

Effet des angles d'inclinaison et d'orientation des capteurs solaires sur leur production : cas des capitales des pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre

Kokouvi Edem N'TSOUKPOE

Laboratoire Énergie Solaire et Économie d'Énergie (LESEE), Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 01 BP 594 Ouagadougou 01, Burkina Faso
edem.ntsoukpoe@2ie-edu.org, n_christedem@yahoo.fr

Avril 2017

Introduction

La production d'un panneau solaire, thermique ou photovoltaïque, varie avec l'angle d'incidence des rayons solaires. Puisque la position du soleil varie dans le ciel tout au long de la journée et de l'année, on aurait besoin de suivre le mouvement journalier et saisonnier du soleil, grâce à un système de suivi solaire, pour collecter le maximum d'énergie. Cela demande la mise en place d'un système de suivi solaire qui peut s'avérer coûteux et pas forcément pratique ni justifiable économiquement, surtout pour les installations de petites tailles. Dans les installations domestiques, a donc ordinairement recours à une installation fixe, ce qui oblige à définir un angle d'inclinaison¹ et une orientation² du panneau. Le choix de ces angles est fait de manière judicieuse, afin d'obtenir la production maximale correspondant à un fonctionnement sans suivi solaire.

En règle générale, pour des installations visant une production annuelle maximale, l'inclinaison donnée au panneau correspond à la valeur angulaire de la latitude³ du lieu d'installation, avec une orientation vers l'Equateur, c'est-à-dire plein Sud pour les localités situées dans l'hémisphère Nord, et une orientation vers le Nord pour les localités situées dans l'hémisphère Sud. En effet, lorsqu'on est dans l'hémisphère Nord, on voit le soleil plus longtemps dans l'hémisphère Sud tout au long de l'année. L'inverse est vrai pour l'hémisphère Sud, le soleil parcourant la même distance de part et d'autre de l'équateur le long de l'année.

A ces recommandations générales, on peut ajouter que pour faciliter l'écoulement de l'eau de pluie et l'évacuation des objets et des poussières qui pourraient se déposer sur le panneau, on prévoit une inclinaison minimale de 5 à 10° pour les panneaux photovoltaïques. Pour les capteurs solaires thermiques fonctionnant par thermosiphon, il faut prévoir au moins 15° pour assister l'effet thermosiphon.

Il faut bien noter que ces recommandations sont dans une optique d'optimisation de la production *annuelle* de l'installation. Le Sud en question n'est pas le Sud magnétique indiquée par une boussole mais le Sud géographique : il faut donc prendre en compte une correction, égale à la déclinaison magnétique. Cependant, actuellement, la déclinaison magnétique n'est pas très importante en Afrique de l'Ouest (environ -2,4° à Ouagadougou, par exemple). S'il s'avère vraiment nécessaire de connaître le Nord géographique (et donc le Sud géographique), on peut facilement calculer la déclinaison magnétique du lieu en utilisant différents calculateurs en ligne et appliquer la relation Nord géographique = Nord magnétique + déclinaison magnétique. Il est aussi possible de repérer le Sud ou le Nord géographique utilisant un cadran solaire.

Cependant, il existe plusieurs situations où il s'avère compliqué, difficile voire impossible de suivre ces recommandations générales. En voici quelques-unes :

- Les surfaces de la toiture du bâtiment devant recevoir les capteurs ne sont pas orientées parfaitement vers le Sud. On peut dans ce cas poser la question : combien est-ce qu'on perd en termes de production si on garde l'orientation des toitures qui est différente du plein Sud? Dans ce cas, l'inclinaison optimale est-elle toujours la latitude ? Les questions sont pareilles pour une configuration où il est impossible d'orienter les capteurs vers le Sud, par exemple lorsque la présence d'un obstacle (arbres, immeubles, etc.) empêche cette orientation (potentiels problèmes d'ombrage).

¹ Inclinaison : angle que fait la surface du panneau avec le plan horizontal ($\beta = 0^\circ$ pour un panneau horizontal, $\beta = 90^\circ$ pour un panneau vertical).

² Orientation : angle que fait la normale à la surface du panneau avec la direction du Sud ($\alpha = 0^\circ$ pour un panneau orienté plein Sud, $\alpha = 90^\circ$ pour un panneau orienté plein Ouest). A noter que chez certains auteurs, l'orientation de l'angle peut être vers l'Est, auquel cas ($\alpha = -90^\circ$ pour un panneau orienté plein Ouest), contrairement à la convention adoptée ici.

³ Ceci est rigoureusement si le ciel est dégagé tout au long de l'année. Plus rigoureusement, la valeur de l'angle pour la production annuelle maximale est très légèrement différente de la latitude dans la région considérée. En pratique, cette différence est sans grande importance.

- Les pentes de la toiture sont différentes de la latitude. Retrouver l'inclinaison de la latitude exigerait, par exemple, la construction d'une structure métallique comme support des panneaux, ce qui engendre des coûts supplémentaires mais aussi peut jouer sur l'esthétique et l'intégration des panneaux dans le bâtiment. Doit-on construire une structure métallique ou intégrer les panneaux à la pente existante? Combien perd-on ce faisant en termes de production? L'orientation optimale est-elle toujours le Sud lorsque la pente est imposée ?
- La toiture est inaccessible et l'architecte décide d'intégrer les panneaux aux façades (verticales). Quelle(s) façade(s) privilégier? Sud? Nord? Est? Ouest?

Pour répondre à ces questions et d'autres questions similaires, nous avons entrepris d'établir un atlas pour les capitales des États d'Afrique de l'Ouest et du Centre situés dans l'hémisphère Nord. Dans cet atlas, on peut retrouver les facteurs de correction à appliquer pour déterminer l'ensoleillement annuel reçu sur le panneau d'une installation lorsqu'on se retrouve à une inclinaison et à une orientation différentes respectivement de la latitude et du Sud. Si on admet que la production solaire est directement proportionnelle à l'ensoleillement reçu sur le panneau solaire – notamment, on ne tient pas compte de l'effet de la température ambiante sur la production – alors il s'agit également facteurs de correction à appliquer pour déterminer la production annuelle de l'installation lorsqu'on se retrouve à une inclinaison et à une orientation différentes respectivement de la latitude et du Sud. Rigoureusement, le rendement et donc la production d'un panneau solaire, photovoltaïque ou thermique, dépend aussi de la température ambiante, ce qui fait que la production maximale d'énergie utile ne correspondrait pas forcément à la collecte maximale du rayonnement. Cependant, cette différence serait en pratique pas très importante pour une production annuelle, sauf pour des cas particuliers.

