

INCLINAISONS ET ORIENTATIONS DES PANNEAUX SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES

LISTE DES PARTICIPANTS :

- Patrick Sauvage - maître d'oeuvre en bâtiment
- Jean-Christophe Nozières, architecte
- Philippe Vaufrey, ingénieur qualité environnementale des bâtiments et de l'urbanisme
- François Vallet, ingénieur fluides et énergies
- Sébastien Fauvel, formé au master "Valorisation des Energies Renouvelables et des DEChets
- Uriel Moch, architecte et consultant façade

LA QUESTION :

Je suis sur un projet de crèche "H.Q.E." à Château Thierry, soit à peu près la latitude de PARIS. J'envisage l'installation de cellules photovoltaïques sur des pans de toiture orientés plein ouest avec une pente de 15%.

Est ce bien raisonnable? Je sais que "ça marche" sur des toits horizontaux ; qu'y perds-je si mes toits sont légèrement inclinés vers l'ouest?

Merci de m'éclairer pour un choix de principe avant de lancer une étude de faisabilité.

Cordialement.

Patrick Sauvage - maître d'oeuvre en bâtiment. 2 mai 2007

LES POINTS SEULEMENT ÉVOQUÉS OU NON ÉVOQUÉS ET QUI MÉRITERAIENT D'ÊTRE APPROFONDIS :

- la question des masques,
- la question de la température de fonctionnement des modules,
- la question du circuitage du champ de capteurs,
- la question de la fiabilité à long terme des équipements,
- la question de la qualité de leur mise en oeuvre,
- la question de la régularité du suivi et des opérations d'entretien courant.

LES RÉPONSES :

Jean-Christophe Nozières, architecte.

Tu as le renseignement demandé sur le site de l'Institut National de l'Energie Solaire : <http://ines.solaire.free.fr/index.php>

Illustration 1: Aperçu de la page WEB de l'INES



INES Education - Logiciel CALSOL - Gisement solaire
 estimation de l'énergie solaire disponible pour une application énergétique

[Retour](#)
[menu](#)

Choix de la ville : Paris le Bourget

Inclinaison du plan : 10° Orientation du plan : Ouest Albédo du sol : 0.2

Cliquer ici pour valider votre choix et lancer les calculs

Irradiation sur un plan horizontal en kWh/m² par jour ou en kWh/m² cumulés [SOURCES](#)

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
Globale (IGH)	0.87	1.52	2.88	3.92	5.01	5.59	5.33	4.44	3.38	1.98	0.99	0.72	3.06
Directe (IBH)	0.24	0.48	1.25	1.67	2.3	2.67	2.52	2.04	1.56	0.77	0.28	0.2	1.34
Diffuse (IDH)	0.63	1.04	1.63	2.25	2.71	2.92	2.81	2.4	1.82	1.21	0.71	0.52	1.72

Irradiation sur un plan d'inclinaison 10° et d'orientation 90° [COMPARAISONS](#)

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
Directe (IBP)	0.25	0.49	1.25	1.67	2.29	2.65	2.51	2.03	1.56	0.78	0.29	0.2	1.34
Diffuse (IDP)	0.62	1.03	1.62	2.23	2.69	2.9	2.79	2.39	1.81	1.2	0.7	0.52	1.71
Réfléchie (IRP)	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0
Globale (IGP)	0.87	1.52	2.88	3.91	4.99	5.56	5.3	4.42	3.37	1.98	0.99	0.72	3.05

Inclinaisons optimum pour l'irradiation sur l'année et pour le mois le plus défavorable.

L'irradiation globale maximale est de 1207 kWh pour une orientation sud et une inclinaison optimum de 29°, le rapport entre l'irradiation globale d'inclinaison 10° et d'orientation 90° sur l'irradiation globale maximale est de 92%.

L'irradiation globale dans le plan pour le mois le plus défavorable (décembre) est maximale avec 1.22 kWh/m² par jour pour une orientation sud et une inclinaison optimum du plan de 66°.

Source : INES 2007

Patrick Sauvage, architecte.

Ci dessous la réponse de Robert Celaire. En clair, cela confirme ce que je savais plus ou moins : contrairement aux capteurs solaires thermiques qui doivent se rapprocher le plus possible de l'inclinaison "idéale", les cellules photovoltaïques fonctionnent toujours bien, même si l'on s'éloigne du "plein sud à 45°".

