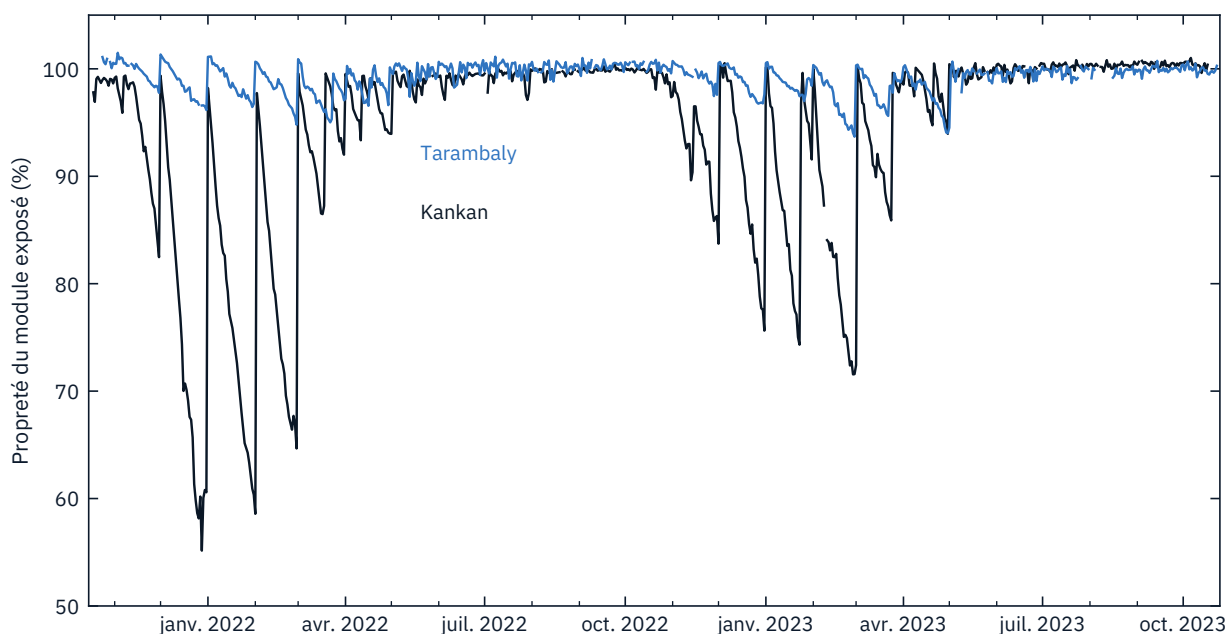




Le productible

Du rayonnement du plan aux kilowattheures, avec la température et l'encrassement mesurés à Kankan et à Tarambaly



Propreté journalière du module laissé à la poussière, rapportée à celle du module nettoyé chaque jour, à Kankan et à Tarambaly, d'octobre 2021 à octobre 2023. Section 4.

Siba Kalivogui

Ingénieur efficacité énergétique

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

Données : ESMAP/WAPP Kankan et Tarambaly

kumascience.com

Un module à 63 °C

Le 5 avril 2022, à Kankan, le ciel est clair toute la journée. À 12h51, la face arrière du petit module installé sur la station atteint 62,9°C, pour un air à 37,3°C et un éclairement du plan de 912 W/m². À cette température, un module de silicium perd environ 14 % de sa puissance par rapport aux conditions de laboratoire qui définissent sa puissance crête. Sur la journée, la perte due à la chaleur atteint 10,5 % de l'énergie. Deux ans de mesures à Kankan et à Tarambaly permettent de chiffrer cette perte sur l'année, puis de la comparer à celle due à la poussière (figure 1, section 2).

Ce guide suppose acquis les guides 1 à 5. Données : stations ESMAP/WAPP de Kankan et de Tarambaly [8], mesures à la minute d'octobre 2021 à octobre 2023, niveau de confiance **A**; NASA POWER par le RDS Guinée 2.0.1 [9], niveau **B**. Calculs avec pvlib [7]. Notations et unités : guide 0, section 9. Licence CC BY-NC-SA 4.0.

Table des matières

1	Puissance crête, heures équivalentes et ratio de performance	3
2	La température des modules	3
3	La perte thermique sur l'année	5
4	L'encrassement	7
5	Le ratio de performance reconstitué	8
6	Pré-dimensionner au mois défavorable	9
7	Exercices	10
8	Résumé	11
	Références	12

1 Puissance crête, heures équivalentes et ratio de performance

Puissance crête

La puissance d'un module est mesurée en laboratoire sous un éclairage de 1 000 W/m², un spectre de masse d'air 1,5 (guide 3) et une température de cellule de 25°C. Ce sont les conditions standard de test (STC). La puissance obtenue s'exprime en watts-crête (Wc). Les prix, les rendements de chantier et les productibles se rapportent au kilowatt-crête (kWc).

