



HAL
open science

Simulation des Performances Annuelles d'une Installation à Énergie Solaire Concentrée

Olivier Farges, Jean-Jacques Bézian, Hélène Bru, Mouna El-Hafi, Olivier
Fudym

► **To cite this version:**

Olivier Farges, Jean-Jacques Bézian, Hélène Bru, Mouna El-Hafi, Olivier Fudym. Simulation des Performances Annuelles d'une Installation à Énergie Solaire Concentrée. Congrès Français de Thermique, May 2013, Gerardmer, France. 2013. hal-01165299

HAL Id: hal-01165299

<https://imt-mines-albi.hal.science/hal-01165299>

Submitted on 18 Jun 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONTEXTE

Du fait de l'investissement considérable demandé par la construction d'une centrale solaire à récepteur central, les **performances** de ce type d'installations doivent être **maximisées**. Dans cette optique, la phase préliminaire de design revêt un caractère fondamental. Nous proposons ici une nouvelle approche basée sur les méthodes de Monte Carlo permettant d'**intégrer annuellement la puissance instantanée reçue** à l'entrée du récepteur d'une centrale solaire. Pour cela nous prenons en compte les positions que prend le soleil tout au long d'une année et la puissance associée. Nous obtenons ainsi, avec un temps de simulation acceptable, une estimation précise de l'**énergie thermique collectée annuellement** [4]. De part sa vitesse d'exécution, ce code peut s'intégrer dans une **boucle d'optimisation** de type stochastique (optimisation par essaim de particules, algorithmes génétiques, ...).

MODÈLE

L'algorithme **MCST** évalue l'énergie annuelle E collectée par le récepteur d'une centrale solaire à concentration :

$$E = \int_{\text{Année}} dt \int_{\mathcal{H}^+} dx \int_{\Omega_{\text{soleil}}} d\omega_S \text{DNI}(t) \times [H(\mathbf{x}_0 \notin (\mathcal{H} \cup \mathcal{T})) \times \int_{2\pi} d\omega_1 f_r(\omega_1 | \omega_S, \mathbf{x}_1, \nu) |\mathbf{n}_h \cdot \omega_1| \times [H(\mathbf{x}_2 \in \mathcal{T}^+)]]$$

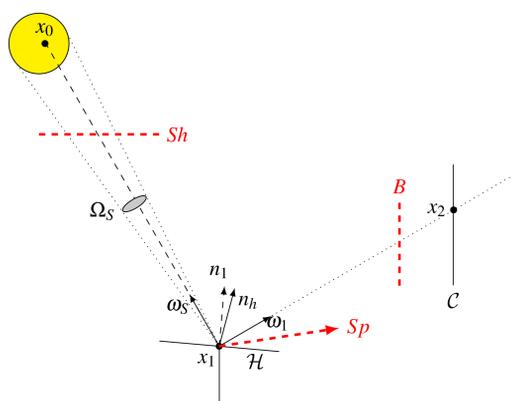
Le modèle évalue les pertes optiques :

L'ombrage : une surface se trouve entre le soleil et un héliostat

Le blocage : une surface bloque le rayon réfléchi par l'héliostat avant son impact avec la cible

Les pertes par débordement : les rayons réfléchis venant des héliostats franchissent le plan contenant la cible sans impacter cette dernière

ALGORITHME



Energie $E = 0$

pour chaque réalisation faire

Échantillonnage uniforme de δ dans $[0, 365]$

Échantillonnage uniforme de η dans $[7h, 19h]$

pour $i = 1$ a $i = N$ faire

Échantillonnage uniforme de \mathbf{x}_1 sur \mathcal{H}^+

Échantillonnage uniforme de ω_0 dans le disque solaire Ω_S

Génération de \mathbf{n}_h selon le modèle de Blinn

si pas d'ombrage entre le soleil et \mathbf{x}_1 alors

$\hat{w}_E = \text{DNI}(t) |\mathbf{n}_h \cdot \omega_S| S_{\mathcal{H}^+}$

sinon

$\hat{w}_E = 0$

arrêt

Réflexion spéculaire

$\omega_1 = \omega_S + 2|\mathbf{n}_h \cdot \omega_S| \mathbf{n}_h$

$\mathbf{x}_2 =$ intersection entre $\text{Rayon}(\mathbf{x}_1, \omega_1)$ et un élément de la géométrie

si \mathbf{x}_2 existe alors

si $\mathbf{x}_2 \in \mathcal{C}^+$ alors

$E = E + \hat{w}_E$

sinon

$\hat{w}_E = 0$

arrêt

sinon

$\hat{w}_E = 0$

arrêt

$i = i + 1$

INTERPOLATION DES DNI

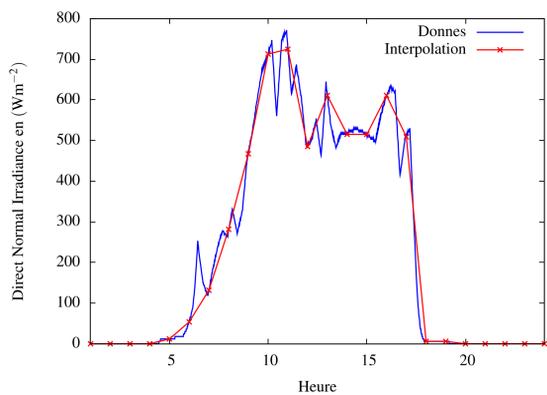
À chaque position du soleil en un lieu donné du globe définie par :