Méthodologie

Nous avons utilisé le logiciel d'analyse de projets d'énergies propres RETScreen 4, pour dresser les cartes des gains solaires en fonction de l'inclinaison et l'orientation des panneaux solaires pour les principales villes d'Afrique de l'Ouest et du Centre. Le calcul de l'ensoleillement sur un plan incliné dans RETScreen 4 est basé sur l'algorithme de Klein and Theilacker, décrite dans l'ouvrage de référence sur l'énergie solaire *Solar Engineering of Thermal Processes* (Duffie et Beckman, 1991). Comme le précise le manuel d'ingénierie et d'études de cas (RETScreen International, 2004), « ce n'est pas le modèle disponible le plus précis mais il est suffisant pour une étude de préféabilité ».

Pour chaque site, d'abord le rayonnement annuel reçu sur une surface orientée plein Sud et inclinée à la latitude est simulé et pris comme valeur de référence. Les rayonnements annuels pour différentes orientations et inclinaisons ont ensuite été relevés puis comparés à la référence. Les simulations ont été réalisées par pas de 10° pour l'orientation et par pas de 5° pour l'inclinaison.

Résultats et discussions

Les figures présentées à l'Annexe 1 représentent le pourcentage du rayonnement annuel de référence en fonction de l'orientation et de l'inclinaison adoptées. Elles sont présentées ci-après, par ordre alphabétique. En abscisse, on trouve l'orientation, de -180° (Nord) à 180° (Nord) en passant par l'Est (-90°), le Sud (0°) et l'Ouest (90°). Dans le titre, sont précisés le nom de la ville, sa latitude, le pays et l'ensoleillement de référence. Par exemple pour la ville de Ouagadougou, capitale du Burkina Faso qui se situe à 12,4°N, l'ensoleillement de 2199 kWh·m⁻²·an⁻¹ est celle qui est obtenue lorsque le capteur est orienté plein Sud et incliné à 12,4°. Si le panneau est orienté à 30° et incliné de 25°, la lecture sur la carte indique un ensoleillement annuel reçu égal à 98% de l'ensoleillement de référence, soit 2155 kWh·m⁻²·an⁻¹. Les données représentées sur les cartes sont données en tableaux à l'Annexe A. Comme il s'agit de courbes de collecte du rayonnement, elles sont symétriques par rapport au Sud. Les courbes de production seraient légèrement différentes si les températures ambiantes dans la journée (entre levée et coucher du soleil) ne sont pas symétriques par rapport au midi solaire.

Les remarques suivantes s'imposent :

Pour les localités proches de l'équateur, l'orientation n'est pas très importante, étant donné le fait que l'inclinaison optimale est proche de l'horizontale. Ainsi, en considérant par exemple la ville de Libreville (0,5°N), pour une inclinaison donnée (jusqu'à 20°), l'ensoleillement est pratiquement le même quelle que soit l'orientation. Lorsque la pente est imposée et qu'elle augmente, l'Est et l'Ouest deviennent très rapidement l'orientation à préférer par rapport au Sud. Ainsi, à partir d'une inclinaison de 20° environ, l'orientation vers l'Est ou l'Ouest est préférable à l'orientation vers le Sud bien que la différence soit faible, le maximum de différence de collecte, étant atteint lorsque les parois sont

verticales : un capteur intégré à une paroi verticale⁴ à Libreville produira 25% plus d'énergie lorsqu'il est orienté vers l'Est que vers le Sud, mais seulement environ 50% de la collecte attendue pour une inclinaison optimale. Ainsi, pour des panneaux installés sur des toits de maison dans une localité proche de l'équateur comme Libreville, l'Est et l'Ouest sont à envisager lorsqu'on adopte la pente des toitures (notamment lorsqu'elles sont grandes) pour les panneaux. Dans ce cas, le climat local, ou un éventuel microclimat, peut conduire à préférer pour le photovoltaïque :

- l'Est : si l'atmosphère est fortement plus poussiéreuse l'après-midi ou si la température y est beaucoup plus élevée, puisque le rendement d'un panneau photovoltaïque baisse quand la température augmente
- l'Ouest en cas de brume matinale fréquente

Pour le solaire thermique, dont le rendement augmente avec la température ambiante, toujours dans le cas où il faut arbitrer entre Est et Ouest, la décision dépendrait du pic de consommation d'eau chaude et on préférera l'orientation vers :

- l'Est si les besoins en eau chaude sont concentrés dans l'après-midi et le soir
- l'Ouest si les besoins sont à satisfaire surtout au matin avec un stockage.

Si l'inclinaison est fixée et supérieure à la latitude, la meilleure orientation n'est pas forcément le Sud non plus. Ainsi, à Lomé, un capteur incliné à 75° produira 8% plus d'énergie lorsqu'il est orienté vers l'Est que vers le Sud. En particulier, pour des capteurs à intégrer à la paroi (verticale), il vaut mieux les orienter à l'Est ou à l'Ouest. Le panneau voit ainsi le soleil le matin puis l'après-midi. L'écart se réduit cependant quand on s'éloigne de l'équateur, par exemple à Ouagadougou où il passe à 5% dans les mêmes conditions.

Plus généralement, les résultats montrent qu'une déviation de 20° de l'inclinaison et/ou de l'orientation optimales classiques (orientation plein Sud et inclinaison à la latitude), conduit à une perte maximale de 5% du rayonnement collecté sur le plan d'un panneau.

Conclusion

La recommandation habituelle pour l'orientation vers l'équateur et inclinaison à la latitude ne doit pas être comprise comme une exigence qui a un impact très important sur l'installation, notamment dans la région étudiée. En Afrique de l'Ouest et du Centre, un écart modéré (jusqu'à 20°) par rapport à l'orientation et l'inclinaison optimales n'influence pas significativement l'énergie solaire collectée et donc pas la production solaire. Pour certaines inclinaisons, l'orientation optimale est l'Est ou l'Ouest. La construction de structures dédiées aux installations solaires ou les modifications architecturales afin de respecter ces recommandations ne sont donc généralement pas justifiées. Nous avons établi un ensemble de diagrammes et de tableaux, permettant de déterminer rapidement le pourcentage d'énergie solaire collecté sur un capteur solaire en fonction de son orientation et de son inclinaison par rapport aux inclinaison et orientation optimales classiques. Bien entendu, en cas d'ombrages significatifs causés par des obstacles, les cartes ne sont plus valables tel quel et des simulations prenant en compte les obstacles tels que vus depuis le panneau doivent être réalisées.