Le rayonnement reçu en un jour par le plan des modules, H_T en kWh/m² (l'éclairement G_T du guide 5 cumulé sur la journée ; sur l'année, la même notation désigne le cumul annuel), rapporté à l'éclairement STC de 1 kW/m², donne un nombre d'heures équivalentes :

$$HEP = \frac{H_T \text{ [kWh/m}^2\text{]}}{1 \text{ [kW/m}^2\text{]}} \quad [\text{h/j}] \quad (1)$$

Le calcul se fait sur le plan des modules. À Kankan, le plan de 14° au sud reçoit 2 025 kWh/m² par an, soit 5,54 h/j, contre 1 982 kWh/m² pour l'horizontale (+2,2 %, minutes des jours complets et modèle de Perez ; le guide 5, sur moyennes horaires, trouve +1,9 % à 10° et +2,1 % à 15°). L'énergie produite s'écrit

$$E = P_c \times H_T \times PR \quad (2)$$

où P_c est la puissance crête en kWc et PR le ratio de performance défini par la norme CEI 61724-1 [1] comme le rapport entre l'énergie produite et celle qu'un champ idéal, toujours à 25°C et sans perte, tirerait du même rayonnement. Le productible spécifique E/P_c s'exprime en kWh/kWc.

Le PR regroupe des pertes de natures différentes. Les sections 2 à 5 chiffrent, à partir des mesures, les postes qui dépendent du site et du climat. Les autres postes (onduleur, câbles, disparités entre modules, disponibilité) dépendent du matériel et de l'exploitation ; ce guide les prend comme hypothèses.

2 En plein soleil, la face arrière des modules d'essai dépasse l'air de 18 à 24 K

2.1 Ce que mesurent les stations

Chaque station porte deux petits modules monocristallins de 30 W (Phaesun Sun Plus 30 S), inclinés vers le sud à 14° à Kankan et à 15° à Tarambaly selon les rapports de mesure [8]. Une sonde collée sur la face arrière de chacun enregistre sa température à la minute. Les modules servent à mesurer l'encrassement (section 4) ; le rapport de mesure réserve leurs signaux d'éclairement à cet usage (guide 5), alors que la température de leur face arrière est une mesure directe. Ils travaillent en court-circuit et ne livrent pas d'énergie. Toute la lumière absorbée finit en chaleur, alors qu'un module en production en convertit environ 20 % en électricité ; à l'inverse, un petit module se refroidit mieux par ses bords qu'un grand module de 2 m². Les deux effets jouent en sens contraires et l'analyse ne les sépare pas. Les mesures donnent un ordre de grandeur et une méthode ; elles ne calibrent pas un module de champ.

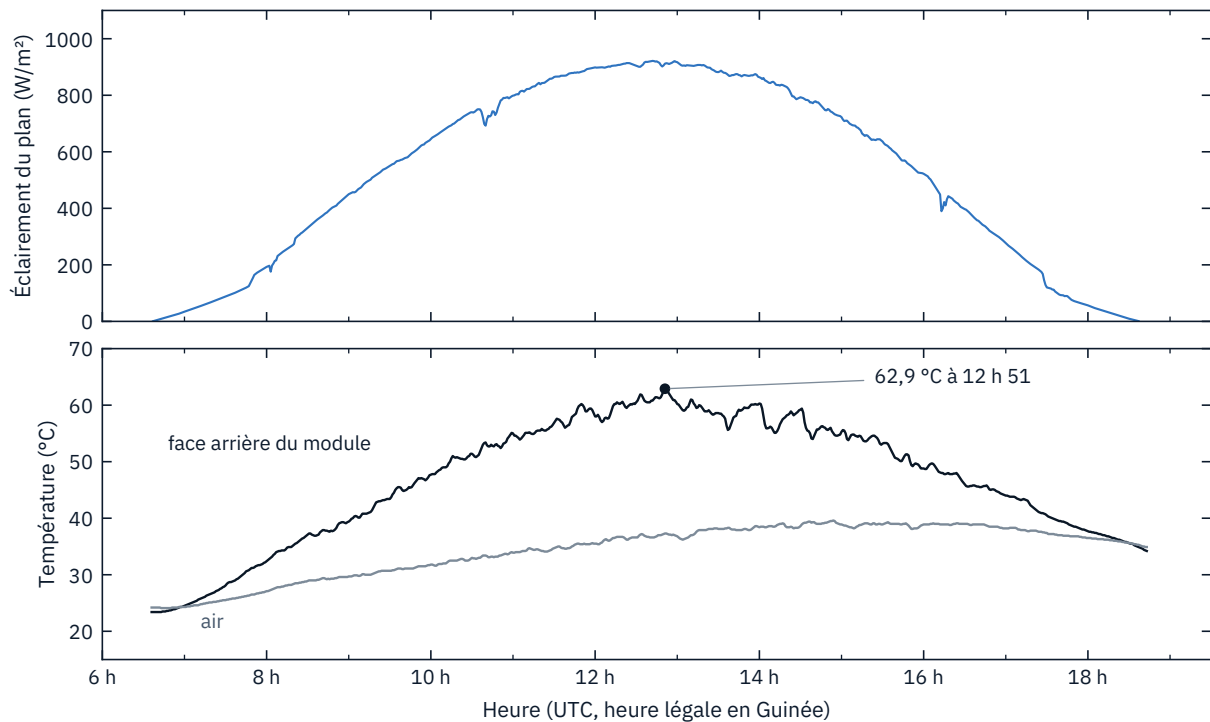


Figure 1 : Kankan, 5 avril 2022 : éclairement du plan des modules (14° au sud, calculé à partir des composantes mesurées) et températures de l'air et de la face arrière du module d'essai, à la minute.

