



Rapport annuel 20 décembre 2012

Solar Resource Assessment and Forecasting

IEA SHC Task 46

La Tâche 36 de l'Agence Internationale de l'Energie avait pour but de rendre accessibles à tous les données de la ressource solaire par le biais d'un portail internet. Les données accessibles ont été validées au moyen de tests communs de façon à les rendre le plus comparables possible.

La Tâche 46 poursuit cet effort en consolidant les connaissances de la ressource et en y ajoutant l'axe de la prévision à court et moyen terme de l'irradiance solaire.

Le but de la Tâche est de fournir aux industries, aux décideurs, aux ingénieurs du secteur de l'électricité, ainsi qu'aux différentes institutions actives dans le domaine des énergies renouvelables, un accès à des données précises, sûres et complètes, et certifiées de qualité. Ce but se poursuit selon quatre axes ou sous-tâches dans les domaines de la ressource sub-horaires, de l'intégration de données complémentaires aux différents sets de données d'irradiance, de la prévision à court et moyen terme, ainsi que de l'amélioration des modèles d'évaluation de la ressource basé sur des données satellitaires.

Les domaines de recherche de l'Université de Genève se concentrent dans la standardisation et l'intégration des banques de données, de leur caractérisation, ainsi que de la validation et de l'amélioration des modèles d'évaluation de l'irradiance.



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

**INSTITUT DES SCIENCES
DE L'ENVIRONNEMENT**

Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de Recherche Energétique
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Cofinancement:

Université de Genève, CH-1227 Carouge

Mandataire:

Université de Genève
Institut des sciences de l'environnement
Battelle Bât. D, 7 rte de Drize
CH-1227 Carouge
www.unige.ch/energie

Auteurs:

Pierre Ineichen, Université de Genève, pierre.ineichen@unige.ch

Responsable de domaine de l'OFEN: Andreas Eckmanns

Chef de programme de l'OFEN: Jean-Christophe Hadorn

Numéro du contrat et du projet de l'OFEN: 500184-03 / 500184

Table des matières

Abstract

The IEA Task "Solar Resource Assessment and Forecasting" will provide the solar energy industry, the electricity sector, governments, and renewable energy organizations and institutions with the means to understand the "bankability" of data sets provided by public and private sectors. A major component of the task is to provide this sector with information on how accurately solar resources can be forecast in the near future (sub-hourly, 1-6 hours, and 1-3 days) so that utilities can plan for the operation of large-scale solar systems operating within their systems. Another major component of the task is understanding short-term (1-minute or less) resource variability associated with cloud passages that cause power "ramps", an important concern of utility operators with large penetrations of solar technologies in their system. Although solar heating and cooling technologies are not, in themselves, "grid-tied" systems, the use of these technologies also impacts grid operations since they offset the use of conventional fuels or electricity.

Solar Resource Assessment and Forecasting

1. But du projet

La Tâche 36 avait répondu partiellement à ces besoins. Les participants se sont rendu compte qu'il fallait approfondir les connaissances de certains aspects de la ressource solaire, notamment la variabilité au pas de temps de l'ordre de la minute, la « bankabilité » des sets de données pour répondre aux différents investisseurs, la précision des prévisions de la ressource à court et moyen terme, ainsi que l'amélioration des différents modèles d'évaluation de la ressource à partir des mesures satellitaires.

Les différents axes du projet s'expriment au moyen de 4 sous-tâches : compréhension de la variabilité de la ressource à court terme pour l'intégration dans les réseaux, standardisation et intégration de données complémentaires dans les sets de données, prévision du rayonnement à court terme (jusqu'à 7 jours), et amélioration des modèles d'évaluation de la ressource solaire.

