



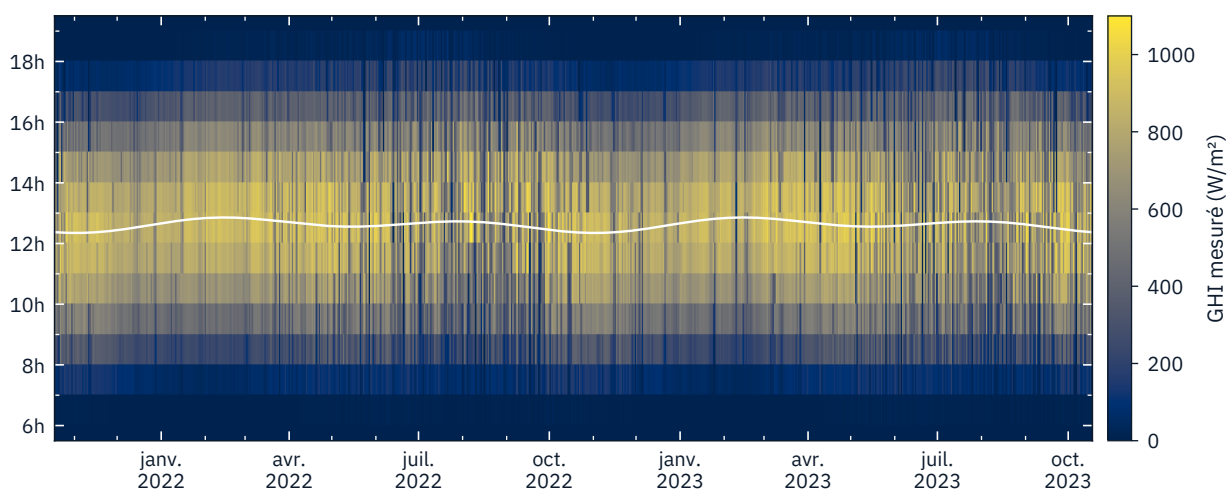
Kuma Science

Référentiels de données énergétiques pour l'Afrique de l'Ouest

Collection guides solaires | Guide 1

Le temps solaire

L'heure de la montre, l'heure du Soleil, et ce qu'en dit la mesure au sol



GHI horaire mesuré au sol à Kankan, jour par jour (colonnes) et heure par heure (lignes), octobre 2021 à octobre 2023. Trait blanc : midi solaire calculé. Section 7.

Siba Kalivogui

Ingénieur efficacité énergétique

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

Données : RDS Guinée 2.0.1, ESMAP/WAPP Kankan

kumascience.com

Avant-propos

Cette collection s'adresse aux étudiants en ingénierie, aux jeunes ingénieurs et aux techniciens de bureaux d'études qui veulent calculer, et vérifier, les chiffres d'une étude solaire. Les huit premiers guides suivent l'ordre du calcul, du temps solaire au calage sur la mesure au sol. Trois autres traitent des températures de conception, du passage d'une mesure ponctuelle à un territoire et de l'usage des données ouvertes. Chaque formule peut être refaite à la main ou en quelques lignes de Python.

Les exemples portent sur des localités guinéennes. Les chiffres viennent de deux sources ouvertes : le Référentiel de données solaires de la Guinée (RDS 2.0.1, 34 localités : les 33 chefs-lieux de préfecture et Kaloum, 1981 à 2025, [doi:10.5281/zenodo.21051754](https://doi.org/10.5281/zenodo.21051754)) et les stations au sol ESMAP/WAPP de Kankan et de Tarambaly (octobre 2021 à octobre 2023). Chacun porte son niveau de confiance : **A** pour une mesure au sol par un instrument de référence, ou calculée à partir de telles mesures, **B** pour une valeur modélisée ou interpolée par une méthode documentée, **C** pour une estimation d'expert sans validation instrumentale, ou une valeur issue d'une source peu fiable. Dans le RDS, seule la station de Kankan relève du niveau A ; Tarambaly est publiée par la Banque mondiale.

Notations et unités : guide 0, section 9. Licence Creative Commons BY-NC-SA 4.0 : partage et adaptation autorisés en créditant Kuma Science.

Table des matières

1 Introduction	3
2 Le temps civil	3
3 Le temps solaire	4
4 L'équation du temps	5
5 Du temps civil au temps solaire	7
6 Exemples guinéens	8
7 Le midi calculé face à la mesure de Kankan	9
8 Lire l'heure d'une série horaire	11
9 Guinée et Afrique de l'Ouest	12
10 Exercices	13
11 Résumé	15
Références	16

1 Introduction

À Conakry, le Soleil passe au plus haut vers 12h55 en moyenne sur l'année, et jusqu'à 13h09 à la mi-février. À Lola, à l'autre bout du pays, il y passe vers 12h34. Les deux villes affichent pourtant la même heure. L'écart entre l'heure légale et la position du Soleil dépasse souvent une demi-heure en Guinée, et une heure à Dakar ou à Nouakchott.

Toute la suite d'une étude solaire dépend de ce point de départ. L'irradiance reçue par un module dépend de l'angle sous lequel le Soleil l'éclaire, et cet angle se calcule à partir du temps solaire. Une erreur d'une heure sur le temps solaire déplace le Soleil d'environ 15° dans le ciel et décale d'autant la courbe de production calculée pour la journée. Pour un mini-réseau, ce décalage change la part de la consommation que le solaire peut couvrir en direct, et donc, selon le profil de charge, le rôle demandé aux batteries.

1.1 Ce que ce guide apprend

Ce guide apprend à convertir une heure civile en temps solaire, et l'inverse, pour n'importe quel lieu et n'importe quelle date. Il montre aussi comment lire l'horodatage d'une série horaire et ce qu'une mesure au sol permet de contrôler. La trigonométrie de base suffit.