Pour éviter l'inertie thermique, on ne garde que les pas de 10 minutes où l'éclairement du plan dépasse 400 W/m^2 et varie de moins de 2 % dans le pas et de moins de 5 % par rapport au pas précédent. Il en reste 7 635 à Kankan et 7 909 à Tarambaly, avec un éclairement moyen de 883 et 919 W/m^2 .

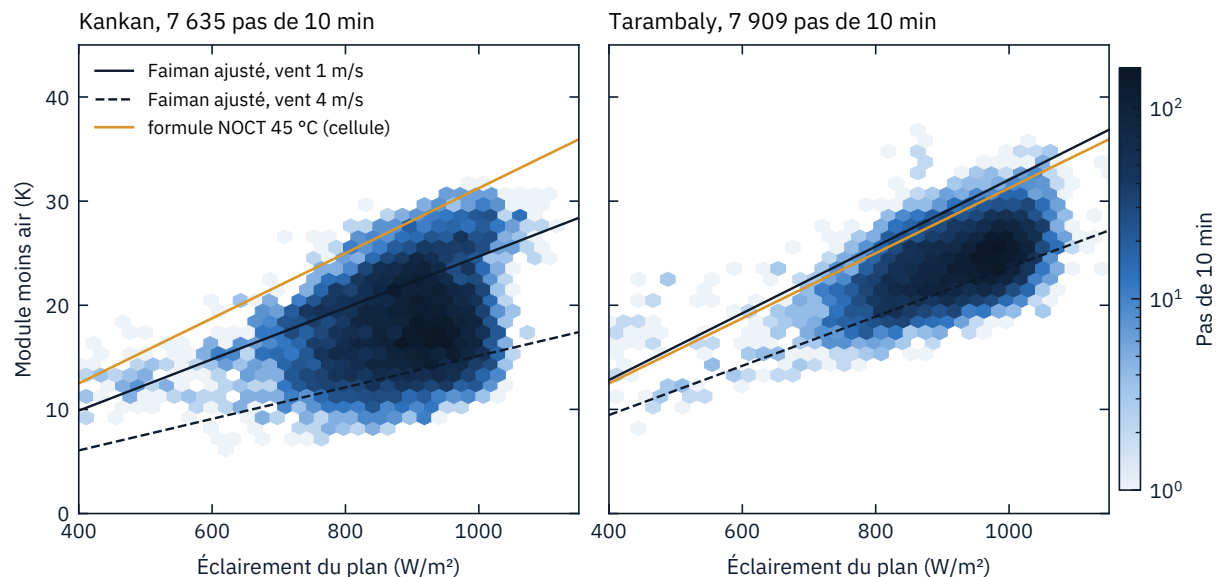


Figure 2 : Écart entre la face arrière du module d'essai et l'air, en conditions stables, en fonction de l'éclairement du plan. Droites : modèle de Faiman ajusté à chaque station pour un vent de 1 et 4 m/s (mesuré à 10 m), et formule NOCT à 45°C .

2.2 Trois modèles face aux mesures

La formule NOCT, employée par le Core pour la correction thermique, donne la température de cellule à partir de la seule température de l'air :

$$T_{\text{cell}} = T_a + \frac{\text{NOCT} - 20}{800} G_T \quad (3)$$

Le modèle de Faiman [2], repris par la norme CEI 61853, ajoute le vent v :

$$T_m = T_a + \frac{G_T}{u_0 + u_1 v} \quad (4)$$

Le logiciel PVsyst emploie une forme voisine, avec un coefficient d'échange U_c qui dépend de la pose : 29 W/m²/K pour un champ au sol ventilé, 20 pour une toiture ventilée, 15 pour des modules intégrés au toit [3].

Température de face arrière, mesures et modèles

Écart moyen entre module et air : 18,3 K à Kankan (vent moyen 2,0 m/s) et 23,9 K à Tarambaly (3,0 m/s). La formule NOCT à 45°C dépasse la température mesurée de 9,3 K en moyenne à Kankan (écart quadratique 10,3 K) et de 4,8 K à Tarambaly (5,5 K) ; l'écart entre cellule et face arrière, environ 3 K à 1 000 W/m² [4], n'en explique qu'une partie. Le modèle de Faiman avec ses coefficients d'origine (25 et 6,84) s'écarte de +4,8 K et de -3,5 K. Ajusté à chaque station, il donne $u_0 = 32,0$ et $u_1 = 8,5$ à Kankan, $u_0 = 27,5$ et $u_1 = 3,7$ à Tarambaly, pour un écart quadratique de 3,6 et 1,7 K.

Source : fichiers ESMAP/WAPP, pas de 10 min stables | Période : oct. 2021 à oct. 2023 | Niveau de confiance **A**

Le vent compte. Entre 800 et 1 000 W/m², l'écart module-air passe à Kankan de 23,0 K par vent inférieur à 1 m/s à 10,7 K entre 4 et 6 m/s, et à Tarambaly de 29,7 à 21,1 K. Les deux stations, équipées du même matériel, n'ont pas les mêmes coefficients. L'exposition au vent du mât et du support, ou la pose des sondes, peuvent l'expliquer ; l'analyse ne permet pas de trancher. La pose des sondes pèse de quelques kelvins. Les deux modules identiques posés côte à côte diffèrent en moyenne de 1,2 K à Kankan et de 3,2 K à Tarambaly.