« Tu perds moins de 5% Voir données ci-dessous » : Robert Celaire.

Illustration 2: Irradiation en kWh/m² par jour ou par mois

Station météo Paris le Bourget															
en kWh/m ² par jour ou par mois															
période	orient	inclin	J	F	m	A	M	J	J	A	S	O	N	D	total
			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31
Jour		hor	0,77	1,5	2,64	4,02	5,08	5,63	5,43	4,5	3,3	1,95	0,97		0,65
Jour	Sud	30°	1,13	2	3,15	4,32	5,04	5,41	5,27	4,65	3,8	2,51	1,35		0,98
Jour	Sud	15%	0,89	1,67	2,81	4,12	5,07	5,56	5,38	4,55	3,47	2,14	1,10		0,76
Mois	Sud	15%	28	47	87	124	157	167	167	141	104	66	33	24	1143
Jour	Ouest	30°	0,75	1,45	2,52	3,82	4,78	5,28	5,1	4,25	3,15	1,88	0,94		0,63
Jour	Ouest	15%	0,76	1,48	2,60	3,95	4,98	5,51	5,32	4,42	3,25	1,93	0,96		0,64
Mois	Ouest	15%	24	42	81	119	154	165	165	137	98	60	29	20	1092
														variation	4,5%

Source : Robert Celaire. 2007

Philippe Vaufrey, ingénieur qualité environnementale des bâtiments et de l'urbanisme.

Pour être encore plus précis, vous pouvez télécharger le guide PERSEUS sur le site d'HESPUL qui date un peu maintenant, mais qui est toujours d'actualité sur cette question des rendements : hespul.org/IMG/pdf/Guide_Perseus.pdf
A la page 20, un tableau très bien fait montre que l'inclinaison la meilleure est grosso-modo plein sud à 30° et si on ne peut pas être plein sud, mieux vaut être plutôt plus à plat.
Cordialement

Illustration 3: Facteurs de correction pour une inclinaison et une orientation donnée

INCLINAISON \ ORIENTATION		 0°	 30°	 60°	 90°
		Est 	0,93	0,90	0,78
Sud-Est 	0,93	0,96	0,88	0,66	
Sud 	0,93	1,00	0,91	0,68	
Sud-Ouest 	0,93	0,96	0,88	0,66	
Ouest 	0,93	0,90	0,78	0,55	

 : position à éviter si elle n'est pas imposée par une intégration architecturale

Source : Hespul. Avril 2004

source Hespul

NB : ces chiffres n'incluent pas les possibles masques qui pourraient réduire la production annuelle.

Patrick Sauvage, architecte.

Le tableau de "correction" en fonction de l'orientation et de l'inclinaison donne, pour une orientation OUEST, un coefficient de 0,93 si on est à plat et 0,90 si on est à 30°. On peut donc en déduire que pour une inclinaison de 8,5°, on est entre 0,91 et 0,92. Ce qui confirme ton chiffre.

Ce tableau montre clairement que pour des toitures comprises entre 0 et 30° (soit une inclinaison inférieure ou égale à 55%) le "rendement" est compris entre 100 et 90% selon que l'on est plein Sud ou plein Ouest (ou plein Est).

Autrement dit, sauf masques dans le voisinage, on peut "photovoltaïquer" pratiquement toutes nos toitures orientées entre le plein Est et le plein Ouest même avec des pentes pouvant atteindre 55%!!! Faudra qu'on trouve d'autres excuses pour ne pas s'y mettre...

Cordialement

François Vallet, ingénieur fluides et énergie.

On trouve dans la littérature technique, et notamment dans le guide édité par l'ADEME "[Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau - N°5047 novembre 2004](#)", des disques solaires qui permettent pour une latitude donnée de connaître l'influence de l'inclinaison et de l'orientation sur la production énergétique rapportée à la production maximale théorique.

Pour le cas que tu cites (orientation plein ouest et inclinaison de 15% soit 8,5°), pour la latitude de Paris et selon le disque solaire correspondant, la production possible serait de 91 à 92% de la production maximale théorique.

Si les conditions que tu décris ne semblent pas très pénalisantes (du point de vue énergétique) il faut par contre faire très attention aux ombres portées sur les panneaux qui peuvent être pénalisantes.