2 Le temps civil

2.1 Fuseaux horaires et méridiens standards

La Terre tourne de 360° en 24 heures, soit 15° par heure ou 4 minutes par degré de longitude. Le système des fuseaux horaires découpe la planète en bandes d'environ 15° . Chaque bande prend pour référence un méridien standard, en général un multiple de 15° , et tous les lieux de la bande affichent la même heure.

Temps civil (temps local standard)

Heure légale en vigueur dans un pays. Elle est définie par un décalage entier, parfois demi-entier, par rapport au temps universel coordonné (UTC). Ce décalage correspond au méridien standard L_{st} du fuseau : UTC+0 pour $L_{st} = 0^\circ$, UTC+1 pour $L_{st} = 15^\circ$ Est.

2.2 La Guinée à UTC+0

La Guinée vit à UTC+0 toute l'année, comme le Sénégal, le Mali, la Côte d'Ivoire ou le Ghana. Son territoire est pourtant entièrement à l'ouest du méridien de Greenwich : ses chefs-lieux de préfecture s'étendent de $8,5^\circ$ à $14,3^\circ$ de longitude ouest. Le Soleil y passe donc au méridien après 12h00, de 34 à 57 minutes selon la ville, sans compter la correction saisonnière décrite à la section 4.

Le pays n'applique pas d'heure d'été. Il en va de même pour presque toute l'Afrique de l'Ouest, si bien que le terme d'heure d'été des formules de ce guide y vaut zéro.

En pratique

Les bases de données solaires horodatent presque toutes leurs valeurs en UTC : NASA POWER, PVGIS, CAMS, ERA5 et le RDS Guinée. En Guinée, l'heure UTC et l'heure civile coïncident. Au Bénin, au Niger ou au Nigeria (UTC+1), il faut ajouter une heure avant tout calcul en heure locale.

3 Le temps solaire

Temps solaire vrai

Temps défini par la position apparente du Soleil. Il vaut 12h00 à l'instant où le Soleil franchit le méridien du lieu, c'est-à-dire lorsqu'il atteint sa plus grande hauteur de la journée. Ce passage est le midi solaire.

Deux effets séparent le temps solaire du temps civil. Le premier est géographique et constant. Le second est astronomique et varie au fil de l'année.

3.1 La longitude du lieu

Un lieu situé à l'ouest du méridien standard de son fuseau voit le Soleil passer au méridien après l'heure pleine, à raison de 4 minutes par degré d'écart. Kaloum, à $13,71^\circ$ Ouest, a un retard de $4 \times 13,71 = 54,8$ minutes sur le méridien de Greenwich. Boké, à $14,29^\circ$ Ouest, en a 57,2; Lola, à $8,53^\circ$ Ouest, en a 34,1. Entre l'ouest et l'est de la Guinée, le midi solaire se décale de 23 minutes, alors que les horloges affichent la même heure (figure 1).

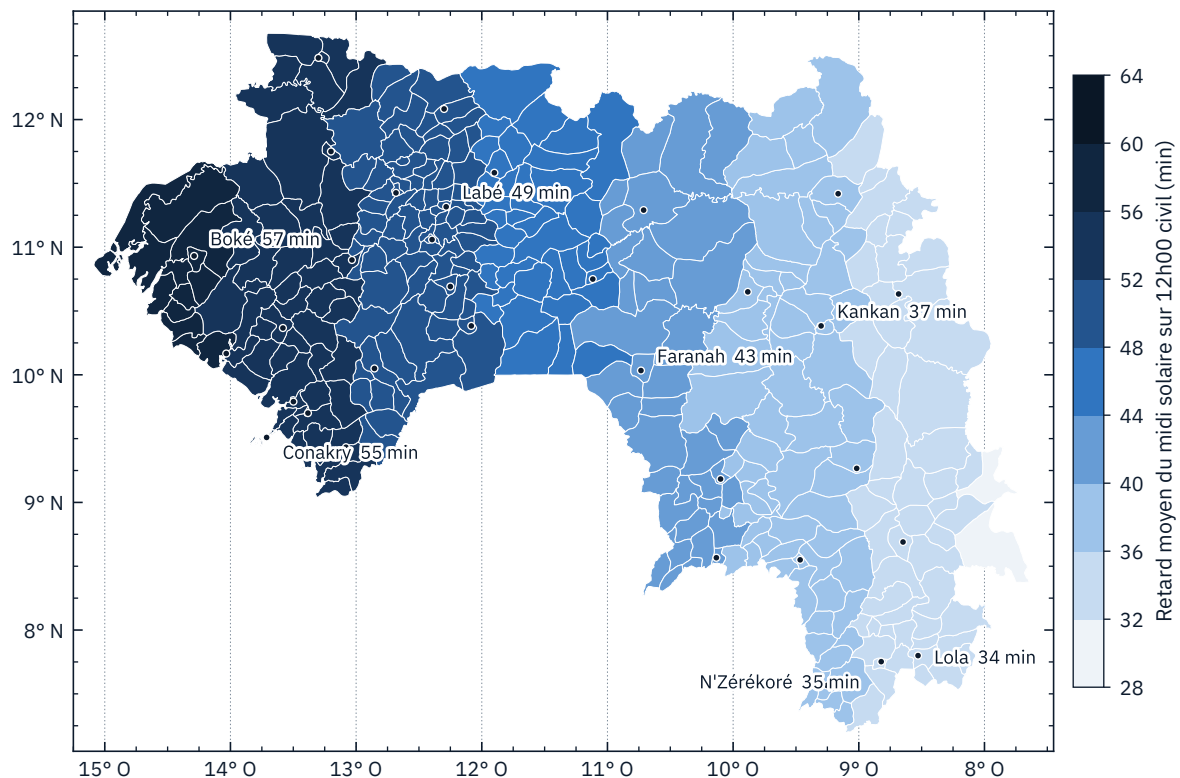


Figure 1 : Retard moyen du midi solaire sur 12h00 civil, par sous-préfecture (longitude du centre de chaque sous-préfecture). Une classe de couleur correspond à 1° de longitude, soit 4 minutes. Points : les 34 localités du RDS Guinée. Limites : COD-AB Guinée, niveau 3 (OCHA).

