



Journées Nationales sur l'Énergie Solaire

25 au 27 Août 2021
Odeillo

CARBURANTS SOLAIRES MÉTALLIQUES : L'AVENIR DU TRANSPORT

Youssef **BERRO**, Marianne **BALAT-PICHELIN**

Laboratoire PROcédés, Matériaux et Energie Solaire, UPR 8521 CNRS, 7 rue du four solaire, 66120 Odeillo, France

Contact e-mail :

youssef.berro@promes.cnrs.fr

RÉSUMÉ

Les carburants métalliques, possédant une grande densité énergétique, sont considérés comme des alternatives propres aux combustibles fossiles dans le domaine du transport afin de réduire l'effet de serre [1]. L'avantage de leur utilisation vient de leur durabilité car ils peuvent être régénérés par réduction des produits de combustion (oxydes métalliques) [2]. L'utilisation d'énergie renouvelable comme source de chaleur pour le procédé de réduction, rend ainsi le cycle de combustion/réduction plus attractif, écologique et économiquement efficace. Par conséquent, des expériences de réduction carbo-thermique sous basse pression (< 1000 Pa) de la magnésie et de l'alumine ont été réalisées dans le réacteur Sol@rmet en utilisant la concentration du rayonnement solaire à l'aide d'un four solaire de 1,5 kW [3].

Concernant la carbo-réduction de la magnésie, les expériences solaires ont démontré qu'une circulation tourbillonnaire dans le réacteur permet de purger les produits et d'améliorer le rendement de production du magnésium d'environ 15%. Ces expériences confirment les résultats des simulations numériques, faites en utilisant le programme ANSYS-CFX, montrant qu'une meilleure circulation est obtenue en utilisant deux entrées d'argon (en bas et en haut du réacteur). De plus, le broyage mécanique des poudres C/MgO augmente le rendement du magnésium jusqu'à 85%. Ceci peut être attribué au meilleur contact entre les particules C et MgO, la diminution de la taille des particules, et la prévention d'agglomération du MgO. En outre, le rendement le plus élevé de 95%, d'agglomérats de particules et de cristaux submicroniques de Mg (95% pureté), est atteint en augmentant progressivement la température et en utilisant la bentonite qui agit comme liant et catalyseur. Finalement, en testant des catalyseurs métalliques (Fe, Ni, Fe-Ni), il s'est avéré qu'ils avaient un effet négatif sur la réduction car la réaction est accélérée au début et le carbone est vite consommé, ce qui réduit le contact C/MgO et favorise ainsi le frittage des poudres de magnésie.

Concernant la carbo-réduction de l'alumine, les expériences visent à optimiser les conditions de la réaction pour limiter la formation des sous-produits indésirables d'oxycarbures. Dans ce but, des essais solaires sont réalisés sous différentes pressions (190-840 Pa) et vitesses d'échauffement. L'effet du broyage mécanique des particules C/Al₂O₃ est similaire au cas de la magnésie, conduisant à l'amélioration du rendement de production d'aluminium d'environ 15%. Cependant l'ajout du liant bentonite est néfaste pour la réduction d'alumine car la réaction est accélérée au début, favorisant la formation des sous-produits. Les résultats ont montré qu'à 840 Pa, un rendement maximal de 75%, de nano- et micro-particules d'aluminium relativement pures (85%), est obtenu en augmentant



2
0
2
1

Journées Nationales sur l'Énergie Solaire

25 au 27 Août 2021
Odeillo

SOLUTIONS DE CONCENTRATION SOLAIRE AU SERVICE DE L'INDUSTRIE

Benoît FIERs, Didier MARTIN^a

^a IDHELIO, Albi, France

Contact e-mail :

didier.martin@idhelio.com

RÉSUMÉ : Acteur de l'industrie solaire en France depuis 2008, IDHELIO développe et commercialise des solutions de production de chaleur solaire par la concentration thermodynamique à l'aide de Miroirs Linéaires de Fresnel d'une part, et de stockage de chaleur par chaleur sensible d'autre part. Ces technologies à l'air chaud sont conçues essentiellement à destination des petits sites industriels. Un exemple de mise en application de ces technologies sur le site de Fruit-Gourmet (47) est présenté. Les enseignements et retours du terrain après 3 ans de fonctionnement sont discutés, et les différentes problématiques concrètes liées à la conception détaillée du système, à sa réalisation, et à son pilotage sont abordées. Les évolutions futures de ce type de système et quelques autres cas d'application à l'étude sont enfin présentés.

