

Proposition de stage de fin d'étude (bac +5)

« Solariser » les métiers de l'artisanat : Le cas de la boulangerie solaire

Mots-clés : Energie solaire, cuisson solaire, bilan énergétique, modèle d'affaire, impact socio-économique, low-tech

Contexte scientifique : Ce stage fait partie du projet **ARTBOUSOL** financé par la Fédération de Recherche « Energie et Environnement » (FREE) de l'Université de Perpignan Via Domitia (UPVD) qui vise à faire émerger des projets de recherches entre les Sciences Exactes et Expérimentales (SEE) et les Sciences Humaines et Sociales (SHS). **ARTBOUSOL** s'inscrit dans un contexte énergétique et environnemental actuel qui oblige notre société à se réinventer dans le but de réduire nos émissions de gaz à effet de serre (GES), notre consommation d'énergie et notre dépendance aux ressources fossiles. A cela, s'est ajoutée la hausse récente du coût de l'énergie liée au contexte géopolitique actuel depuis la guerre en Ukraine. En conséquence, de nombreux secteurs d'activités sont directement impactés, et donc inévitablement appelés à évoluer vers des techniques plus durables, qui s'appuient notamment sur les énergies renouvelables. De nombreuses activités de l'artisanat utilisent en grande majorité de l'énergie sous forme de chaleur pour accomplir leurs tâches. La production de chaleur par conversion thermique de l'énergie solaire offre des gammes de puissances et de température très larges (50 °C à 3000°C) qui permettent de répondre aux besoins de l'artisanat. De plus, la ressource solaire est gratuite, abondante et accessible pour une majorité de populations (80 % de la population mondiale reçoit plus de 2000 h d'insolation annuelles).

L'utilisation de chaleur solaire dans de nombreuses activités artisanales, comme le séchage de produits alimentaires [1], la cuisine [2], la cuisson de pain [3], la torréfaction de graines [3], [4], [5], la brasserie, la poterie/émaux, la fonderie et la verrerie d'art, demeure encore marginale sur notre territoire national. L'artisanat et la cuisine solaires sont aujourd'hui promus dans les pays en développement par des entreprises à caractère social [6], [7] et par des associations [8], [9], [10], [11]. L'objectif principal est de remplacer les usages de l'énergie fossile, chère et polluante, et de préserver le bois, ressource à haute valeur environnementale. On retrouve souvent derrière ces démarches les valeurs véhiculées par l'esprit « low-tech » qui vise à démocratiser des techniques qui ont vocation à être « Utiles, Durables et Accessibles » [13].

Présentation du travail : Notre étude porte sur l'utilisation de l'énergie solaire dans la boulangerie. Ce secteur comptabilise aujourd'hui environ 35 000 établissements et emploie plus de 200 000 personnes [14]. Pour cela, notre étude s'appuie sur le paysan/meunier/boulangier Fabien Forgues actuellement installé sur la commune d'Elnes au sud de Perpignan. Il travaille dans un esprit coopératif puisque l'utilisation du fournil est aujourd'hui mutualisée avec deux autres boulangers. Il vend toute sa production sur commande en vente directe, soit directement au fournil soit chez des maraîchers AB proposant des paniers de légumes. La farine est produite dans un moulin à meules de pierre sur place. Le pain est pétri manuellement et cuit à ~250 °C

dans un four à sole tournante en pierre. Il s'agit d'un four à chauffe continue, modèle SEBASTIA. Il est actuellement alimenté en granulés de bois : environ 65 kg en sont consommés chaque jour pour une production d'environ 80 kg de pain. Dans le but de « solariser » le fournil, plusieurs solutions techniques (hybridation ou 100 % solaire) ont été identifiées et devront être classées selon plusieurs indicateurs technico-environnementaux. Sur la base de ces solutions techniques, les impacts socio-économiques pour l'artisan et les consommateurs, en grande partie liés à l'intermittence de la ressource solaire, seront étudiés à l'échelle du territoire des Pyrénées-Orientales (PO) et donneront lieu à un nouveau classement des solutions.

Un groupe d'étudiants de l'école d'ingénieur Sup'EnR de l'UPVD réalise actuellement un projet technologique dont les objectifs sont 1) étudier l'état de l'art sur les boulangeries solaires en France et ailleurs, 2) établir un bilan énergétique sur une fournée (préchauffage, cuisson et déperdition thermique) et 3) proposer plusieurs solutions afin de « solariser » le fournil. Le travail de stage s'appuiera sur les résultats obtenus par ce groupe d'étudiants.