3.2 Le mouvement réel de la Terre

Si la Terre suivait une orbite circulaire autour d'un axe perpendiculaire à cette orbite, le Soleil repasserait au méridien toutes les 24 heures, sans variation. Deux écarts à ce modèle simple modifient la durée du jour solaire d'un jour à l'autre, de quelques dizaines de secondes :

- l'excentricité de l'orbite. La Terre se déplace plus vite près du Soleil (périhélie, début janvier) que loin de lui (aphélie, début juillet). Pour revenir face au Soleil, elle doit tourner un peu plus sur elle-même en janvier qu'en juillet ;
- l'obliquité de l'axe de rotation, qui fait un angle de $23,4^\circ$ avec la perpendiculaire au plan de l'orbite. Le mouvement apparent du Soleil, régulier le long de l'écliptique, se projette sur l'équateur céleste avec une vitesse variable. Aux solstices, sa composante est-ouest est plus rapide qu'aux équinoxes.

Ces écarts s'accumulent jour après jour. Leur somme est l'équation du temps.

4 L'équation du temps

Équation du temps (E)

Différence, en minutes, entre le temps solaire vrai et le temps solaire moyen, celui d'un Soleil fictif qui passerait au méridien à intervalles réguliers de 24 heures. E varie entre environ -14 et $+16$ minutes au cours de l'année. Quand E est positif, le Soleil vrai est en avance sur le Soleil moyen.

4.1 Formule de calcul

L'ingénierie solaire utilise en général la série de Fourier de Spencer, reprise par Duffie et Beckman :

$$E = 2,2918 [0,0075 + 0,1868 \cos B - 3,2077 \sin B - 1,4615 \cos 2B - 4,089 \sin 2B] \quad (1)$$

avec E en minutes et B un angle, en degrés, qui dépend du numéro n du jour dans l'année :

$$B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (2)$$

Le 1^{er} janvier correspond à $n = 1$, le 31 décembre à $n = 365$. La formule néglige les années bissextiles ; l'erreur qui en résulte reste inférieure à une minute.

Erreur fréquente : degrés ou radians

La formule donne B en degrés. La plupart des langages de programmation, Python et Excel compris, attendent des radians dans les fonctions trigonométriques. Il faut convertir B par $B_{rad} = B \times \pi/180$, ou vérifier le mode de la calculatrice. Une valeur de $|E|$ supérieure à 17 minutes signale presque toujours cette erreur.

4.2 Numéro du jour

Mois	n	n du 15	Mois	n	n du 15
Janvier	i	15	Juillet	$181 + i$	196
Février	$31 + i$	46	Août	$212 + i$	227
Mars	$59 + i$	74	Septembre	$243 + i$	258
Avril	$90 + i$	105	Octobre	$273 + i$	288
Mai	$120 + i$	135	Novembre	$304 + i$	319
Juin	$151 + i$	166	Décembre	$334 + i$	349

Table 1 : Numéro du jour n pour le jour i du mois (année non bissextile).

En Python, `datetime.date(2026, 3, 15).timetuple().tm_yday` renvoie 74.

4.3 Allure au fil de l'année

La figure 2 trace E et la décompose en ses deux causes. Le terme d'excentricité a une période d'un an et une amplitude de 7,7 minutes. Le terme d'obliquité a une période de six mois et une amplitude de 9,9 minutes. Leur somme s'annule quatre fois par an, vers le 15 avril, le 14 juin, le 2 septembre et le 25 décembre. Elle atteint son minimum, $-14,3$ minutes, vers le 14 février et son maximum, $+16,4$ minutes, vers le 2 novembre.

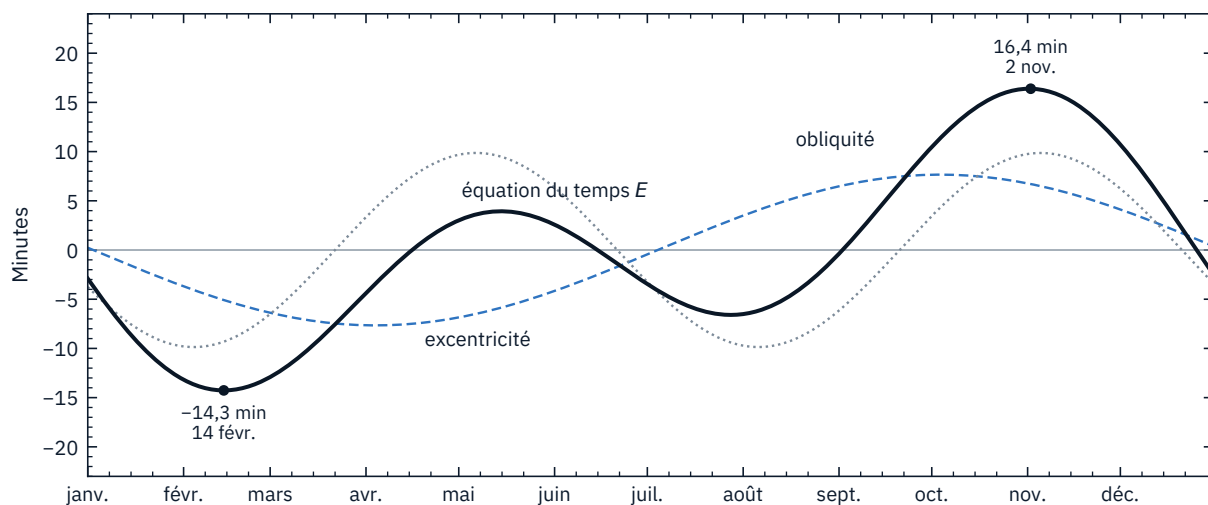


Figure 2 : Équation du temps (formule 1) et ses deux composantes, calculées par l'approximation à deux sinusoides $-7,659 \sin D + 9,863 \sin(2D + 3,593)$, où D est l'anomalie moyenne de la Terre en radians. L'approximation s'écarte de la formule de Spencer de moins d'une minute.