Erreur fréquente : la hauteur du vent

Les coefficients ajustés ici sont liés au vent mesuré à 10 m. Ils s'emploient avec un vent à 10 m, comme le paramètre `vent_10m` de NASA POWER dans le RDS, et non avec un vent à 2 m.

3 Pondérée par l'énergie, la perte thermique annuelle va de 8 à 14 % selon la pose

La puissance d'un module baisse linéairement avec la température de cellule, selon le coefficient γ_P de sa fiche technique. Ce guide prend $\gamma_P = -0,35$ %/K, valeur courante des modules monocristallins actuels. La perte sur une période se calcule en pondérant chaque instant par l'énergie reçue :

$$L_T = -\gamma_P \frac{\sum G_T (T_{\text{cell}} - 25)}{\sum G_T} \quad (5)$$

Les instants de plein soleil comptent donc davantage que les matins frais. À Kankan, 44 % de l'énergie du plan arrive sous plus de 800 W/m².

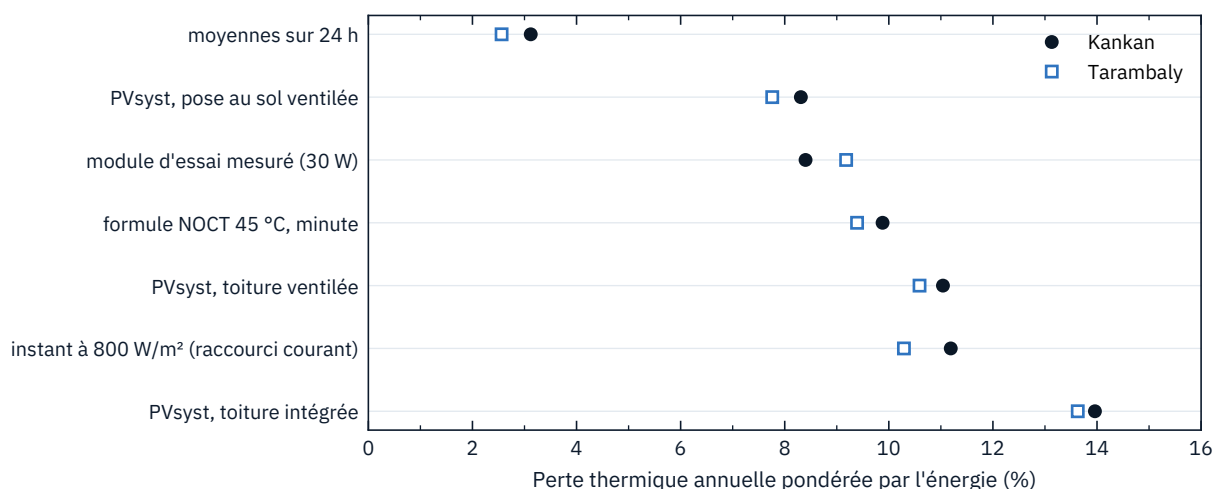


Figure 3 : Perte thermique annuelle, équation 5, $\gamma_P = -0,35 \text{ \%}/\text{K}$, calculée à la minute avec l'éclairement du plan et la température de l'air mesurés; « moyennes sur 24 h » applique la formule NOCT à l'éclairement et à la température moyens de chaque jour; « instant à 800 W/m² » est une valeur instantanée avec l'air moyen de 10h à 16h.

Perte thermique annuelle, modèles appliqués aux mesures

Avec la pose au sol ventilée de PVsyst : 8,3 % à Kankan et 7,8 % à Tarambaly (absorption 0,9, rendement 20 %); toiture ventilée : 11,0 et 10,6 %; toiture intégrée : 14,0 et 13,6 %. Le module d'essai mesuré, cellule estimée à la face arrière plus 3 K à 1 000 W/m², donne 8,4 et 9,2 %. La formule NOCT appliquée minute par minute donne 9,9 et 9,4 %. Appliquée aux moyennes journalières sur 24 h, elle ne donne plus que 3,1 et 2,6 %. À Kankan, la perte mensuelle au sol ventilé va de 6,6 % en juillet à 9,6 % en mars.

Source : fichiers ESMAP/WAPP, minutes des jours complets | Période : oct. 2021 à oct. 2023 | Niveau de confiance **A**

Entre la pose au sol et la toiture intégrée, la perte thermique varie de 5,7 points à Kankan, une dizaine de fois l'écart entre Kankan et Tarambaly pour une même pose. À Tarambaly, l'air est plus frais de 2,6 K en moyenne de 10h à 16h, mais l'éclairement y est plus élevé et le module d'essai s'y chauffe davantage au-dessus de l'air (section 2).

Erreur fréquente : la mauvaise moyenne

Deux raccourcis faussent la perte thermique. La perte instantanée à 800 W/m² en plein après-midi (11,2 % à Kankan) décrit les heures chaudes, pas l'année. À l'inverse, une irradiance moyenne sur 24 h (environ 230 W/m² à Kankan) divise la perte par trois. C'est le cas du calcul journalier de la correction thermique du Core; son mode `integration_horaire` évite ce biais.