Par ailleurs, pour le solaire thermique on peut avoir le même raisonnement et s'écarter du "plein sud à 45°" n'est pas forcément un mauvais choix si ça permet de mieux intégrer l'équipement (toujours en faisant attention aux ombres portées). On trouve également dans la littérature technique des disques solaires qui permettent d'avoir une première approche de l'effet énergétique pour différentes latitudes, orientations, inclinaisons.

Pour en savoir plus sur le solaire thermique et photovoltaïque, et en plus des outils utilisables en ligne sur le site de

l'INES, je recommande deux ouvrages de référence :

- "[Installations solaires thermiques - Conception et mise en oeuvre](#)" (traduit de l'allemand et édité par Systèmes Solaires et Le Moniteur) - ISBN 2-913620-29-9

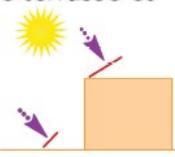
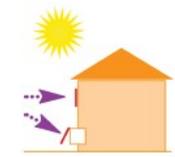
- "[Le photovoltaïque pour tous - Conception et réalisation d'installations](#)" (traduit de l'allemand et édité par Systèmes Solaires/Observ'ER et Le Moniteur - ISBN 2-281-11314-C

Bonne lecture

Pour information, et à titre de comparaison, pour le solaire thermique, j'avais fait un tableau qui figure en page 12 du "[Guide pour l'intégration architecturale des capteurs solaires thermiques](#)" que nous avons réalisé il y a deux ans avec Pascale BIROTTEAU (pour la Communauté du Pays d'Aix et sous la responsabilité de Corinne PINA du Service Energie). On peut également faire des calculs en ligne sur le site de l'INES avec le logiciel CALSOL. Mais ces approches restent théoriques et l'efficacité énergétique et économique de ces systèmes dépend pour une grande part :

- de la fiabilité à long terme des équipements,
- de la qualité de leur mise en oeuvre,
- de la régularité du suivi et des opérations d'entretien courant.

Illustration 4: Autonomie des capteurs solaires thermiques pour différentes orientations et inclinaisons

Type d'implantation	Autonomie pour différentes orientations et inclinaisons (pour une consommation quotidienne de 200 litres d'eau chaude à 45°C, avec 4m ² de capteurs et un ballon solaire de 300 litres à appoint intégré)			
	Inclinaison du capteur	Orientation du capteur		
		Plein sud	Sud est ou sud ouest	Est ou ouest
En toiture terrasse et au sol 	45°	73%	69%	61%
En toiture en pente et en auvent 	15°	68%	67%	63%
	20°	69%		
	25°	70%	68%	
En façade et en garde corps 	90°	56%	53%	42%

Pour mémoire:

15°=27%

20°=36%

22°=40%

25°=47%

Inclinaison préférentielle des capteurs :

45° pour les chauffe-eau solaires individuels (C.E.S.I.)

60° pour les systèmes solaires combinés de chauffage (S.S.C.)

Source : "guide pour l'intégration architecturale des capteurs solaires thermiques". Communauté du Pays d'Aix. 2005

Sébastien Fauvel, formé au master "Valorisation des Energies Renouvelables et des DEChets
Je préparais la même réponse. Sur l'illustration ci-dessous, vous trouverez le point blanc. Il représente la disposition du capteur solaire en fonction du soleil. Cordialement.