À retenir

L'équation du temps reste comprise entre $-14,3$ et $+16,4$ minutes. Elle ne dépend que de la date et vaut la même chose en tout point du globe un jour donné. La correction de longitude, elle, dépend du lieu et reste constante toute l'année.

5 Du temps civil au temps solaire

5.1 La formule

En comptant les longitudes positives vers l'ouest, comme Duffie et Beckman, le temps solaire T_s se déduit du temps civil T_c par :

$$T_s = T_c + E + 4 (L_{st} - L_{loc}) - H_e \quad (3)$$

- T_s et T_c : temps solaire et temps civil, en minutes depuis minuit ;
- E : équation du temps, en minutes ;
- L_{st} : longitude du méridien standard du fuseau, en degrés ;
- L_{loc} : longitude du lieu, en degrés ;
- H_e : correction d'heure d'été, 0 ou 60 minutes (0 en Guinée).

À l'est de Greenwich, les longitudes deviennent négatives. Lagos, à 3,38° Est et à UTC+1, donne ainsi $L_{loc} = -3,38$ et $L_{st} = -15$.

Erreur fréquente : le signe des longitudes

Beaucoup de logiciels (pvlib, PVGIS, les fichiers du RDS) comptent les longitudes positives vers l'est. Kaloum y figure avec la longitude $-13,71$. Avec cette convention, le terme de longitude s'écrit $4 (L_{loc} - L_{st})$. Pour contrôler le signe, il suffit de vérifier qu'en Guinée le temps solaire obtenu est en retard sur l'heure civile.

L'équation 3 se retourne pour obtenir l'heure civile du midi solaire, en posant $T_s = 720$ minutes :

$$T_{c, \text{midi}} = 720 - E - 4 (L_{st} - L_{loc}) + H_e \quad (4)$$

5.2 Méthode pas à pas

1. Trouver le numéro du jour n (tableau 1).
2. Calculer B (équation 2), puis E (équation 1).
3. Calculer la correction de longitude $4 (L_{st} - L_{loc})$.
4. Convertir l'heure civile en minutes depuis minuit : 10h30 donne 630.
5. Appliquer l'équation 3, puis reconvertir en heures et minutes.

6 Exemples guinéens

6.1 Conakry, le 15 mars à midi

Temps solaire à Kaloum le 15 mars à 12h00

Kaloum, à Conakry, est à $L_{loc} = 13,712^\circ$ Ouest dans le référentiel des localités du RDS, et à UTC+0 ($L_{st} = 0$). Le 15 mars correspond à $n = 74$, et 12h00 à $T_c = 720$ min.

L'angle B vaut $73 \times 360/365 = 72,00^\circ$, soit 1,2566 rad. Avec $\cos B = 0,3090$, $\sin B = 0,9511$, $\cos 2B = -0,8090$ et $\sin 2B = 0,5878$, le terme entre crochets de l'équation 1 vaut

$$0,0075 + 0,1868 \times 0,3090 - 3,2077 \times 0,9511 \\ - 1,4615 \times (-0,8090) - 4,089 \times 0,5878 = -4,2066$$

d'où $E = 2,2918 \times (-4,2066) = -9,64$ min.

La correction de longitude vaut $4(0 - 13,712) = -54,85$ min, et le temps solaire

$$T_s = 720 - 9,64 - 54,85 = 655,5 \text{ min,}$$

soit 10h56.

À midi à la montre, le Soleil a encore 64 minutes de course avant de passer au méridien. L'équation 4 donne le midi solaire civil du jour : $720 + 9,64 + 54,85 = 784,5$ min, soit 13h04.

6.2 Kankan, le midi solaire au fil de l'année

Heure civile du midi solaire à Kankan

La station de mesure de Kankan est à $L_{loc} = 9,305^\circ$ Ouest, à UTC+0. La correction de longitude y est de $4 \times 9,305 = 37,22$ min de retard.

Le 14 février ($n = 45$), $E = -14,27$ min et $T_{c, \text{midi}} = 720 + 14,27 + 37,22 = 771,5$ min, soit 12h51. Le 2 novembre ($n = 306$), $E = +16,39$ min et $T_{c, \text{midi}} = 720 - 16,39 + 37,22 = 740,8$ min, soit 12h21.

Au même endroit, le midi solaire se déplace de 31 minutes entre la mi-février et le début novembre. Un relevé d'irradiance « à midi solaire » programmé à heure fixe tout au long de l'année manquerait sa cible de plus d'un quart d'heure pendant plusieurs mois.

6.3 Nzérékoré, planifier un relevé au midi solaire

Relevé d'ombrage le 21 juin à Nzérékoré

Un technicien doit photographier l'ombre portée d'un bâtiment voisin sur un toit au moment où le Soleil est au plus haut, le 21 juin ($n = 172$).

Nzérékoré est à $8,822^\circ$ Ouest : correction de $4 \times 8,822 = 35,29$ min. Le 21 juin, $E = -1,32$ min. $T_{c, \text{midi}} = 720 + 1,32 + 35,29 = 756,6$ min, soit 12h37.

Programmé à 12h00, le relevé aurait lieu 37 minutes avant le passage au méridien, soit environ 9° de rotation terrestre, et l'ombre mesurée serait celle d'une autre heure.

