Afrique SCIENCE *19(3) (2021) 54 - 62*
ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.net

Nature, grandeur et cause de l'erreur d'estimation de l'évapotranspiration potentielle par la méthode FAO-56 en climat Soudano-Sahélien

Mamoutou SAMAKE[1*], Oumar Diandjo TRAORE[1] et Fatogoma BAMBA[2]

[1] *Université de Ségou, Faculté d'Agronomie et de Médicine Animale, Département de Génie Rural, BP 24 Ségou, Mali*
[2] *Ecole Nationale des Ingénieurs Abderhamane Baba TOURE, Département de Géologie, BP 242 Bamako, Mali*

(Reçu le 25 Mai 2021 ; Accepté le 14 Août 2021)

* Correspondance, courriel : *mamoutou.samak@yahoo.fr*

Résumé

L'évapotranspiration est un phénomène hydrométéorologique majeur qui se retrouve au cœur du processus bio-géologique. Sa maîtrise présente des intérêts à la fois sociaux et économiques. Cependant, sa vulnérabilité à la variabilité climatique représente d'énormes défis pour le contrôle de ce phénomène. La méthode FAO-56 Penman Monteith est reconnue en tant que méthode standard pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle. Cependant, cette méthode a révélé ses limites sous certaines conditions climatiques. En effet, elle nécessite un nombre important des données de différents types. Pour cette raison, il est difficile de l'utiliser correctement, en particulier dans les pays en développement où des données suffisantes ne sont pas toujours disponibles. Pour cette raison, nous avons étudié la performance de la méthode FAO-56 Penman Monteith dans le bassin du Bani, sous un climat Soudano-Sahélien, afin d'estimer l'erreur induite par cette méthode. Grâce aux tests de Wilcoxon, de régression linéaire et de corrélation de Spearman, nous avons constaté que la méthode FAO-56 Penman Monteith sous-estime l'évapotranspiration potentielle du bassin du Bani d'au moins 47,8 % par rapport à l'évapotranspiration potentielle mesurée par un bac. Cette erreur de sous-estimation s'explique par la présence de données relatives à l'humidité relative dans la formule FAO-56 Penman Monteith. Enfin, nous avons proposé des coefficients de correction pour chaque station afin d'améliorer l'usage de la formule FAO-56 Penman Monteith. Cependant, des études complémentaires sont nécessaires pour éliminer la cause de l'erreur à la source.

Mots-clés : *Penman-Monteith, erreur d'estimation, évapotranspiration, climat tropical, bassin du Bani, variabilité climatique.*

Abstract

Nature, magnitude and cause of the error in estimating potential evapotranspiration by the fao-56 method in a Sudano-Sahelian climate

Evapotranspiration is a major hydrometeorological phenomenon. This phenomenon is at the core of the bio-geological process. Its control has both social and economic interests. However, its vulnerability to climate variability represents enormous challenges for the control of this phenomenon. The FAO-56 Penman Monteith

method is recognized as a standard method for calculating potential evapotranspiration. However, the method has revealed its limitations under certain climatic conditions. Actually, the FAO-56 Penman Monteith requires very resource-intensive data. For this reason, it is difficult to use the method correctly, especially in developing countries where accurate data are not readily available. For this reason, we aimed to examine the performance of the FAO-56 Penman Monteith method in the Bani basin, under a Sudano-Sahelian climate, in order to estimate the error induced by this method. Using the Wilcoxon test, linear regression and Spearman correlation tests, we found that the FAO-56 Penman Monteith method underestimates the potential evapotranspiration of the Bani basin by 47,8 % unless, when compared to the evapotranspiration measured by a tank. This underestimation error is explained by the presence of data related to relative humidity in the FAO-56 Penman Monteith formula. We have proposed correction coefficients for each station in order to improve the FAO-56 Penman Monteith formula. However, further studies are required to eliminate the cause of this error at the source.

