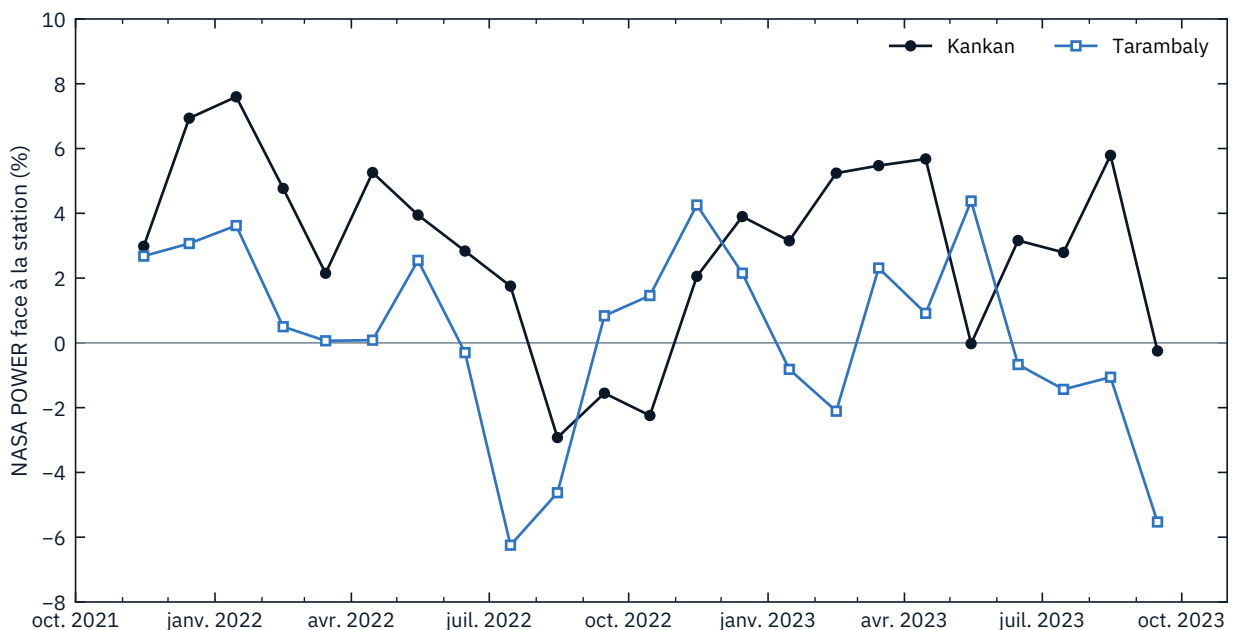




Collection guides solaires | Guide 8

Le calage terrain

Ce qu'une station au sol corrige dans une série satellite, et jusqu'où la correction se transporte



Écart mensuel du rayonnement global de NASA POWER au rayonnement mesuré aux stations de Kankan et de Tarambaly, octobre 2021 à octobre 2023. Section 3.

Siba Kalivogui

Ingénieur efficacité énergétique

Énergie solaire | Octobre 2026 | v2.0 | CC BY-NC-SA 4.0

Données : ESMAP/WAPP Kankan et Tarambaly, RDS Guinée 2.0.1

kumascience.com

Un facteur qui marche à Kankan

À Kankan, NASA POWER donne pour la seconde année de mesure un rayonnement global supérieur de 3,07 % à celui de la station. Un facteur de correction appris sur la première année ramène cet écart à 0,45 %. Appliqué aux deux années de la station de Tarambaly, à 328 km, dans le Fouta-Djalou, ce même facteur fait passer NASA POWER d'un écart de +0,16 % à un écart de -2,38 %. La correction qui améliore la série à Kankan la dégrade à Tarambaly. Ce guide montre ce qu'une station au sol permet de corriger, comment vérifier la correction, et pourquoi elle ne se transporte pas sans contrôle.