Illustration 5: Disques solaires et diagrammes de courses solaires

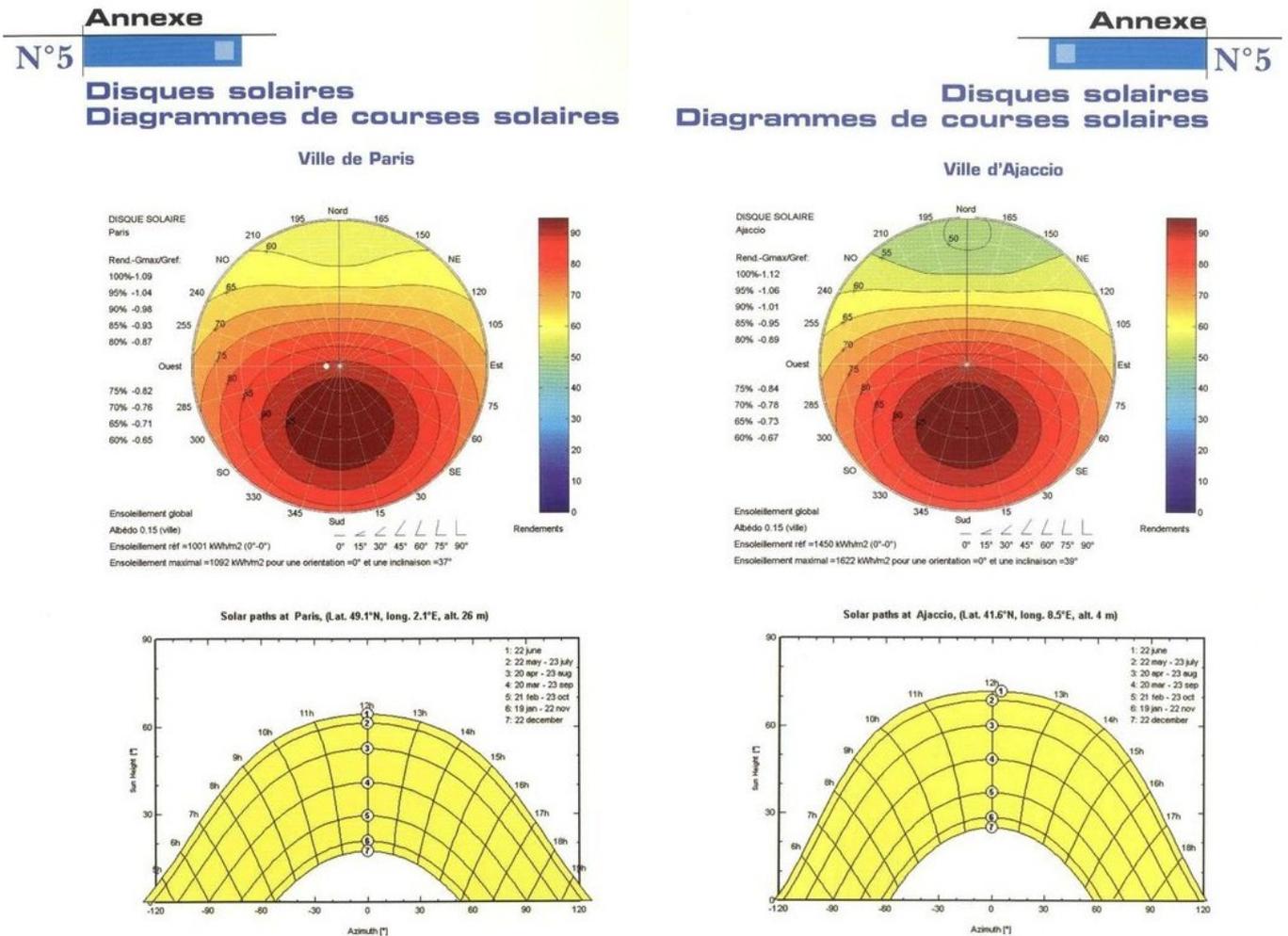


Figure 28 – Disque solaire et diagramme des courses solaires pour la ville de Paris

Figure 29 – Disque solaire et diagramme des courses solaires pour la ville d'Ajaccio

Source : ADEME "Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau - N°5047 novembre 2004"

François Vallet, ingénieur fluides et énergies.

Pour compléter mon premier message voici un extrait du fichier "[ressources énergies](#)" disponible sur le centre de ressources pour la qualité environnementale d'EnviroB.A.T.-méditerranée (partie réservée aux adhérents).

Vous pouvez le compléter et le retourner aux adresses indiquées dans le fichier si vous avez de bonnes références à faire partager.