Remerciements

Je remercie vivement mes étudiants de la promotion Master 2A Génie Energétique 2015-2016 de 2iE pour le recueil des données dans RETScreen : ATTEBI Noel, BATIONO Yiwalo John Willy Arnold, BOCCO Jean Régis Martial, BOUNOU Clovis, CONGO Adama Fayçal Wendyam Aristide, ELHADJI MAMADOU ADJI Doundo, GRANGER Edwin Jean Maxwell, KARAMOKO Mamadou Marcel, LAFIA SEIDOU Imorou, LEMBELE Houria Verlaine, MONEMO Guideko Joel, MOUNTOU PADOU Christella Pasielie Lucia, MVOMO NKE Esther Grâce, NANA Pingdwende Inès Ernestine, NANA DOKOU Leonel, NGOUJOU KOUAKAM Zéphyrin Martial, NYOUWA Hervis, OSSOGO KOUSSOUKE Wilfried, OUATTARA Abdoul Rachide, SANFO Raïssatou Annick, SIBONIYO Côme, SYLLA Mohamed, TEKOU Codjo Beco et ANANIVI Anoumou Fidèle (Master 2A Génie Energétique 2015-2016).

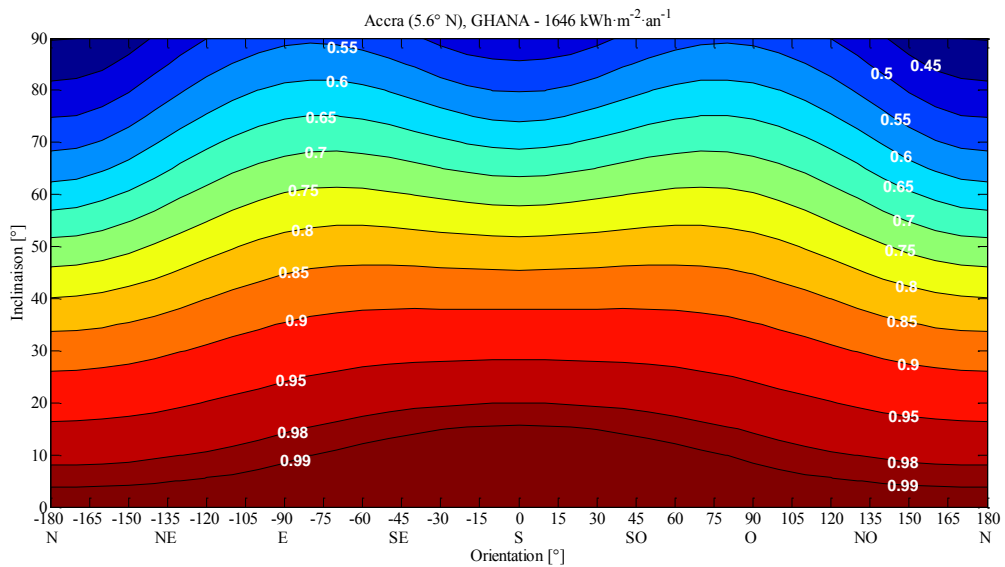
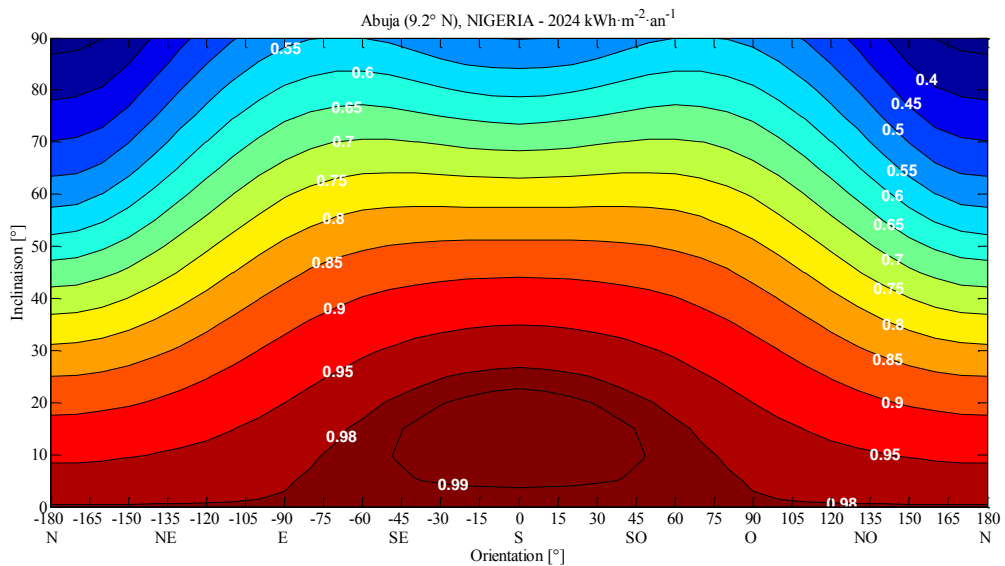
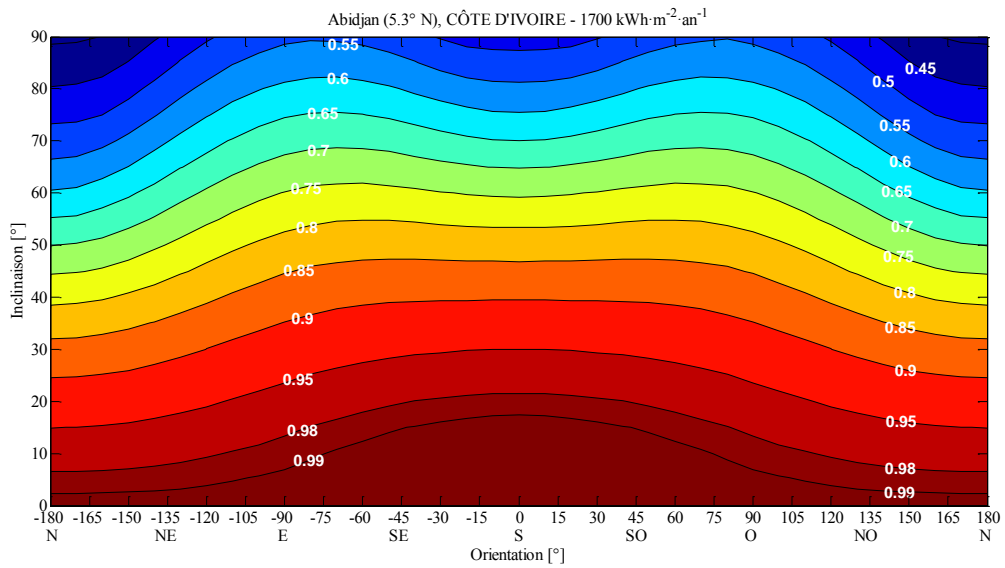
Bibliographie