Ce guide suppose acquis les guides 1 à 7. Données : stations ESMAP/WAPP de Kankan et de Tarambaly [3], niveau de confiance **A** ; NASA POWER par le RDS Guinée 2.0.1 [4], niveau **B**. Notations et unités : guide 0, section 9. Licence CC BY-NC-SA 4.0.

Table des matières

1	Le satellite et la station	3
2	Une campagne de mesure utilisable	3
3	Mesurer l'erreur du satellite	3
4	Corriger et vérifier	4
5	Transporter la correction	6
6	Ce que le calage change	7
7	Exercices	7
8	Résumé	8
	Références	9

1 Le satellite et la station

Une série satellitaire couvre des décennies et tout le territoire, avec des biais qui varient d'un endroit et d'une saison à l'autre (guides 3 et 7). Une station mesure le rayonnement à un point, avec une incertitude connue, mais seulement pendant la durée de sa campagne. Le calage terrain, appelé aussi adaptation au site, combine les deux. Sur la période où la station et le satellite observent le même ciel, on mesure l'erreur du satellite ; on corrige ensuite toute la série satellitaire, y compris les années sans station [1].

Le produit calé reste une série satellitaire. Sa qualité dépend donc de celle de la série de départ, et de deux hypothèses : l'erreur mesurée sur la période de la station reste la même sur les autres années, et elle vaut aux endroits où l'on applique la correction.

2 Une campagne de mesure utilisable

Les stations de Kankan et de Tarambaly donnent l'exemple d'une campagne conforme aux règles de l'art [2]. Elles portent deux pyranomètres à thermopile ventilés, l'un pour le rayonnement global, l'autre pour le diffus, et un pyréliomètre sur suiveur pour le direct. Les capteurs ont été nettoyés chaque jour et contrôlés sur site après un an face à des instruments de référence (guide 7). Les données ont été enregistrées à la minute pendant deux ans, d'octobre 2021 à octobre 2023, et contrôlées chaque jour par l'exploitant.

Deux ans couvrent chaque saison deux fois. Cela permet de voir si l'erreur du satellite change d'une année à l'autre, ce qu'une seule année ne montre pas. Une campagne plus courte qu'un cycle annuel laisse au moins une saison sans mesure, et donc sans correction vérifiée.

3 À Kankan, NASA POWER dépasse la station de 2,8 % ; à Tarambaly, de 0,2 %

Sur les jours communs, on compare le rayonnement journalier des deux séries par deux indicateurs rapportés à la moyenne de la station :

$$\text{biais} = \frac{\overline{G_{\text{sat}}}}{\overline{G_{\text{sol}}}} - 1 \quad \text{RMSD} = \frac{\sqrt{(G_{\text{sat}} - G_{\text{sol}})^2}}{\overline{G_{\text{sol}}}} \quad (1)$$

Le biais mesure l'erreur systématique, celle qu'un facteur peut corriger. Le RMSD contient en plus l'erreur de chaque jour, par exemple un nuage placé au mauvais endroit par le satellite, qu'aucun facteur ne corrige.

NASA POWER face aux stations, rayonnement global journalier

Kankan : biais de +2,83 %, RMSD de 9,5 % ; +4,41 % de novembre à mars, +1,90 % en avril, mai et octobre, +1,46 % de juin à septembre. Première année +2,60 %, seconde +3,07 %. Tarambaly : biais de +0,16 %, RMSD de 9,8 % ; +1,51 %, +0,85 % et -2,39 % pour les mêmes saisons. Première année +0,35 %, seconde -0,04 %.

Source : fichiers ESMAP/WAPP ; RDS Guinée 2.0.1 | Période : oct. 2021 à oct. 2023, 730 jours par station | Niveau de confiance **B**