(Dominique MAIGROT : dominique.maigrot@wanadoo.fr)

(François VALLET : francois.vallet@laposte.net)

Cordialement

Illustration 6: Extrait du tableau "ressources et énergies" : « ce qui existe et ou le trouver »

Thème	Sous-Thème	Type de ressource	Phase	Titre de la ressource, description sommaire	Où trouver la ressource ?	Comment se la procurer ?
EnR	Approche globale	Document	ENJ	Le solaire et l'économie mondiale – Stratégies pour des temps modernes écologiques - Hermann SCHEER	http://www.ades-sud.fr/rapide.php	Achat en ligne ou par courrier
EnR	Approche globale	Liens utiles	ENJ	Observatoire des énergies renouvelables. Revue Systèmes Solaires. Fondation énergies pour le monde	www.energies-renouvelables.org	
EnR	Approche globale	Liens utiles	ENJ	Syndicat des énergies renouvelables (SER)	www.ser-fra.com	
EnR	Electricité renouvelable	Liens utiles	PROG	ENERCOOP : coopérative, en cours de montage, de producteurs et consommateurs d'électricité 100% renouvelable	www.enercoop.ouvabn.org	site
EnR	Electricité renouvelable	Liens utiles	PROG	Société EQUINEO : plate-forme d'échanges dédiée à l'électricité verte	www.electricite-verte.com	site
EnR	Solaire thermique	Document	PROG	Intégration des capteurs solaires	http://www.ame-ir.org/publications/energie/index	Téléchargement gratuit
EnR	Solaire thermique	Document	PROG	Guide pour l'intégration architecturale des capteurs solaires thermiques	www.agglo-paysdaix.fr	Téléchargement gratuit
EnR	Photovoltaïque	Document	PROG	Guide PERSEUS – Guide des installations photovoltaïques raccordées au réseau électrique destiné aux usagers	www.raee.org	Téléchargement gratuit
EnR	Photovoltaïque	Document	ENJ	Fiche OX ADEME "Solaire photovoltaïque raccordé au réseau en tertiaire"	http://www2.ademe.fr/serveur/KBaseShow?sort	Téléchargement gratuit
EnR	Photovoltaïque	Liens utiles	ENJ	Association HESPUL - Promotion de l'efficacité énergétique et des systèmes photovoltaïques raccordés au réseau	www.hespul.org	
EnR	Photovoltaïque	Liens utiles	EXPL	Electricité verte : guide des fournisseurs	http://www.electricite-verte.com/	Utilisation en ligne
EnR	Photovoltaïque	Liens utiles	ENJ	ENERPLAN : Association professionnelle de l'énergie solaire	http://perso.wanadoo.fr/enerplanweb/	
EnR	Photovoltaïque	Liens utiles	ENJ	Institut National de l'Energie Solaire : INES - Recherche, formation, diffusion	http://www.institut-solaire.com/	
EnR	Photovoltaïque	Logiciels	PROG	CALSOL : faisabilité et simulation en ligne d'installations couplées au réseau	http://ines.solaire.free.fr/pvresau.php	Utilisation en ligne
EnR	Photovoltaïque	Logiciels	CONC	PVGIS : détermination du gisement solaire en fonction de la localisation, de l'inclinaison et de l'orientation des capteurs. Détermination de la production photovoltaïque	http://james.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php?lang	Utilisation en ligne
EnR	Photovoltaïque	Logiciels	CONC	PV*SOL : Conception et calcul d'installations photovoltaïques	http://www.fauconnet.fr/	Achat en ligne ou par courrier
EnR	Photovoltaïque	Logiciels	CONC	PVSYST : Simulation de systèmes photovoltaïques	http://www.unige.ch/uepe/	Achat en ligne ou par courrier
EnR	Photovoltaïque	Logiciels	CONC	RETScreen : module électricité solaire - Etudes de faisabilité, simulation en coût global	www.retscreen.net/fr/13-form2a.php?idMarket	Téléchargement gratuit

Source : Centre de ressources EnviroBAT-Méditerranée. François Vallet. 2007

Uriel Moch, architecte et consultant façade.

Pour ceux qui utilisent encore le papier et le crayon, le livre de Twarowski "[soleil et architecture](#)" édité en 1967 par Dunod et contenant des calques en abaques pour tracés des ombres est très formateur et très pratique ! C'était l'entrefilet des vieux !

INDEX DES ILLUSTRATIONS

Illustration 1: Aperçu de la page WEB de l'INES.....	2
Illustration 2: Irradiation en kWh/m ² par jour ou par mois.....	2
Illustration 3: Facteurs de correction pour une inclinaison et une orientation donnée.....	3
Illustration 4: Autonomie des capteurs solaires thermiques pour différentes orientations et inclinaisons.....	4
Illustration 5: Disques solaires et diagrammes de courses solaires.....	5
Illustration 6: Extrait du tableau "ressources et énergies" : « ce qui existe et ou le trouver ».....	6