

## Validation des données d'estimation pluviométrique de « African Rainfall Climatology 2 » pour la zone cotonnière du Mali

### [ Validation of rainfall estimation data from « African Rainfall Climatology 2 » for the cotton production zone of Mali ]

*Souleymane Sidi Traore*<sup>1-2</sup>

<sup>1</sup>Department de Géographie, Faculté d'Histoire et de Géographie, Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako, Bamako, Mali

<sup>2</sup>Unité SIG et Télédétection, Laboratoire Sol-Eau-Plantes, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, Institut d'Economie Rurale, Bamako, Mali

---

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Nowadays, satellite rainfall estimation data are used in climate impact studies due to the low density of the rain gauge network in sub-Saharan Africa and the difficulties in accessing data from national meteorological services. However, limitations may exist in the effectiveness of these micro-scale data. Therefore, studies to evaluate the performance of these satellite products are always necessary before their use. This work aims to assess the validity of the rainfall estimation data from «African Rainfall Climatology – version 2» (ARC-2) in the cotton production zone of Mali from 1983 to 2002. The rainfall estimation data were extracted for 10 weather stations and compared to rainfall measurements from these weather stations. Pearson correlation test was used to check the relationship between the two datasets for each station. The comparison of daily rainfall values shows ARC-2 estimated rainfall values very close to the measured rainfall values at the stations, even if the ARC-2 data were found to be sometimes overestimated. The ARC-2 rainfall data also closely follows the annual cycle observed for monthly and annually measured data. The precipitation correlation coefficient between the ARC-2 data and the measured rainfall data is approximately 0.70, with a significance level of 99% at the monthly scale. After calibration, precipitation measured by ARC-2 reproduces almost 99% of the observed data, thus confirming that ARC-2 data can be used for climate studies in Mali.

**KEYWORDS:** Calibration, validation, ARC-2, cotton zone of Mali.

**RESUME:** De nos jours, les données d'estimation de pluie par satellite sont utilisées dans les études d'impact climatique en raison de la faible densité du réseau de pluviomètres en Afrique au sud du Sahara et des difficultés d'accès aux données des services nationaux de la météorologie. Toutefois, des limites peuvent exister quant à l'efficacité de ces données à micro-échelle. Par conséquent des études pour évaluer la performance de ces produits satellitaires sont toujours nécessaires avant leur utilisation, d'où l'objet de la présente étude. Ce travail se fixe comme objectif d'apprécier la validité des données d'estimation pluviométrique issues de « African Rainfall Climatology – version 2 » (ARC-2) dans la zone cotonnière du Mali de 1983 à 2002. Les données d'estimation des pluies ont été extraites pour 10 stations météorologiques et comparées aux mesures pluviométriques de ces stations. Le test de corrélation de Pearson a été utilisé pour vérifier la relation entre les deux séries de données pour chaque station. Les comparaisons des valeurs de pluie à l'échelle journalière montrent des valeurs de pluie estimées très proches des valeurs de pluie mesurées en station, même si une surestimation est souvent mise en évidence sur les données ARC-2. Les données pluviométriques ARC-2 suivent également de près le cycle annuel observé aux échelles mensuelle et annuelle. Le coefficient de corrélation des précipitations entre les données ARC-2 et les données pluviométriques mesurées est d'environ 0,70, avec un niveau de signification de 99% à l'échelle mensuelle. Après étalonnage, les précipitations mesurées par ARC-2 reproduisent presque 99% des données observées, confirmant ainsi que les données ARC-2 peuvent être utilisées dans diverses études climatiques pour la zone.

**MOTS-CLEFS:** Calibration, validation, ARC-2, zone cotonnière du Mali.

## **1 INTRODUCTION**

Les précipitations constituent l'un des paramètres climatiques clés dans la planification efficace de la majeure partie des activités humaines, notamment l'agriculture pluviale, la production d'énergie hydroélectrique et les ressources en eau [1], [2]. Toutefois l'un des grands problèmes à cela est le manque de données fiables mesurées dans les stations météorologiques qui sont nécessaires pour reproduire les tendances spatiales et temporelles des précipitations sur ce vaste domaine. En outre la disponibilité des données historiques mesurées reste un défi majeur en raison du coût élevé impliqué de l'établissement et de l'entretien des stations météorologiques dans la plupart des pays en développement [3].

