janvier à mai puis d'octobre à décembre traduisent une forte contrainte hydrique susceptible de limiter les activités agricoles (le maraîchage) en l'absence d'irrigation. En revanche, les excédents enregistrés entre juin et septembre constituent la principale période de disponibilité en eau, favorable à la croissance des cultures pluviales ainsi qu'à la recharge des nappes et des cours d'eau. Les analyses conjointes des figure 1 et 2 ont permis de dresser le tableau 1 qui est l'état du bilan hydrique climatique mensuel moyenne.

Tableau 1. Bilan hydrique climatique mensuel moyen à Parakou

Mois	Pluie (mm)	ETP (mm)	Bilan P-ETP (mm)	Statut
Janvier	2,0	172,5	-170,6	Déficitaire
Février	6,8	174,1	-167,3	Déficitaire
Mars	33,1	198,0	-164,9	Déficitaire
Avril	73,4	178,0	-104,6	Déficitaire
Mai	127,2	168,2	-41,0	Déficitaire
Juin	159,3	152,8	6,5	Excédentaire
Juillet	189,9	135,2	54,7	Excédentaire
Août	208,6	130,8	77,8	Excédentaire
Septembre	208,5	137,3	71,2	Excédentaire
Octobre	92,4	159,2	-66,8	Déficitaire
Novembre	6,1	162,6	-156,5	Déficitaire
Décembre	1,9	162,5	-160,6	Déficitaire

Le tableau 1 du bilan hydrique climatique mensuel confirme cette dynamique saisonnière. Sur les douze mois de l'année, seuls quatre mois (juin à septembre) présentent un bilan hydrique positif, indiquant que les précipitations sont suffisantes pour satisfaire les besoins évaporatifs du climat. À l'inverse, huit mois de l'année (janvier à mai puis octobre à décembre) sont caractérisés par un déficit hydrique plus ou moins marqué, traduisant une insuffisance des apports pluviométriques face à la demande atmosphérique en eau.

Les déficits les plus importants sont observés en janvier (-170,6 mm), février (-167,3 mm), mars (-164,9 mm), novembre (-156,5 mm) et décembre (-160,6 mm). Ces périodes correspondent à la pleine saison sèche, durant laquelle les précipitations sont quasi inexistantes alors que l'évapotranspiration potentielle demeure élevée. À l'opposé, les excédents hydriques maximaux sont enregistrés en août (+77,8 mm) et septembre (+71,2 mm), qui constituent les mois les plus favorables à la recharge des réserves en eau des sols et au développement des cultures pluviales.

D'un point de vue agronomique, ces résultats montrent que la période comprise entre juin et septembre offre les meilleures conditions climatiques pour la conduite des cultures maraîchères sans recours systématique à l'irrigation. Les spéculations relativement exigeantes en eau, telles que la tomate (*Solanum lycopersicum*), le piment (*Capsicum annum*) et la carotte (*Daucus carota subsp. sativus*), peuvent être avantageusement implantées au début de la saison des pluies (mai-juin), de manière à ce que leurs phases de croissance maximale coïncident avec la période d'excédent hydrique.

En revanche, les cultures de cycle court et moins exigeantes en eau, comme la laitue (*Lactuca sativa*) et, dans une moindre mesure, le gboma (*Solanum macrocarpon*), offrent davantage de flexibilité et peuvent être produites durant les périodes intermédiaires, sous réserve d'une irrigation complémentaire limitée lorsque les précipitations deviennent insuffisantes.

Le déficit hydrique observé dès le mois d'octobre marque le début d'une période défavorable à l'agriculture pluviale. Ainsi, la production maraîchère de contre-saison, qui constitue une activité économique importante à Parakou, repose nécessairement sur la disponibilité des ressources en eau destinées à l'irrigation. Les besoins en eau deviennent particulièrement élevés entre novembre et avril, période au cours de laquelle aucune culture ne peut satisfaire ses besoins hydriques par les seules précipitations.

Ces résultats soulignent l'importance stratégique du recours à l'irrigation de contre-saison pour maintenir la production agricole tout au long de l'année. Ils mettent également en évidence la nécessité de promouvoir des techniques d'irrigation économes en eau (goutte-à-goutte, micro-irrigation ou arrosage maîtrisé), ainsi que des dispositifs de stockage des eaux de pluie et de mobilisation durable des ressources hydriques locales.

Enfin, le bilan hydrique climatique mensuel constitue un outil d'aide à la décision particulièrement pertinent pour le choix des spéculations maraîchères et la planification des calendriers culturaux. Son utilisation permet d'adapter les périodes de semis et de repiquage aux disponibilités hydriques saisonnières, de réduire les risques de stress hydrique et d'optimiser l'efficacité de l'irrigation dans un contexte marqué par une variabilité climatique croissante.

3.2. Bilan hydrique climatique annuel et tendance

La figure 4 illustre l'évolution du bilan hydrique climatique annuel ($P - ETP$) à Parakou de 1960 à 2024.