7 À Kankan, le midi calculé et le rayonnement mesuré concordent en saison sèche

Un calcul de temps solaire se vérifie sur une mesure d'irradiance. La station ESMAP/WAPP de Kankan mesure le rayonnement global horizontal (GHI) à la minute avec un pyranomètre de référence. Kuma Science en a tiré deux années de valeurs horaires complètes, du 18 octobre 2021 au 17 octobre 2023, soit 730 jours et 17 520 heures. La figure 3 les montre toutes. Le trait blanc suit le midi solaire calculé par l'équation 4.

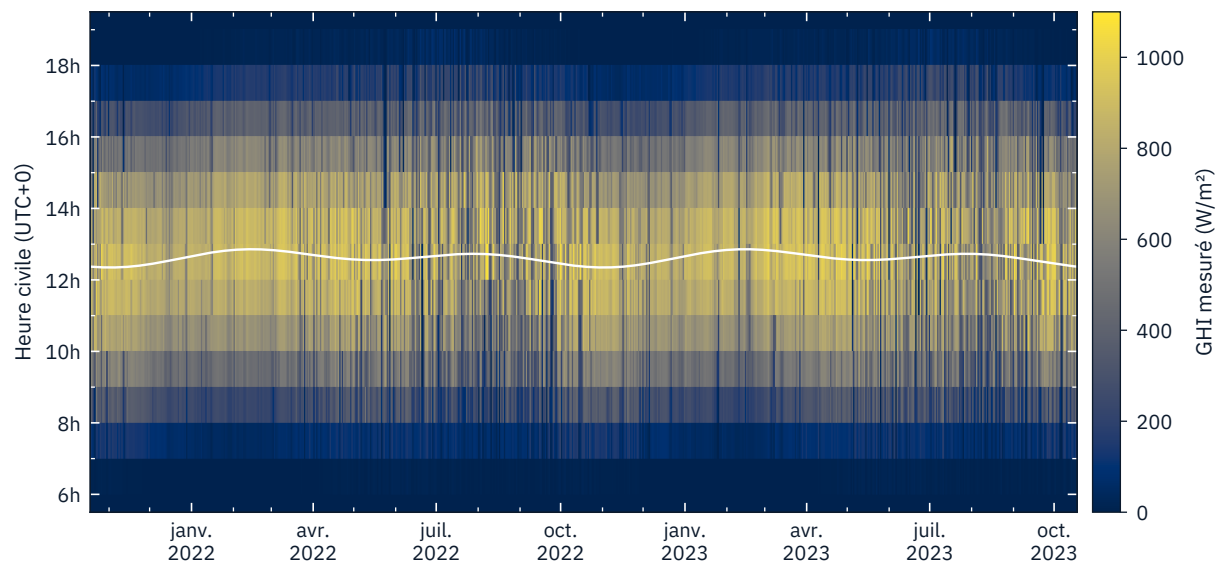


Figure 3 : GHI horaire mesuré à Kankan, heure par heure et jour par jour. Chaque colonne est une journée, chaque bande une heure. Les colonnes sombres au milieu de la journée sont des journées couvertes, plus fréquentes de juin à septembre. Trait blanc : midi solaire calculé. Station ESMAP/WAPP, pyranomètre Kipp & Zonen CMP10, agrégation horaire Kuma Science.

7.1 Lire l'heure sur une courbe de rayonnement

Pour chaque mois, on construit la journée-type moyenne : la moyenne, sur tous les jours du mois, de chaque pas horaire. On cherche ensuite l'heure autour de laquelle cette courbe s'équilibre.

Le réflexe serait de lire l'heure du maximum. Il se prête mal à l'exercice. Le sommet d'une journée-type est plat, les pas sont d'une heure, et quelques après-midi nuageux suffisent à le déplacer. En ré-échantillonnant les jours du mois, on constate que l'heure du maximum reste incertaine de ± 6 minutes en janvier, et de plus d'une demi-heure en juillet et en septembre.

On utilise donc le centre de gravité de la courbe, qui fait travailler toutes les heures du jour :

$$t_g = \frac{\sum_i t_i G_i}{\sum_i G_i} \quad (5)$$

où G_i est le GHI moyen du pas horaire i et t_i l'heure du centre de ce pas. Pour une courbe symétrique autour du midi solaire, t_g tombe sur le midi solaire. Un écart signale une journée-type plus lumineuse d'un côté que de l'autre. L'intervalle à 90 % de t_g s'obtient en tirant 1 000 fois au hasard, avec remise, les jours du mois.