Mots Clés : Concentration solaire thermodynamique, Miroirs linéaires de Fresnel, Solaire à air chaud, Stockage par chaleur sensible, Stockage à thermocline, Procédés Industriels

Thèmes : Gestion de l'intermittence et Stockage, Concentration et Solaire thermodynamique

Statut : Autre : Industriel (Développement, conception et réalisation)

Résumé à envoyer à l'adresse suivante : jnes2021@univ-smb.fr



Journées Nationales sur l'Énergie Solaire

25 au 27 Août 2021
Odeillo

REGIMES D'ÉCOULEMENT DANS LES RÉCEPTEURS SOLAIRES TUBULAIRES À LITS FLUIDISÉS

Ronny **GUEGUEN**^a, Guillaume **Sahuquet**^b, Samuel **Mer**^c, Adrien **Toutant**^d, Françoise **Bataille**^e,
Gilles **Flamant**^f

a,b,c,d,e,f laboratoire PROMES, CNRS, France

Contact e-mail :

ronny.gueguen@promes.cnrs.fr, guillaume.sahuquet@promes.cnrs.fr

RÉSUMÉ

Le laboratoire PROMES (CNRS) développe depuis 2010 une technologie de récepteur solaire basée sur la circulation de particules fluidisées dans des tubes métalliques verticaux soumis au flux solaire concentré. L'utilisation de particules de type sable en tant que fluide de transfert de chaleur et milieu de stockage est peu coûteuse et permet d'étendre la gamme de température admissible par rapport aux sels fondus actuellement utilisés dans les centrales solaires à concentration (>560°C). Grâce à l'augmentation de la température en sortie du récepteur, il est possible d'utiliser des cycles thermodynamiques à hauts rendements (~50%) et ainsi d'accroître les performances des centrales. Un des verrous de cette technologie est la maîtrise des écoulements diphasiques dans les tubes du récepteur. En effet, plusieurs régimes de fluidisation apparaissent en fonction des paramètres de contrôle. Des bulles se forment en bas du tube puis coalescent sur la hauteur pour former des pistons. Ces derniers doivent être évités car ils limitent le mélange des particules, ce qui a pour effet de réduire les échanges thermiques. Pour de forts débits d'air, un régime de fluidisation turbulent apparaît. Celui-ci se caractérise par un excellent brassage des particules et donc de très bons transferts de chaleur. La compréhension des conditions d'apparition de ces régimes est donc primordiale pour définir les meilleurs paramètres opératoires en exploitation. Pour ce faire, plusieurs bancs expérimentaux, avec et sans exposition au flux solaire concentré, ont été mis en place au laboratoire PROMES afin d'étudier le comportement de ces écoulements diphasiques et des différents régimes hydrodynamiques.

Mots Clés : Fluidisation, Récepteur Solaire à Lits Fluidisés, Hydrodynamique d'Écoulement Gaz-Particules

Thèmes : Concentration et Solaire Thermodynamique

Statut (gardez la mention utile): ^{a,b} Autre : Doctorant – ^{c,d,e,f} Enseignant Chercheur



Journées Nationales sur l'Énergie Solaire

25 au 27 Août 2021
Odeillo

CARACTERISATION ET LOCALISATION DE L'ENDOMMAGEMENT DANS LES MATERIAUX SOUS CONTRAINTE THERMIQUE : APPLICATION DE L'ÉMISSION ACOUSTIQUE

Florian BONZOMS ^a, Olivier FAUGEROUX ^a, Stéphane THIL ^a, Thierry CHOTARD ^b

^a laboratoire PROMES, Perpignan, France, ^b laboratoire IRCER, Limoges, France

Contact e-mail : Florian.bonzoms@promes.cnrs.fr

RÉSUMÉ :

Les centrales solaires à concentration représentent une solution prometteuse dans la transition énergétique. Un grand nombre d'études vise à améliorer leurs performances. Les aléas climatiques (passages nuageux) produisent des variations brutales dans le flux solaire, ce qui engendre de fortes contraintes thermiques et mécaniques sur le récepteur. Les caractéristiques attendues pour un matériau constitutif d'un récepteur de bonne qualité sont la tenue en température, à l'oxydation, une bonne conductivité thermique et un faible coefficient de dilatation thermique. Le carbure de silicium (SiC), à ces différents titres, semble donc être un bon candidat. Son inconvénient majeur est sa faible capacité de déformation engendrant un comportement mécanique fragile (rupture soudaine et non prévisible).