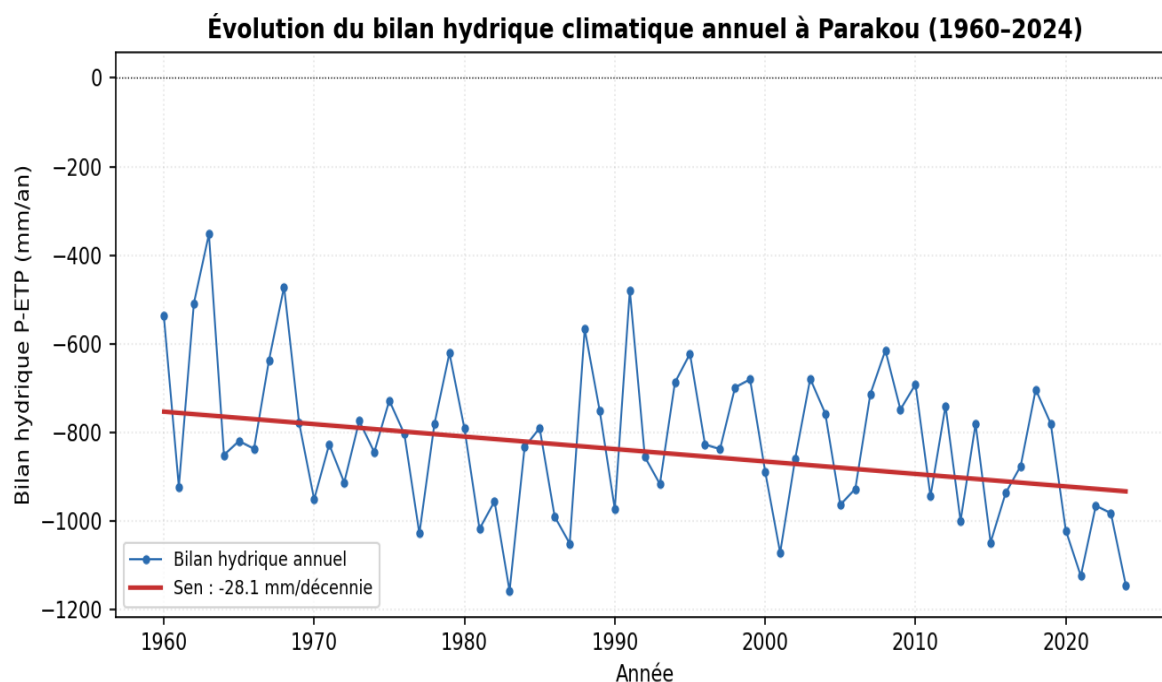


Figure 4. Évolution du bilan hydrique climatique annuel ($P - ETP$) à Parakou

Source : Météo Bénin, 2025

La figure 4 montre que le bilan hydrique climatique annuel moyen sur la période de 1960 - 2024 est fortement déficitaire ($-822,2$ mm, écart-type = $171,4$ mm, $CV = 20,8$ %), variant d'un minimum de $-1158,3$ mm (année sèche, 1983) à un maximum de $-352,5$ mm (année la plus favorable, 1963), indiquant que les précipitations annuelles demeurent insuffisantes pour compenser les pertes d'eau par évapotranspiration potentielle. Malgré une forte variabilité interannuelle, avec des années relativement moins déficitaires alternant avec des déficits très prononcés, la tendance générale est à la baisse, comme l'indique la pente de Sen estimée à $-28,1$ mm par décennie. Cette évolution traduit une aggravation progressive du déficit hydrique annuel, suggérant une diminution de la disponibilité en eau pour les écosystèmes et les activités agricoles. Dans le contexte du changement climatique, cette tendance laisse présager une augmentation des contraintes hydriques, nécessitant le renforcement des stratégies de gestion durable des ressources en eau et le développement de pratiques agricoles plus résilientes.

3.3. Évapotranspiration potentielle annuelle et tendance

La figure 5 présente l'évolution de l'évapotranspiration potentielle (ETP, Hargreaves) annuelle à Parakou de 1960 à 2024.

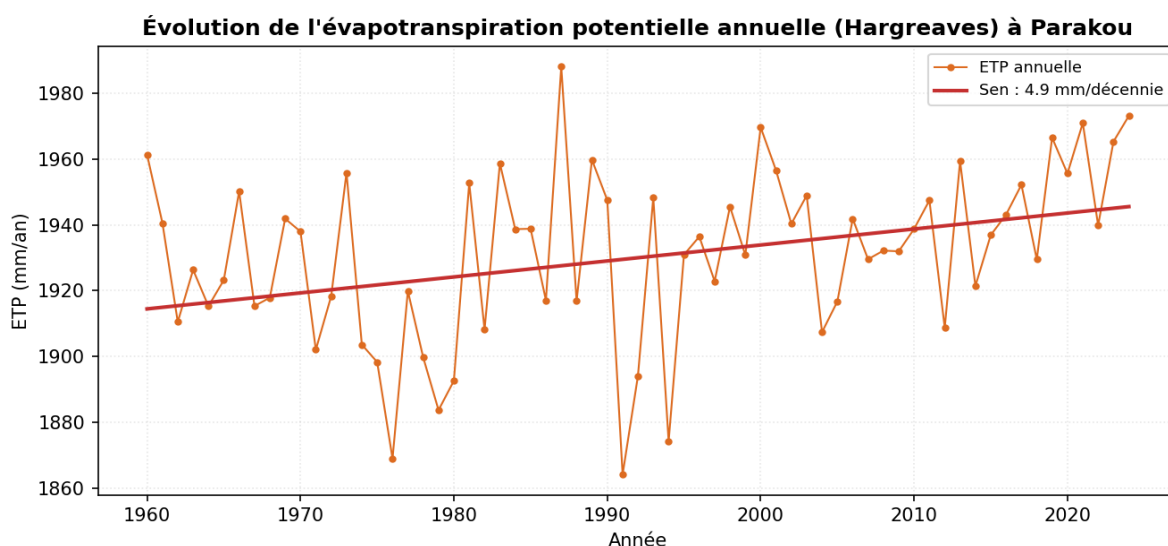


Figure 5. Évolution de l'évapotranspiration potentielle annuelle à Parakou

Source : Météo Bénin (2025)

L'évolution de l'évapotranspiration potentielle annuelle met en évidence une importante variabilité interannuelle, avec des valeurs comprises entre environ 1 860 et 1 990 mm/an. La tendance à la hausse de l'ETP est statistiquement significative ($Z = 2,79$; $p = 0,005$) avec une pente de Sen de +4,9 mm par décennie, traduisant une augmentation progressive de la demande évaporative de l'atmosphère. Cette évolution est cohérente avec les effets attendus de l'augmentation des températures et de l'intensification des conditions climatiques favorisant les pertes en eau. Une ETP plus élevée accentue le déficit hydrique des sols, augmente les besoins en irrigation et peut compromettre les rendements agricoles, notamment pour les cultures maraîchères fortement dépendantes de la disponibilité en eau.

3.4. Calendrier agro-climatique : démarrage, fin et durée de la saison des pluies utile

La figure 6 révèle l'évolution du mois de démarrage de la saison des pluies utile à Parakou de 1960 à 2024, ce qui a permis de dresser le tableau 2 récapitulatif sur la répartition des années selon le mois de démarrage de la saison des pluies utile à Parakou.