4 À Kankan, un mois de saison sèche sans nettoyage retire jusqu'à 45 % de l'éclairement

Des deux modules d'essai, le premier est nettoyé presque chaque jour par l'agent de la station ; le second n'est nettoyé qu'une fois par mois, ou par la pluie. Le rapport de leurs éclairements, pris entre 10h et 14h environ quand le plan reçoit plus de 500 W/m², donne la propreté du second. On la rapporte à sa valeur médiane de juillet à septembre, saison où l'exploitant ne mesure aucun encrassement [8]. D'un jour à l'autre en saison des pluies, cette propreté fluctue de 0,6 % (écart-type) à Kankan.

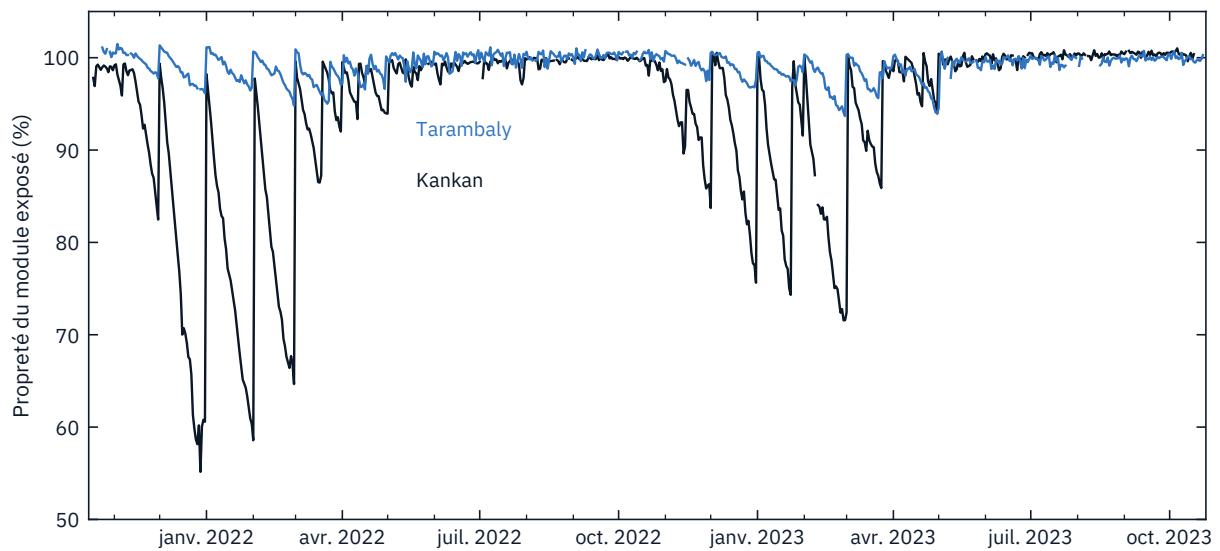


Figure 4 : Propreté journalière du module laissé à la poussière, en % de celle du module nettoyé chaque jour. Chaque remontée brusque correspond à un nettoyage mensuel ou à une pluie.

Encrassement du module d'essai

À Kankan, la propreté descend jusqu'à 55,2 % le 28 décembre 2021, avant le nettoyage mensuel. Avec ce rythme de nettoyage, la perte d'énergie atteint 17,5 % en décembre, 16,8 % en janvier et 19,5 % en février, et 6,4 % sur l'année. À Tarambaly, la propreté ne descend pas sous 93,7 %, et la perte annuelle est de 0,9 %. L'exploitant publie un taux moyen d'encrassement de 0,50 %/jour à Kankan et de 0,11 %/jour à Tarambaly, avec des mois à plus de 1 %/jour à Kankan de décembre à février.

Source : fichiers ESMAP/WAPP (ModA, ModB) ; rapports CSP Services | Période : oct. 2021 à oct. 2023 | Niveau de confiance **A**

La poussière s'accumule à peu près linéairement entre deux nettoyages [5]. Pour un taux r en %/jour et un nettoyage tous les N jours, la perte moyenne vaut environ

$$L_S \approx r \frac{N-1}{2} \quad (6)$$

Avec les taux mensuels publiés, la formule donne 7,9 % sur l'année à Kankan pour un nettoyage mensuel, contre 6,4 % observés. Elle surestime un peu ; la pluie, qui nettoie parfois avant la date prévue, et une accumulation plus lente sur un module déjà sale pourraient l'expliquer. Pour un nettoyage tous les 14 jours, elle donne 3,5 % ; pour un nettoyage hebdomadaire, 1,6 %.

Ces chiffres valent pour un module de 30 W, incliné à 14°, posé près du sol dans l'enceinte de la station. La nature de la poussière, sa source (harmattan ou sol local) et l'effet de la hauteur de pose ne sont pas isolés par ces mesures. L'écart entre Kankan et Tarambaly montre surtout qu'un taux d'encrassement ne se transpose pas d'un site à l'autre.

