Production de la chaleur industrielle par les concentrateurs solaires

HAZMOUNE Messaoud
Maître de Recherche B
Division Thermique et Thermodynamique Solaire et Géothermie - CDER
E-mail : m.hazmoune@cder.dz

Introduction

Dans l'industrie légère, et en particulier dans le secteur textile, la transformation de la laine occupe une place importante dans le processus de fabrication. Afin de rendre la laine apte à l'utilisation, elle doit passer par plusieurs étapes successives. Parmi celles-ci, l'étape de lavage représente une opération essentielle, car elle conditionne directement la qualité finale des produits lainiers.

Différentes méthodes de lavage de la laine existent, mais le procédé par bassins demeure l'un des plus largement utilisés. Ce procédé requiert toutefois de grandes quantités d'eau ainsi qu'une consommation énergétique élevée pour assurer le chauffage. Quelle que soit l'échelle de traitement qu'il s'agisse du lavage de quelques centaines de grammes de laine dans des seaux, de plusieurs kilogrammes dans une machine à laver, ou de plusieurs tonnes sur une ligne industrielle en continu ce processus génère des effluents liquides. Bien que ces effluents soient principalement d'origine naturelle, ils représentent une charge polluante considérable pour l'environnement dans un contexte industriel. De plus, la forte dépendance aux énergies fossiles accentue l'impact écologique du procédé.

Pour ces raisons, l'opération de lavage de la laine est soumise à une réglementation stricte en Europe dès lors que la capacité de lavage dépasse 500 kg/jour, comme le souligne Stéphane Boileau [1].

Dans ce contexte, l'objectif de notre travail est de proposer une solution innovante pour la production de chaleur industrielle dédiée au traitement de la laine brute. Le système repose sur l'installation de concentrateurs cylindro-paraboliques modulaires de petite taille, placés sur la toiture d'une usine. La chaleur produite permet de porter l'eau à 70°C, température nécessaire pour le lavage de la laine, avant son séchage et son pressage en cubes de 5 m³ destinés à l'exportation. L'enjeu principal de ce projet est d'exploiter l'énergie solaire concentrée afin de répondre aux besoins énergétiques de l'industrie, tout en réduisant l'impact environnemental et la dépendance aux énergies fossiles.

Le processus de lavage lui-même se déroule dans une série de cuves contenant une solution chaude de lavage, suivie de rinçages successifs à l'eau froide puis à l'eau chaude. L'eau de lavage, généralement à 60–65°C, permet de fondre la graisse naturelle de la laine.

Structure du système solaire pour le procédé de lavage de la laine

Le système proposé est constitué d'un champ solaire chargé de produire la chaleur nécessaire au processus, à l'aide de miroirs cylindro-paraboliques et de tubes absorbeurs spécialement conçus pour capter un maximum de rayonnement solaire. Un fluide caloporteur circule à travers ces tubes et s'échauffe avant d'être centralisé puis transféré vers le bassin d'eau.

L'ensemble miroir cylindro-parabolique/récepteur est asservi au mouvement du soleil afin de maximiser la captation de l'énergie solaire au cours de la journée. Une pompe à vitesse variable permet de réguler la température du fluide, et par conséquent de contrôler la température de l'eau en fonction des besoins spécifiques au lavage de la laine. Ainsi, le fluide caloporteur permet de porter l'eau du bassin à une température environ de 70 °C pour le dégraissage et le nettoyage des fibres.

Le fluide caloporteur circule en boucle fermée, ce qui lui permet de transférer la chaleur captée dans le champ solaire vers le bassin, avant de retourner dans les tubes absorbeurs.
Un grand réservoir d'eau est utilisé pour alimenter le bassin, lequel est construit en briques et renforcé d'une couche interne en acier afin d'améliorer les échanges thermiques. Le bassin est également équipé d'une vanne de vidange permettant son évacuation complète à la fin de chaque cycle de lavage.

La Figure 1 illustre le principe de fonctionnement global du système, mettant en évidence l'interaction entre le champ solaire, le circuit de fluide caloporteur et le bassin de lavage.

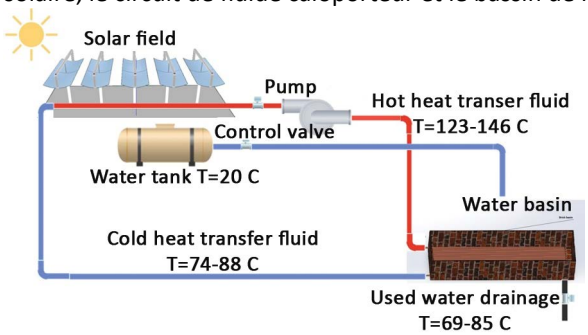

Figure 1. Schéma du système solaire de lavage de la laine. [2]

Conception du système de chauffage

Afin de garantir le traitement d'une grande quantité de laine lavée quotidiennement dans un cadre industriel, le système a été conçu de manière à répondre aux exigences pratiques de l'usine. Ce projet s'inscrit non seulement dans une démarche technologique, mais également dans une logique socio-économique, visant à proposer une solution durable et à forte valeur ajoutée pour l'industrie lainière.
Le système de chauffage est assuré par des tubes de fluide caloporteur en cuivre, matériau choisi pour sa haute conductivité thermique et sa résistance à la corrosion, garantissant ainsi des échanges thermiques efficaces et une durabilité accrue de l'installation.