2. Travaux effectués et résultats acquis

2.1. Qualification des banques de données

Pour conduire la validation des différents modèles satellites pour l'évaluation du rayonnement solaire, une quinzaine de banques de données ont été réunies. Ces banques de données contiennent le rayonnement global, et le rayonnement direct ou diffus. Elles ont été qualifiées selon les critères suivants :

- L'heure d'acquisition
- La calibration des senseurs
- La cohérence des paramètres mesurés

Une fois l'heure d'acquisition dûment vérifiée, la calibration des senseurs a été confirmée au moyen de données mesurées sur un site proche, d'une banque de données de la visibilité ou de l'épaisseur optique, et/ou de la continuité des valeurs mesurées sur le long terme. Finalement, la cohérence entre les composantes du rayonnement a été vérifiée. Les résultats obtenus sont les suivants :

	year per year comparison		aeronet comparison G_h and B_n	Remark
	global irradiance	beam irradiance		
Bratislava (Slovakia)	1994-2007	1994-2007	n/a	none
Carpentras (France)	1995-2011	1995-2011	2003-2011	$G_h(aero/solis) > G_h(bsrn)$ [around 2%] $G_h(aero/cpcr2) \approx G_h(bsrn)$
Geneva (Switzerland)	1995-2011	1995-2011	n/a	G_h compatible with Payerne and Vaulx-en-Velin
Lerwick (Great Britain)	2001-2009	2001-2009	n/a	none
Lindenberg (Germany)	1995-2006	1995-2006	n/a	none
Madrid (Spain)	2004-2011	2004-2011	n/a	none
Nantes (France)	1995-2010	1995-2010	n/a	none
Payerne (Switzerland)	1994-2009	1994-2009	n/a	G_h compatible with Geneva
Sede Boqer (Israel)	2003-2011	2003-2011	1996-2010	$B_n(aero) < B_n(bsrn)$ [2% summer] G_h 2% to high from 2005-2008
Tamanrasset (Algeria)	1995-2010	1995-2010	2006-2009	G_h , very clear conditions, at noon, 5% underestimation by aeronet/solis 1% overestimation by aeronet/cpcr2
Toravere (Estonia)	1999-2011	1999-2011	2002-2009	none
Valentia (Great Britain)	1996-2009	1996-2009	n/a	none
Vaulx-en-Velin (France)	1995-2011	1995-2011	n/a	1995-2004 G_h and B_n to high (5-9%)
Wien (Austria)	1994-2010	1994-2010	n/a	none
Zilani (Letonia)	1993-2009	1993-2009	n/a	G_h 10% to low in 1999 G_h 15% to high in 2003

Table I Qualification des banques de données utilisées pour la validation des modèles.

2.2 Modèles satellites

Cinq modèles d'évaluation du rayonnement solaire à partir du satellite sont validés sur ces bases de données mesurées au sol. Il s'agit de :

- **Helioclim v3** : base de données développée par l'Ecole de Mines de Paris à Sophia Antipolis. Le calcul est basé sur la méthode Heliosat initialement développée par Cano (1986) pour le calcul de l'indice nuageux. Le rayonnement global est ensuite évalué sur la base du modèle ciel clair ESRA (Atlas européen), et la composante directe au moyen de la relation de Liu et Jordan et la composante
- **SolarGIS** : développé par GeoModel en Slovaquie, le schéma utilise le modèle ciel clair Solis (Ineichen 2008) et le modèle de fraction diffuse Dirlnt (Perez-Ineichen 1998). Il utilise des valeurs journalières de turbidité.
- **Solemi** : basé sur le modèle ciel clair de Bird (Bird 1980) et DirIndex (Perez-Ineichen 2002)
- **IrSOLaV** : c'est le seul modèle qui n'est pas basé sur la méthode Heliosat, mais sur une statistique de Box et Whistler. La composante directe est ensuite évaluée au moyen du modèle de Louche (Louche 199n) qui n'est autre qu'une formulation améliorée du modèle de Liu et Jordan.
- **S2m Solutions** : basé sur un modèle de circulation météorologique pour déterminer la paramètre d'entrée du modèle et sur la méthode Heliosat.