En pratique

À Kankan, le nettoyage de novembre à mars est un poste d'exploitation à prévoir dès la conception, avec l'accès à l'eau et au champ qu'il suppose. Pour un autre site, une mesure d'encrassement sur une saison sèche vaut mieux qu'un taux emprunté ailleurs. Le Core fournit un indicateur d'encrassement modélisé à partir des particules fines et de la pluie (confiance **B**) ; il n'a pas encore été confronté à ces mesures.

5 À Kankan, le ratio de performance reconstitué va de 0,72 à 0,80 selon la pose et le nettoyage

Aucun champ photovoltaïque n'est mesuré sur les stations. Le ratio de performance de cette section est reconstitué pour des scénarios de pose et de nettoyage, à partir des pertes calculées ou observées ; il ne remplace pas la mesure d'un champ en service. Le tableau 1 assemble les postes. Les pertes optiques viennent de la réflexion sur le verre quand la lumière arrive de biais ; calculées avec le modèle de Fresnel de pvlib sur les composantes mesurées, elles valent 3,0 % à Kankan et 2,9 % à Tarambaly. Les autres postes sont des hypothèses courantes : onduleur 2,5 %, câbles 2 %, disparités 1,5 %, faible éclaircissement 1,5 %, indisponibilité 1 %, soit un facteur de 0,918.

Nettoyage	Kankan		Tarambaly	
	hebdomadaire	mensuel	hebdomadaire	mensuel
Température (sol ventilé, modèle)	8,3 %	8,3 %	7,8 %	7,8 %
Optique (modèle)	3,0 %	3,0 %	2,9 %	2,9 %
Encrassement (estimé / observé)	1,6 %	6,4 %	0,4 %	0,9 %
Autres (hypothèses)	8,2 %	8,2 %	8,2 %	8,2 %
<i>PR</i>	0,803	0,764	0,819	0,815
Productible (kWh/kWc/an)	1 627	1 548	1 705	1 696

Table 1 : Ratio de performance reconstitué d'un champ au sol ventilé, sur le plan des modules des stations. Température : modèle PVsyst appliqué à l'éclaircissement et à la température de l'air mesurés. Optique : modèle de Fresnel appliqué aux composantes mesurées. Encrassement mensuel : observé sur le module d'essai ; hebdomadaire : estimé par l'équation 6. Autres postes : hypothèses (confiance C). Les pertes se multiplient mois par mois. Ces valeurs décrivent des scénarios ; elles ne proviennent pas de la mesure d'un champ.

En toiture intégrée avec nettoyage mensuel, le *PR* tombe à 0,718 à Kankan et 0,763 à Tarambaly, pour 1 453 et 1 588 kWh/kWc/an. À Kankan, selon la pose et le nettoyage, le productible va donc de 1 453 à 1 627 kWh/kWc/an, soit 12 % d'écart. D'une année de mesure à l'autre, le rayonnement du plan a varié de 0,3 % à Kankan et de 1,7 % à Tarambaly ; deux années ne suffisent pas à décrire la variabilité interannuelle, qui relève du guide 7.

5.1 Deux conventions à ne pas confondre

Deux valeurs de PR circulent dans les outils de Kuma Science. La version précédente de ce guide retenait 0,75 pour le pré-dimensionnement. Le Core publie un productible spécifique théorique égal au GHI horizontal de NASA POWER multiplié par 0,80, pour comparer les localités entre elles et avec les outils du marché. Sur les mêmes jours, le GHI de NASA POWER dépasse celui de la station de 2,7 % à Kankan (716 jours complets; 2,8 % sur les 730 jours du guide 3), et l'indicateur vaut 1 629 kWh/kWc/an, proche du meilleur cas du tableau 1. Cette proximité tient à des compensations, avec un GHI de NASA POWER un peu élevé, le plan incliné non compté (+2,2 %) et un PR qui ignore l'encrassement local. L'indicateur sert à comparer des sites; pour une installation donnée, on reconstruit le PR poste par poste avec la pose et le plan de nettoyage prévus. Le PR réaliste du Core suit cette logique [6]. Il part d'un PR de référence hors température et hors encrassement, corrigé ensuite de ces deux postes.

6 Le mois défavorable est août à Kankan et juillet à Tarambaly

Le pré-dimensionnement énergétique d'un système autonome place le champ sur le mois défavorable, en moyenne :

$$P_c = \frac{B_{\text{jour}}}{e_{\text{défav}}} \quad (7)$$

où B_{jour} est le besoin en kWh/j et $e_{\text{défav}}$ le productible spécifique moyen du mois défavorable en kWh/kWc par jour, qui intègre déjà le PR de ce mois. L'équation équilibre l'énergie sur le mois moyen. Elle ne garantit pas la couverture de chaque jour, car la production varie d'un jour à l'autre autour de cette moyenne.