Keywords : *Penman-Monteith, estimation of error, evapotranspiration, tropical climate, Bani basin, hydrometeorology, climate variability.*

1. Introduction

L'évapotranspiration est un phénomène hydrométéorologique important pour les ressources en eau [1]. Aussi, elle est au cœur du processus bio-géologique [2]. L'extrême vulnérabilité des ressources en eau à la variabilité climatique tant en quantité qu'en qualité nécessite une gestion durable et intégrée à différentes échelles géographiques [3, 4]. Cela nécessite la capacité de mesurer en temps réel chacun des processus hydrologiques [5]. En combinant ces défis avec les effets de la variabilité climatique, il sera indispensable de procéder par simulation afin de quantifier à l'avance, avec une précision d'échelle spatiale et temporelle [6]. L'intérêt de disposer de données fiables sur l'évapotranspiration est important pour plusieurs secteurs dont l'agriculture et l'élevage, le transport et le tourisme, la santé et la protection civile [7] etc. La formule FAO-56 Penman Monteith est reconnue comme la méthode la plus précise pour estimer l'évapotranspiration potentielle (ETP) [8, 9]. Cette méthode est applicable sous différents climats [10]. En effet, la formule FAO-56 de Penman Monteith est l'aboutissement de plus d'un quart de siècle de développement théorique et expérimental [11]. Le concept d'évapotranspiration a été introduit comme indicateur agrométéorologique [12]. La version initiale de la formule FAO-56 Penman Monteith, basée sur des approches énergétiques et aérodynamiques a été proposé [13]. Monteith (1965) a amélioré la version de Penman (1948) en introduisant des variables agronomiques.

Allen et al. (1998) ont établi la formule dans son état actuel [12 - 14]. Cependant, la formule FAO-56 Penman Monteith nécessite de nombreux paramètres pour estimer l'évapotranspiration potentielle [15]. L'acquisition de ces données est souvent difficile car l'installation de stations météorologiques nécessite des moyens financiers élevés et une expertise technique [16, 17]. Ainsi, l'utilisation de la formule FAO-56 Penman Monteith présente deux problèmes majeurs, notamment dans les pays en développement : (i) l'utilisation d'une formule établie dans différentes conditions climatiques sans être ajustée ; (ii) le manque de données nécessaires à la mise en œuvre de la formule. Dans ce contexte, nous avons testé le niveau de performance de la formule FAO-56 Penman Monteith dans le bassin hydrométéorologique du Bani sous un climat tropical de type Soudano-sahélien. Nous avons tenté de répondre à la question suivante : Les estimations obtenues par la formule FAO-56 de Penman Monteith sont-elles représentatives des données observées par les bacs dans le bassin du Bani ? En effet, nous supposons qu'il existe une différence significative entre les estimations de la formule FAO-56 Penman Monteith et les données observées dans les stations météorologiques. Enfin, notre objectif est de caractériser cette erreur entre les valeurs estimées et observées, c'est-à-dire de déterminer la nature de l'erreur, d'évaluer sa grandeur et d'identifier sa cause.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

2-1-1. Zone d'étude

Le bassin du Bani fait partie du bassin supérieur du Niger ***(Figure 1)***, situé dans la partie sud du Mali et s'étendant entre 8°35' et 14°00' de latitude Nord et 4°00' et 11°30' de longitude Ouest [18]. D'une superficie totale de 101 600 km^2 à Douna [19], le bassin versant du Bani est drainé par le fleuve Bani et ses affluents [20], sur une distance estimée à 460 km avant de se jeter dans le fleuve Niger à Mopti [21]. Ainsi, il apporte un débit moyen de 513 m^3/s au Niger, soit 80 % du débit qui irrigue le Delta intérieur et assure la traversée jusqu'à la confluence de la Bénoué [18]. Le bassin du Bani est à cheval sur trois (03) zones climatiques : la zone guinéenne, la zone soudanienne et la zone sahélienne [22]. Il reçoit une pluviométrie annuelle moyenne de 1135 mm contre une évapotranspiration annuelle d'environ 1569 mm [23]. Le bassin du Bani est encore peu urbanisé. Il dispose donc d'un fort potentiel agricole et de pratiques tout au long de l'année. La plaine du San Ouest est un parfait exemple de ce potentiel pour la sécurité alimentaire et l'économie verte. Cet écosystème riche est exposé à des contraintes environnementales qui sont amplifiées par des variabilités climatiques aléatoires.