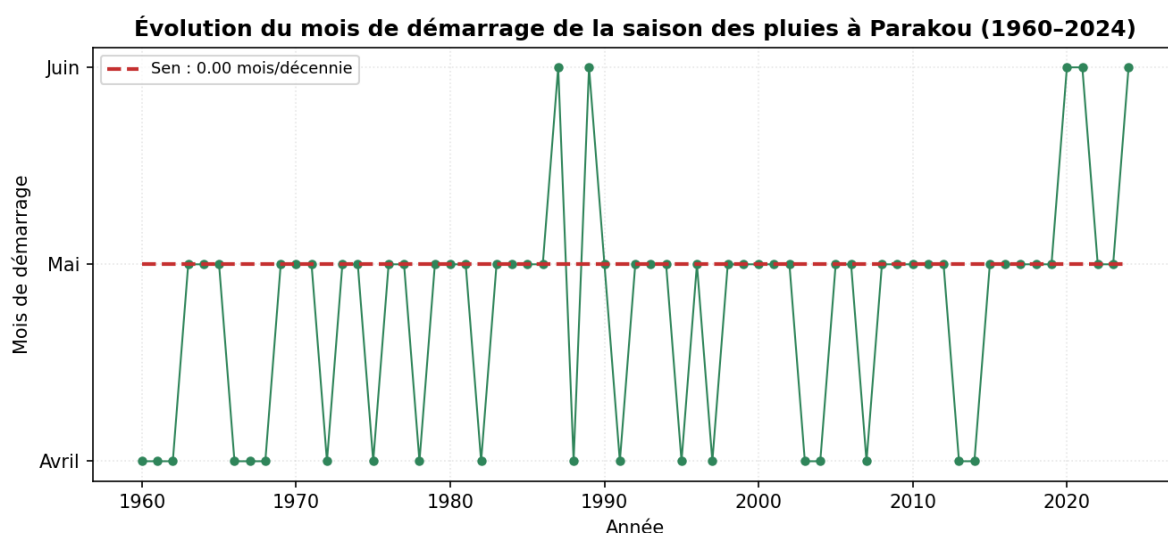


Figure 6. Évolution du mois de démarrage de la saison des pluies utile à Parakou

Source : Météo Bénin, 2025

Tableau 2. Répartition des années selon le mois de démarrage de la saison des pluies utile à Parakou

Mois de démarrage	Nombre d'années	Fréquence (%)
Avril	19	29,2

Mois de démarrage	Nombre d'années	Fréquence (%)
Mai	41	63,1
Juin	5	7,7

L'analyse de la figure 6 met en évidence une importante variabilité interannuelle du mois de démarrage de la saison des pluies utile aux cultures à Parakou au cours de la période 1960–2024. Le début de la saison des pluies est observé entre les mois d'avril et de juin, avec une prédominance du mois de mai. La tendance estimée par la pente de Sen (0,00 mois par décennie) traduit une faible amplitude de variation temporelle, mais l'analyse statistique (Tableau 3) révèle une tendance significative au retard du démarrage de la saison des pluies ($Z = 2,60$; $p = 0,009$). Ce résultat indique que les débuts tardifs des pluies tendent à devenir plus fréquents au cours des dernières décennies.

Le tableau 2 montre que le mois de mai constitue le mois de démarrage le plus fréquent, représentant 63,1 % des années étudiées (41 années sur 65). Le démarrage en avril est observé dans 29,2 % des cas, tandis que le démarrage tardif en juin ne concerne que 7,7 % des années. Ces résultats suggèrent que, bien que la saison des pluies débute généralement en mai à Parakou, les agriculteurs restent confrontés à une incertitude climatique susceptible de modifier le calendrier des semis d'une année à l'autre.

Du point de vue agricole, le retard progressif du démarrage des pluies peut entraîner un décalage des calendriers culturaux, augmenter les risques de faux départs de saison et réduire la durée effective de croissance des cultures. Il constitue ainsi un facteur de vulnérabilité important pour les systèmes de production pluviale, particulièrement dans un contexte de changement climatique. Par contre, la figure 7 permet de déterminer la durée de la saison des pluies utile aux cultures à Parakou (1960–2024).

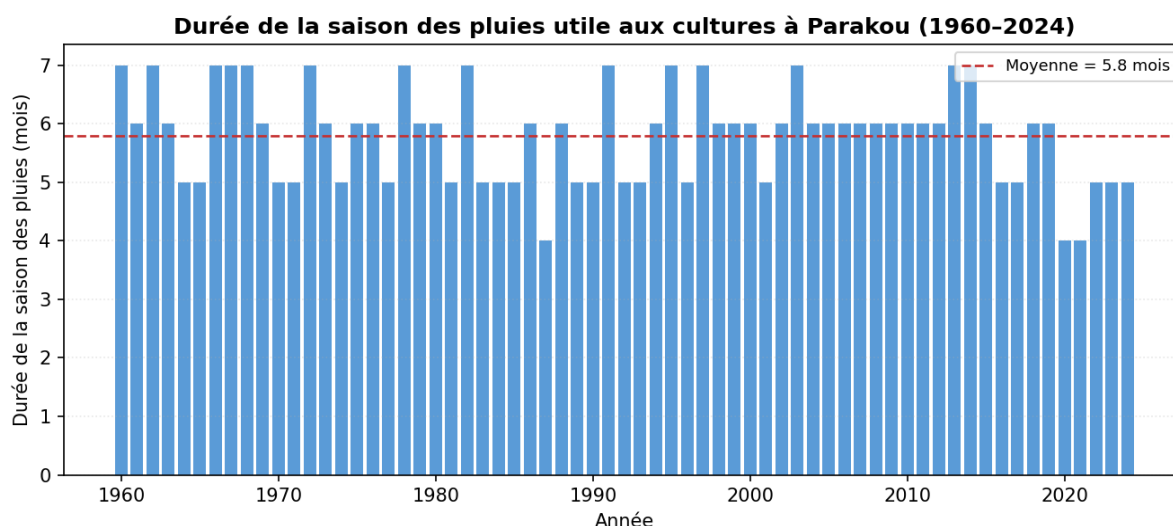


Figure 7. Durée de la saison des pluies utile aux cultures à Parakou (1960–2024)

Source : Météo Bénin, 2025

De l'analyse de la figure 7, il ressort que la durée de la saison des pluies utile aux cultures varie entre 4 et 7 mois, avec une moyenne de 5,8 mois (écart-type = 0,8 mois ; CV = 14,4 %), variant de 4 à 7 mois selon les années. Durant les premières décennies, les saisons pluvieuses de 6 à 7 mois sont relativement fréquentes, tandis que les années récentes enregistrent plus souvent des saisons de 4 à 5 mois. Cette évolution suggère un raccourcissement progressif de la période favorable aux cultures pluviales, probablement lié à la variabilité croissante des précipitations et aux effets du changement climatique. Une réduction de la durée de la saison humide limite la période de croissance des cultures, accroît les risques de stress hydrique en fin de cycle et impose une adaptation des calendriers culturaux ainsi qu'un recours accru aux techniques de conservation de l'eau et à l'irrigation pour maintenir la productivité agricole.