Classiquement, le pluviomètre est la principale source de données sur les précipitations, ce qui constitue l'approche la plus précise et la plus fiable pour la mesure des précipitations. Cependant, les stations pluviométriques sont très rares et inégalement réparties dans de nombreuses régions du monde et particulièrement au Mali. De nos jours, un certain nombre de produits d'estimation des précipitations par satellite avec une résolution spatiale et temporelle élevée et une couverture quasi mondiale ont été développés [4], [2]. Ces données satellitaires sur les précipitations sont particulièrement utiles dans les régions semi-arides surtout d'Afrique au sud du Sahara, où les mesures au sol sont très rares voire inexistantes.

Les produits d'estimations pluviométriques satellitaires sont utilisés à travers diverses études pour présenter des informations cruciales sur la variabilité des précipitations en Afrique de l'Ouest. Toutefois, ces produits satellitaires sont associés à de nombreux types d'erreurs qui limitent leur utilisation. Par conséquent, l'évaluation de leurs performances est essentielle pour renforcer notre confiance dans leurs utilisations. Des études sur la validation des données d'estimation de pluie par satellites avec des données de station à l'échelle pays n'ont été effectuées que dans une poignée de pays en Afrique subsaharienne. Parmi ces rares études figurent celles de Haque et al. [5] en Tanzanie, Dembélé et Zwart [6] au Burkina Faso, Thiemig et al. [7] dans trois bassins fluviaux d'Afrique dont le bassin de la Volta; Amekudzi et al. [8] et Atiah et al. [2] au Ghana. Ces différentes études ont montré la performance des produits d'estimations de la pluie par satellites et soulignent la pertinence d'une évaluation locale avant leur utilisation spécifique. D'où l'importance de cette recherche dont l'objectif est d'apprécier la validité des données d'estimation pluviométriques issues de « African Rainfall Climatology – version 2 » (ARC-2) dans la zone cotonnière du Mali de 1983 à 2002.

## **2 MATERIELS ET METHODES**

### **2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE**

La zone cotonnière (ZC) du Mali, également appelée Mali-sud, est située entre 3°59'02" et 10°36'09" de longitude ouest et 10°09'45" et 14°23'13" de latitude nord (Figure 1) avec une couverture de 150 000 km<sup>2</sup> et une population estimée à environ 8 millions en 2017 [9]. La ZC s'étend de la zone écoclimatique sahélienne (300-700 mm) au nord, soudanienne (700-1200 mm) au centre à la zone écoclimatique soudano-guinéenne (1200-1400 mm) au sud. La production de coton dans la zone est pilotée par la Compagnie Malienne de Développement des Textiles (CMDT), spatialement organisée en 4 filiales, 41 filières et 520 zones de production agricole regroupant plus de 4 000 villages. L'agriculture est la principale activité de la région. Le mil, le sorgho et le coton sont principalement cultivés, tandis que le pastoralisme est pratiqué dans toute la zone d'étude. Le coton occupe environ 30% des surfaces cultivées, les céréales (maïs, sorgho et mil) occupent 60%, et seulement 10% des terres sont consacrées aux autres cultures (niébé, soja, arachide).