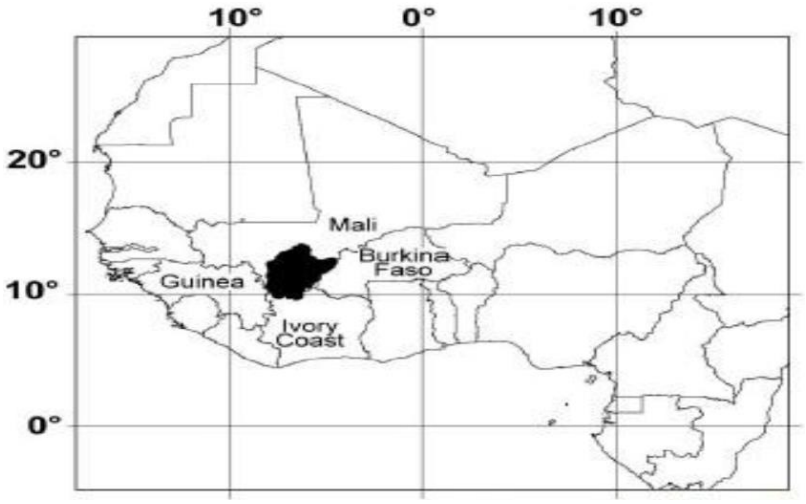

Figure 1 : *Localisation géographique du bassin du Bani* [21]

2-1-2. Données étudiées

La formule FAO-56 Penman Monteith, en plus de ses longues années de développement (Penman (1948), Penman-Monteith (1963) et FAO-56 Penman-Monteith (1998)), doit sa crédibilité au grand nombre de paramètres que la méthode incorpore. Ces paramètres proviennent de sources diverses : climatiques ou météorologiques, géographiques, agronomiques et physiques. Ce travail se limite à l'étude des paramètres météorologiques qui sont : les températures de l'air (maximale, moyenne et minimale), l'humidité relative (maximale, moyenne et minimale) et la vitesse du vent mesurée à une hauteur de deux (2) mètres, l'insolation (D), l'évapotranspiration potentielle calculée avec la méthode FAO-56 Penman Monteith (ETP-FAO), l'évapotranspiration mesurée avec le réservoir (ETP-Bac). A ces paramètres, nous avons ajouté la pluviométrie (P) comme paramètre de référence de notre hypothèse. Ces variables météorologiques ont été collectées auprès de l'Agence Nationale de la Météorologie du Mali (Mali-Météo). Dans cette étude, nous avons travaillé sur cinq stations météorologiques afin d'avoir une couverture optimale de la zone d'étude. Nous avons choisi quatre stations situées à l'intérieur du bassin versant du Bani (Bougouni, Koutiala, Ségou et Mopti) et une station à l'extérieur (Bamako) pour servir de référence. Les données météorologiques recueillies pour chacune de ces stations sont des moyennes décennales (10 jours) de 1987 à 2017.

2-2. Méthodes

2-2-1. La méthode du Hot Deck

Les données manquantes dans nos séries ont été remplacées par la méthode Hot Deck. Cette méthode consiste à choisir une valeur dans la série et à remplir tous les manques avec cette valeur [24, 25]. En effet, nous avons rempli nos données manquantes avec des valeurs arbitraires. Les cellules vides ont été remplies avec la valeur immédiatement précédente. Le choix de cette méthode nous a permis d'avoir une série temporelle complète sans produire de variations temporelles fictives.

2-2-2. Le test de Wilcoxon

Le test de Wilcoxon est un test non paramétrique qui permet de comparer les moyennes sur les rangs des séries de deux variables différentes [26, 27]. L'hypothèse nulle (H_0) est acceptée si $\alpha > 0{,}05$ et on interprète qu'il n'y a pas de différences significatives. Le test de Wilcoxon nous a permis de démontrer la différence entre les séries ETP-Bac et ETP-FAO. Ensuite, le même test a été utilisé pour démontrer l'égalité entre les séries ETP-Bac et ETP-Reg.

2-2-3. Le test de régression simple

Le test de corrélation de Spearman, également connu sous le nom de test de corrélation de rang, est un test non paramétrique [28]. Ce test nous a permis de voir quels paramètres météorologiques évoluent dans la même direction que l'évapotranspiration potentielle (ETP) et lesquels évoluent dans la direction opposée. De cette manière, nous avons pu catégoriser les variables selon qu'elles contribuent ou non à l'expression de l'évapotranspiration potentielle. L'objectif du test de régression est de prédire une variable dépendante en fonction d'une variable indépendante. La fonction affine générée est considérée comme statistiquement valide si ses coefficients ont une probabilité élevée de $\alpha < 0{,}05$ [29, 30]. Nous avons utilisé la régression pour corriger la première série de TEP-FAO à l'aide de l'équation. Cette nouvelle série obtenue par correction est la série ETP-Reg.

2-2-4. Test de corrélation de Spearman

Le test de corrélation de Spearman, également connu sous le nom de test de corrélation de rang, est un test non paramétrique [28]. Ce test nous a permis de voir quels paramètres météorologiques évoluent dans la même direction que l'évapotranspiration potentielle (ETP) et lesquels évoluent dans la direction opposée. De cette manière, nous avons pu catégoriser les variables selon qu'elles contribuent ou non à l'expression de l'évapotranspiration potentielle.