3.5. Synthèse des tendances des indicateurs agro-climatiques

Les tableaux 3 et 4 dressent les résultats du test de Mann-Kendall et de la pente de Sen pour les indicateurs agro-climatiques et les statistiques descriptives des indicateurs agro-climatiques annuels à Parakou.

Tableau 3. Résultats du test de Mann-Kendall et de la pente de Sen pour les indicateurs agro-climatiques

Indicateur	S	Z	p-value	Tendance ($\alpha=0,05$)	Pente de Sen (/décennie)
ETP annuelle (mm)	494	2,79	0,005	Hausse significative	4,86
Bilan hydrique annuel (mm)	-398	-2,25	0,025	Baisse significative	-28,12
Durée saison des pluies (mois)	-243	-1,46	0,144	Pas de tendance significative	0,00
Mois de démarrage de saison	391	2,60	0,009	Hausse significative	0,00
Mois de fin de saison	34	0,22	0,826	Pas de tendance significative	0,00

Les résultats mettent en évidence des évolutions contrastées des paramètres hydroclimatiques à Parakou. L'évapotranspiration potentielle annuelle présente une augmentation significative ($S = 494$; $Z = 2,79$; $p = 0,005$), avec une pente de Sen estimée à $+4,86$ mm par décennie. Cette évolution traduit une augmentation progressive des pertes potentielles en eau vers l'atmosphère, probablement liée à l'augmentation des températures et des conditions climatiques plus favorables à l'évaporation.

Le bilan hydrique annuel ($P - ETP$) présente quant à lui une baisse significative ($S = -398$; $Z = -2,25$; $p = 0,025$), avec une diminution moyenne de $-28,12$ mm par décennie. Cette tendance indique une aggravation progressive- du déficit hydrique annuel, révélatrice d'une disponibilité en eau de plus en plus limitée pour les activités agricoles.

La durée de la saison des pluies utile aux cultures ne présente pas de tendance statistiquement significative ($p = 0,144$), malgré une variabilité interannuelle relativement importante. Cela suggère que la durée moyenne de la saison pluvieuse demeure globalement stable sur la période étudiée.

En revanche, le mois de démarrage de la saison des pluies montre une tendance significative au retard ($p = 0,009$), ce qui confirme les observations réalisées à partir de la Figure 5. Le mois de fin de saison ne présente, pour sa part, aucune tendance significative ($p = 0,826$), traduisant une relative stabilité de la date de cessation des pluies utiles.

Ces résultats indiquent que les principales modifications du régime hydroclimatique concernent davantage l'augmentation des besoins en eau des cultures et le retard du début de la saison agricole que la durée globale de la saison des pluies.

Tableau 4. Statistiques descriptives des indicateurs agro-climatiques annuels à Parakou

Paramètre	Moyenne	Écart-type	CV (%)	Min	Max
ETP annuelle (mm)	1931,4	26,1	1,3	1864,1	1988,2
Bilan hydrique annuel P-ETP (mm)	-822,2	171,4	20,8	-1158,3	-352,5
Durée saison des pluies (mois)	5,8	0,8	14,4	4,0	7,0

Les statistiques descriptives du tableau 4 montrent que l'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne à Parakou est de $1\,931,4$ mm, avec un faible coefficient de variation (1,3 %), traduisant une forte stabilité interannuelle de la demande évaporative. Toutefois, son augmentation significative observée précédemment suggère une évolution progressive des conditions climatiques locales.

Le bilan hydrique annuel moyen est fortement- déficitaire, avec une valeur de $-822,2$ mm. Son coefficient de variation relativement élevé (20,8 %) révèle une importante variabilité interannuelle des conditions hydriques. Les valeurs extrêmes observées ($-1\,158,3$ mm et $-352,5$ mm) témoignent de la succession d'années particulièrement sèches et d'années relativement moins déficitaires. Cette forte variabilité constitue un facteur majeur d'incertitude pour la production agricole.

La durée moyenne de la saison des pluies utile est estimée à 5,8 mois, avec une variabilité modérée (CV = 14,4 %). Elle oscille entre 4 et 7 mois selon les années, illustrant une certaine instabilité des conditions pluviométriques susceptibles d'influencer les calendriers culturels et les choix variétaux des producteurs.

3.6. Besoins en eau des principales cultures maraîchères

Le tableau 5 indique les coefficients culturaux (Kc) et durées de stade des cultures maraîchères étudiées : Tomate (*Solanum lycopersicum* L.), Piment (*Capsicum annum* L.), Carotte (*Daucus carota subsp.*), Gboma (*Solanum macrocarpon* L.) et Laitue (*Lactuca sativa* L.).

Tableau 5. Coefficients culturaux (Kc) et durées de stade des cultures maraîchères étudiées (FAO-56, adapté au climat tropical)

Culture	Kc initial	Kc mi-saison	Kc fin	Kc moyen (cycle)	Durée stades (j)	Cycle total
Tomate	0,60	1,15	0,80	0,92	30-40-45-30	145 j
Laitue	0,70	1,00	0,95	0,86	20-30-15-10	75 j
Carotte	0,70	1,05	0,95	0,92	20-30-30-20	100 j
Gboma	0,70	1,05	0,90	0,92	15-25-25-15	80 j
Piment	0,60	1,05	0,90	0,87	30-35-40-20	125 j

L'analyse du tableau 5 montre que les cinq cultures maraîchères étudiées présentent des besoins en eau variables selon leur stade de développement. Les coefficients culturaux (Kc) augmentent progressivement entre la phase initiale et la phase de mi-saison, période correspondant à la croissance végétative maximale et aux besoins hydriques les plus importants, avant de diminuer légèrement en fin de cycle.

La tomate présente le coefficient cultural maximal le plus élevé (Kc = 1,15) ainsi que le cycle cultural le plus long (145 jours), ce qui en fait la culture la plus exigeante en eau parmi celles étudiées. À l'inverse, la laitue possède le cycle cultural le plus court (75 jours) et un Kc moyen relativement faible (0,86), traduisant des besoins hydriques plus modérés. La carotte et le gboma présentent des Kc moyens identiques (0,92), tandis que le piment affiche un Kc moyen de 0,87 sur un cycle relativement long (125 jours).