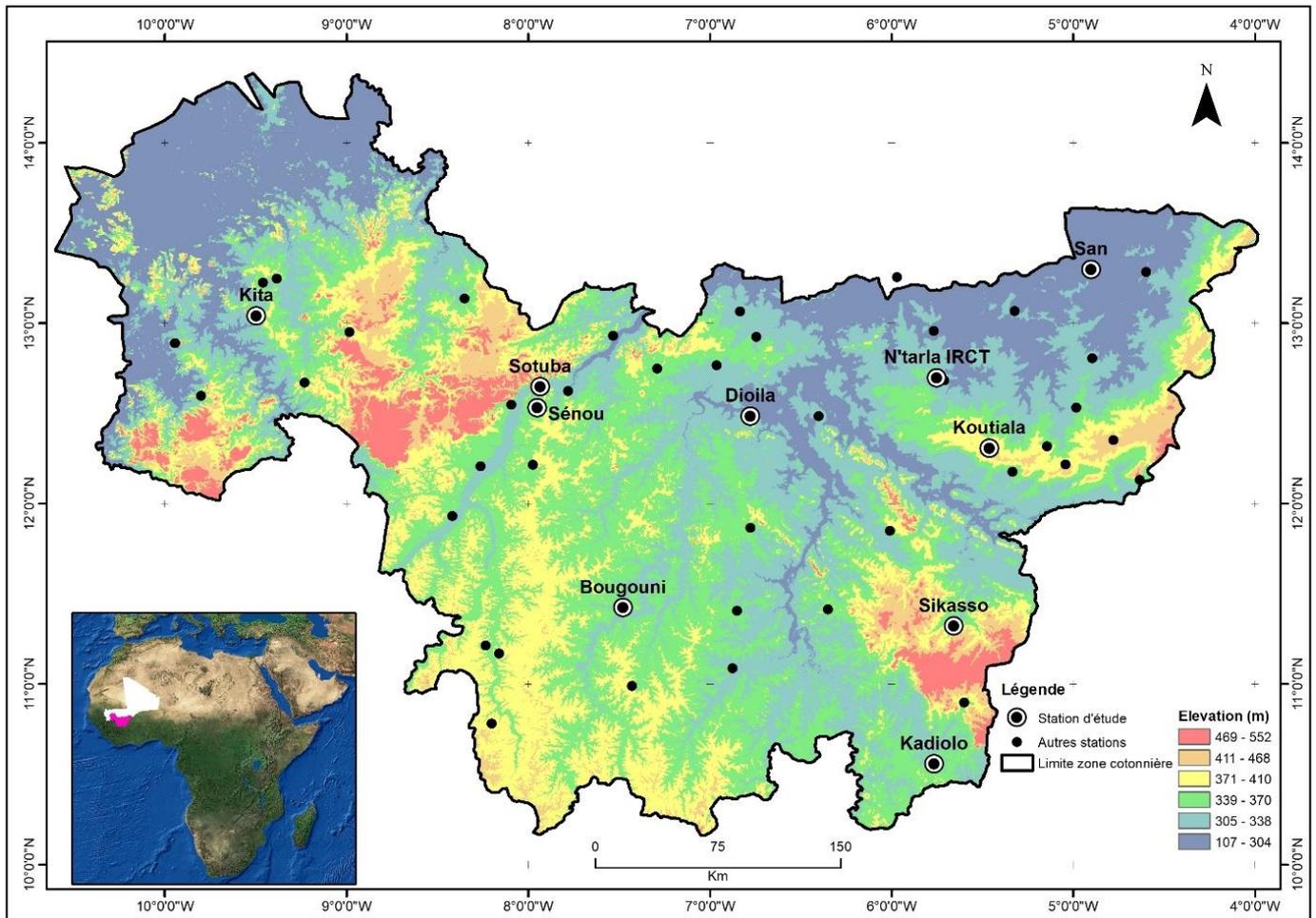


Fig. 1. Carte de localisation de la zone cotonnière du Mali avec les stations d'étude

## 2.2 LES DONNÉES

### 2.2.1 LES DONNÉES DE STATION

Les données de pluie journalière de 1983 à 2002 issues des mesures réelles de dix (10) stations météorologiques de la zone d'étude ont été collectées (Tableau 1). Ces stations appelées station de références dans cette étude sont parties des 54 stations météorologiques répertoriées dans la zone ne contenant pas plus de quatre (04) années de données manquantes. C'est ce critère qui a motivé leur choix pour le présent travail.