3. Résultats

D'après le premier test de Wilcoxon, les évapotranspirations potentielles calculées par la formule FAO (ETP-FAO) sont significativement différentes des évapotranspirations potentielles mesurées par bac d'évaporation (ETP-Bac) dans les stations météorologiques ($\rho < 0.05$) ***(Tableau 1)***. Les coefficients de correction (I et C) générés pour chacune des stations par le test de régression ont permis de corriger les ETP-FAO et ainsi de générer la série de données (ETP-Reg). Le deuxième test de Wilcoxon ne démontre pas de différence significative ETP-Reg et ETP-Bac ($\rho > 0.05$) ***(Tableau 1)***.

Tableau 1: *Résultats des tests de Wilcoxon et de régression*

Stations	Bamako	Bougouni	Segou	Mopti	Koutiala
1er test de Wilcoxon pour démontrer la différence entre ETP-Bac et ETP-FAO					
W	1202760	1202756	1221099	1235220	697384
p-value	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16
Test de régression simple entre ETP-Bac et ETP-FAO					
I	49.8212	49.8335	60.96564	72.87174	20.85971
C	0.5658	0.5648	0.54809	0.98804	0.75706
2ème test de Wilcoxon pour vérifier qu'il y a plus de différence entre ETP-Bac et l'ETP-Reg					
Régression de W	615103	615155	581918	590546	615103
Régression p-value	0.6165	0.6189	0.007344	0.03452	0.6165

Enfin, on constate que les moyenne ETP-Reg sont légèrement supérieures aux moyennes des ETP-Bac tandis que celles-là sont très supérieures aux ETP-FAO. Les différences en pourcentage (PE) entre ETP-Reg et ETP-Bac (1,4 à 3,5 %) sont négligeables comparées aux différences en pourcentage (PE) entre ETP-FAO et ETP-Bac (47,8 à 69,7 %) ***(Figure 2)***.

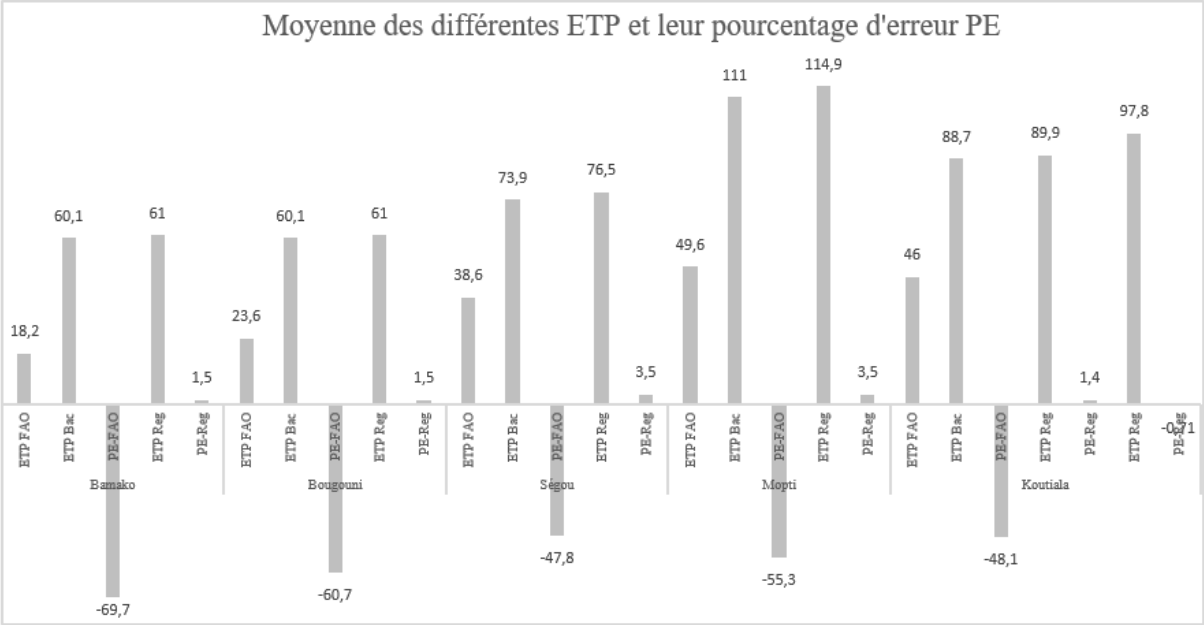

Figure 2 : *Comparaison des moyennes des différentes ETP et le pourcentage de leur différence PE*