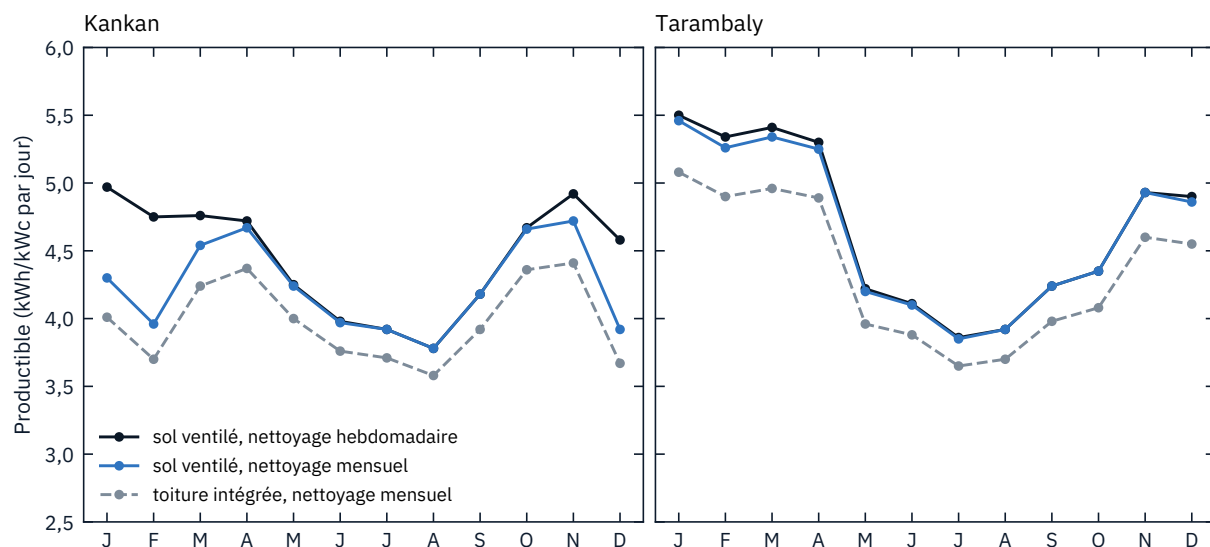


Figure 5 : Productible spécifique moyen par jour, mois par mois, sur le plan des modules des stations, pour trois combinaisons de pose et de nettoyage (pertes du tableau 1).

Un dispensaire à Kankan

Besoin : 6,0 kWh/j (éclairage, réfrigérateur de vaccins, petit matériel). Champ au sol ventilé, nettoyage mensuel. Le mois défavorable est août, avec 3,78 kWh/kWc par jour :

$$P_c = \frac{6,0}{3,78} = 1,59 \text{ kWc}$$

Ce champ couvre le besoin d'août en moyenne, pas chaque jour. Sur les 58 jours d'août des deux années, 48 % produisent moins de 6,0 kWh, et le plus faible 2,49 kWh. En calculant chaque jour avec la propreté observée du module d'essai, le plus fort déficit cumulé atteint 21,5 kWh sur 19 jours, jusqu'au 31 décembre 2021. En fin de cycle de nettoyage, la poussière abaisse la production bien plus que la moyenne mensuelle ne le montre. Pour un réfrigérateur de vaccins, la puissance du champ et la capacité de stockage se vérifient donc ensuite sur une succession de journées défavorables, selon l'autonomie recherchée. En toiture intégrée, août donne 3,58 kWh/kWc par jour et il faut 1,68 kWc. Avec un nettoyage seulement mensuel, février (3,96) n'est plus qu'à 5 % au-dessus d'août ; un nettoyage plus espacé en saison sèche pourrait faire de février le mois défavorable, cas que les mesures ne couvrent pas.

Le mois défavorable reste un mois de mousson malgré une perte thermique plus faible (6,7 % en août à Kankan contre 9,6 % en mars), car la baisse du rayonnement l'emporte. Le plan incliné vers le sud y perd aussi un peu par rapport à l'horizontale (guide 5).

En pratique

L'équation 7 donne une première puissance de champ. Le stockage se dimensionne ensuite sur la consommation de nuit, sur le nombre de jours défavorables consécutifs que l'installation doit tenir et sur la profondeur de décharge admise par les batteries. Champ et stockage se vérifient ensemble par une simulation au pas journalier ou horaire sur plusieurs années de données.

7 Exercices

Exercice 1 (application)

Le plan de 14° au sud reçoit 2 025 kWh/m² par an à Kankan. Calculer les heures équivalentes par jour, puis le productible annuel d'un champ de 1 kWc avec $PR = 0,80$.

Corrigé

Étape 1, l'irradiation moyenne par jour : $2\,025/365,25 = 5,54 \text{ kWh/m}^2$ par jour.

Étape 2, les heures équivalentes (équation 1) : on divise par l'éclairement de référence de 1 kW/m², soit 5,54 h/j.

Étape 3, le productible (équation 2) :

$$E = \frac{1 \text{ kWc} \times 2\,025 \text{ kWh/m}^2 \times 0,80}{1 \text{ kW/m}^2} = 1\,620 \text{ kWh/an pour 1 kWc.}$$

Exercice 2 (application)

Avec le modèle de Faiman ajusté à Kankan ($u_0 = 32,0$, $u_1 = 8,5$), calculer la température du module sous 900 W/m² et un air à 35°C, par vent de 1 m/s puis de 4 m/s. En ajoutant 2,7 K pour passer à la cellule, quelle est la perte de puissance avec $\gamma_P = -0,35 \text{ \%/K}$?

Corrigé

On applique l'équation 4, puis on ajoute 2,7 K.