### 2.2.2 LES DONNÉES D'ESTIMATION DE PLUIE PAR SATELLITE

Les données sur les précipitations quotidiennes équivalentes ont été extraites de la base de données de pluie estimées par satellite ARC-2 (African Rainfall Climatology version 2) en utilisant les coordonnées des stations d'étude. ARC-2 est un ensemble de données satellitaires sur les précipitations quotidiennes disponibles depuis 1983 et ayant à une résolution spatiale de  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  soit approximativement  $11\text{km} \times 11\text{km}$  pour l'ensemble du continent. Ces données s'appuient sur ARC-1 qui a été développé à l'aide de l'algorithme appliqué dans la version 2 de l'estimation des précipitations (RFE-2) qui s'avère être parmi les produits les plus fiables des ensembles de données satellitaires couvrant l'Afrique [10]. ARC-2 est donc une nouvelle version d'ARC-1 avec un recalibrage sur la période 1983-2005 [11].

Tableau 1. Liste des stations utilisées

Code	Nom station	ZAE	Longitude (°O)	Latitude (°N)	Altitude (m)	Pluie annuelle (mm) 1983-2002
270131	Sénou	PK	7°57'00"	12°31'59"	373	818,2
270162	Bougouni	HBN	7°28'35"	11°25'34"	350	1095,6
270141	Dioïla*	PK	6°46'32"	12°29'14"	309	792,1
270178	Kadiolo**	HBN	5°45'50"	10°33'34"	353	1043,7
270107	Kita	PM	9°29'43"	13°02'34"	349	921,0
270144	Koutiala	PK	5°27'38"	12°18'35"	411	833,1
270121	N'tarla IRCT*	PK	5°45'00"	12°42'00"	327	697,8
270100	San	BH	4°54'03"	13°18'03"	284	648,1
270165	Sikasso	PK	5°39'26"	11°19'25"	355	1069,4
270130	Sotuba	PM	7°55'589"	12°39'00"	315	866,4

ZAE: Zone Agro Ecologique; PK: plateau de Koutiala, HBN: haut Bani Niger, PM: plateau mandingue, BH: Plateau de Bandiagara; \* station avec 01 année manquante; \*\* station avec 04 années manquantes

### 2.2.3 LES ANALYSES

Les analyses incluent une comparaison des précipitations journalières de deux sources (ARC-2 et les données pluviométriques mesurées) de chaque station. Ensuite, les cumuls mensuels, annuels sont également comparés. L'analyse de régression a été effectuée en utilisant les deux sources de données. En outre les indicateurs statistiques suivants ont été calculés: le coefficient de corrélation de Pearson ( $r$ ) pour apprécier dans quelle mesure les estimations correspondaient aux valeurs mesurées (1); l'erreur moyenne (ME) pour estimer l'erreur d'estimation moyenne (2); le biais qui reflète le degré auquel la valeur mesurée est surestimée ou sous-estimée (3) [12] et l'erreur quadratique moyenne (RMSE) qui mesure la différence entre les deux sources données (4) [11].

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \quad (1)$$

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - G_i) \quad (2)$$

$$\text{Biais} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - G_i)^2} \quad (4)$$

Où  $S_i$  désigne les valeurs de précipitations estimées par satellite,  $G_i$  représente les valeurs de pluviométrie mesurées en station et  $n$  le nombre total de valeurs de données dans chaque mesure par satellite ou par station.

## 3 RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 COMPARAISON DES PLUIES JOURNALIÈRES

A l'échelle journalière, les estimations de pluie par satellite et les données pluviométriques ont été comparées pour chaque station. Les résultats (Tableau 2) montrent une liaison faible à moyenne entre les deux sources de données au niveau de toutes les stations. Les stations qui montrent une liaison moyenne entre les deux données sont Sénou ( $r = 0,52$ ); San ( $r = 0,49$ ) et Koutiala ( $r = 0,48$ ). Le biais calculé est très proche de 1 pour toutes les stations. Pour toutes les stations, le biais varie entre 0,84 (station de N'Tarla) et 0,97 (station de San). Ces valeurs dénotent une faible sous-estimation des valeurs de pluie au niveau des stations par les données de ARC-2. Des résultats similaires avaient été rapportés par Novellas et Thiaw [11] dans leurs travaux de validation des données ARC pour la zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest et par Dembélé et Zwart [6] au Burkina Faso. La faible corrélation entre les données des deux sources au pas de temps journalier peut être liée à la perte de précipitations convectives plus localisées en ce qui concerne le type de comparaison.