Le test de corrélation de Spearman entre l'évapotranspiration potentielle (ETP-FAO) et les paramètres (T_{max}, H_{rmax}, H_{rmin}, μ, D, P) met en évidence que les températures maximales de l'air, les températures moyennes de l'air, les vitesses du vent et la durée d'ensoleillement ont une corrélation positive ($\rho > 0$ avec $\alpha < 0{,}01$), tandis que l'humidité relative maximale, l'humidité relative minimale, les températures minimales et les précipitations ont une corrélation négative ($\rho < 0$ avec $\alpha < 0{,}01$) ***(Figure 3)***.

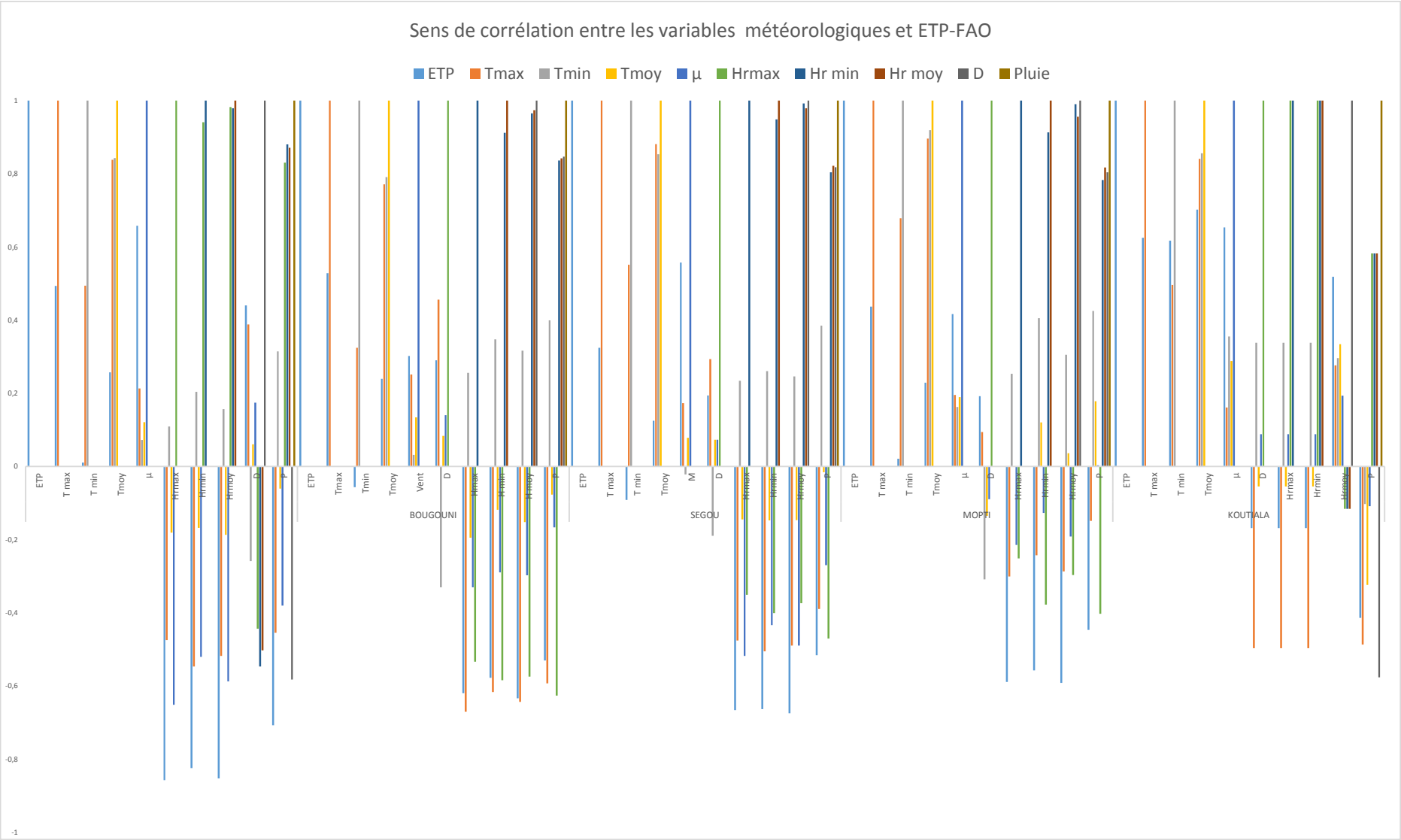

Figure 3 : *Sens de corrélation de Spearman entre les variables météorologiques et ETP-FAO*