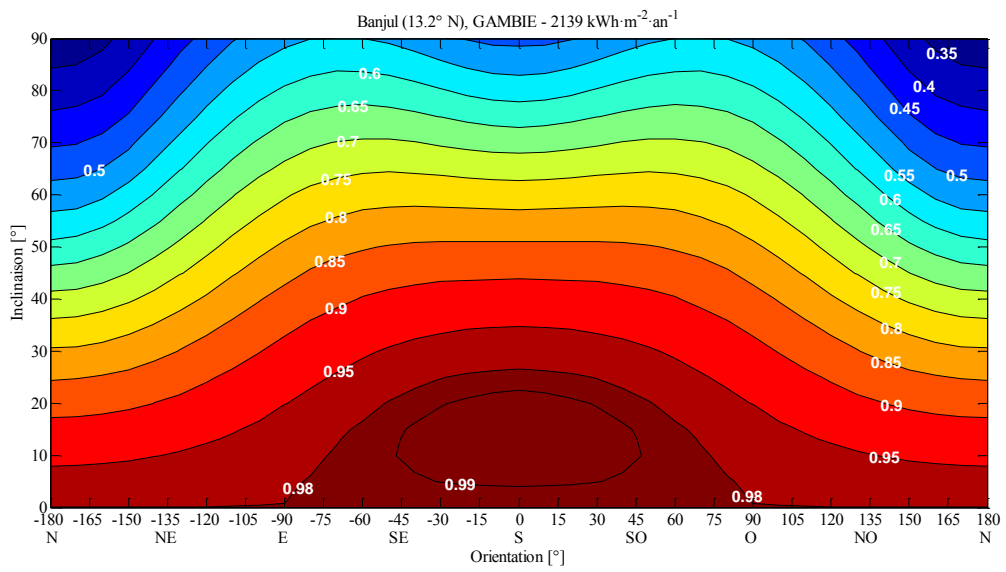
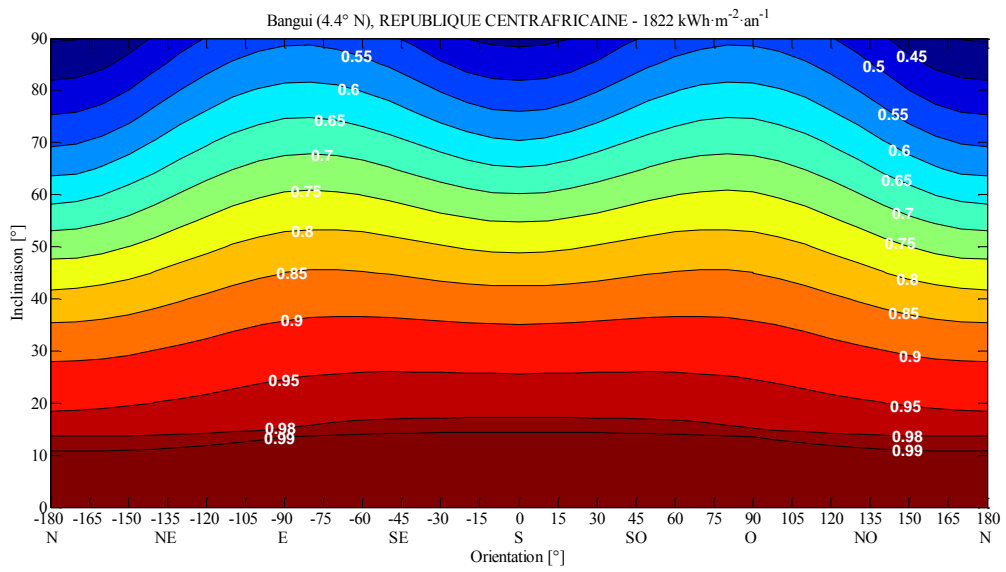
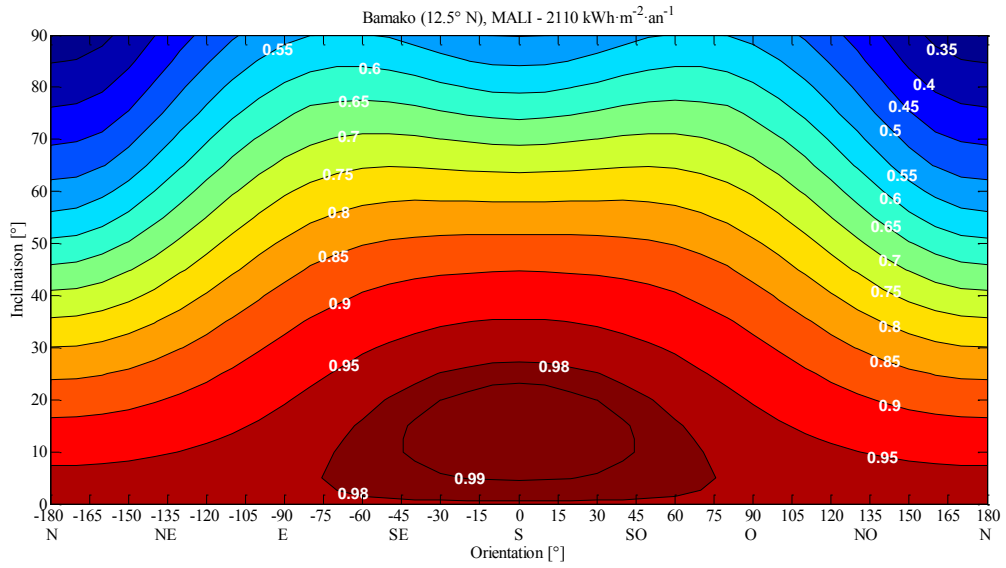
Duffie J.A. et Beckman W.A., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes. 2nd edition. 1991. New York : John Wiley and Sons, Inc.