Vent de 1 m/s. Étape 1, le coefficient : $u_0 + u_1 v = 32,0 + 8,5 \times 1 = 40,5 \text{ W/m}^2/\text{K}$. Étape 2, l'échauffement : $900/40,5 = 22,2 \text{ K}$, donc $T_m = 35 + 22,2 = 57,2^\circ\text{C}$. Étape 3, la cellule : $57,2 + 2,7 = 59,9^\circ\text{C}$. Étape 4, la perte : la cellule est $59,9 - 25 = 34,9 \text{ K}$ au-dessus des conditions standard, et $0,35 \times 34,9 = 12,2 \%$.

Vent de 4 m/s. Coefficient : $32,0 + 8,5 \times 4 = 66,0 \text{ W/m}^2/\text{K}$; échauffement : $900/66,0 = 13,6 \text{ K}$; module : $48,6^\circ\text{C}$; cellule : $51,3^\circ\text{C}$; perte : $0,35 \times 26,3 = 9,2 \%$. Le vent retire trois points de perte.

Exercice 3 (application)

En février 2022, l'exploitant mesure à Kankan un encrassement de 1,25 %/jour. Estimer la perte moyenne pour un nettoyage tous les 10 jours.

Corrigé

On applique l'équation 6 avec $r = 1,25 \text{ \%/jour}$ et $N = 10 \text{ jours}$: $L_S \approx 1,25 \times (10 - 1)/2 = 1,25 \times 4,5 = 5,6 \%$. Le module est propre le jour du nettoyage et perd 11,25 % la veille du suivant; la moyenne sur la période est la moitié de cette perte maximale. D'après la section 4, la formule tend à surestimer un peu.

Exercice 4 (application)

Dimensionner le champ d'un besoin de 6,0 kWh/j à Tarambaly, au sol ventilé avec nettoyage mensuel, sachant que juillet donne 3,85 kWh/kWc par jour.

Corrigé

On applique l'équation 7 au mois défavorable : $P_c = 6,0 \text{ kWh/j} / 3,85 \text{ kWh/kWc/j} = 1,56 \text{ kWc}$, un peu moins qu'à Kankan (1,59 kWc). C'est un pré-dimensionnement. À Tarambaly, ce champ présente un déficit énergétique maximal de 15,6 kWh, cumulé sur 55 jours de saison des pluies jusqu'au 24 septembre 2022, à prendre en compte dans la simulation du stockage.

Exercice 5 (Python)

À partir des mesures à la minute d'une station, calculer la température de cellule par la formule NOCT (équation 3, NOCT de 45°C), puis la perte thermique de l'équation 5. Recommencer avec l'éclairement et la température moyens de chaque jour sur 24 h.

Corrigé

Sur les jours complets de Kankan, la perte vaut 9,9 % minute par minute et 3,1 % avec les moyennes sur 24 h. L'éclairement moyen sur 24 h, environ 230 W/m^2 , efface les heures chaudes où arrive l'essentiel de l'énergie.

8 Résumé

1. Le champ se pré-dimensionne sur le mois défavorable moyen; la couverture de chaque jour se vérifie ensuite, avec le stockage, sur une succession de journées défavorables.
2. Pondérée par l'énergie, la perte thermique annuelle va de 8 % pour un champ au sol ventilé à 14 % pour des modules intégrés au toit, à Kankan comme à Tarambaly.
3. À Kankan, l'encrassement retire 6,4 % de l'énergie annuelle avec un nettoyage mensuel, et 19,5 % en février; à Tarambaly, 0,9 % sur l'année.
4. Le *PR* d'une installation se reconstitue poste par poste; la valeur 0,80 du Core est un indicateur de comparaison entre sites.

Chaque maillon de la chaîne, du rayonnement aux pertes, porte une incertitude. Le guide 7 montre comment les combiner, et comment les dire.

Références

- [1] CEI, *IEC 61724-1 :2021, Photovoltaic system performance, Part 1 : Monitoring*, Commission électrotechnique internationale, 2021.
- [2] D. Faïman, « Assessing the outdoor operating temperature of photovoltaic modules », *Progress in Photovoltaics*, vol. 16, n° 4, p. 307-315, 2008. <https://doi.org/10.1002/pip.813>
- [3] PVSyst SA, *PVSyst 7, aide en ligne*, rubrique « Array thermal losses ». <https://www.pvsyst.com/help/>
- [4] D. L. King, W. E. Boyson, J. A. Kratochvil, *Photovoltaic array performance model*, rapport SAND2004-3535, Sandia National Laboratories, 2004.
- [5] M. Gostein, J. R. Caron, B. Littmann, « Measuring soiling losses at utility-scale PV power plants », *40th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, p. 885-890, 2014.
- [6] T. Dierauf, A. Growitz, S. Kurtz, J. L. B. Cruz, E. Riley, C. Hansen, *Weather-corrected performance ratio*, rapport NREL/TP-5200-57991, 2013.
- [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.
- [8] World Bank, ESMAP, WAPP, *Solar resource measurement campaign in West Africa*, stations de Kankan et de Tarambaly (Guinée), données à la minute, rapports d'installation (2021) et de mesure (2023) de CSP Services, licence CC BY 4.0. <https://energydata.info>
- [9] 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.