Ces différences illustrent la nécessité d'adapter les pratiques d'irrigation aux exigences spécifiques de chaque culture et aux différents stades phénologiques afin d'optimiser l'utilisation des ressources en eau. Quant à la figure 8, elle porte sur les courbes du coefficient cultural (Kc) par stade phénologique pour les cinq cultures maraîchères étudiées.

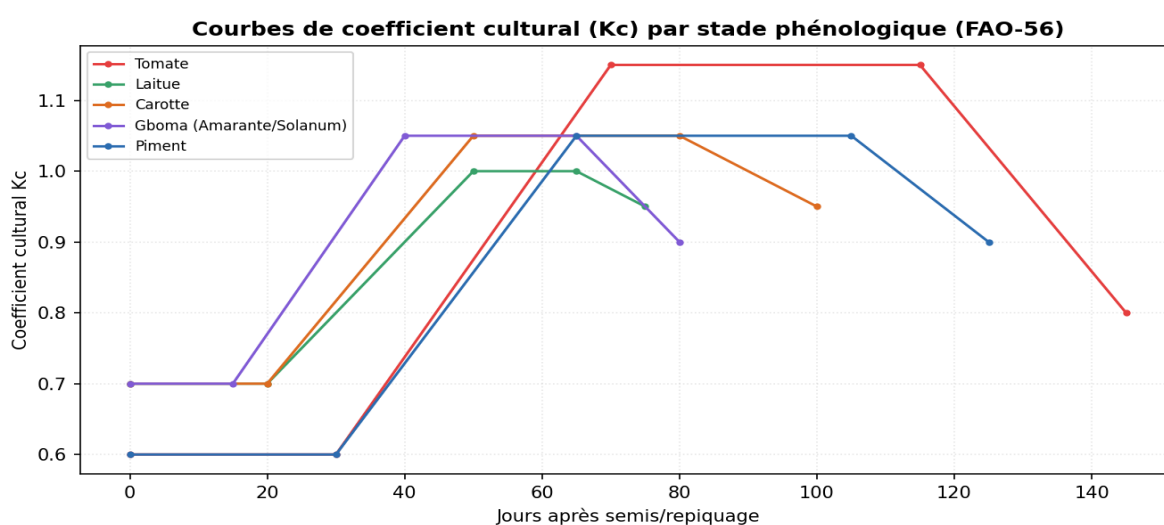


Figure 8 : Courbes du coefficient cultural (Kc) par stade phénologique pour les cinq cultures maraîchères étudiées

Source : Météo Bénin (2025)

La figure 8 confirme que les besoins en eau des cultures ne sont pas constants au cours de leur développement. Pour l'ensemble des cultures, le coefficient cultural augmente durant les premiers stades de croissance pour atteindre son maximum en phase de développement et de production, avant de diminuer lors de la maturation.

La tomate présente la plus longue période caractérisée par un K_c élevé (>1), indiquant des besoins hydriques importants sur une durée prolongée. Le gboma, la carotte et le piment affichent également des besoins élevés durant la phase de pleine croissance, tandis que la laitue atteint rapidement son maximum de consommation en eau avant la récolte, en raison de son cycle court.

Ces résultats soulignent l'importance d'une irrigation raisonnée tenant compte des stades phénologiques afin d'éviter à la fois les déficits hydriques préjudiciables au rendement et les apports excessifs susceptibles d'entraîner un gaspillage de l'eau. Puis la figure 9 dresse les besoins en eau mensuels (ETc) des cultures maraîchères à Parakou.

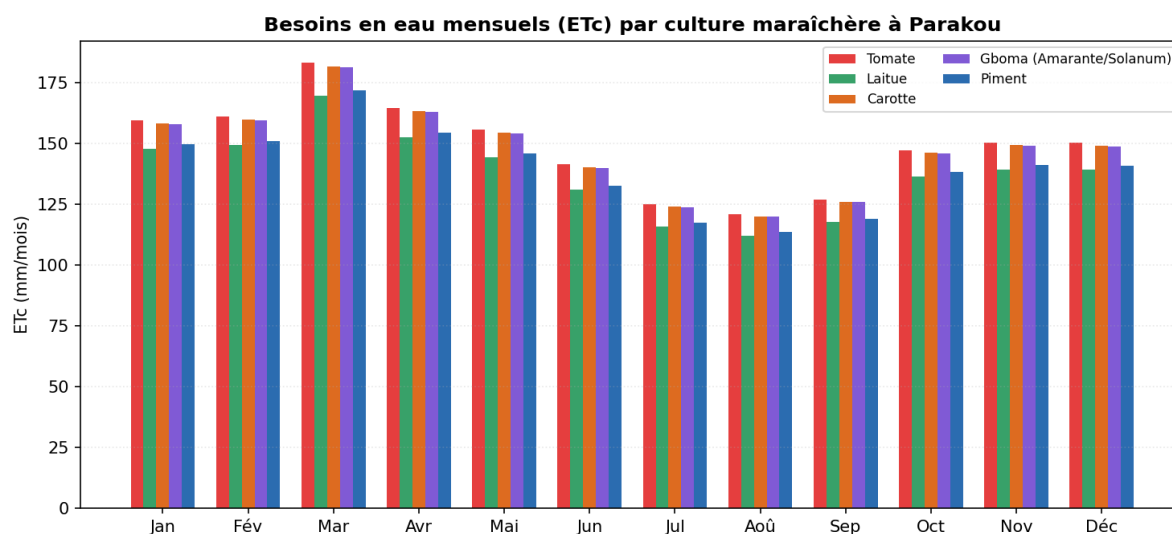


Figure 9. Besoins en eau mensuels (ETc-) des cultures maraîchères à Parakou

Source : Météo Bénin (2025)

De l'analyse de la figure 9, les besoins en eau des cultures (ETc) présentent une forte variabilité saisonnière en relation avec les conditions climatiques locales. Les valeurs les plus élevées sont observées entre janvier et avril, avec un maximum enregistré au mois de mars (environ 170 à 180 mm/mois selon les cultures), période caractérisée par une évapotranspiration potentielle particulièrement élevée à Parakou.

À l'inverse, les besoins en eau diminuent significativement durant la saison des pluies, notamment entre juillet et août où les valeurs minimales sont enregistrées (environ 115 à 125 mm/mois). À partir du mois de septembre, les besoins hydriques augmentent progressivement jusqu'au retour de la saison sèche.