7.2 D'octobre à avril, moins de 3 minutes d'écart

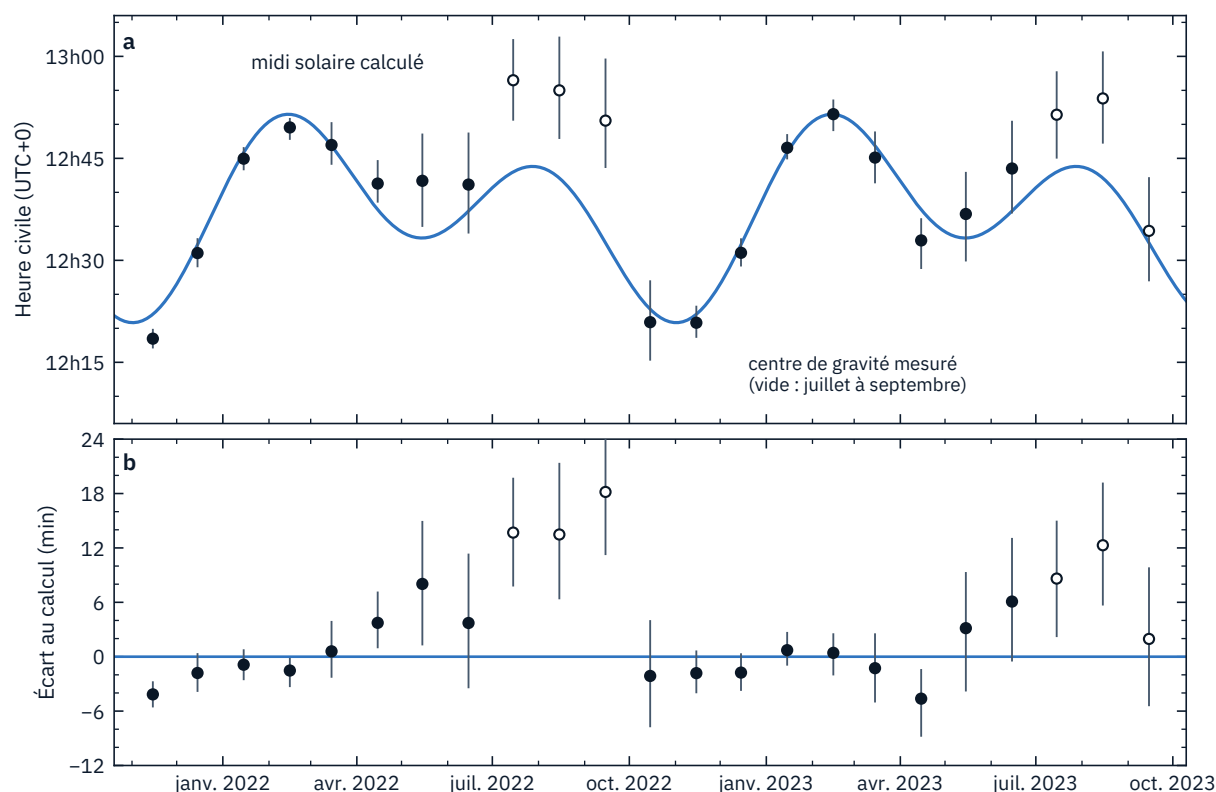


Figure 4 : (a) Centre de gravité de la journée-type de GHI mesuré à Kankan, mois par mois, et midi solaire calculé (courbe). (b) Écart entre les deux. Barres : intervalle à 90 % par ré-échantillonnage des jours. Cercles vides : juillet à septembre. Les mois d'octobre 2021 et d'octobre 2023, incomplets, sont omis.

Midi solaire calculé et centre de gravité mesuré à Kankan

D'octobre à avril, les deux années confondues, le centre de gravité mesuré tombe à moins de 3 minutes du midi solaire calculé, avec un intervalle à 90 % compris entre -5 et +3 minutes. Il suit l'oscillation de l'équation du temps, de 12h20 en novembre à 12h50 en février. En mai et en juin, l'écart passe à +5 minutes. De juillet à septembre, il atteint +10 à +13 minutes, avec un intervalle qui exclut zéro (de +5 à +18 minutes).

Source : station ESMAP/WAPP de Kankan (Banque mondiale), agrégation horaire Kuma Science | Période : oct. 2021 à oct. 2023 | Niveau de confiance **A**

D'octobre à avril, le centre de gravité du rayonnement mesuré concorde donc avec le midi solaire calculé à quelques minutes près. Ce contrôle reste indirect : il porte sur la forme moyenne d'une courbe de rayonnement, pas sur la position du Soleil elle-même, et les nuages peuvent le déplacer. C'est ce qui se produit de juillet à septembre, alors que le Soleil passe toujours au méridien vers 12h43 à Kankan.

7.3 Pourquoi la saison des pluies décale la courbe

La figure 5 compare les journées-types de janvier et d'août. En janvier, la dispersion d'un jour à l'autre est faible et la courbe est presque symétrique autour du midi solaire. En août, la dispersion est forte et les matinées sont plus faibles que les après-midi. À 10h30, le GHI moyen atteint 68 % de son maximum en août, contre 77 % en janvier.

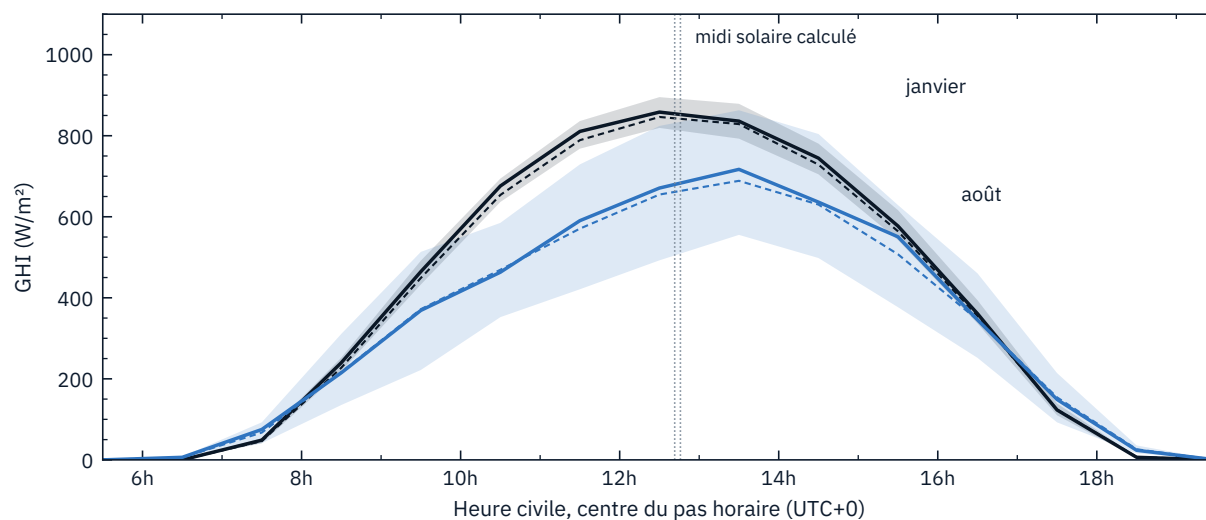


Figure 5 : Journées-types du GHI mesuré à Kankan en janvier et en août (730 jours, deux années confondues). Trait plein : médiane; tirets : moyenne; aplats : du 25^e au 75^e centile des jours. Traits verticaux : midi solaire calculé, 12h46 en janvier et 12h42 en août.

