

Appel À Projets I : formulaire de candidature

Nom du correspondant : Thomas FASQUELLE

Nom du projet : CROCS (Concept de Restaurants Optimisés pour la Cuisine Solaire)

Résumé du projet (5 lignes en anglais) :

Le Présage is a restaurant that will be built in 2021 within the Château-Gombert technopole in Marseille. This restaurant will associate a solar concentrating Scheffler reflector and a low-energy consumption building in order to provide a pleasant place to eat high-quality carbon-free food. A collaboration with the laboratory IUSTI has started in order to experimentally (thanks to a prototype) and numerically work on optics, heat transfer enhancement and thermal energy storage.

Volet(s) complémentaires demandé(s) : Collaboration internationale Pédagogie



Figure 1: Vue d'artiste du projet

Contenu scientifique (3 pages maxi)

Contexte scientifique

1. Introduction

Parmi les divers dispositifs de cuisine solaire, les réflecteurs de type Scheffler sont des cuiseurs à double-réflexion (cuisine possible à l'intérieur des bâtiments), hautes températures (jusqu'à 400 °C), bon marché et simples de construction et d'utilisation. Ils sont constitués de trois éléments principaux (Figure 2) : un collecteur principal composé de miroirs qui renvoient les rayons solaires vers le miroir secondaire, un miroir secondaire sous le cuiseur et une plaque de chauffe servant à la fois de récepteur et de dispositif de cuisson. Un suivi du soleil est mis en place à l'aide d'un pendule

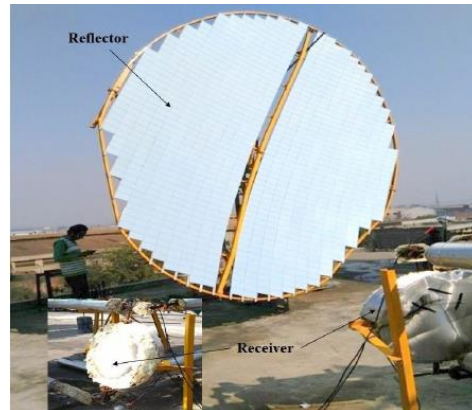


Figure 2 : Une parabole Scheffler [1]

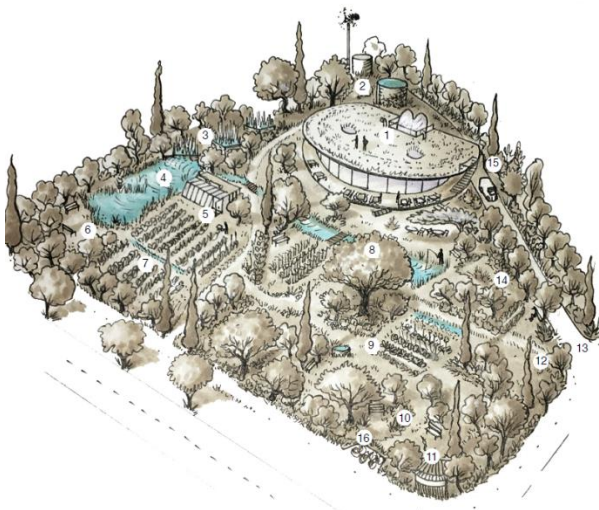


Figure 3 : Concept du restaurant solaire "Le Présage"

Le projet de restaurant « Le Présage » (Figure 3) vise à combiner des réflecteurs Scheffler à un bâtiment à haute qualité environnementale (consommation d'énergie nulle voire négative) dans l'objectif de promouvoir la cuisine solaire par l'exemple d'un restaurant milieu-haut de gamme, implanté à Marseille sur le technopôle de Château Gombert. Ce projet est mené en collaboration avec le laboratoire IUSTI afin d'améliorer les connaissances sur la thermique de ce type de bâtiment et sur les systèmes de cuisines solaire. Il doit apporter des conclusions sur la faisabilité d'un système de cuisine solaire dont l'ergonomie serait proche de celle des systèmes conventionnels (cuisine « à toute heure » grâce à un système de stockage), tout en restant bon marché, respectueux de l'environnement et sans danger pour ses utilisateurs.

Les défis techniques à relever sont les suivants :

- Le développement, le dimensionnement et la création d'un banc de cuisson (plaque chauffante) intégrant un système de stockage d'une durée d'au moins 8h ;
- Le développement de méthodes d'analyse des performances du banc développé, mais aussi de son ergonomie (contrôle du gradient de température sur la plaque de cuisson par exemple) ;

- Le développement d'outils et de méthodes de pilotage du banc de cuisine solaire : choix de la puissance de chauffe et de la puissance stockée ou déstockée, choix de la température, etc ;
- La modification du système optique pour en augmenter l'efficacité.