La tomate et la carotte présentent généralement les besoins hydriques mensuels les plus importants, alors que la laitue et le gboma apparaissent relativement moins exigeants. Cette distribution saisonnière des besoins en eau met en évidence l'influence déterminante des conditions climatiques locales sur la consommation en eau des cultures maraîchères.

3.7. Bilan hydrique cultural : cycle en saison des pluies versus cycle de contre-saison

Le tableau 6 met clairement en évidence l'effet déterminant de la période de culture sur les besoins en irrigation de complément.

Tableau 6. Comparaison des besoins en irrigation de complément selon le calendrier cultural à Parakou

Culture	ETc cycle SP (mm)	Pluie cycle SP (mm)	Irrigation SP (mm)	ETc cycle CS (mm)	Pluie cycle CS (mm)	Irrigation CS (mm)
Tomate	648,3	858,8	0,0	773,3	44,4	728,9
Laitue	333,0	381,5	0,0	352,4	8,9	343,5
Carotte	458,6	546,0	0,0	509,8	12,2	497,6

Culture	ETc cycle SP (mm)	Pluie cycle SP (mm)	Irrigation SP (mm)	ETc cycle CS (mm)	Pluie cycle CS (mm)	Irrigation CS (mm)
Gboma	376,5	413,2	0,0	403,0	9,3	393,7
Piment	528,8	719,8	0,0	611,0	22,3	588,7

Légende : SP = cycle en saison des pluies, démarrage mai ; CS = cycle de contre-saison, démarrage novembre)

De ce tableau 6, il ressort qu'en saison des pluies (cycle démarrant en mai), les précipitations cumulées sont supérieures aux besoins en eau des cultures pour l'ensemble des espèces étudiées. Par conséquent, les besoins en irrigation sont nuls pour les cinq cultures.

Les précipitations cumulées durant cette période varient de 381,5 mm pour la laitue à 858,8 mm pour la tomate, couvrant largement les besoins évapotranspiratoires des cultures. Ces résultats montrent que la saison des pluies offre des conditions climatiques favorables au développement des cultures maraîchères sans recours systématique à l'irrigation.

En revanche, la situation est radicalement différente en contre-saison (cycle débutant en novembre). Les précipitations deviennent très faibles (8,9 à 44,4 mm selon les cultures) et ne permettent plus de satisfaire les besoins hydriques des plantes. L'irrigation devient alors indispensable pour toutes les cultures étudiées.

Les besoins en irrigation varient considérablement selon les espèces :

- ✓ Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) : 728,9 mm/cycle ;
- ✓ Piment (*Capsicum annuum* L.) : 588,7 mm/cycle ;
- ✓ Carotte (*Daucus carota* subsp.) : 497,6 mm/cycle ;
- ✓ Gboma (*Solanum macrocarpon* L.) : 393,7 mm/cycle ;
- ✓ Laitue (*Lactuca sativa* L.) : 343,5 mm/cycle.

La tomate apparaît ainsi comme la culture la plus exigeante en irrigation durant la contre-saison, tandis que la laitue est la moins consommatrice en eau. La Figure 10 illustre de manière synthétique l'importance des besoins en irrigation pendant la contre-saison.

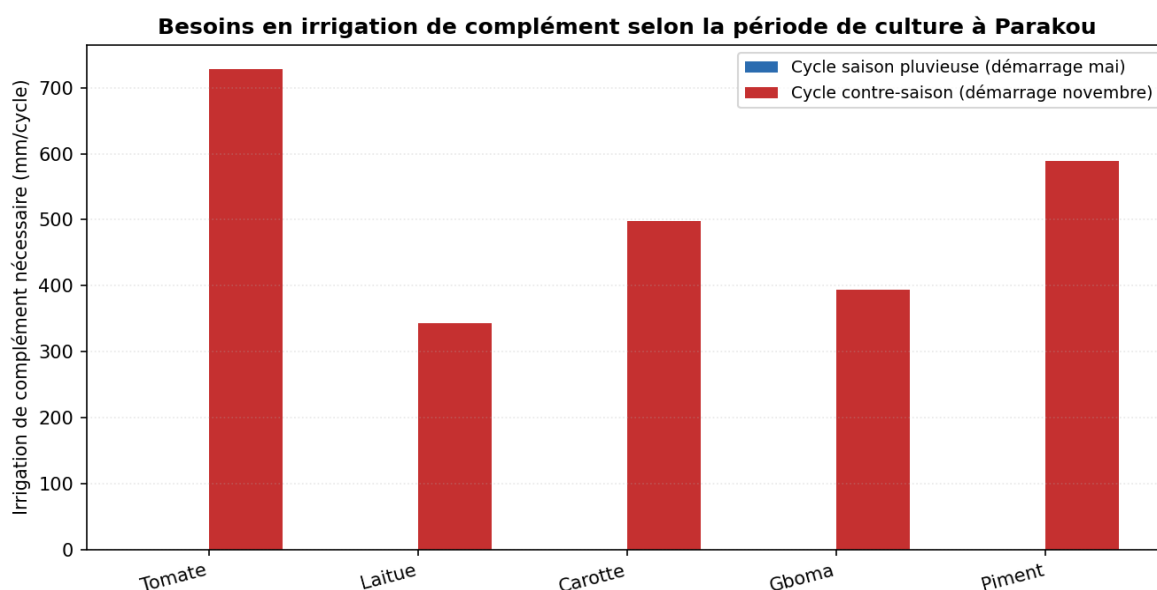


Figure 10. Besoins en irrigation de complément selon la période de culture à Parakou

Source : Météo Bénin, 2025

Le contraste entre les deux calendriers culturels est saisissant : pour un cycle démarrant en mai (saison des pluies), l'ensemble des cinq cultures étudiées bénéficie d'un bilan hydrique climatique excédentaire ou équilibré, ne nécessitant théoriquement aucune irrigation de complément, un simple appoint ponctuel pouvant néanmoins être requis lors de séquences sèches

infra-mensuelles non détectables à l'échelle mensuelle. À l'inverse, pour un cycle de contre-saison démarrant en novembre, l'irrigation de complément devient indispensable et massive, variant de 343,5 mm pour la laitue (cycle court, 75 jours) à 728,9 mm pour la tomate (cycle long, 145 jours), la carotte et le piment se situant à des niveaux intermédiaires (497,6 mm et 588,7 mm

respectivement). Ce résultat souligne la dépendance structurelle du maraîchage de contre-saison à Parakou à la maîtrise de l'eau (puits, forages, retenues, bas-fonds), dans un contexte où l'évapotranspiration potentielle annuelle affiche par ailleurs une tendance à la hausse significative (section 2.3).