Tableau 2. Indicateurs statistiques journalières

Station	r	Erreur quadratique moyenne (RMSE)	Biais	nb. total jour	nb. total mois	nb. total année
Sénoù	0,52	6,90	0,93	7320	240	20
Bougouni	0,33	9,24	0,85	7320	240	20
Dioïla	0,30	7,17	0,86	6954	228	19
Kadiolo	0,33	8,30	0,87	5856	192	16
Kita	0,42	7,71	0,86	7320	240	20
Koutiala	0,48	6,82	0,90	7320	240	20
N'Tarla	0,37	7,03	0,84	6954	288	19
San	0,49	6,21	0,97	7320	240	20
Sikasso	0,38	8,31	0,90	7320	240	20
Sotuba	0,39	7,66	0,92	7320	240	20

Les résultats de cette analyse ont montré de faibles scores de corrélation entre les données ARC-2 et les données pluviométriques de station à l'échelle journalière. Certaines études antérieures [13], [14] avaient déjà montré cette faible corrélation entre les estimations des pluies par satellites et les mesures réelles dans les stations à l'échelle journalière. La surestimation et la sous-estimation des événements pluvieux par ARC-2 par rapport aux mesures réelles ont également été confirmées par d'autres études réalisées dans le nord du Nigéria [16] et au Burkina Faso [6].

### 3.2 COMPARAISON DES PLUIES MENSUELLES

Les données satellitaires quotidiennes sur les précipitations des sources ont été utilisées pour générer la série des pluies mensuelles. La Figure 2 montre les diagrammes de dispersion des estimations de précipitations par satellite par rapport à chacune des données des stations pluviométriques. Les indicateurs statistiques sont répertoriés dans le Tableau 3. Le coefficient de corrélation donne un excellent accord avec les données pluviométriques pour l'ensemble des produits satellitaires. La meilleure corrélation ( $r = 0,96$ ) a été obtenue à la station de Koutiala, tandis que le score le plus faible mais toujours excellent ( $r = 0,85$ ) a été obtenu à la station de Dioïla. Le biais mesuré entre les deux sources de données est aussi très proche du score parfait qui est de 1,00. Les erreurs moyennes mesurées sont variables selon les stations. Ces valeurs vont de -8,50 pour la station de Kadiolo à 20,92 pour la station de Bougouni. Il s'en déduit une sous-estimation des pluies par les données ARC-2 comparées aux mesures réelles dans les stations de Kadiolo, N'Tarla, San, et Sotuba et une surestimation dans les stations de Sénoù, Bougouni, Dioïla, Kita, Koutiala et Sikasso.

Tableau 3. Indicateurs statistiques mensuels

Station	r	Erreur moyenne	Erreur quadratique moyenne (RMSE)	Biais
Sénoù	0,94	10,01	36,2	0,86
Bougouni	0,92	20,92	53,3	0,77
Dioïla	0,85	0,57	48,4	0,99
Kadiolo	0,86	-8,50	63,1	1,11
Kita	0,89	7,01	47,2	0,91
Koutiala	0,96	0,87	25,4	0,99
N'tarla IRCT	0,90	-1,04	40,2	1,02
San	0,95	-3,51	26,5	1,07
Sikasso	0,95	3,00	30,7	0,97
Sotuba	0,92	-1,15	38,5	1,02

A l'échelle mensuelle, les résultats sont globalement cohérents avec l'analyse basée sur les observations des stations. Les estimations mensuelles des précipitations ont présenté de meilleures performances que celles des données journalières tout en montrant de fortes corrélations positives avec les données mesurées pour les dix stations d'étude. Cette amélioration des performances des estimations satellitaires des pluies à l'échelle mensuelle est due au fait que l'agrégation des données quotidiennes en valeurs mensuelles réduit les erreurs à l'échelle quotidienne [6], [13], [17].