Une série de thèses a permis de développer un banc d'essai pour matériau sous irradiation solaire concentrée : le banc IMPACT (In-Situ thermo-Mechanical Probe by ACOustic Tracking). Ce système expérimental permet le suivi du comportement thermomécanique du matériau grâce à l'émission acoustique (EA). L'EA correspond à l'enregistrement des ondes générées (appelées salves) par le matériau soumis à une contrainte (mécanique ou thermique). On fera l'hypothèse qu'un même type d'événement, (microfissuration, corrosion, délamination...) dans un milieu de propagation de même fonction de transfert, produira un même type de salve. Chaque salve (signal) est ensuite caractérisée par une série de paramètres appelés paramètres de forme, comme par exemple l'amplitude, la durée, l'énergie, etc. Pour le système IMPACT, les salves sont détectées de manière simultanée par six capteurs pour permettre une localisation par double triangulation.

Le comportement du Carbure de Silicium (SiC) sous contraintes thermiques sévères nécessite toujours plus d'investigations, notamment dans le cadre de la conception de système assemblés. Afin de mieux comprendre les différents mécanismes mis en jeu, des échantillons de SiC ont été testés sur le banc IMPACT. Certains d'entre eux contiennent une singularité connue (brasure) afin d'évaluer le rôle joué par ce type de « défaut » dans le comportement global de l'échantillon. Un chargement thermique cyclique permet de générer un champ de contrainte de même nature dans l'échantillon. Les données brutes de l'EA sont enregistrées puis traitées afin de mieux caractériser et localiser l'endommagement.

Pour détecter de manière précoce la rupture, une classification précise des différentes signatures acoustiques en temps réel sera nécessaire. L'objectif étant, *in fine*, de prévoir l'endommagement ou la ruine sur un récepteur réel. Pour cela, la technique sera transposée sur un pilote à échelle 1.

Mots Clés : *Émission acoustique, céramique, solaire à concentration, récepteur solaire*

Thèmes (choisissez au plus 2 thèmes parmi): Concentration et Solaire thermodynamique

Statut (gardez la mention utile): PhD

Résumé à déposer sur le site <https://www.fedesol.cnrs.fr/evenements-et-jnes/>



2
0
2
1

Journées Nationales sur l'Énergie Solaire

25 au 27 Août 2021
Odeillo

SOLAR FRESNEL 3D RAY TRACING MODELLING, FIELD GEOMETRY OPTIMIZATION, AND DEVELOPMENT OF A NEW CALCULATION MODEL FOR THE INCIDENT ANGLE MODIFIER

Alessia **BOCCALATTE**^a, Samuele **MEMME**^b, Marco **FOSSA**^c, Christophe **MÉNÉZO**^d

^{a,d}Université Savoie Mont Blanc, CNRS, LOCIE UMR CNRS 5271, Savoie Technolac, 73376 Le Bourget Du Lac, France

^{a,b,c}University of Genova, DIME - Department of Mechanical, Energy, Management and Transportation Engineering, Via Opera Pia 15a, 16145, Genova, Italy

Contact e-mail :

alessia.boccalatte@univ-smb.fr

RÉSUMÉ

Since their first appearance as a contribution by Professor Francia at the University of Genova, Italy, the Linear Fresnel Collectors (LFC) demonstrated to be an engineering efficient technology for medium to high temperature solar applications. The strength of the LFC concept is related to the simple mirror motion law, to the compactness of the mirror fields (power to land surface ratios), to the lowest resistance to wind, to the system intrinsic scalability. To perform reliable LCOE analyses, robust performance simulation tools are needed.