4. Discussion

La formule de FAO-56 Penman Monteith est recommandée pour estimer l'évapotranspiration et son utilisation est soumise à très peu de limitations ou de contraintes. Cela ne signifie pas qu'elle soit la méthode la plus fiable dans toutes les conditions. Le principal problème de ce modèle est sa transférabilité en dehors des conditions expérimentales initiales. L'utilisation simultanée de bacs d'évaporation offre la possibilité de calibrer la formule de FAO-56 Penman Monteith. La différence de résultats entre les deux méthodes (instrumentale et empirique) est prévisible, mais cette différence ne doit pas être significative. Pourtant, nos résultats montrent une différence significative entre l'évapotranspiration potentielle mesurée par le bac et celle calculée par la formule de de FAO-56 Penman Monteith dans toutes les stations météorologiques. La méthode de FAO-56 Penman Monteith sous-estime l'évapotranspiration potentielle (ETP-FAO < ETP-Bac). La grandeur de cette sous-estimation est évaluée pour chaque station : 69,7 % pour Bamako, 60,7 % Bougouni, 47,8 % pour Ségou, 55,3 % pour Mopti et 48,1 % pour Koutiala. Cette erreur de sous-estimation s'explique par la présence de variables de l'humidité dans la formule FAO-56 de Penman Monteith. L'humidité est un paramètre qui intervient en réponse à la demande climatique, autrement dit l'évapotranspiration potentielle. Cependant, comme les précipitations, elle ne contribue pas à l'expression de cette demande climatique. La tentative réussie de corriger ces résultats de manière statistiquement fiables (Moyenne ETP-Reg ≈ Moyenne ETP-Bac) indique que la formule de la FAO peut être améliorée pour le bassin du Bani.

Les coefficients de correction permettent de réduire l'erreur : 1,5% pour Bamako et Bougouni, 3,5 % pour Ségou et Mopti et 1,4 % pour Koutiala. Nos résultats sont en accord avec les travaux de Cammalleri et al, (2012) qui ont montré que la méthode de FAO-56 Penman Monteith (1998) sous-estime de 12 % l'évapotranspiration potentielle calculée par la méthode Makking (1957) en Sicile sous un climat méditerranéen [4]. Naorem et al, (2014) ont montré que la formule de FAO-56 Penman-Monteith (1998) surestime l'évapotranspiration potentielle par rapport aux mesures du Bac sous un climat subtropical et que la formule Turc donne de meilleurs résultats dans les mêmes conditions [31]. Diouf et al, (2016) ont comparé la formule de FAO-56 Penman Monteith à la formule Turc sous un climat tropical d'Afrique de l'Ouest et ont montré que la formule FAO-56 Penman Monteith sous-estime significativement l'évapotranspiration potentielle annuelle par rapport à la formule Turc [1]. Nous notons qu'en général, la formule de FAO-56 Penman Monteith donne des résultats avec une marge d'erreur relativement importante, comme nous l'avons démontré pour le cas du bassin du Bani. L'utilisation de cette formule nécessite au préalable un calibrage. Il faut rappeler que ce calibrage ne fait que réduire la marge d'erreur et que sa qualité dépend fortement des données disponibles. Pour cette raison, certains auteurs préfèrent utiliser d'autres méthodes plus efficaces comme celle de Turc pour leurs conditions climatiques. Il est à noter que le risque d'une estimation peu fiable de l'évapotranspiration potentielle conduit à une gestion inefficace des ressources en eau.

5. Conclusion

L'évapotranspiration potentielle est un phénomène hydrométéorologique d'intérêt transversal. L'estimation fiable de à ce phénomène complexe est difficile à réaliser. La formule empirique de FAO-56 Penman Monteith est donc accueillie comme une solution rigoureuse pour surmonter cette difficulté. Sans mentionner les difficultés d'utilisation de cette formule standardisée, il est prévisible que son usage conduit à une erreur d'estimation dans le bassin du Bani en raison des limites de la transférabilité des modèles. Ce travail nous a permis de déterminer la nature de l'erreur d'estimation de la formule de FAO-56 Penman Monteith dans le bassin du Bani, ensuite de quantifier et d'identifier la cause de cette erreur. Convaincus de l'importance de la formule FAO-56 Penman Monteith, nous avons proposé des coefficients de correction pour chaque station afin de réduire au maximum l'erreur de sous-estimation. Cependant, le degré de fiabilité des coefficients de