2. Positionnement par rapport à l'état de l'art

Les différentes technologies de cuisine solaire sont les cuiseurs de type boîtes, les réflecteurs paraboliques, les capteurs plans et les cuiseurs de type *Scheffler* [2] (voir Figure 4).

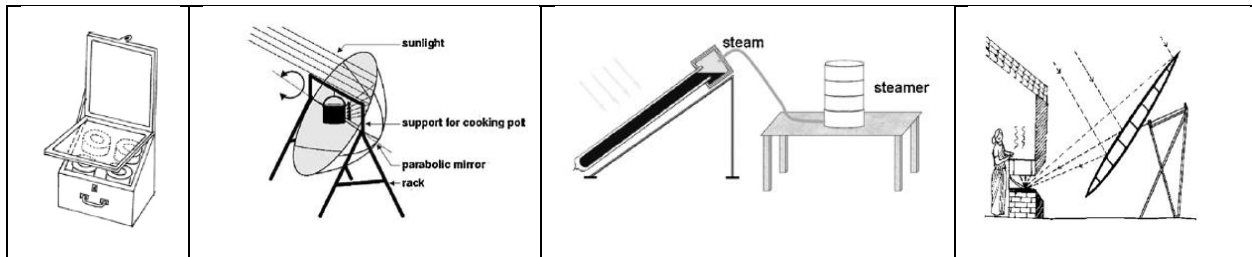


Figure 4 : Les différents systèmes de cuisine solaire : boîte, parabole, capteurs plans et Scheffler [3]

Au moins 150 articles scientifiques portant sur la cuisine solaire ont été publiés depuis l'an 2000. Environ 40-50% d'entre eux ne s'intéressent qu'à la qualification des performances de cuiseurs solaires de type « boîte », c'est-à-dire des installations simples, parallélépipédiques, avec la surface supérieure vitrée pour laisser passer le rayonnement solaire tout en limitant les déperditions thermiques [4, 5]. Des boosters (miroirs sur les côtés) peuvent augmenter la température du cuiseur (légère concentration) [3, 6]. Ce type de cuiseur possède plusieurs inconvénients, dont l'obligation de cuisiner en extérieur, des températures très faibles et une forte dépendance à la ressource solaire. Peu d'études s'intéressent au développement d'un système de stockage efficace [7, 8, 9, 10] (environ 20% des articles), notamment couplé à une parabole Scheffler. Or, il semble avoir été mis en exergue que seul un système de stockage permettra de faire accepter les cuiseurs solaires par ses potentiels utilisateurs qui sont peu enclins à adapter leurs habitudes horaires de cuisine aux conditions climatiques [11, 12, 13].

Programme

Les enjeux scientifiques de ce travail de recherche sont d'une part la maîtrise et la modélisation du matériau à changement de phase à haute température inclus dans le cuiseur couplé à la parabole (intensification et contrôle des transferts thermiques), et d'autre part la modélisation et l'optimisation du système complexe « cuisine-bâtiment-jardin » par une meilleure valorisation de la ressource solaire (optimisation optique, thermique et fluïdique). Il concernera plus particulièrement :

- le développement d'un nouveau système de cuisson de type Scheffler avec une unité de stockage par matériaux à changement de phase et une parabole plus efficace ;
- l'étude expérimentale des performances du banc initial et du nouveau système ;
- la recherche de solution pour intensifier et contrôler les échanges thermiques dans le banc, notamment pour la décharge du système de stockage ;

- la modélisation multiphysique du système de stockage (deux phases : liquide et solide, convection naturelle, étude des solutions d'intensification des transferts thermiques) ;
- la caractérisation des matériaux utilisés pour le stockage (propriétés thermiques notamment) ;

Actuellement sont effectués par l'opération de recherche « Optimisation des Systèmes Énergétiques » :

- un travail préliminaire important relatif à la bibliographie ;
- le test d'une parabole avec son système de cuisson prêtée par la société Le Présage ;
- des premières modélisations et dimensionnement du système envisagé.

Ces différentes étapes seront divisées pour répondre à ces enjeux en 9 travaux principaux (voir le diagramme de Gantt joint en annexe du projet). Ce programme reposera potentiellement sur une thèse qui débiterait en Octobre 2020 (projet déposé à l'appel « Emploi Jeunes Doctorants » de la région SUD).