2.3 Méthodes d'évaluation

Si l'on considère un ensemble de couples de valeurs, les unes issues du modèle, les autres de la mesure, on désire connaître l'erreur d'estimation sur la valeur modélisée. Les causes de la dispersion entre ces deux séries de valeurs sont :

- Les erreurs de mesure : la comparaison est faite avec des mesures effectuées au sol dont la précision n'est pas toujours connue ou optimale. Ces mesures ne représentent pas la réalité, mais sont entachées d'erreur dues à la méthode de mesure, le temps d'intégration, la calibration des instruments, leur précision, leur entretien, etc.
- Les paramètres entrant dans le modèle d'évaluation : les modèles sont déterminés physiquement ou empiriquement sur la base de mesures. Lors de l'élaboration d'un modèle, des hypo-

thèses sont faites sur le nombre et le type de variables qui paramétrisent le modèle, ainsi que de la forme de leur effet.

Dans le domaine de l'énergie solaire, ce deuxième point est souvent très important ; on ramène des phénomènes extrêmement complexes par le nombre de variables et leur dynamique à des approximations relativement simples.

Les indicateurs les plus communément utilisés par les chercheurs lors de comparaison entre modèles et mesures sont le biais moyen, l'écart quadratique moyen, l'écart standard et le coefficient de corrélation. Il s'agit de statistique de premier ordre:

- Le **biais moyen** (*mbd*) traduit une erreur systématique entre les données issues du modèle et les valeurs mesurées
- La **déviati n standard** (*sd*) exprime la dispersion des estimations autour du biais, ou la précision intrinsèque du modèle ; elle ne tient pas compte des erreurs systématiques.
- L'** cart quadratique moyen** (*rmsd*) donne la précision du modèle, compte tenu des erreurs systématiques.
- Et le **coefficient de corrélation** *R*. Le coefficient de corrélation sert à quantifier la linéarité de la relation entre deux séries de données. Il est compris entre -1 et +1. Pour une bonne équivalence entre le modèle et la mesure, la valeur absolue du coefficient de corrélation se rapproche de 1. Le **coefficient de détermination** R^2 , égal au carré du coefficient de corrélation, exprime la proportion de variance entre le modèle et la mesure.

Les indicateurs du second ordre utilisés sont définis par le test de Kolmogorov-Smirnov (Massey 1951, Espinar 2009). Ce test évalue la capacité d'un modèle à reproduire les fréquences d'occurrence pour chaque niveau de rayonnement.

2.3 Résultats préliminaires

La table ci-dessous donne des résultats préliminaires sur la validation de la composante directe du rayonnement solaire en valeurs horaire. Par essence, les modèles satellites, basé sur une réflectance par le système nuages/atmosphère ne donnent que la composante globale. Il s'agit ensuite d'en déduire la composante directe au moyen d'un modèle de séparation des composantes. C'est la raison pour laquelle les incertitudes sont relativement élevées. Les données du modèle S2m n'était pas encore disponible pour ce tableau.