correction dépend de la qualité des données disponibles au départ, qui fait souvent défaut. Il est donc évident que les coefficients de correction conservent une marge d'erreur. L'originalité de notre travail est d'avoir pu identifier la cause de l'erreur d'estimation. Ainsi, nous avons identifié l'humidité relative comme le paramètre responsable de la sous-estimation de la formule FAO-56 Penman Monteith. La cause peut s'expliquer par la présence de ce paramètre dans la formule FAO-56 de Penman Monteith soit la façon dont il intervient dans cette formule. Bien qu'il soit possible d'obtenir des résultats satisfaisants par correction, il est préférable de choisir des modèles mieux adaptés aux conditions climatiques du bassin du Bani, ou de développer un nouveau modèle en éliminant la cause de l'erreur. En conclusion, nous recommandons l'utilisation de coefficients de correction afin de réduire les erreurs jusqu'à ce qu'un modèle plus efficace soit développé.

Références

[1] - P. M. NDIAYE, A. BODIAN, L. DIOP and K. DJAMAN, "Évaluation de vingt méthodes d'estimation de l'évapotranspiration journalière de référence au Burkina Faso," *Physio-Géo*, Vol. 11, N° 11 (Jan. 2017) 129 - 146 p.

[2] - M. SAMAKE and F. BAMBA, "Variabilité spatio-temporelle de l'évapotranspiration potentielle dans le bassin du Bani de 2002 à 2017," in *Symposium malien sur les sciences appliquées (MSAS)*, Vol. 2, (2020) 565 - 569

[3] - R. K. GOYAL, "Sensitivity of evapotranspiration to global warming: A case study of arid zone of Rajasthan (India)," *Agric. Water Manag.*, Vol. 69, N°1 (2004) 1 - 11 p.

[4] - C. CAMMALLERI and G. CIRAOLO, "A simple method to directly retrieve reference evapotranspiration from geostationary satellite images," *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, Vol. 21, N° 1 (2012) 149 - 158

[5] - H. DOUVILLE, F. CHAUVIN, S. PLANTON, J. F. ROYER, D. SALAS-MELIA and S. TYTECA, "Sensitivity of the hydrological cycle to increasing amounts of greenhouse gases and aerosols," *Clim. Dyn.*, Vol. 20, N°1 (2002) 45 - 68 p.

[6] - S. S. GHARBIA, T. SMULLEN, L. GILL, P. JOHNSTON and F. PILLA, "Spatially distributed potential evapotranspiration modeling and climate projections," *Sci. Total Environ.*, Vol. 633, (2018) 571 - 592

[7] - A. HAMIMED, R. MENDA, M. BENSLIMANE and L. BOUABDELLAH, "Cartographie de l'évapotranspiration réelle journalière dans les conditions semi-arides en Algérie à partir des données satellitaires Aster," *Sécheresse (Montrouge)*, Vol. 19, N°4 (2008) 293 - 300 p.

[8] - S. ALEXANDRIS, R. STRICEVIC and S. ETPKOVIC, "A comparative analysis of reference evapotranspiration from the surface of rainfed grass in Yaounde, calculated by six empirical methods against the penman-monteith formula," *Earth Perspect.*, Vol. 4, N°1 (2008) 17 - 28 p.

[9] - G. RAVAZZANI, C. CORBARI, S. MORELLA, P. GIANOLI and M. MANCINI, "Modified Hargreaves-Samani Equation for the Assessment of Reference Evapotranspiration in Alpine River Basins," *J. Irrig. Drain. Eng.*, Vol. 138, N°7 (Jul. 2012) 592 - 599 p.

[10] - S. TRAJKOVIC, "Hargreaves versus Penman-Monteith," *J. Irrig. Drain. Eng.*, Vol. 133, N°1 (2007) 38 - 42 p.

[11] - W. BRUTSAERT, *Evaporation into the Atmosphere*, Dordrecht : Springer Netherlands, Vol. 44, N°8 (1982)

[12] - C. W. THORNTHWAITE, "An Approach toward a Rational Classification of Climate," *Geogr. Rev.*, Vol. 38, N°1 (Dec. 1948) 55 - 94 p. (48 pages)

[13] - H. L. PENMAN, "Natural evaporation from open water, hare soil and grass," *Proc. R. Soc. Lond. A. Math. Phys. Sci.*, Vol. 193, N°1032 (1948) 120 - 145 p.