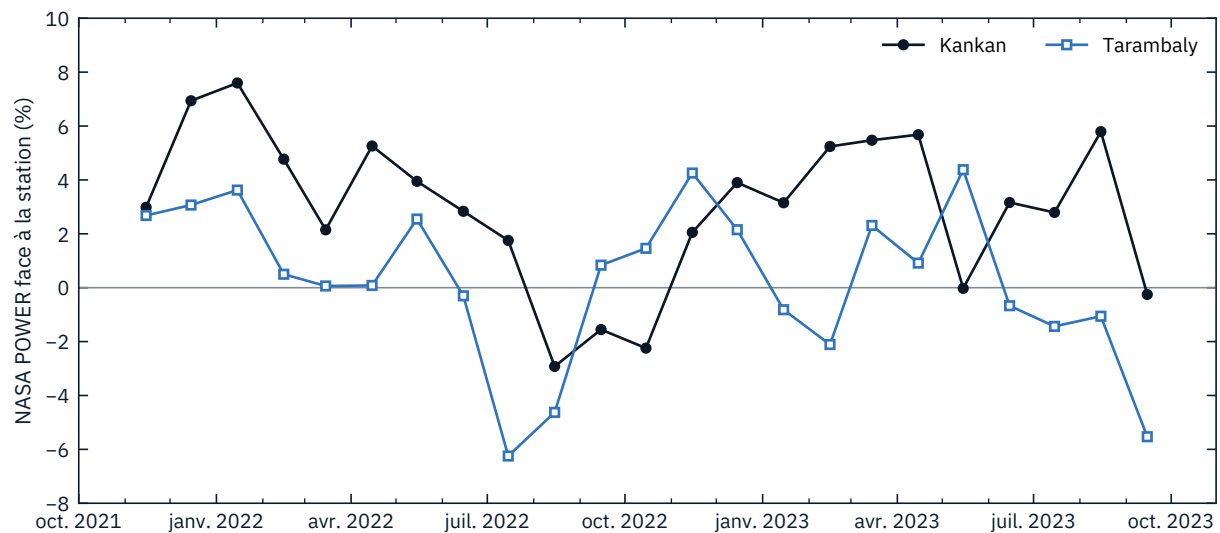


Figure 1 : Écart mensuel du rayonnement global de NASA POWER à celui des stations (mois à 28 jours complets ou plus). Pour Tarambaly, maille NASA POWER de Labé.

Sur l'année, le biais reste stable d'une année à l'autre aux deux stations. Par saison, il bouge davantage : à Kankan, de juin à septembre, il passe de +0,10 % la première année à +2,80 % la seconde. Ces comparaisons ne disent pas pourquoi le biais est plus fort de novembre à mars à Kankan.

4 Validé sur une autre année, le facteur de Kankan ramène l'écart de 3,07 à 0,45 %

La correction la plus simple multiplie toute la série satellitaire par un facteur

$$k = \frac{\overline{G_{\text{sol}}}}{\overline{G_{\text{sat}}}} \quad (2)$$

calculé sur la période commune. On peut aussi calculer un facteur par saison. La littérature propose des méthodes plus fines, qui corrigent la distribution des valeurs ou tiennent compte de l'état du ciel [1]; elles demandent davantage de données pour ne pas s'ajuster au bruit.

Une correction se vérifie sur des données qui n'ont pas servi à la construire. Avec deux ans de mesure, on apprend le facteur sur la première année et on le teste sur la seconde.

Apprendre le facteur de Kankan sur une année, le tester sur l'autre

Étape 1, le biais d'apprentissage. Sur la première année (octobre 2021 à octobre 2022, 365 jours), la moyenne journalière de NASA POWER dépasse celle de la station de 2,60 % : $\overline{G_{\text{sat}}}/\overline{G_{\text{sol}}} = 1,0260$.

Étape 2, le facteur. Selon l'équation (2), $k = 1/1,0260 = 0,9746$. Corriger la série, c'est multiplier chaque valeur journalière de NASA POWER par 0,9746.

Étape 3, le test. Sur la seconde année, que le facteur n'a pas vue, le rapport brut vaut 1,0307 (biais de +3,07 %). La série corrigée donne $1,0307 \times 0,9746 = 1,0045$, soit un biais de +0,45 %.

Le facteur retire environ 2,6 points des 3,07 de la seconde année. Les 0,45 % qui restent sont la part du biais qui a changé entre les deux années.