4. DISCUSSION

Les résultats mettent en évidence une double contrainte croissante pour le maraîchage à Parakou : une demande évaporatoire de l'atmosphère en hausse significative, conjuguée à un décalage du démarrage de la saison des pluies utile, qui réduit la fenêtre climatique favorable à l'installation des cultures pluviales et accroît la dépendance à l'irrigation de complément, y compris en début de campagne.

Ce décalage du démarrage de la saison des pluies utile s'inscrit dans une dynamique observée à l'échelle régionale. En Afrique de l'Ouest et au Sahel, plusieurs travaux récents documentent une reconfiguration du régime pluviométrique caractérisée par des saisons plus tardives, plus intenses et davantage entrecoupées de séquences sèches, y compris dans des zones où le cumul pluviométrique annuel s'est globalement maintenu voire partiellement rétabli depuis les années 2000 (Biasutti, 2019 ; Salack *et al.*, 2016).

Ce phénomène, parfois qualifié de « saison hybride », combine un allongement de la saison sèche en début de cycle et une concentration des pluies utiles sur une fenêtre plus courte et plus intense (Salack *et al.*, 2016), ce qui recoupe le constat établi à Parakou d'un démarrage significativement retardé ($p = 0,009$) sans allongement compensatoire de la durée de la saison utile ($p = 0,144$). Ce résultat conforte également les projections de Boko *et al.* (2012) pour le nord du Bénin à l'horizon 2050, qui anticipaient un accroissement de la durée des saisons sèches, ainsi que les observations de Zoundjè *et al.* (2013) sur la vulnérabilité de la production maraîchère à la variabilité hydro-climatique saisonnière dans le sud-est du pays, suggérant que la contrainte identifiée à Parakou dépasse le cadre strictement local et relève d'une tendance climatique de plus vaste échelle.

Ces résultats corroborent et prolongent nos travaux antérieurs de Master consacrés à la vulnérabilité du maraîchage aux risques hydro-climatiques dans le nord du Bénin, qui avaient déjà mis en évidence, sur la base d'enquêtes de terrain et de la perception des producteurs, une sensibilité marquée de l'activité maraîchère à l'irrégularité pluviométrique et au raccourcissement perçu de la saison utile (Alao, 2024). La présente étude objective ces observations empiriques à l'aide d'une série longue (1960-2024) et d'outils statistiques robustes (test de

Mann-Kendall, pente de Sen), confirmant quantitativement des tendances que l'approche qualitative du mémoire de Master avait permis de pressentir sans pouvoir ne les dater ni les quantifier précisément. Cette convergence entre perception paysanne et signal climatique mesuré renforce la validité des stratégies d'adaptation rapportées par les maraîchers (modification des pratiques culturales, adoption de nouvelles spéculations, techniques de captage de l'eau) et invite à considérer ces savoirs locaux comme un point d'ancrage pertinent pour l'élaboration de recommandations opérationnelles.

Sur le plan pratique, ces résultats appellent plusieurs ajustements du calendrier et des pratiques culturales. Le retard significatif du démarrage de la saison des pluies utile plaide pour un report prudent des dates de semis des cultures pluviales, associé à une vigilance accrue vis-à-vis des faux départs de campagne, en particulier pour les spéculations à cycle long et fortement exigeantes en eau comme la tomate et le piment, dont l'installation reste préférable en tout début de saison excédentaire (juin) plutôt qu'en mai. Pour les cultures de contre-saison, l'ampleur des besoins en irrigation de complément mise en évidence (343,5 à 728,9 mm selon les espèces) souligne l'intérêt d'orienter les producteurs disposant de faibles capacités de mobilisation de l'eau vers les spéculations à cycle court et à besoins modérés (laitue, gboma), tandis que la conduite de cultures plus exigeantes (tomate, piment, carotte) en contre-saison suppose un accès sécurisé à des sources d'eau pérennes (puits, forages, retenues de bas-fond) et à des techniques d'irrigation économes telles que le goutte-à-goutte ou la micro-irrigation. Plus largement, la hausse tendancielle de l'évapotranspiration potentielle (+4,9 mm/décennie) recommande d'anticiper un accroissement structurel, et non conjoncturel, des besoins en eau d'irrigation, ce qui justifie que les autorités municipales intègrent la mobilisation et le stockage de l'eau (aménagement de bas-fonds, retenues collinaires, forages à usage maraîcher) au cœur d'une politique sectorielle dédiée au maraîchage.

Ces résultats doivent cependant être interprétés en tenant compte de certaines limites méthodologiques. L'estimation de l'évapotranspiration potentielle par la formule de Hargreaves-Samani, retenue en l'absence de données journalières de rayonnement, de vent et d'humidité relative, fournit des estimations globalement cohérentes avec la méthode de référence FAO Penman-Monteith dans les contextes ouest-africains à données limitées, mais avec des écarts saisonniers non négligeables, la méthode de Hargreaves figurant certes parmi les approches les plus performantes en climat sahélien et soudanien mais restant en retrait par rapport à des

méthodes intégrant davantage de variables climatiques (Ndiaye *et al.*, 2017). Une calibration locale des coefficients de la formule, lorsque des données journalières deviendront disponibles à la station de Parakou, permettrait d'affiner ces estimations. De même, le critère mensuel utilisé pour caractériser le démarrage et la fin de la saison des pluies utile ($P \geq \text{ETP}/2$ et $P > 20$ mm), s'il approxime raisonnablement le critère agronomique journalier de référence, ne permet pas de détecter les faux départs de saison ni les poches de sécheresse infra-mensuelles susceptibles de compromettre la levée ou la reprise des cultures malgré un cumul mensuel favorable. L'usage de données pluviométriques journalières, lorsqu'elles seront disponibles pour l'ensemble de la période d'étude, constituerait une amélioration substantielle pour affiner la détection de ces événements critiques pour le maraîchage.