Beam irradiance	Hourly values																			
	SolarGis					Helioclim v3					Solemi (aerocom)					IrSOLaV				
	Bn	nb	R2	mbd	sd	Bn	nb	R2	mbd	sd	Bn	nb	R2	mbd	sd	Bn	nb	R2	mbd	sd
Bratislava 2004 - 2007	267	17995	0.930	-9%	38%	267	17642	0.881	-4%	49%	274	17163	0.863	-22%	53%					
Carpentras 2004 - 2011	445	32157	0.940	-1%	26%	446	31785	0.870	1%	37%	445	31801	0.902	-4%	33%	432	24286	0.906	6%	32%
Geneva 2004 - 2011	302	34050	0.928	7%	40%	303	33679	0.895	1%	47%	304	33213	0.873	-5%	53%	295	26111	0.885	24%	53%
Lerwick 2004 - 2009	133	22764	0.884	7%	78%	143	20222	0.793	49%	106%	133	22799	0.796	-6%	104%					
Lindenberg 2004 - 2006	276	11247	0.925	-6%	40%	275	10987	0.863	5%	53%	276	11250	0.859	-26%	54%	289	3601	0.816	13%	61%
Madrid 2004 - 2011	424	30077	0.926	9%	30%	425	29666	0.859	10%	40%	425	29189	0.877	9%	40%	432	22872	0.879	7%	37%
Nantes 2004 - 2010	281	25837	0.230	-51%	98%	282	25491	0.844	2%	54%	279	25529	0.854	-8%	56%	273	17281	0.818	9%	62%
Payerne 2004 - 2009	282	25104	0.922	10%	44%	283	24782	0.873	-2%	55%	280	24893	0.888	-1%	53%	277	16969	0.855	24%	63%
Sede Boquer 2004 - 2011	589	30398	0.903	-4%	22%	590	30077	0.791	-17%	31%	580	30496	0.865	-9%	29%	591	22835	0.711	-7%	36%
Tamanrasset 2004 - 2011	582	31774	0.919	3%	22%	588	27169	0.726	15%	39%	580	30496	0.865	-9%	29%					
Toravere 2004 - 2011	242	33804	0.910	-5%	51%	260	30951	0.829	8%	65%	243	32859	0.863	-25%	62%					
Valencia 2004 - 2009	219	35521	0.919	-23%	47%	220	35173	0.838	1%	66%	219	35589	0.846	-27%	64%	226	26472	0.815	0%	71%
Vaulx-en-Velin 2004 - 2011	299	33122	0.914	5%	41%	300	32757	0.874	9%	49%	304	32294	0.871	1%	53%	274	26732	0.849	25%	62%
Wien 2004 - 2011	259	33671	0.905	-4%	47%	259	33315	0.876	2%	54%	261	32849	0.858	-17%	57%					
Zilani 2004 - 2009	229	24901	0.880	-1%	60%	243	23051	0.818	27%	72%										
All sites	336	28395		-3%	40%	338	27408		3%	48%	336	27888		-9%	46%	349	20796		9%	48%

Table II Résultats préliminaires de la validation du rayonnement direct

3. Collaboration internationale

Cette recherche entre dans le cadre de la Tâche 46 de l'AIE: *Solar Ressource Assessment and Forecasting*. Les participants à cette Tâche sont l'Australie, l'Autriche, le Canada, les Etats-Unis, la France, l'Allemagne, la Slovaquie, l'Espagne, et la Suisse. Le Chili et la Russie sont hôtes invités.

4. Evaluation du projet

Des échanges fructueux avec d'autres projets sont en cours, notamment en ce qui concerne le rayonnement direct. Lors du prochain meeting, il est prévu une journée de discussion sur le rayonnement direct.

5. Publications dans le cadre du projet

- [1] Bird, R.E., Huldstrom, R.L., (1980). Direct insolation models. Trans. ASME J. Sol. Energy Eng. 103, 182–192.
- [2] Cano, D., Monget, J., Albuisson, M., Guillard, H., Regas, N., & Wald, L.(1986). A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellite data. Solar Energy, 37, 31-39
- [3] Ineichen P. (2008) A broadband simplified version of the Solis clear sky model. Pierre Ineichen. Solar Energy, Volume 82, Issue 8, Pages 758-762
- [4] Liu B.Y.H, Jordan R.C (1960) The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. Volume 4, Issue 3, Pages 1-19
- [5] Massey Jr., F.J., 1951. The Kolmogorov–Smirnov test for goodness of fit. Journal of the American Statistical Association 4, 68–78.
- [6] Perez R., Ineichen P., Maxwell E., Seals R., Zelenka A.Q. (1992) Dynamic global to direct irradiance conversion models. ASHRAE Transactions-Research series, pp354-369.