

SUJET DE THESE
A partir de septembre 2021

<p>1. LABORATOIRE</p> <p><i>Nom ou sigle : LOCIE</i> <i>Statut : UMR 5271 CNRS-USMB</i></p>	<p>2. DIRECTION DE THÈSE</p> <p><i>Directeur de thèse (HDR) : Benoit STUTZ</i> <i>Codirecteur éventuel : Anne-Laure PERRIER</i></p>
<p>Laboratoire partenaire ou collaborations éventuels :</p>	<p>Domaine de compétences de l'ED SISEO :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Environnement <input type="checkbox"/> - Organisations <input type="checkbox"/> - Systèmes <input checked="" type="checkbox"/>
<p>3. SUJET DE THÈSE</p> <p>Titre : Mesure de la concentration d'une solution de Bromure de Lithium par tomographie électrique de résistivité.</p>	
<p>4. RESUME</p> <p>Les machines à absorption sont des machines tri thermes qui permettent de valoriser des sources de chaleur gratuites et abondantes (énergie solaire, rejets thermiques) pour répondre aux besoins des bâtiments ou de l'industrie. Elles sont principalement employées pour la production d'eau glacée ou le rafraîchissement des bâtiments, mais peuvent également être utilisée comme pompe à chaleur pour le chauffage. Le couple eau-bromure de lithium est généralement utilisé pour les applications de production de froid positif compte tenu de ses propriétés thermodynamiques particulièrement intéressantes. Ces machines mettent en œuvre des échangeurs à films ruisselants, sièges de transferts de masse et de chaleur, au sein desquels la solution sorbante (solution de bromure de lithium) interagit avec le fluide réfrigérant (l'eau) à l'état vapeur. La compréhension des transferts couplés de masse et de chaleur au sein de ces échangeurs est nécessaire pour leur optimisation. Des premières mesures de champs de températures dans les films ruisselant ont été obtenues par méthodes optiques cette année, mais il n'existe toujours pas à l'heure actuelle de méthodes de mesures du champ de concentration dans les solutions ruisselantes. L'objectif de la thèse est de développer une nouvelle méthode de mesure non intrusive locale par tomographie électrique de résistivité en milieu confiné permettant d'étudier les transferts de masse et de chaleur se développant dans les films ruisselants de Bromure de Lithium pour des films de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur.</p> <p>Absorption machines are thermodynamic machines that allow the valorization of free and abundant heat sources (solar energy, waste heat) to meet the needs of buildings or industry. They are mainly used for producing chilled water or cooling buildings, but can also be used as a heat pump for heating. The water-lithium bromide working pair is generally used for positive cold production applications given its particularly interesting thermodynamic properties. These machines use falling film exchangers in which the sorbent solution (lithium bromide solution) interacts with the refrigerant (water) in the vapor state. The understanding the coupled heat and mass transfers within these exchangers is necessary for their optimization. Initial temperature fields measurements in falling films have been obtained by optical methods this year, but there are still no methods for measuring the concentration distribution in the falling film solutions. The objective of the thesis is to develop a new non-intrusive measurement method by electrical tomography of resistivity allowing to study the heat and mass transfers developing in Lithium Bromide falling films of a few tenths of a millimeter thick.</p>	

5. PROJET DE RECHERCHE DETAILLE

Contexte :

Nous assistons depuis une quinzaine d'années à un développement accru des systèmes de rafraîchissement des ambiances, dans les domaines de l'habitat et du transport. Les systèmes traditionnels mettent en œuvre des compresseurs mécaniques à forte consommation énergétique et des fluides frigorigènes ayant un impact nocif sur l'effet de serre. Des systèmes trithermes alternatifs comme les machines à absorption Eau/Bromure de Lithium valorisant des sources de chaleur basse température, abondante et gratuites comme les rejets thermiques industriels ou l'énergie solaire offrent des perspectives intéressantes de par leur faible impact énergétique et environnemental. La compression de la vapeur est réalisée au travers d'un processus thermochimique mettant en œuvre un couple sorbant-sorbat. Actuellement, le couple permettant d'obtenir les meilleures performances pour ces machines est le couple eau-bromure de lithium $H_2O/LiBr$ [Altamirano-2019].