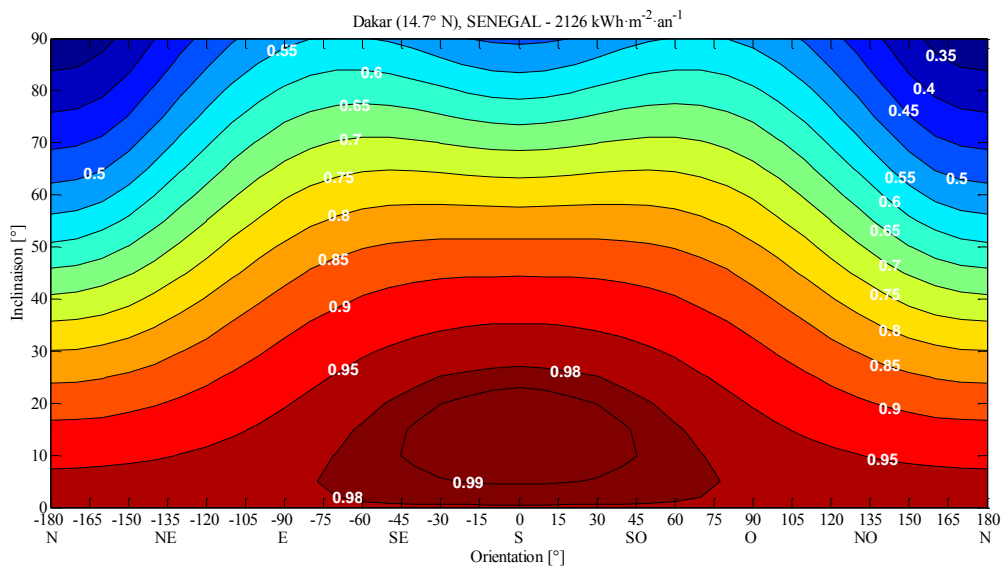
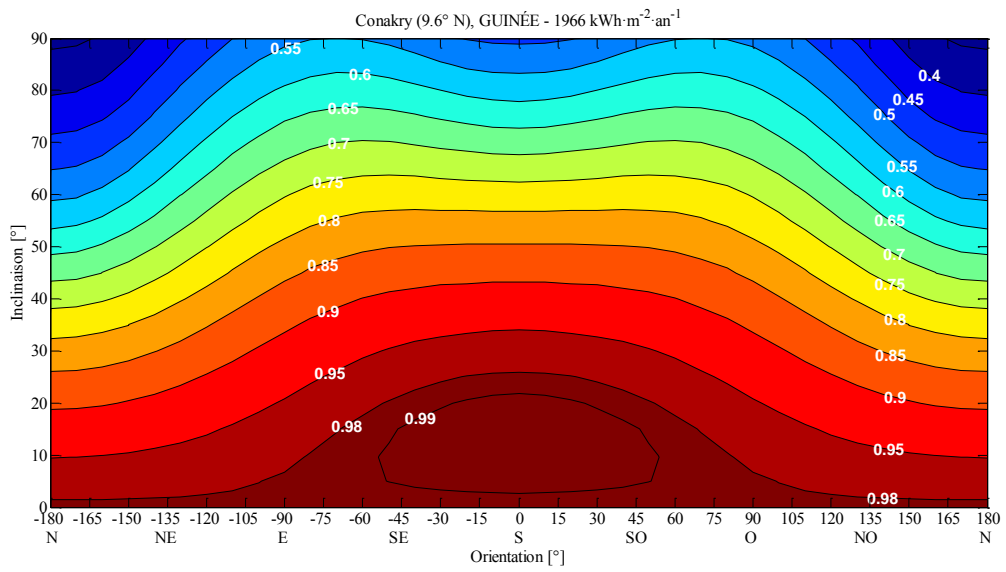
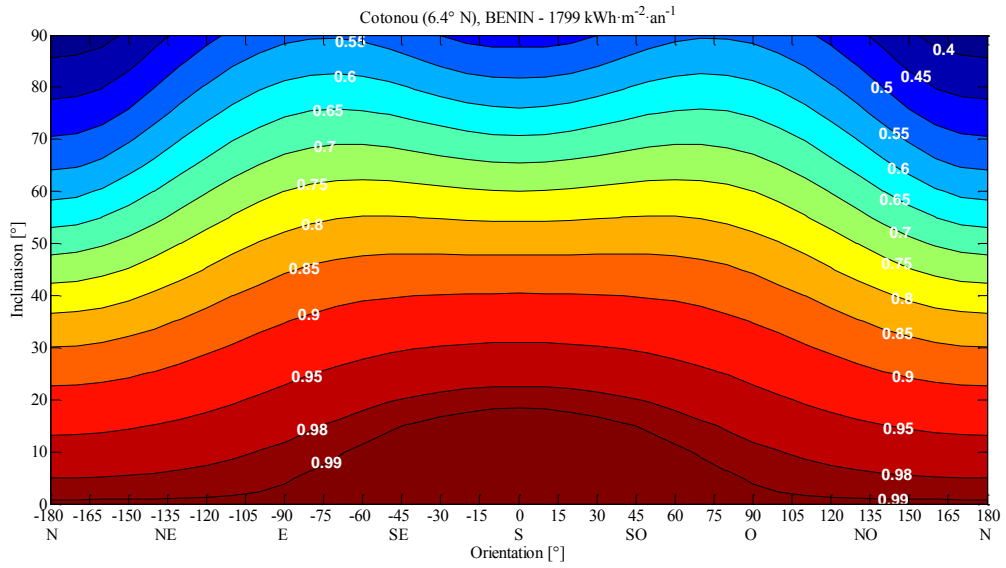
RETScreen International, 2004. Analyse de projets d'énergies propres : Manuel d'ingénierie et d'études de cas Retscreen : Analyse de projet d'installation photovoltaïque. Disponible en ligne :