[14] - G. H. HARGREAVES and R. G. ALLEN, "History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation," *J. Irrig. Drain. Eng.*, Vol. 129, N°1 (2003) 53 - 63 p.

[15] - G. H. HARGREAVES, "The evaluation of water deficiencies. Age of Change Priorities for Land and Water," in *Irrigation and Drainage Specialty Conference*, (1972) 213 - 219 p.

[16] - L. NANDAGIRI and G. M. KOVOOR, "Performance Evaluation of Reference Evapotranspiration Equations across a Range of Indian Climates," *J. Irrig. Drain. Eng.*, Vol. 132, N°3 (2006) 238 - 249 p.

[17] - H. TABARI, "Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates," *Water Resour. Manag.*, Vol. 24, N°10 (2010) 2311 - 2337 p.

[18] - F. LAURENT and D. RUELLAND, "Modélisation à base physique de la variabilité hydroclimatique à l'échelle d'un grand bassin versant tropical," *IAHS-AISH Publ.*, Vol. 340, N°October, (2010) 474 - 484 p.

[19] - G. MAHE, R. DESSOUASSI, B. CISSOKO and J. C. OLIVRY, "Comparaison des fluctuations interannuelles de piézométrie, précipitation et débit sur le bassin versant du Bani à Douna au Mali," in *IAHS-AISH Publication*, N° 252 (1998) 289 - 295 p.

[20] - Y. BRUNET-MORET, P. CHAPERON, J.-P. LAMAGAT and M. MOLINIER, *Monographie hydrologique du fleuve Niger*, Paris : *ORSTOM*, Vol. 53, N°9 (1986)

[21] - Y. R. DESSOUASSI, "Variabilité du niveau et de la qualité chimique des eaux souterraines dans le haut bassin du fleuve Niger au Mali : comparaison avec la variabilité des écoulements de surface," Bamako, (1997)

[22] - J. E. PATUREL, "Exercice de scénarisation hydrologique en Afrique de l'Ouest-Bassin du Bani," *Hydrol. Sci. J.*, Vol. 59, N°6 (2014) 1135 - 1153 p.

[23] - M. DIABATE, "Etude des variations hydroclimatiques sur le bassin versant du Bani de 1950 à 1990," Bamako, (1995)

[24] - F. B. HAMZAH, F. MOHD HAMZAH, S. F. MOHD RAZALI, O. JAAFAR and N. ABDUL JAMIL, "Imputation methods for recovering streamflow observation: A methodological review," *Cogent Environ. Sci.*, Vol. 6, N°1 (2020)

[25] - X. XU, L. XIA, Q. ZHANG, S. WU, M. WU and H. LIU, "The ability of different imputation methods for missing values in mental measurement questionnaires," *BMC Med. Res. Methodol.*, Vol. 20, N°1 (2020) 1 - 9 p.

[26] - F. ACQUAOTTA, S. FRATIANNI and V. VENEMA, "Assessment of parallel precipitation measurements networks in Piedmont, Italy," *Int. J. Climatol.*, Vol. 36, N°12 (2016) 3963 - 3974 p.

[27] - L. CAMPOZANO, D. BALLARI, M. MONTENEGRO and A. AVILÉS, "Future Meteorological Droughts in Ecuador : Decreasing Trends and Associated Spatio-Temporal Features Derived From CMIP5 Models," *Front. Earth Sci.*, Vol. 8, N°February (2020)

[28] - D. J. FURLEY, "Aristotle's Meteorologica - H. D. P. Lee: Aristotle, Meteorologica. With an English translation. (Loeb Classical Library.) Pp. xxx + 433 ; 2 maps, diagrams. London : Heinemann, 1952. Cloth, 15s. net.," *Classical Rev.*, Vol. 4, N°2 (Jun. 1954) 117 - 119 p.

[29] - G. PASSERINI, E. MANCINELLI, M. MORICHETTI, S. VIRGILI and U. RIZZA, "Passerini 2020.Pdf," (2020)

[30] - R. A. SCHWALBERT, T. AMADO, G. CORASSA, L. P. POTT, P. V. V. PRASAD and I. A. CIAMPITTI, "Satellite-based soybean yield forecast: Integrating machine learning and weather data for improving crop yield prediction in southern Brazil," *Agric. For. Meteorol.*, Vol. 284, N° December 2019, (2020) 107886 p.

[31] - N. NAOREM and T. KIRANBALA DEVI, "Estimation of Potential Evapotranspiration using Empirical Models for Imphal," *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, N°7 (2014) 2278 - 3075 p.