La Figure 2 illustre le schéma de conception du bassin ainsi que l'agencement des tubes de circulation du fluide caloporteur, mettant en évidence l'intégration du système de chauffage au sein du procédé global de lavage.

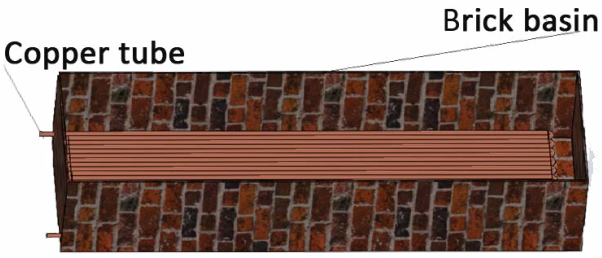

Figure 2. Le bassin d'eau utilisée pour le lavage de la laine. [2]

Réalisation du projet

Notre équipe a réalisé des avancées notables dans le cadre du projet consacré à la production de chaleur à partir de centrales solaires cylindro-paraboliques, avec pour objectif principal le remplacement des systèmes conventionnels reposant sur l'utilisation d'énergies fossiles. Ce choix technologique s'inscrit dans une logique de transition énergétique durable et de réduction de l'empreinte carbone des procédés industriels, notamment dans le secteur du lavage de la laine.

La phase de conception et de fabrication des concentrateurs solaires a été menée au laboratoire CSP du CDER, où un ensemble complet de miroirs cylindro-paraboliques a été construit et assemblé. Ces concentrateurs ont été conçus à partir de structures métalliques robustes assurant leur stabilité mécanique, et de miroirs réfléchissants de haute précision, optimisés pour maximiser la captation du rayonnement solaire direct. Les tubes absorbeurs, positionnés au foyer des paraboles, sont fabriqués à partir de matériaux à haute conductivité thermique afin d'assurer un transfert de chaleur efficace vers le fluide caloporteur.

La Figure 3 présente l'ensemble des concentrateurs fabriqués et assemblés dans nos ateliers. Ces dispositifs constituent le cœur du système expérimental et sont destinés à être intégrés dans la plateforme de test développée par notre équipe. Une attention particulière a été portée à la précision de l'alignement optique et au mécanisme de poursuite solaire, afin de garantir une performance optimale lors de la mise en service.

À ce stade, les travaux réalisés témoignent de la faisabilité technique du projet et posent les bases nécessaires pour la phase expérimentale à venir, qui consistera à tester la montée en température du fluide caloporteur et à valider la capacité du système à produire de la chaleur en continu pour des applications industrielles.

Conclusion

Le procédé de lavage de la laine, essentiel à la transformation textile mais traditionnellement gourmand en énergie et générateur d'une importante charge polluante, trouve avec le système solaire thermique proposé une alternative durable prometteuse. Notre étude a démontré la faisabilité technique d'un dispositif reposant sur des concentrateurs cylindro-paraboliques modulaires pour chauffer l'eau à 70°C, température critique pour un dégraissage efficace. L'intégration d'un circuit fermé de fluide caloporteur, associé à une conception optimisée du bassin de lavage, permet de répondre aux besoins énergétiques continus d'une installation industrielle.

Au-delà de la simple réduction de la dépendance aux énergies fossiles, cette solution incarne une synergie entre innovation technologique et responsabilité environnementale. En valorisant une ressource gratuite et abondante, elle offre une perspective concrète pour diminuer l'empreinte carbone de la filière lainière tout en garantissant sa compétitivité économique. Les choix techniques, tels que l'utilisation du cuivre pour son excellente conductivité thermique, assurent par ailleurs efficacité et durabilité à l'installation.

Cette approche ouvre la voie à une industrialisation plus verte, où les contraintes réglementaires deviennent des leviers pour l'innovation. Le succès de ce déploiement pourrait servir de modèle et être étendu à d'autres procédés industriels exigeant de la chaleur à moyenne température, contribuant ainsi à une transition énergétique plus large dans le secteur manufacturier.

Références

1. Stéphane Boileau. Etude de faisabilite valorisation des eaux de lavage de la laine des pyrénées, octobre 2020, https://www.orhi-poctefa.eu/wp-content/uploads/2021/03/Traitement-des-effluents-de-lavage-de-la-laine-FR_compressed.pdf

2. Messaoud Hazmoune,Mohammed Debbache,Mohammed Gmal Osman,Benaoumeur Aour,Cornel Panait,Mohammed Laissaoui andGheorghe Lazaroiu

Modeling and Efficiency Analysis of an Immersed Heat Exchanger for Solar-Powered Industrial Heat Processes: A Case Study on Wool Washing. Technologies MDPI journal,

Figure 3. Fabrication de modules de concentrateurs cylindro-paraboliques àpetite échelle pour un intérêt industriel (laboratoire de l'équipe CSP ; CDER).