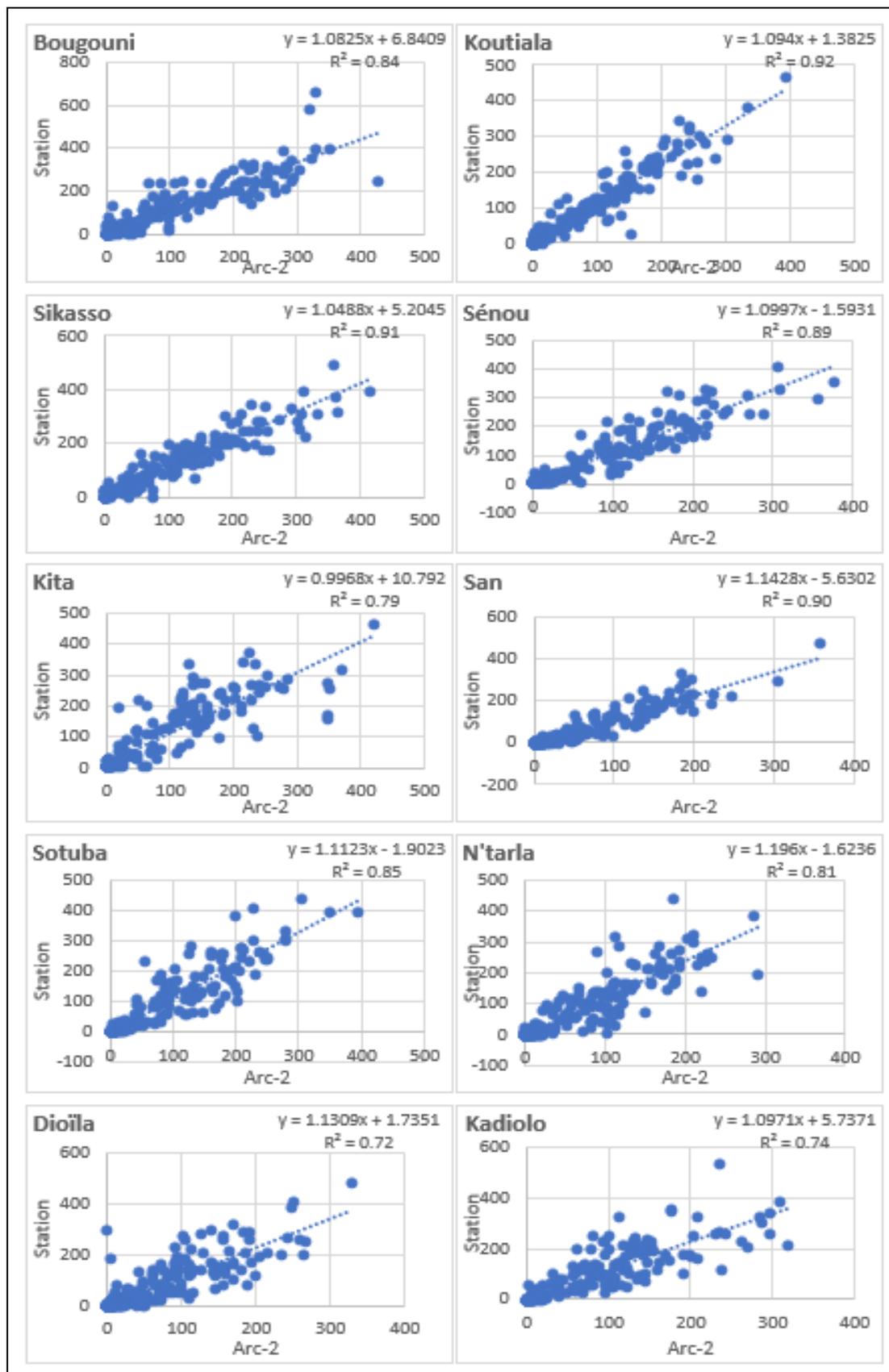


Fig. 2. Diagrammes de dispersion des précipitations cumulés mensuels de stations par rapport aux pluies estimées par satellite