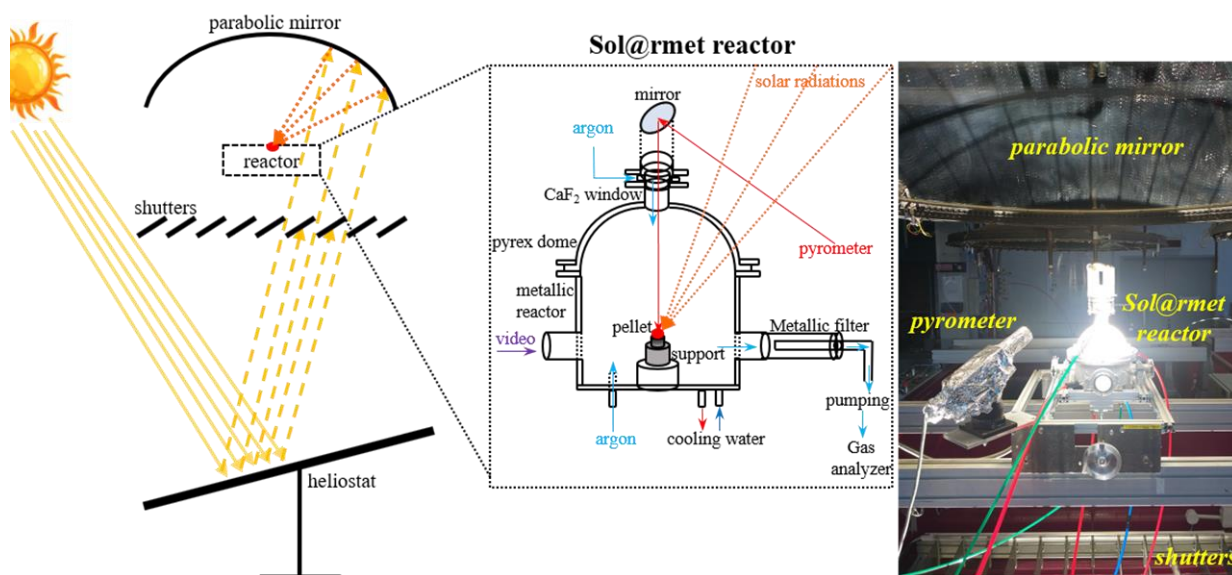
These researches are related to the development of a new in-house 3D ray-tracing model, able to account for shading, blocking, and end effects as a function of LFC geometry, including primary and secondary mirror curvatures. Thanks to this model (named FresnelSim) a parametric analysis has been applied to the distance between mirrors and the receiver height. After the code validation against Tonatiuh, the calculations are performed to optimize the performance of a real LFC plant in Morocco. Finally, new Incidence Angle Modifier (IAM) correlations based on the declination and zenith angles have been developed to reduce huge yearly ray tracing datasets and provide very compact analytical equations for fast hourly performance simulations.

Mots Clés : Linear Fresnel collector, Optical and energy efficiency, Raytracing simulations, Incidence Angle Modifier

Thèmes (choisissez au plus 2 thèmes parmi): Concentration et Solaire Thermodynamique

Statut (gardez la mention utile): ^{a,b}PhD – ^{c,d}Full Professor

progressivement la température sur 22 min. Tandis qu'en diminuant la pression à 285 Pa, la formation d'Al₂O₃ est évitée permettant d'atteindre une pureté de 91% d'aluminium avec un rendement de 77%. Néanmoins, la diminution de la pression jusqu'à 190 Pa devient désavantageuse (rendement d'Al de 43%), le flux d'argon devenant négligeable, les poudres ainsi produites se déposent sur les parois du réacteur où elles peuvent être facilement oxydées (40% Al₂O₃).



- [1] Lomba R, Bernard S, Gillard P, Mounaïm-Rousselle C, Halter F, Chauveau C, et al. Comparison of Combustion Characteristics of Magnesium and Aluminum Powders. *Combust Sci Technol* 2016; 188: 1857–77. <https://doi.org/10.1080/00102202.2016.1211871>.
- [2] Bergthorson JM, Goroshin S, Soo MJ, Julien P, Palecka J, Frost DL, et al. Direct combustion of recyclable metal fuels for zero-carbon heat and power. *Appl Energy* 2015; 160: 368–82. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.037>.
- [3] Puig J, Balat-Pichelin M, Beche E. Solar metallurgy for the production of Al and Mg particles. *SolarPACES 2017*, vol. 2033, Santiago, Chile: AIP Conference Proceedings; 2018, p. 140002. <https://doi.org/10.1063/1.5067153>.

Mots Clés : réduction carbo-thermique, solaire thermique à concentration, magnésium, aluminium, broyage.

Thèmes (choisissez au plus 2 thèmes parmi): Concentration et Solaire thermodynamique

Statut (gardez la mention utile): post-doctorant