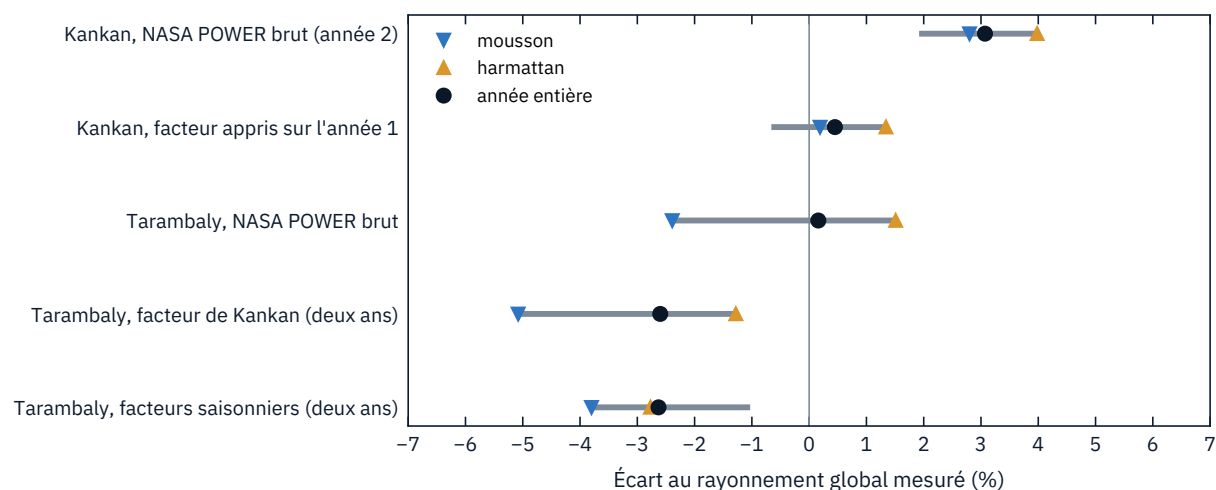


Figure 2 : Écart de NASA POWER, brut ou corrigé, au rayonnement mesuré. Point : année entière ; triangles : mousson (juin à septembre) et harmattan (novembre à mars) ; trait gris : étendue des trois saisons.

Validation du facteur sur l'année non utilisée

Kankan : l'écart de la seconde année passe de +3,07 % à +0,45 % avec un facteur unique, et à +0,51 % avec trois facteurs saisonniers ; le RMSD journalier passe de 9,5 à 9,0 %. Tarambaly : l'écart passe de -0,04 % à -0,39 % avec un facteur unique et à -0,32 % avec les facteurs saisonniers.

Source : fichiers ESMAP/WAPP ; RDS Guinée 2.0.1 | Période : facteur : oct. 2021 à oct. 2022 ; test : oct. 2022 à oct. 2023 | Niveau de confiance **B**

À Kankan, le facteur retire l'essentiel du biais annuel. Les facteurs saisonniers ne font pas mieux sur l'année, parce que le biais de chaque saison a changé d'une année à l'autre ; avec une seule année d'apprentissage, ils suivent aussi les particularités de cette année. Le RMSD baisse à peine : l'erreur journalière reste. À Tarambaly, où NASA POWER n'a presque pas de biais annuel, la correction n'apporte rien.

Erreur fréquente : juger une correction sur ses propres données

Un facteur calculé sur une période annule, par construction, le biais de cette même période. Seul un test sur une autre période, ou sur un autre site, dit ce que la correction vaut.

5 À 328 km, le facteur de Kankan dégrade la série de Tarambaly

On calcule cette fois le facteur de Kankan sur ses deux années de mesure ($k = 0,9724$). Appliqué à Tarambaly, il fait passer l'écart annuel de NASA POWER de +0,16 % à -2,60 %, et celui de la mousson de -2,39 à -5,08 %. Avec le facteur de la seule première année, celui de l'ouverture ($k = 0,9746$), l'écart annuel vaut -2,38 %. Avec les facteurs saisonniers de Kankan, l'écart annuel vaut -2,63 %. Dans l'autre sens, le facteur de Tarambaly ne corrige presque pas Kankan : +2,67 % au lieu de +2,83 %. Les deux stations diffèrent par leur altitude (375 et 860 m) et leur relief ; l'erreur de NASA POWER n'y est pas la même, et ces comparaisons ne disent pas laquelle de ces différences en est la cause.