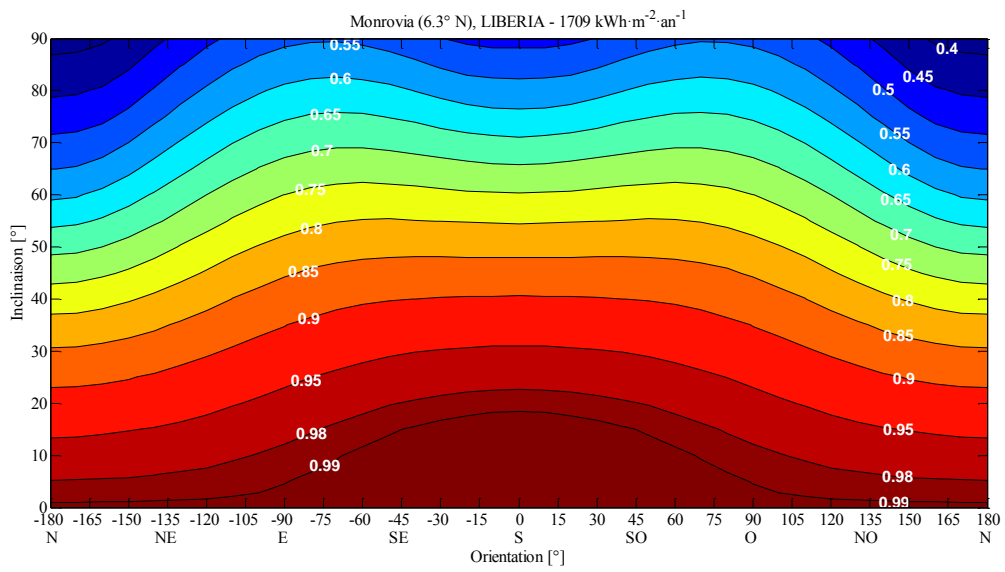
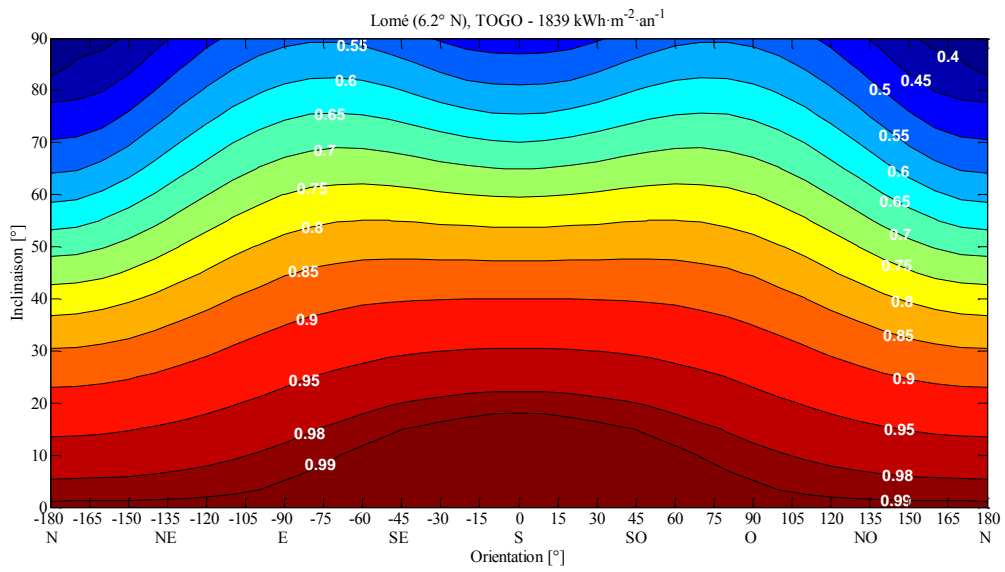
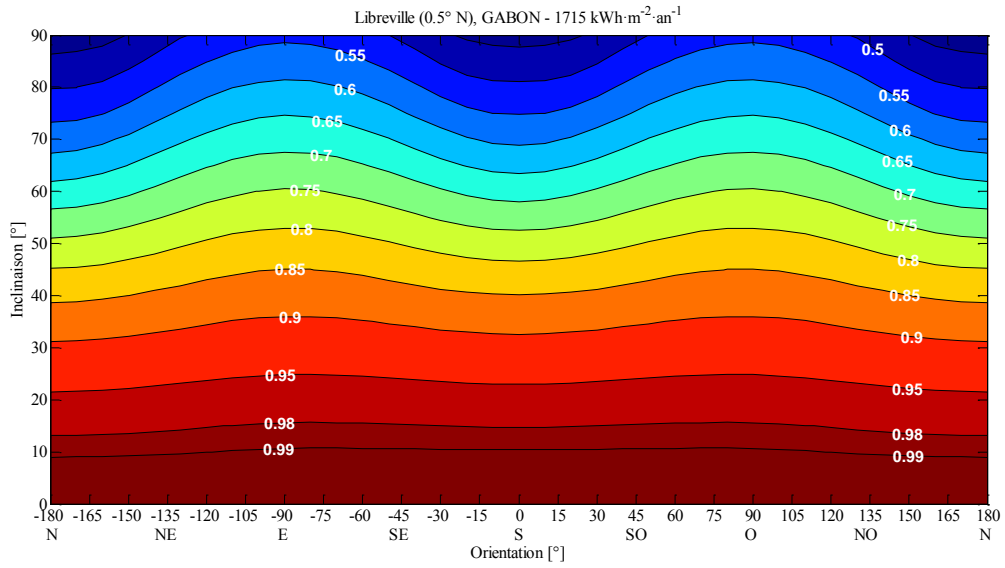
⁴ Bien entendu, ces raisonnements ne tiennent pas compte de la présence éventuelle d'obstacles produisant de l'ombrage.