### 3.3 COMPARAISON DES PLUIES ANNUELLES

Les données mensuelles cumulées sur les précipitations ont ensuite été cumulées en précipitations totales annuelles pour les données pluviométriques et ARC-2. Les équations de régression, les coefficients de détermination ainsi que les coefficients de corrélation sont présentés dans le Tableau 4. La meilleure corrélation a été relevée pour la station de Koutiala ( $r = 0,85$ ), alors que la très faible corrélation a été relevée pour la station de Kita ( $r = 0,17$ ). Les résultats montrent toujours que pour presque toutes les stations, les données corrigées reproduisent exactement le cumul pluviométrique annuel moyen mesuré. Les stations de Sikasso et de Kadiolo montrent une sous-estimation de la pluie par les satellites comparées aux mesures réelles. C'est seulement au niveau de la station de San que les données étalonnées sont supérieures aux données réelles.

Tableau 4. Indicateurs statistiques annuels

Station	Equation	R <sup>2</sup>	r	Pluie station mm	Arc-2 (mm)	Arc-2_cor (mm)
Sénou	$y = 0,7951x + 230,1$	0,68	0,82	880,6	818,2	880,6
Bougouni	$y = 0,9087x + 244,86$	0,42	0,65	1095,6	936,2	1095,6
Dioila	$y = 0,4927x + 462,95$	0,22	0,46	796,8	677,6	796,8
Kadiolo	$y = 0,7094x + 415,34$	0,44	0,66	1043,7	883,2	1041,9
Kita	$y = 0,1823x + 776,28$	0,03	0,17	921,0	794,0	921,0
Koutiala	$y = 0,9062x + 156,76$	0,73	0,85	833,1	746,3	833,1
N'tarla IRCT	$y = 0,7575x + 285,34$	0,38	0,61	813,9	697,8	813,9
San	$y = 0,9044x + 81,712$	0,56	0,83	464,5	504,5	538,0
Sikasso	$y = 0,7913x + 309,64$	0,69	0,80	1069,4	960,1	989,9
Sotuba	$y = 0,8067x + 221,54$	0,49	0,70	866,4	799,4	866,4

Au pas de temps annuel, les résultats montrent des performances variées pour les différentes stations d'étude. La très faible liaison a été observée au niveau de la station de Kita avec un coefficient de corrélation  $r: 0,17$  entre les données réelles de pluie et les données d'estimation pluviométrique de ARC-2. Les meilleures performances ont été observées au niveau des stations de Sénou ( $r: 0,82$ ); Koutiala ( $r: 0,85$ ); San ( $r: 0,83$ ) et Sikasso ( $r: 0,80$ ). Nonobstant ces performances variées, les cumuls moyens des données ARC-2 corrigées produisent des valeurs proches des mesures réelles de station.

## 4 CONCLUSION

La présente étude a évalué la performance des données ARC-2 pour la zone cotonnière du Mali au pas de temps journalier, mensuel et annuel pour la période 1983-2002. Malgré la couverture limitée et la rareté des points de référence au niveau des stations météorologiques, certaines caractéristiques cohérentes ont émergé de l'analyse. Il a été noté une faible relation entre les données d'estimation de la pluie par satellite et les valeurs de pluie mesurées en station à l'échelle journalière avec un coefficient de corrélation inférieur à 0,5 pour la plupart. La performance des données ARC-2 s'améliore au fur et à mesure que les données sont agrégées à l'échelle mensuelle et annuelle. Les valeurs de pluies corrigées se sont montrées très proches des données de stations. De ce fait elles peuvent être utilisées pour des analyses climatiques même si des travaux complémentaires peuvent être nécessaires pour toujours minimiser les écarts.