L'erreur d'un satellite en un site mêle une part régionale, partagée par une zone de climat homogène, et une part locale, propre au site. Seule la part régionale se transporte. La question pratique devient donc : sur quelle zone, et avec quel écart résiduel, la correction d'une station reste-t-elle meilleure que la série brute ?

Biais de NASA POWER sur le réseau régional

Sur les 31 stations de la campagne ESMAP/WAPP en Afrique de l'Ouest (13 pays, de 5,9 à 14,0° de latitude nord), on reconstitue un indicateur annuel du biais de NASA POWER sur le rayonnement global : la moyenne de ses biais saisonniers, pondérée par le nombre de mois de chaque saison. Ce n'est pas nécessairement le biais calculé sur l'énergie annuelle. Il va de -5,2 à +9,1 % ; sa médiane vaut +0,8 %, et la médiane de sa valeur absolue 2,0 %.

Source : calibration de Kuma Science, 31 stations ESMAP/WAPP | Période : 2021 à 2023 | Niveau de confiance **B**

Le biais change de signe d'une station à l'autre. Une correction régionale unique serait fautive pour une partie des sites. Kuma Science étudie sur ce réseau comment l'écart résiduel d'une correction transportée augmente quand le climat du site s'éloigne de celui de la station, pour délimiter les zones où la correction reste préférable à la série brute. Ce travail de transfert (choix de la station de référence pour un site, estimation de l'écart résiduel attendu) n'est pas décrit ici ; le facteur multiplicatif de la section 4 est la forme élémentaire de correction, présentée pour la démonstration.

Le Core propose d'en tirer une confiance graduée, qui n'est pas encore adoptée. Au point de la station et sur sa période de mesure, la donnée est de niveau A. Une série corrigée dans une zone de climat homogène pourrait recevoir un niveau intermédiaire, « B calibré », à deux conditions : une validation de la correction hors du site de la station, et un écart résiduel documenté en fonction de la distance climatique. Sans ces deux éléments, la série reste B brut. La côte guinéenne n'a pas de station dans ce réseau.

En pratique

Avant de réutiliser la correction d'une station voisine, vérifier qu'elle améliore une série mesurée dans la même zone. Faute de seconde station, garder la série brute et son incertitude, plutôt qu'une correction non vérifiée.

6 Le calage déplace le P50 autant qu'il réduit l'incertitude

Le guide 7 a chiffré la composante ressource du productible de Kankan à 4 % sans station, hypothèse de travail, et à 1,8 % avec deux ans de station sur le site. Le calage fait plus que réduire cette barre : il corrige la valeur centrale. À Kankan, un P50 établi avec NASA POWER brut serait environ 2,8 % trop élevé ; le guide 7 l'avait écarté en partant du P50 calculé avec la station.

La réduction de la barre repose sur une hypothèse que la campagne ne vérifie pas entièrement : l'erreur mesurée en 2021-2023 reste la même sur les vingt ou trente ans d'archive satellitaire. Deux ans montrent un biais annuel stable (+2,60 puis +3,07 % à Kankan), pas son comportement sur vingt ans ; les produits satellitaires ont eux-mêmes changé au cours de cette période (guides 3 et 7).

Le calage du rayonnement direct pose d'autres problèmes. À Kankan, NASA POWER sous-estime le direct de 3,5 % et CAMS le surestime de 28,4 % (guide 3), avec des écarts saisonniers plus forts que sur le global. Ce guide ne le traite pas.

7 Exercices

Exercice 1 (application)

Sur les mêmes jours, NASA POWER donne 2 036 kWh/m² par an à Kankan et la station 1 982 (guide 6). Calculer le facteur de calage et le biais.