Retombées attendues

1. Retombées scientifiques, pédagogiques et industrielles

Ce projet est à visée à la fois scientifique, industrielle et pédagogique, avec pour résultats attendus :

- la qualification complète des performances du système parabole-stockage-fourneau (efficacités optiques et thermiques, cartographie des températures, temps de réponse, etc.) ;
- la modélisation (CFD) d'un système de stockage de chaleur latente et sensible (sels fondus par exemple) contraint par son environnement et les besoins, avec et sans des dispositifs d'intensification d'échanges thermiques, souvent limités dans ce type de matériaux ;
- le développement de stratégies de contrôle simples et bon marché (choix de la température de la plaque de cuisson et des puissances stockées et déstockées), validées à l'aide d'outils appropriés (caméras thermiques par exemple) ;
- le design d'un nouveau système optique ayant les mêmes ambitions (simplicité de fabrication et de mise en œuvre) mais avec des performances supérieures.
- la promotion et le développement du concept proposé par Le Présage, grâce à des échanges réguliers sur les performances et les améliorations possibles du système et grâce à la visibilité supplémentaire apportée par l'association avec le laboratoire IUSTI et l'université d'Aix-Marseille ;
- la création de nouveaux outils pédagogiques qui permettront la mise en place de stages, projets, et travaux pratiques, ainsi que d'évènements ponctuels visant la promotion de la cuisine solaire (création d'un concours de cuiseurs solaires de tous types).

2. Projets à suivre

Les problématiques liées aux matériaux de stockage (matériaux à haute température, corrosif, et diphasiques) ainsi que celles liées à l'intensification des transferts thermiques mèneront naturellement à de nouvelles problématiques nécessitant des collaborations et des travaux supplémentaires (utilisation de caloducs pour augmenter les performances du système de stockage par exemple).

Références

- [1] S. Kumar, V. Yadav, U. Sahoo and S. Singh, "Experimental investigation of 16 square meter Scheffler concentrator system and its performance assessments for various regions of India," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 10, pp. 103-111, 2019.
- [2] A. Kumar, O. Prakash and A. Kaviti, "A comprehensive review of Scheffler solar collector," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 77, pp. 890-898, 2017.
- [3] N. Panwar, S. Kaushik and S. Kothari, "State of the art of solar cooking: an overview," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 3776-3785, 2012.
- [4] P. Lahkar and S. Samdarshi, "A review of the thermal performance parameters of box type solar cookers and identification of their correlations," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 1615-1621, 2010.
- [5] S. Mullick, T. Kandpal and A. Saxena, "Thermal test procedure for box-type solar cookers," *Solar Energy*, vol. 39, no. 4, pp. 353-360, 1987.
- [6] F. Yettou, B. Azoui, A. Malek, A. Gama and N. Panwar, "Solar cooker realizations in actual use: An overview," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 37, pp. 288-306, 2014.
- [7] R. Muthusivagami, R. Velraj and R. Sethumadhavan, "Solar cookers with and without thermal storage - A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 691-701, 2010.
- [8] A. Sagade, S. Samdarshi and P. Lahkar, "Ensuring the completion of solar cooking process under unexpected reduction in solar irradiance," *Solar Energy*, vol. 179, pp. 286-297, 2019.
- [9] A. Sharma, C. Chen, V. Murty and A. Shukla, "Solar cooker with latent heat storage systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 1599-1695, 2019.
- [10] L. Nkhonjera, T. Bello-Ochende, G. John and C. King'onde, "A review of thermal energy storage designs, heat storage materials and cooking performance of solar cookers with heat storage," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 157-167, 2016.
- [11] P. Otte, "Solar cookers in developing countries-What is their key to success?," *Energy Policy*, vol. 63, pp. 375-381, 2013.
- [12] P. Otte, "A (new) cultural turn toward solar cooking - Evidence from six case studies across India and Burkina Faso," *Energy Research & Social Science*, vol. 8, pp. 49-58, 2014.
- [13] L. Iessa, Y. D. Vries, C. Swinkels, M. Smits and C. Butjin, "What's cooking? Unverified assumptions, overlooking of local needs and pro-solution biases in the solar cooking literature," *Energy Research & Social Science*, vol. 28, pp. 93-108, 2017.
- [14] T. Fasquelle, Q. Falcoz, P. Neveu and J.-F. Hoffmann, "A temperature threshold evaluation for thermocline energy storage in concentrated solar power plants," *Applied Energy*, vol. 212, pp. 1153-1164, 2018.
- [15] S. Launay, B. Kadoch, O. L. Métayer and C. Parrado, "Analysis strategy for multi-criteria optimization: Application to inter-seasonal solar heat storage for residential building needs," *Energy*, vol. 171, pp. 419-434, 2019.