Les pressions basses de fonctionnement des machines (10 mbar au niveau de l'étage basse pression) utilisant ce couple nécessitent l'utilisation d'échangeur à films ruisselants pour limiter tout risque de perte de charge au niveau de la phase vapeur [Altamirano-2020]. Les échangeurs à plaques sont privilégiés pour leurs grandes compacités. Les régimes d'écoulement optimum sont les régimes laminaires à vagues. Les films de solutions sont le siège de transferts couplés de masse et de chaleur, le couplage étant localisé à l'interface liquide-vapeur via les conditions d'équilibre de la solution qui y règnent. La compréhension des transferts dans les films ruisselants est d'une grande importance pour optimiser le design des échangeurs. Des progrès récents ont permis de réaliser des mesures de température au sein des films ruisselants à pression atmosphérique par fluorescence induite (LIF) [Collignon-2020]. Ces méthodes, bien que très prometteuses, ne permettent pas d'accéder au champ de concentration dans les films. Notre objectif est de pouvoir disposer de nouveaux moyens de mesure non intrusifs de mesure des distributions de concentration de solutions de Bromure de Lithium (LiBr) au sein des films ruisselants dans des conditions représentatives des conditions de fonctionnement des machines (fraction massique de bromure de lithium 60 %, température de solution 30°C, pression de travail 10 mbar).

La tomographie électrique de résistivité, utilisée de manière courante en géophysique pour la caractérisation des sols, est une technique permettant d'extraire des grandeurs physiques au travers de mesures de résistivité d'un milieu [Zhou-2014]. Cette technique apparaît particulièrement prometteuse dans le cadre des études sur les transferts de masse et de chaleur dans les films ruisselants pour déterminer le champ de température et/ou de concentration des solutions, la résistivité de la solution saline dépendant de ces deux paramètres [Osta-Omar-2017].

Dans le travail de thèse proposé, la distribution de résistivité électrique dans le film sera réalisée par des méthodes inverses à l'aide de 14 électrodes, utilisées par des groupes de quatre électrodes (2 électrodes d'injection ; 2 électrodes de mesure) via le protocole de Wenner- α [Wenner-1916] par exemple. La distribution de concentration au sein du film sera déduite du champ de résistivité connaissant sa température (mesuré par microthermocouple ou par fluorescence induite). De premiers essais expérimentaux effectués sur des solutions salines de NaCl puis de LiBr ont permis de démontrer dernièrement au LOCIE la faisabilité de la méthode.

Travaux à réaliser :

L'objectif de la thèse est de développer une méthode de mesure de champ de concentration par tomographie électrique en milieu confiné permettant d'étudier les transferts de masse et de chaleur se développant dans les films ruisselants de Bromure de Lithium sur des films de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur.

Le déroulement de la thèse pour atteindre cet objectif va être le suivant :

Etat de l'art (To – T0+6)

- Recensement des différents protocoles de mesures en tomographie électrique et choix du protocole de mesure le plus adapté à l'étude des films ruisselants
- Etat de l'art sur les méthodes d'inversion et choix de la méthode la plus adaptée à l'étude

Développement de la méthode de mesure (To + 6 - T0+18)

- Développement de l'instrumentation et de l'acquisition de données permettant des mesures multiples (4*4 points) avec un système National Instrument disponible au laboratoire.
- Développement de la méthode inverse permettant de remonter à la concentration de la solution à l'aide de simulations (couplage Comsol Multiphysics – Matlab)
- Validation de la technique de mesure sur des configurations simples puis sur une cellule mettant en œuvre des instabilités thermosolutales à pression atmosphérique

Développement d'une expérience académique représentative (To + 12 - T0+30)

- Développement d'une section test permettant de générer des films millimétriques de solution saline sur un plan faiblement incliné, et pouvant être introduits dans le banc d'essais du laboratoire.
- Développement d'un ensemble d'électrodes compatibles avec l'expérience.
- Etude des transferts de masse et de chaleur au sein des films ruisselants sujet à des instabilités de surfaces forcées et aléatoires.