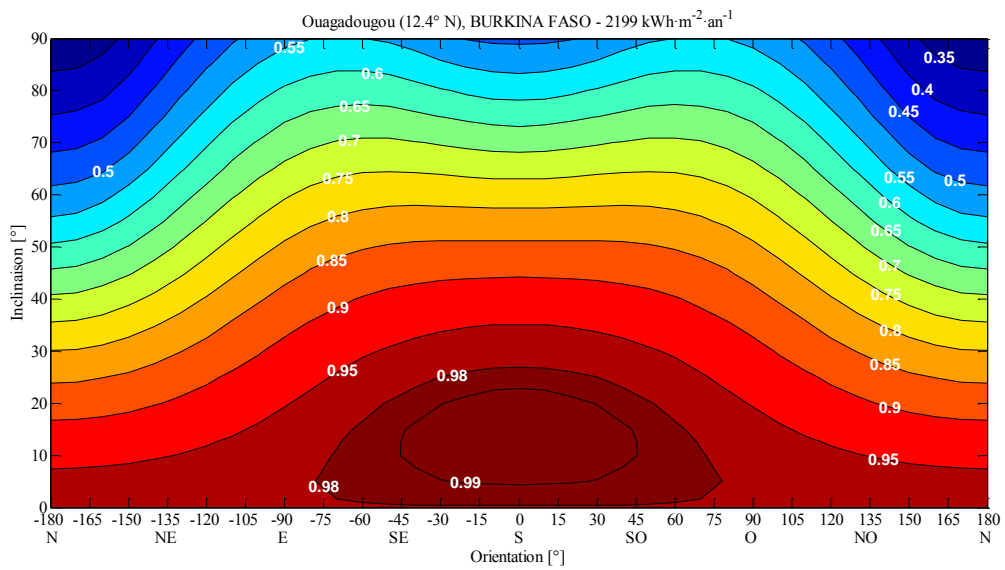
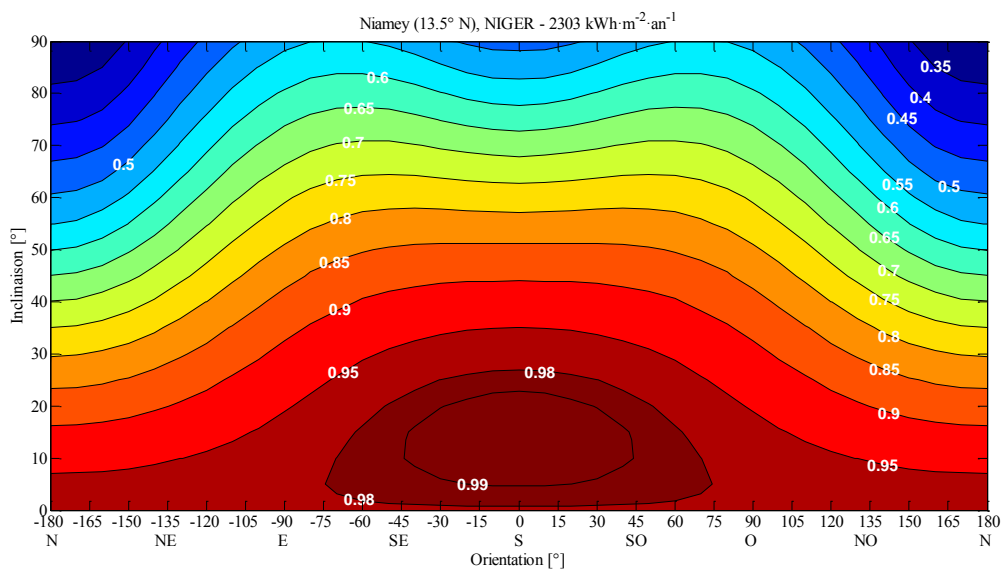
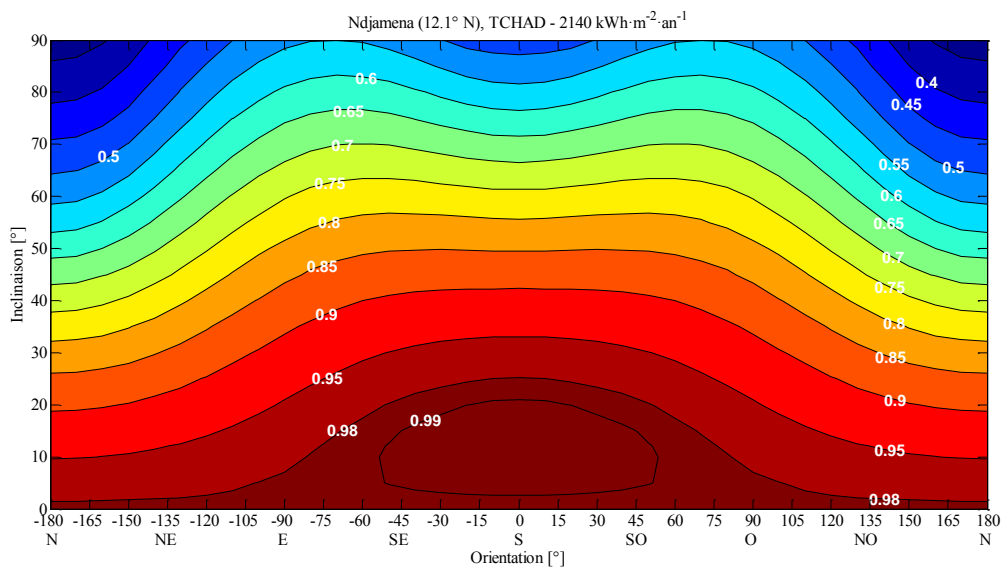
Annexe 1. Diagrammes représentant le pourcentage du rayonnement reçu en fonction de l'orientation et de l'inclinaison adoptée.











Abuja (9,2° N), NIGERIA - 2024 kWh-m².an⁻¹

Table showing monthly solar radiation data for Abuja, Nigeria. Rows represent months (0 to 90) and columns represent months (-180 to 180). Values range from 40 to 98 kWh/m².

Accra (5,6° N), GHANA - 1646 kWh-m².an⁻¹

Table showing monthly solar radiation data for Accra, Ghana. Rows represent months (0 to 90) and columns represent months (-180 to 180). Values range from 40 to 98 kWh/m².

Bamako (12,5° N), MALI - 2110 kWh-m².an⁻¹

Table showing monthly solar radiation data for Bamako, Mali. Rows represent months (0 to 90) and columns represent months (-180 to 180). Values range from 40 to 98 kWh/m².

Bangui (4,4° N), REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE - 1822 kWh-m².an⁻¹

Table showing monthly solar radiation data for Bangui, Central African Republic. Rows represent months (0 to 90) and columns represent months (-180 to 180). Values range from 40 to 98 kWh/m².

Banjul (13,2° N), GAMBIE - 2139 kWh·m⁻²·an⁻¹

Table with 24 columns and 24 rows of numerical data for Banjul, Gambia. Values range from approximately 32 to 98. Includes latitude/longitude markers at the bottom.

Conakry (9,6° N), GUINÉE - 1966 kWh·m⁻²·an⁻¹

Table with 24 columns and 24 rows of numerical data for Conakry, Guinea. Values range from approximately 34 to 98. Includes latitude/longitude markers at the bottom.

Cotonou (6,4° N), BENIN - 1799 kWh·m⁻²·an⁻¹

Table with 24 columns and 24 rows of numerical data for Cotonou, Benin. Values range from approximately 37 to 98. Includes latitude/longitude markers at the bottom.

Dakar (14,7° N), SENEGAL - 2126 kWh·m⁻²·an⁻¹

Table with 24 columns and 24 rows of numerical data for Dakar, Senegal. Values range from approximately 32 to 98. Includes latitude/longitude markers at the bottom.

Libreville (0,5° N), GABON - 1715 kWh·m⁻²·an⁻¹

Table of solar radiation data for Libreville, Gabon. Columns represent months from 1 to 12, and rows represent months from 90 to 0. Values range from approximately 42 to 100 kWh·m⁻²·an⁻¹.

Lomé (6,2° N), TOGO - 1839 kWh·m⁻²·an⁻¹

Table of solar radiation data for Lomé, Togo. Columns represent months from 1 to 12, and rows represent months from 90 to 0. Values range from approximately 37 to 100 kWh·m⁻²·an⁻¹.

Monrovia (6,3° N), LIBERIA - 1709 kWh·m⁻²·an⁻¹

Table of solar radiation data for Monrovia, Liberia. Columns represent months from 1 to 12, and rows represent months from 90 to 0. Values range from approximately 38 to 100 kWh·m⁻²·an⁻¹.

Ndjamena (12,1° N), TCHAD - 2140 kWh·m⁻²·an⁻¹

Table of solar radiation data for Ndjamena, Chad. Columns represent months from 1 to 12, and rows represent months from 90 to 0. Values range from approximately 33 to 100 kWh·m⁻²·an⁻¹.