L'explication la plus probable tient à la nébulosité. En Afrique de l'Ouest, pendant la mousson, des nuages bas se forment la nuit et persistent une partie de la matinée avant de se dissiper [4]. Un ciel plus couvert le matin que l'après-midi déplace le centre de gravité de la journée vers l'après-midi. Cette lecture reste une hypothèse. La station ne mesure pas la couverture nuageuse, et deux saisons des pluies ne suffisent pas à la confirmer.

À retenir

Pour comparer une série de rayonnement à un calcul d'heure solaire, utiliser le centre de gravité de la journée-type plutôt que son maximum, et le comparer mois par mois, en séparant la saison sèche de la saison des pluies.

8 Lire l'heure d'une série horaire

Le temps solaire intervient dès qu'on exploite une série horaire de rayonnement. Une valeur horaire résume une heure entière de mesure ou de modèle. Pour la relier à une position du Soleil, il faut savoir quelle heure elle couvre.

Convention d'horodatage du RDS Guinée

L'horodatage `instant_utc` marque le début du pas horaire. La ligne datée 2025-08-10T13:00:00+00:00 contient l'énergie reçue entre 13h00 et 14h00 UTC, en Wh/m². La station de Kankan est agrégée selon la même convention. D'autres sources horodatent au milieu ou à la fin du pas. La convention se vérifie donc dans la documentation de chaque jeu de données avant tout calcul.



Figure 6 : À Kaloum, le pas horaire horodaté 12:00 couvre 12h00 à 13h00 en heure civile, soit environ 11h05 à 12h05 en temps solaire moyen. Son centre tombe vers 11h35 solaire, à 25 minutes du midi solaire.

Erreur fréquente : l'instant du calcul

Calculer la position du Soleil à l'instant de l'horodatage (12h00) plutôt qu'au centre du pas (12h30) décale tous les angles d'une demi-heure, soit 7,5° de rotation terrestre. Aux heures proches du lever et du coucher, l'erreur sur l'angle d'incidence devient importante, et la transposition vers le plan des modules (guide 5) en hérite.

En pratique

Avec `pandas`, on décale l'index d'une demi-heure avant de calculer la position du Soleil : `index_centre = df.index + pd.Timedelta(minutes=30)`. Les coordonnées des 34 localités du RDS se trouvent dans le fichier `data/localites.csv` du référentiel, en degrés décimaux, longitudes négatives à l'ouest.

9 Guinée et Afrique de l'Ouest

Le tableau 2 donne le midi solaire civil de onze chefs-lieux guinéens, de l'ouest vers l'est. La moyenne annuelle ne dépend que de la longitude, parce que l'équation du temps a une moyenne quasi nulle sur l'année. Les extrêmes tombent vers le 2 novembre et le 14 février.

À l'échelle de la sous-région, les choix de fuseau horaire produisent des écarts plus grands encore (tableau 3). Les pays côtiers de l'ouest vivent à UTC+0 alors que leur longitude les placerait à UTC-1. Le Bénin, le Niger et le Nigeria, à UTC+1, ont un méridien standard très à l'est de leurs capitales. Lomé est un des rares cas où le Soleil passe au méridien avant midi.

Localité	Longitude	Retard moyen	Midi solaire moyen	Plage annuelle
Boké	14,29° O	57 min	12h57	12h41 à 13h11
Boffa	14,03° O	56 min	12h56	12h40 à 13h10
Kaloum	13,71° O	55 min	12h55	12h38 à 13h09
Kindia	12,85° O	51 min	12h51	12h35 à 13h06
Labé	12,28° O	49 min	12h49	12h33 à 13h03
Mamou	12,08° O	48 min	12h48	12h32 à 13h03
Faranah	10,73° O	43 min	12h43	12h27 à 12h57
Kankan	9,30° O	37 min	12h37	12h21 à 12h51
Siguiri	9,16° O	37 min	12h37	12h20 à 12h51
Nzérékoré	8,82° O	35 min	12h35	12h19 à 12h50
Lola	8,53° O	34 min	12h34	12h18 à 12h48

Table 2 : Midi solaire en heure civile (UTC+0) de chefs-lieux guinéens. Coordonnées : référentiel des localités du RDS Guinée 2.0.1. Calcul : équations 1 et 4.

Ville	Longitude	Fuseau	Retard moyen du midi solaire
Dakar	17,44° O	UTC+0	70 min
Banjul	16,58° O	UTC+0	66 min
Nouakchott	15,98° O	UTC+0	64 min
Bissau	15,60° O	UTC+0	62 min
Conakry	13,71° O	UTC+0	55 min
Freetown	13,23° O	UTC+0	53 min
Monrovia	10,80° O	UTC+0	43 min
Bamako	8,00° O	UTC+0	32 min
Abidjan	4,01° O	UTC+0	16 min
Ouagadougou	1,53° O	UTC+0	6 min
Accra	0,19° O	UTC+0	1 min
Lomé	1,22° E	UTC+0	-5 min
Niamey	2,11° E	UTC+1	52 min
Cotonou	2,39° E	UTC+1	50 min
Lagos	3,38° E	UTC+1	46 min

Table 3 : Retard moyen du midi solaire sur 12h00 civil dans des villes d'Afrique de l'Ouest (correction de longitude seule). Une valeur négative indique un midi solaire avant 12h00.

10 Exercices

Exercice 1 (lecture)

Boké et Lola sont à la même heure légale. Dans laquelle des deux villes le Soleil passe-t-il au méridien en premier, et avec combien de minutes d'avance ?

Corrigé

À Lola, plus à l'est. L'écart de longitude est de $14,29 - 8,53 = 5,76^\circ$, soit $4 \times 5,76 = 23$ minutes, quelle

que soit la date, puisque l'équation du temps est la même dans les deux villes.