## FINANCEMENT

AgrECO CML1430

REFERENCES

- [1] Amekudzi, L., Yamba, E., Preko, K., Asare, E., Aryee, J., Baidu, M., & Codjoe, S. (2015). *Variabilities in Rainfall Onset, Cessation and Length of Rainy Season for the Various Agro-Ecological; Zones of Ghana*. *Climate*, 3 (2), 416-434. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/cli3020416>.
- [2] Atiah, W.A.; Tsidu, G.M.; Amekudzi, L.; Yorke, C. (2020). *Trends and interannual variability of extreme rainfall indices over Ghana, West Africa*. *Theor. Appl. Climatol*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03114-6>.
- [3] Su, F., Hong, Y., Lettenmaier, D.P., (2008). Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin. *J. Hydrometeorol* 9 (4), 622-640. <https://doi.org/10.1175/2007JHM944.1>.
- [4] Satgé, F., Defrance, D., Sultan, B., Bonnet, M.P., Seyler, F., Rouché, N., Pierron, F., Paturel, J.E., (2020). Evaluation of 23 gridded precipitation datasets across West Africa, *Journal of Hydrology*, 581,124412. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124412>.
- [5] Haque, R., Maskey, S., Uhlenbrook, S., and Mull, M., (2013). Validation of TRMM Rainfall for Pangani River Basin in Tanzania. *Journal of Hydrology and Environmental Research*, 1, 30-40.
- [6] Dembélé, M., and Zwart, S.J., (2016). Evaluation and comparison of satellite-based rainfall products in Burkina Faso, West Africa, *International Journal of Remote Sensing*, 37: 17, 3995-4014, <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1207258>.
- [7] Thiemi, V., Rojas, R., Zambrano-Bigiarini, M., Levizzani, V., and De Roo, A., (2012). Validation of Satellite-Based Precipitation Products over Sparsely Gauged African River Basins. *Journal of Hydrometeorology*, 13, 1760-1783. <http://dx.doi.org/10.1175/JHM-D-12-032.1>.
- [8] Amekudzi, L.K., Osei, M.A., Atiah, W.A., Aryee, J.N.A., Ahiataku, M.A., Quansah, E., Preko, K., Danuor, S.K. and Fink, A.H. (2016). *Validation of TRMM and FEWS Satellite Rainfall Estimates with Rain Gauge Measurement over Ashanti Region, Ghana*. *Atmospheric and Climate Sciences*, 6, 500-518. <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2016.64040>.
- [9] Soumaré, M., Traoré, S., (2019). *Présentation des zones cotonnières du Mali*, Soumaré M. (éd), Atlas des zones cotonnières du Mali, deuxième édition, IER-CIRAD, pp 11.
- [10] Love, T.B., Kumar, V., Xie, P., Thiaw, W., (2004). A 20-year daily Africa precipitation climatology using satellite and gauge data. In: *Proceedings of the 84th AMS Annual Meeting, Vol. Conference on Applied Climatology, Seattle, WA- (CD-ROM)*.
- [11] Novella, N.S., and Thiaw, W.M., (2013). African Rainfall Climatology Version 2 for Famine Early Warning Systems. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 52, 588-606, <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0238.1>.
- [12] Duan, Z., Bastiaanssen, W., and Liu, J., (2012). Monthly and Annual Validation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) Products in the Caspian Sea Region for the Period 1999-2003. Paper presented at the 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Germany, July 22–27.
- [13] Usman, M., Nichol, J.E., Ibrahim, A.T., Baba, L.F., (2018) Spatio-temporal analysis of trends in rainfall from long term satellite rainfall products in the Sudano Sahelian zone of Nigeria. *Agric for Meteorol* 260–261: 273–286. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.06.016>.
- [14] Gebereetal, M., Bitew, M.M., Hirpa, F.A., Tesfay, G.N., (2014) Accuracy of satellite rainfall estimates in the Blue Nile basin: lowland plain versus Highland Mountain. *Water Resour Res* 50: 8775-8790.
- [15] Sanogo S, Fink HF, Omotosho JA, Ba A, Redl R, Ermert V (2015) Spatio-temporal characteristics of the recent rainfall recovery in West Africa. *Int J. Climatol* 35 (15): 4589–4605. <https://doi.org/10.1002/joc.4309>.
- [16] Salami AA (2019) Temporal variations of selected climatic parameters in Osogbo, Nigeria for the period of four decades (1975–2014). *American Journal of Earth and Environmental Sciences* 2 (1): 9-14.