- Une latitude
- Un jour $\gamma \in [1; 365]$ et une heure $\eta \in [7h; 19h]$

correspond :

- une **moyenne horaire de DNI** (Direct Normal Irradiance en Wm^{-2})
- issue d'un fichier de **données météo TMY** (Typical Meteorological Year)

Nous réalisons une **interpolation linéaire** pour connaître $\text{DNI}(t)$ (ex : 21 Juin 2005 à Albi [1])



EDSTAR

EDStaR (Environnement de Développement pour les Statistiques Radiatives) maintenu par le groupe StarWest [3] :

- Framework utilisant les **méthodes de Monte Carlo** avec estimation de sensibilités et calcul de barres d'erreur
- Techniques avancées de rendu issues de la communauté de synthèse d'image [5]
- Parallélisation massive et accélération de lancer de rayons en **géométrie complexe**

REFERENCES

- [1] Soda : Solar energy services for professionals. <http://www.soda-is.com/eng/index.html>.
- [2] M. J. Blanco, J. M. Amieva, and A. Mancilla. The Tonatiuh Software Development Project: An open source approach to the simulation of solar concentrating systems. In *Proceedings of the ASME Computers and Information in Engineering Division*, pages 157–164. AMER SOC MECHANICAL ENGINEERS, 2005. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Orlando, FL, NOV 05-11, 2005.
- [3] J. De La Torre, J. J. Bézien, G. Baud, S. Blanco, C. Caliot, J. Cornet, J. Dauchet, M. El Hafi, V. Eymet, R. Fournier, J. Gautrais, O. Gourmel, F. Veynandt, N. Meilhac, A. Pajot, M. Paulin, P. Pérez, B. Piaud, M. Roger, J. Rolland, and S. Weitz. Monte carlo advances and concentrated solar applications. *Solar Energy*, in press, 2013.
- [4] O. Farges, J. J. Bézien, M. El Hafi, and H. Bru. Simulation of yearly energy for solar heating systems. In *Proceedings of 18th SolarPACES Conference*, Marrakech, Morocco, 11-14 September 2012.
- [5] M. Pharr and G. Humphreys. *Physically Based Rendering, second edition : from theory to implementation*. Morgan Kaufmann Publishers, 2010.
- [6] F. M. F. Siala and M. E. Elayeb. Mathematical formulation of a graphical method for a no-blocking heliostat field layout. *Renewable energy*, 23(1):77–92, 2001.

VALIDATION

Nous avons réalisé une série de simulations avec **Tonatiuh** [2] et l'algorithme **MCST** pour un cas test :

- Centrale à tour composée de 146 héliostats
- Agencement radial étagé (méthode MUEEN [6])
- Héliostats composés de 9 miroirs carrés de 1,6 m de coté
- Réflexions supposées spéculaires
- Installation située sur l'équateur
- Cible carrée de 4 m de coté

Deux étapes de validation :

1. **Dates fixes**, sans suivi du soleil avec $\text{DNI} = 1000 \text{Wm}^{-2}$ et 1 000 000 rayons
2. **Intégration temporelle** avec 50 dates aléatoires (1 000 000 rayons pour Tonatiuh)

Dates	Tonatiuh	MCST
Équinoxe de printemps	2.97MW	2.97MW ± 72W
Solstice d'été	3.19MW	3.19MW ± 98W
Équinoxe d'automne	2.98MW	2.98MW ± 73W
Solstice d'hiver	3.19MW	3.19MW ± 98W
50 dates	6.329GWh _{th}	6.323 ± 0.623GWh _{th}

TEMPS DE CALCUL

Comparaison des temps de calcul^a entre Tonatiuh qui ne prend en compte qu'une date, et l'algorithme **MCST** pour lequel une réalisation correspond à une date :

Realisations	Tonatiuh	MCST
$5 \cdot 10^4$	≈ 3s	3.7s
$5 \cdot 10^5$	≈ 24s	35.4s
$5 \cdot 10^6$	≈ 156s	276.5s

^aSur PC linux avec AMD Phenom II X6 1055T 2.8GHz et 12Go RAM

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous proposons une nouvelle approche :

- Pour évaluer l'énergie thermique collectée annuellement par une centrale solaire
- Avec un code de calcul rapide évaluant cette grandeur avec son incertitude
- Valider par comparaison avec un code reconnu
- Facilement intégrable dans un processus d'optimisation

Les prochains développements concernent :

- L'estimation de l'électricité produite pour réaliser l'optimisation en terme de MWh_{el}
- Coupler le modèle direct avec un algorithme d'optimisation par essaim de particules (PSO)
- Ajouter un paramètre **coût** de l'électricité produite