Rédaction et perspectives (To + 30 - T0+36)

- Etudier les potentiels de miniaturisation du dispositif de mesure pour l'analyse des transferts de masse et de chaleurs au sein de films ruisselants en configuration verticales.
- Rédaction du mémoire de thèse

Matériel disponible au laboratoire :

- Matériel National Instrument pour l'acquisition de 8 signaux en mode différentiel
- Noyau de Comsol Multiphysics
- Matlab
- Conductimètre
- Banc experimental pour l'étude de l'absorption de vapeur d'eau par des solutions de bromure de Lithium

Ce projet a été soumis à l'appel à projet IRGA 2021 de l'Université Grenoble Alpes pour une demande de financement de fonctionnement/équipement afin de compléter le matériel déjà disponible au laboratoire. Si ce projet n'est pas accepté, une aide financière pourra être demandé au laboratoire en attendant une soumission sur un autre appel à projet.

Références bibliographiques :

Altamirano, Amín, Nolwenn Le Pierrès, et Benoit Stutz. 2019. « Review of Small-Capacity Single-Stage Continuous Absorption Systems Operating on Binary Working Fluids for Cooling: Theoretical, Experimental and Commercial Cycles ». *International Journal of Refrigeration* 106: 350-73.

Altamirano, Amín, Benoit Stutz, et Nolwenn Le Pierrès. 2020. « Review of Small-Capacity Single-Stage Continuous Absorption Systems Operating on Binary Working Fluids for Cooling: Compact Exchanger Technologies ». *International Journal of Refrigeration* 114: 118-47.

Collignon, R. « Étude des transferts de chaleurs dans un film ruisselant à instabilités de surface par des méthodes de fluorescence induite par laser », thèse de docteur de L'Université de Lorraine, Nancy, novembre 2020.

Osta-Omar, Salem, et Christopher Micallef. 2017. « Determination of Concentration of the Aqueous Lithium–Bromide Solution in a Vapour Absorption Refrigeration System by Measurement of Electrical Conductivity and Temperature ». *Data* 2(1): 6.

Wenner, Frank. 1916. « A Method of Measuring Earth Resistivity ». U.S. Government Printing Office.

Zhou, J. et al. 2014. « Image-Guided Inversion of Electrical Resistivity Data ». *Geophysical Journal International* 197(1): 292-309.

6. CANDIDAT RECHERCHE

- Formation généraliste orientée mesures physiques et instrumentation.
- Un gout pour l'expérimental est très fortement conseillé.
- Des connaissances en Labview et Comsol Multiphysics seront appréciées

7. FINANCEMENT DE LA THESE : *Le contrat doctoral fixe une rémunération principale, indexée sur l'évolution des rémunérations de la fonction publique : depuis le 1er février 2017, elle s'élève à **1768,55 euros bruts mensuels** pour une activité de recherche seule. Des heures d'enseignements peuvent être effectuées dans la limite de 64 heures équivalent TD par année universitaire **après autorisation du président de l'université** et rémunérées au taux fixé pour les travaux dirigés en vigueur. D'autres activités complémentaires au contrat doctoral sont prévues par l'article 5 du décret n° 2009-464 du 23 avril 2009 modifié. La durée totale des activités complémentaires aux activités de recherche confiées au doctorant dans le cadre du contrat doctoral ne peut excéder un sixième du temps de travail annuel.*

8. CONTACT :

Nom prénom : Anne-Laure PERRIER

Tél : 04 79 75 94 18

Email : anne-laure.perrier@univ-smb.fr