Corrigé

Étape 1, le facteur (équation 2) : $k = 1\,982 / 2\,036 = 0,973$.

Étape 2, le biais (équation 1) : $2\,036 / 1\,982 = 1,027$, moins 1, soit +2,7 %.

Les deux sont liés : $k = 1 / (1 + \text{biais}) = 1 / 1,027 = 0,973$.

Exercice 2 (application)

À Tarambaly, NASA POWER a un biais de +0,16 %. Quel écart obtient-on en appliquant le facteur de Kankan, $k = 0,9724$?

Corrigé

Étape 1, le rapport brut : un biais de +0,16 % signifie $\overline{G_{\text{sat}}} / \overline{G_{\text{sol}}} = 1,0016$.

Étape 2, la correction : chaque valeur de NASA POWER est multipliée par 0,9724, donc le rapport aussi : $1,0016 \times 0,9724 = 0,9740$.

Étape 3, le nouveau biais : $0,9740 - 1 = -2,60$ %. La correction crée un biais plus grand que celui qu'elle devait corriger.

Exercice 3 (application)

Pourquoi le RMSD journalier de Kankan ne baisse-t-il que de 9,5 à 9,0 % après correction, alors que le biais passe de 3,07 à 0,45 % ?

Corrigé

Le facteur multiplie toutes les journées par la même valeur : il retire le biais moyen, pas les erreurs d'un jour à l'autre. Celles-ci forment l'essentiel du RMSD journalier.

Exercice 4 (Python)

Avec deux fichiers du RDS,
terrain-kankan/mensuel_2021_2023.csv et

nasa-power/mensuel_1981_2025.csv, calculer le facteur global de Kankan sur les mois d'au moins 28 jours mesurés, puis les facteurs de novembre à mars, d'avril, mai et octobre, et de juin à septembre.

Corrigé

Sur 23 mois : facteur global 0,970 ; par saison 0,958, 0,974 et 0,986. L'écart avec les facteurs journaliers de la section 4 (0,9724 au global) vient du pas de temps et des jours retenus.

8 Résumé

1. Une station corrige la série satellitaire là où elle mesure : à Kankan, l'écart de NASA POWER passe de 3,07 à 0,45 % sur une année non utilisée pour la correction.
2. Une correction se juge sur des données qu'elle n'a pas vues ; le RMSD journalier, lui, ne baisse presque pas.
3. Transportée à Tarambaly, la correction de Kankan dégrade la série : de +0,16 à -2,60 % avec le facteur des deux années. Sur le réseau régional, l'indicateur annuel du biais de NASA POWER va de -5,2 à +9,1 %.
4. Le calage déplace la valeur centrale autant qu'il réduit l'incertitude, sous l'hypothèse d'un biais stable dans le temps.

Les huit guides ont suivi le rayonnement de l'heure solaire au kilowattheure, puis à son incertitude et à sa vérification au sol. Les guides 9 et 10 passent du point au territoire et aux températures de conception ; le guide 0, guide d'entrée de la collection, présente les données de Kuma Science.

Références

- [1] J. Polo et al., « Preliminary survey on site-adaptation techniques for satellite-derived and reanalysis solar radiation datasets : Experiences from Task 46 of the IEA Solar Heating and Cooling Programme », *Solar Energy*, vol. 132, p. 25-37, 2016.
- [2] M. Sengupta et al., *Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications*, 3^e édition, rapport NREL/TP-5D00-77635, 2021.
- [3] World Bank, ESMAP, WAPP, *Solar resource measurement campaign in West Africa*, stations de Kankan et de Tarambaly (Guinée), données à la minute et rapports de mesure de CSP Services (2023), licence CC BY 4.0. <https://energydata.info>
- [4] Kuma Science, *RDS Guinée 2.0.1*, référentiel de données solaires, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21051754>



Kuma Science

Kuma Science construit les référentiels de données énergétiques de l'Afrique de l'Ouest, en commençant par la Guinée. Chaque chiffre publié porte sa source et son niveau de confiance.