Enfin, la validation des indicateurs agro-climatiques proposés gagnerait à être renforcée par leur confrontation à des données de terrain. Une comparaison avec des séries de rendements maraîchers observés à Parakou, lorsqu'elles seront disponibles, permettrait de vérifier la capacité du bilan hydrique climatique et des besoins en irrigation estimés à expliquer les variations interannuelles de la production. De même, le croisement des dates de démarrage de saison reconstituées ici avec les dates de semis effectivement pratiquées par les maraîchers, telles que rapportées par enquête, ainsi qu'avec des produits pluviométriques satellitaires à haute résolution temporelle (par exemple CHIRPS), constituerait une piste complémentaire pour tester la robustesse du critère mensuel retenu et, le cas échéant, l'ajuster aux réalités agronomiques locales.

5. CONCLUSION

L'analyse des conditions agro-climatiques du maraîchage à Parakou sur la période de 1960–2024 révèle un déficit hydrique climatique structurel, aggravé par une hausse significative de l'évapotranspiration potentielle et un décalage significatif du démarrage de la saison des pluies utile, sans allongement compensatoire de sa durée. Ces évolutions convergentes appellent à une adaptation des pratiques maraîchères aux nouvelles contraintes climatiques.

Les maraîchers devenus conscients des impacts des changements climatiques sur les cultures maraîchères mènent diverses actions afin d'atténuer leur vulnérabilité et celle de leurs cultures face à la variabilité climatique. Bien qu'ils perçoivent ces stratégies comme efficaces en fonction des résultats qu'ils obtiennent, elles présentent cependant beaucoup de limites dans un contexte d'urbanisation toujours plus croissante qui ne prend pas en compte le continuum rural urbain dans la

production de légumes. Les autorités municipales doivent mettre en place une politique sectorielle sensible au changement climatique qui prend en compte de manière holistique le secteur maraîcher et ses acteurs, en vue de la durabilité de la filière.

Ces résultats ouvrent plusieurs perspectives de recherche. À court terme, l'acquisition de données climatiques journalières à la station synoptique de Parakou permettrait de calibrer localement la formule de Hargreaves-Samani et d'affiner la détection des faux départs de saison et des poches de sécheresse infra-mensuelles, actuellement hors de portée du critère mensuel utilisé. Une confrontation des indicateurs agro-climatiques et des besoins en irrigation estimés à des données de terrain, notamment des séries de rendements maraîchers et les dates de semis effectivement pratiquées par les producteurs, contribuerait à valider et à affiner l'approche méthodologique proposée. Il serait également pertinent d'étendre cette démarche aux autres communes du nord du Bénin, afin de dresser une cartographie comparative des risques agro-climatiques pesant sur le maraîchage à l'échelle régionale, et de la coupler à des scénarios climatiques futurs pour anticiper l'évolution de ces contraintes à moyen et long terme. Enfin, des travaux ultérieurs pourraient documenter, sur le plan socio-économique, les coûts et les conditions de mise en œuvre des stratégies d'adaptation identifiées, en vue d'éclairer la politique sectorielle recommandée en faveur du maraîchage à Parakou.

Références

- Agossou D.S.M. Tossou C.R. Vissoh V.P. & Agbossou K.E., 2012. Perception des perturbations climatiques, savoirs locaux et Stratégies d'adaptation des producteurs agricoles béninois. *African Crop Science Journal*, 20, 565-588.
- Akogongbe A., Vissin E., Sintondji L. & Houssou C., 2012. Variabilité climatique et risque hydrodynamique au Bénin : cas du phénomène d'érosion dans la ville de Parakou. *Revue scientifique, Université d'Abomey-Calavi*, 2(4), 16-30
- Alao C. C. A. R., 2024. *Vulnérabilité et adaptation des cultures maraîchères aux risques hydro-climatique dans la ville de Parakou au Bénin*. Mémoire de Master, Université de Lomé, Togo, 115 p.
- Biasutti M., 2019. Rainfall trends in the African Sahel: Characteristics, processes, and causes. *WIREs Climate Change*, 10(4), e591.
- Bognini S., 2011. *Impacts des changements climatiques sur les cultures maraîchères au Nord du Burkina Faso : cas d'Ouahigouya*. Rapport final du Réseau National de Agro-sylvo-pasteurs du Faso (RENAF), Burkina-Faso, 38 P.
- Boko M., Kosmowski F. & Vissin W. E., 2012. *Les Enjeux du Changement Climatique au Bénin : Programme pour le Dialogue Politique en Afrique de*

l'Ouest. Konrad-Adenauer-Stiftung, Cotonou, Bénin, 65 p.

Djohy G. L., EDJA A. H., Nouatin G. S., 2015 : Variation Climatique et Production Vivrière : la culture du maïs dans le système agricole péri-urbain de la Commune de Parakou au Nord-Bénin. *Revue Afrique Science*, Vol 11, N°6, 183-194.

Djohy G.L., 2015. *Rythme climatique et activité pastorale dans la Commune de Sinendé*. Mémoire de Géographie, Université de Parakou, Bénin, 57 p.

Doukpolo B., 2007. *Variabilité et tendance pluviométrique dans le Nord-Ouest de la Centre-Afrique : enjeux environnementaux*. Mémoire de Géographie, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 80 p

Kendall M.G., 1975. *Rank Correlation Methods*. Griffin, London, 202 p.

Mann H.B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259.

Ndiaye P.M., Bodian A., Diop L. & Djaman K., 2017. Évaluation de vingt méthodes d'estimation de l'évapotranspiration journalière de référence au Burkina Faso. *Physio-Géo*, 11(1), 129–146.

PANA, 2008. *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques : Programme d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques du Bénin*. MEPN, Cotonou, Bénin, 81 p.

Salack S., Klein C., Giannini A., Sarr B., Worou O.N., Belko N., Bliefernicht J. & Kunstmann H., 2016. Global warming induced hybrid rainy seasons in the Sahel. *Environmental Research Letters*, 11, 104008.

Soumanou S., 2008 : Approvisionnement de Parakou en produits maraîchers. Mémoire de géographie, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 83 p.

Vissin W. E., 2007. *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, Université de Bourgogne, 310 p.

Zoundjè F., Donou B., Ogouwalé R., Yabi I. & Ogouwalé E., 2013. Vulnérabilité de la production maraîchère à la Variabilité hydro-climatique saisonnière dans la Commune d'Adjohoun (Bénin, Afrique de l'ouest) : 549-554. In Boko M., Vissin E.W., Afouda S., « *Climat Agriculture, Ressources en Eau d'aujourd'hui à demain* », *Actes du XXVIème Colloque de l'AIC, Bénin*, 573 p.