Exercice 2 (application)

Calculer l'heure civile du midi solaire à Labé ($12,283^\circ$ Ouest) le 2 novembre ($E = +16,39$ min).

Corrigé

On applique l'équation 4. En Guinée, $L_{st} = 0$ (UTC+0) et $H_e = 0$; Labé est à l'ouest, donc $L_{loc} = 12,283$.

Étape 1, le terme de longitude : $4 \times (0 - 12,283) = -49,13$ min.

Étape 2, l'heure du midi : $T_{c, \text{midi}} = 720 - 16,39 - (-49,13) = 752,74$ min.

Étape 3, la conversion : $752,74 = 12 \times 60 + 32,74$, soit 12h33 civile, arrondie à la minute.

Exercice 3 (application)

À Siguiri ($9,164^\circ$ Ouest), un relevé est fait le 14 février à 12h00 civile ($E = -14,27$ min). Quelle est l'heure solaire du relevé ?

Corrigé

On applique l'équation 3 avec $T_c = 12 \times 60 = 720$ min, $E = -14,27$ min, $L_{st} = 0$, $L_{loc} = 9,164$ et $H_e = 0$.

Étape 1, le terme de longitude : $4 \times (0 - 9,164) = -36,66$ min.

Étape 2, le temps solaire : $T_s = 720 + (-14,27) + (-36,66) = 669,07$ min.

Étape 3, la conversion : $669,07 = 11 \times 60 + 9,07$, soit 11h09 solaire. Le midi solaire (720 min) est encore $720 - 669 = 51$ minutes plus tard.

Exercice 4 (données)

Une ligne de la série horaire de la station de Kankan ($9,305^\circ$ Ouest) est horodatée 2025-08-10T13:00:00+00:00. Le 10 août ($n = 222$), $E = -5,70$ min. Quel intervalle de temps solaire couvre-t-elle, et contient-il le midi solaire ?

Corrigé

Étape 1, l'intervalle civil. L'horodatage marque le début du pas (section 8) : la ligne couvre 13h00 à 14h00 UTC, donc 13h00 à 14h00 civil en Guinée. Le début vaut $T_c = 13 \times 60 = 780$ min.

Étape 2, le début en temps solaire. Terme de longitude : $4 \times (0 - 9,305) = -37,22$ min. D'où $T_s = 780 - 5,70 - 37,22 = 737,08$ min, soit 12h17 solaire.

Étape 3, la fin et le centre. Le pas dure 60 minutes : il va de 12h17 à 13h17 solaire, centre 12h47.

Étape 4, le midi solaire. Il tombe à 12h00 solaire, avant le début du pas : l'intervalle ne le contient pas. Avec l'équation 4, le midi solaire de Kankan ce jour-là tombe à $720 + 5,70 + 37,22 = 762,9$ min, soit 12h43 civile : il est dans le pas précédent, horodaté 12:00.

Exercice 5 (Python)

À partir du fichier data/localites.csv du RDS Guinée, calculer le midi solaire civil moyen des 34 localités. Lesquelles ont le plus précoce et le plus tardif ?

Corrigé

Le midi solaire moyen vaut $720 - 4L$ minutes, avec L la longitude du fichier (négative à l'ouest). Le plus précoce est à Lola (12h34), le plus tardif à Boké (12h57).

Exercice 6 (pour aller plus loin)

Refaire l'analyse de la section 7 avec la série horaire NASA POWER de Kankan publiée dans le RDS (2001 à 2025, confiance $\boxed{B}$). Le décalage vers l'après-midi en saison des pluies apparaît-il aussi dans la série modélisée ? Sur combien d'années peut-on le mesurer ? Utiliser le centre de gravité (équation 5).

Corrigé

Question ouverte. Pour une comparaison juste, restreindre d'abord la série à la période de la station (octobre 2021 à octobre 2023), puis étendre à 2001-2025. Un écart entre la mesure et le modèle indiquerait que le cycle diurne des nuages y est mal représenté.

11 Résumé

1. $T_s = T_c + E + 4(L_{st} - L_{loc}) - H_e$: la longitude donne une correction fixe, l'équation du temps une correction qui dépend de la date.
2. En Guinée, le midi solaire tombe entre 12h18 et 13h11 selon le lieu et la date.
3. Une valeur horaire se rattache au centre de son pas, selon la convention d'horodatage de sa source.

Le guide 2 part du temps solaire pour calculer la hauteur et l'azimut du Soleil à chaque instant, et les heures de lever et de coucher.

Références

- [1] J. A. Duffie, W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4^e édition, Wiley, 2013, chapitre 1.
- [2] J. W. Spencer, « Fourier series representation of the position of the Sun », *Search*, vol. 2, n° 5, p. 172, 1971.
- [3] D. W. Hughes, B. D. Yallop, C. Y. Hohenkerk, « The equation of time », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 238, p. 1529-1535, 1989.
- [4] P. Knippertz, A. H. Fink, R. Schuster, J. Trentmann, J. M. Schrage, C. Yorke, « Ultra-low clouds over the southern West African monsoon region », *Geophysical Research Letters*, vol. 38, L21808, 2011.
- [5] Kuma Science, *Référentiel de données solaires de la Guinée (RDS)*, version 2.0.1, 2026, licence CC BY 4.0. [doi:10.5281/zenodo.21051754](https://doi.org/10.5281/zenodo.21051754).
- [6] World Bank, ESMAP, WAPP, *Solar resource measurement campaign in West Africa*, station de Kankan (Guinée), 2021-2023, licence CC BY 4.0. <https://energydata.info>.
- [7] W. F. Holmgren, C. W. Hansen, M. A. Mikofski, « pvlib python : a python package for modeling solar energy systems », *Journal of Open Source Software*, vol. 3, n° 29, 884, 2018.



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.