Objectifs du stage :

- Modéliser le four à pain et simuler son fonctionnement en statique et en dynamique. Le modèle sera validé par les observations sur le four réel et les retours d'expérience de l'artisan-boulangier d'Elne.
- Sélectionner deux solutions techniques pour solariser le four, sur la base des travaux des étudiants de Sup'EnR.
- Déterminer la surface de collecteurs solaires et la température de source chaude nécessaires pour répondre aux besoins d'une fournée (préchauffage et cuisson pain).
- Définir et évaluer les principaux indicateurs énergétiques et environnementaux (e.g. rendement, temps de retour énergétique, émissions de CO₂, ...).
- Etudier les modèles d'affaires de la boulangerie en mode conventionnel et en mode solaire.
- Elaborer une enquête de terrain afin d'étudier la désirabilité par les consommateurs du modèle de boulangerie solaire en rupture avec les habitudes culturelles et le modèle conventionnel actuel de consommation du pain.

Encadrement : Le volet technique sera encadré par Antoine Lemaire et Alain Ferrière du laboratoire PROMES-CNRS tandis que le volet socio-économique sera encadré par Marie Da Fonseca du laboratoire MRM-UPVD.

- Antoine Lemaire (MCF LRU), antoine.lemaire@univ-perp.fr, tél. +33 4 68 68 27 06
- Alain Ferrière (CR CNRS), alain.ferriere@promes.cnrs.fr, tél. +33 4 68 30 77 91
- Marie Da Fonseca (MCF), marie.da-fonseca@univ-perp.fr, tél. +33 6 29 71 81 50

Profil du candidat : Niveau BAC+5 (Master ou école d'ingénieur). Le candidat devra avoir une solide formation en énergétique (thermodynamique et transferts thermiques). Un attrait pour les sciences économiques et sociales est indispensable. Une formation en lien avec la conversion de l'énergie solaire sera un atout. Une habileté avec le langage de programmation Python et une maîtrise de l'anglais technique seront appréciées. De très bonnes qualités relationnelles sont nécessaires puisque le candidat travaillera directement avec plusieurs

groupes d'étudiants dans le cadre de leurs projets technologiques qui ont vocation à alimenter le projet.

Lieu de stage : Laboratoire PROMES – Site de Perpignan.

Durée du stage : 6 mois à partir du 3 février 2025 et modulable en fonction de la disponibilité.

Rémunération : Gratification mensuelle forfaitaire en vigueur (i.e. 634 € en 2024) sur la base de 35 h/semaine.

Candidature : Une *lettre de motivation*, un *CV* et le *relevé de notes de l'année n-1* devront être adressés à l'ensemble des encadrants avant le 13 décembre 2024.

Références :

- [1] Y. Mohana, R. Mohanapriya, T. Anukiruthika, K. S. Yoha, J. A. Moses, et C. Anandharamakrishnan, « Solar dryers for food applications: Concepts, designs, and recent advances », *Solar Energy*, vol. 208, p. 321-344, sept. 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.07.098.
- [2] Le Présage, « Recherche et Développement * Le Présage », Le Présage. [En ligne]. Disponible sur: <https://lepresage.fr/wp/recherche-et-developpement/>
- [3] NeoLoco, « NeoLoco – Boulangerie et torréfaction solaire & méthode d'organisation d'entreprise adaptée aux énergies intermittentes (TELED) ». [En ligne]. Disponible sur: <https://neoloco.fr/>
- [4] Aurinko, « Torréfaction Solaire de Graines », Aurinko. [En ligne]. Disponible sur: <https://aurinko.co/>
- [5] Du soleil et des graines, « Du Soleil et des Graines – Du soleil au creux de la main ». Consulté le: 8 octobre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://dusoleiletdesgraines.fr/>
- [6] Lytefire, « Accueil », Lytefire. [En ligne]. Disponible sur: <https://lytefire.com/fr>
- [7] Solar Brother, « Solar Brother Accueil », Solar Brother. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.solarbrother.com/>
- [8] Solare Brücke, « Startseite ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.solare-bruecke.org/index.php/fr/>
- [9] R. Goodier, « Solar Cooking Stove Designs | Solar Powered Cooking Stoves », Engineering For Change. Consulté le: 8 octobre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.engineeringforchange.org/news/solar-fires-beautiful-concentrators-an-open-source-secret/>
- [10] SCI, « Solar Cookers International Association », Solar Cooking. [En ligne]. Disponible sur: https://solarcooking.fandom.com/wiki/Solar_Cookers_International_Association
- [11] Low-tech lab, « Wiki ». [En ligne]. Disponible sur: <https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Accueil>
- [12] Indian solar cooking, « History of solar cooking in India », Solar Cooking. [En ligne]. Disponible sur: https://solarcooking.fandom.com/wiki/History_of_solar_cooking_in_India
- [13] Low-tech lab, « Low-tech Lab », Low-tech Lab. Consulté le: 25 juillet 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://lowtechlab.org/fr>
- [14] CNBPF, « Économie », Confédération Nationale de la Boulangerie-Pâtisserie Française. [En ligne]. Disponible sur: <https://boulangerie.org/economie/>