Niamey (13.5° N), NIGER - 2303 kWh·m⁻²·an⁻¹

90	30	31	32	35	39	43	46	49	52	54	55	55	55	54	53	51	49	48	48	49	49	51	53	54	55	55	55	54	52	49	46	43	39	35	32	31	30				
85	33	33	35	38	42	46	49	52	55	57	58	59	59	58	57	56	54	53	54	54	54	54	56	57	58	59	59	58	57	55	52	49	46	42	38	35	33	33			
80	36	36	38	41	45	49	52	56	58	61	62	63	63	62	61	60	59	58	58	58	59	60	61	62	63	63	62	61	58	56	52	49	45	41	38	36	36				
75	39	40	41	44	48	52	56	59	62	64	66	67	67	67	66	65	64	63	63	63	64	65	66	67	67	66	64	62	59	56	52	48	44	41	38	36	36				
70	43	43	45	48	52	55	59	62	65	68	69	70	71	71	70	69	68	68	68	68	69	69	70	71	71	70	69	68	65	62	59	55	52	48	45	43	43				
65	46	47	49	52	55	59	63	66	69	71	73	74	74	75	74	74	73	73	73	73	73	74	74	75	74	74	73	71	69	66	63	59	55	52	49	47	46				
60	51	51	53	56	59	63	66	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	77	76	74	72	69	66	63	59	56	53	51	51					
55	55	56	57	60	63	66	70	73	75	78	79	81	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	81	79	78	75	73	70	66	63	60	57	56	55		
50	60	60	62	64	67	70	73	76	79	81	82	84	85	85	85	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	85	85	84	82	81	79	76	73	70	67	66	60
45	65	66	67	69	71	74	77	79	82	84	85	87	88	88	88	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	88	88	87	85	84	82	79	77	74	71	69	67	66	65
40	70	71	72	73	75	78	80	82	84	86	88	89	90	91	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	91	90	89	88	86	84	82	80	78	75	73	72	71	70		
35	75	75	76	78	79	81	83	85	87	89	90	92	93	93	94	94	95	95	95	95	95	95	94	94	93	93	92	90	89	87	85	83	81	79	78	76	75	75			
30	80	80	81	82	83	85	86	88	90	91	93	94	95	95	96	97	97	97	97	97	97	97	97	97	96	95	94	93	91	90	88	86	85	83	82	81	80	80			
25	84	84	84	85	86	88	89	90	92	93	94	95	96	97	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	97	96	95	94	93	92	90	89	88	86	85	84	84	84		
20	88	88	88	89	89	90	91	93	94	95	96	97	97	98	98	99	99	99	99	99	100	99	99	99	99	98	97	96	95	94	93	91	90	89	89	88	88	88			
15	91	91	91	92	93	94	94	95	96	97	98	98	99	99	99	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	98	97	96	95	94	93	92	92	91	91	91	91				
10	92	92	92	93	94	94	95	96	97	98	98	99	99	99	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	98	97	96	95	94	94	93	92	92	92	92	92	92			
5	94	94	94	94	95	95	96	96	97	98	98	99	99	99	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	98	97	96	95	95	94	94	94	94	94	94	94	94	94			
0	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98		
	-180	-170	-160	-150	-140	-130	-120	-110	-100	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180				
	N																				S																	N			

Ouagadougou (12.4° N), BURKINA FASO - 2199 kWh·m⁻²·an⁻¹

90	32	32	33	36	40	43	46	49	52	54	55	55	55	54	53	51	50	49	49	49	50	51	53	54	55	55	55	54	52	49	46	43	40	36	33	32	32			
85	34	35	36	39	42	46	50	53	55	57	58	59	59	58	57	56	54	54	54	54	54	54	56	57	58	59	59	58	57	55	53	50	46	42	39	36	35	34		
80	37	38	39	42	45	49	53	56	59	61	62	63	63	62	60	59	58	58	58	59	60	62	62	63	63	62	61	59	56	53	49	45	42	39	38	37				
75	40	41	42	45	49	52	56	59	62	64	66	67	67	67	66	65	64	63	63	64	65	66	67	67	67	66	64	62	59	56	52	49	45	42	41	40				
70	44	44	46	49	52	56	59	63	66	69	71	71	71	70	70	69	68	68	68	69	70	71	71	70	69	68	65	63	59	56	52	49	46	44	44					
65	47	48	49	52	56	60	63	66	69	71	73	74	74	75	74	74	74	73	73	73	74	74	74	75	74	74	73	71	69	66	63	60	56	52	49	48				
60	51	52	54	56	60	63	67	70	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	77	76	74	72	69	67	63	60	56	54	52						
55	56	56	58	61	64	67	70	73	76	78	79	81	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	81	79	78	76	73	70	67	64	61	58	56	56	
50	61	61	63	65	68	71	74	76	79	81	82	84	85	85	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	85	85	84	82	81	79	76	74	71	68	65	61	61
45	66	66	68	70	72	74	77	79	82	84	85	87	88	88	88	88	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	88	87	85	84	82	79	77	74	72	70	68	66	66
40	71	71	72	74	76	78	80	83	85	86	88	89	90	91	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	91	90	89	88	86	85	83	80	78	76	74	72	71	71		
35	76	76	77	78	80	82	84	85	87	89	90	92	93	93	94	94	95	95	95	95	95	94	94	93	93	92	90	89	87	85	83	80	78	76	74	72	71	71		
30	80	80	81	82	83	85	87	88	90	91	93	94	95	95	96	96	97	97	97	97	97	97	97	96	96	95	95	94	93	91	90	88	87	85	83	82	81	80	80	
25	84	84	85	86	87	88	89	91	92	93	94	95	96	97	98	98	98	99	99	99	99	99	99	98	98	97	96	95	94	93	92	91	89	88	87	86	85	84	84	
20	88	88	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	97	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	98	97	96	95	94	93	92	91	90	89	88	88	88	
15	91	91	91	92	93	94	95	96	97	98	98	99	99	99	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	98	97	96	95	94	93	92	92	91	91	91	91	91		
10	93	93	93	93	94	94	95	96	97	98	98	99	99	99	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	98	97	96	95	94	94	93	92	92	92	92	92	92	92		
5	94	94	94	94	95	95	96	96	97	98	98	99	99	99	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	98	97	96	95	95	94	94	94	94	94	94	94	94	94		
0	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
	-180	-170	-160	-150	-140	-130	-120	-110	-100	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180			
	N																					S																N		

Praia (14.9° N), CAP-VERT - 2109 kWh·m⁻²·an⁻¹

90	33	33	35	38	41	44	47	50	52	54	55	55	54	53	52	50	48	47	46	47	48	50	52	53	54	55	55	54	52	50	47	44	41	38	35	33	33
85	36	36	38	41	44	47	51	53	56	57	58	59	58	57	56	54	52	51	51	51	52	54	56	57	58	59	58	57	56								