

Sujet de stage de master 2 à partir de février 2023

Laboratoire : LOCIE - Laboratoire Optimisation de la Conception et Ingénierie de l'Environnement.

Encadrants : Anne-Laure Perrier (MC USMB) anne-laure.perrier@univ-smb.fr
Benoit Stutz (PU USBM) benoit.stutz@univ-smb.fr

Titre : **Mesure de la température et/ou de la concentration d'une solution de Bromure de Lithium par tomographie électrique de résistivité.**

Contexte : On assiste depuis une quinzaine d'années à un développement accru des systèmes de climatisation, 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 gratuites et abondantes (énergie solaire, rejets thermiques) offrent des perspectives intéressantes de par leur faible impact énergétique et environnemental. Ces machines mettent en œuvre des échangeurs à plaques et films ruisselant en particulier au niveau de l'absorbeur. L'étude des transferts de masse et de chaleur au sein de ces composant nécessite de pouvoir mesurer les distributions de température et de concentration selon l'épaisseur.

La tomographie électrique de résistivité, développée en géophysique pour la caractérisation des sols, est une technique permettant de mesurer la résistivité d'un milieu. Cette technique est intéressante dans notre étude pour déterminer la température et/ou la concentration de la solution, dans la mesure où la résistivité de la solution saline dépend de ces deux paramètres. Des premiers essais expérimentaux effectués au laboratoire sur un volume de 30x20x10cm³ de solution saline, ont permis de démontrer la faisabilité de la méthode en présence de solutions salines de NaCl puis de LiBr.

Travaux à réaliser :

L'objectif du stage est de continuer à développer la méthode de mesure avec l'objectif de réaliser une expérience compacte permettant de déterminer la température/concentration de solution de Bromure de Lithium sur des films millimétriques.

Les différentes étapes pour atteindre cet objectif sont :

- Valider la méthode en sondant 4 niveaux de profondeur sur une solution de quelques centimètres d'épaisseur :
 - Améliorer le banc expérimental afin d'effectuer des mesures en conditions contrôlées (température, salinité, répétabilité des mesures, ...).
 - Étudier l'effet de la température, de la concentration, de la fréquence d'excitation, de la hauteur du bain, de la distance entre électrode pour une expérience 4 points « fixe ».
 - Développer l'instrumentation et l'acquisition de données permettant des mesures multiples (4*4 points).
 - Réaliser les mesures en 4*4 points sur des configurations type.
 - Étudier les méthodes inverses permettant de remonter à la température et/ou à la concentration de la solution.
 - Évaluer le temps minimum d'une mesure en fonction de la précision de celle-ci.
 - Évaluer les difficultés à envisager lors d'une réduction de taille du banc expérimental.

Compétences requises :

Instrumentation.

Un goût pour l'expérimental est très fortement conseillé.

Des connaissances en Labview seront appréciées

Salaire : 550 € /mois

M2 training period subject 2022-2023



Laboratory : LOCIE - Laboratoire Optimisation de la Conception et Ingénierie de l'Environnement.

Supervisors : Anne-Laure Perrier (MC USMB) anne-laure.perrier@univ-smb.fr
Benoit Stutz (PU USBM) benoit.stutz@univ-smb.fr

Title : **Measurement of the concentration of a Lithium Bromide solution by electrical resistivity tomography.**

Context : For the last fifteen years, we have been witnessing an increased development of air conditioning systems in the fields of housing and transport. Traditional systems use mechanical compressors with high energy consumption and refrigerants with a harmful impact on the greenhouse effect. Alternative trithermal systems such as water/lithium bromide absorption systems that use low-temperature, abundant and free heat sources such as industrial waste heat or solar energy offer interesting prospects due to their low energy and environmental impact. The compression of the vapour is achieved through a thermochemical process using a sorbent-sorbate pair. Currently, the couple allowing to obtain the best performances for these machines is the pair water-lithium bromide H₂O/LiBr [Altamirano-2019].

The low operating pressures of the machines (10 mbar at the low pressure stage) using this pair require the use of falling film exchangers to limit any risk of pressure drop in the vapor phase [Altamirano-2020]. Plate heat exchangers are preferred for their high compactness. The optimum flow regimes are laminar to wave regimes. Solution films are the site of coupled mass and heat transfers, with the coupling localized at the liquid-vapor interface via the prevailing solution equilibrium conditions. The understanding of the transfers in trickling films is of great importance to optimize the design of exchangers. Recent advances have made it possible to perform temperature measurements within trickling films at atmospheric pressure using induced fluorescence (LIF) [Collignon-2020]. These methods, although very promising, do not provide access to the concentration field in the films. Our goal is to provide new non-intrusive means of measuring the concentration distributions of Lithium Bromide (LiBr) solutions within the falling films under conditions representative of the operating conditions of the machines (lithium bromide mass fraction 60%, solution temperature 30°C, working pressure 10 mbar).

Electrical resistivity tomography, commonly used in geophysics for soil characterization, is a technique for extracting physical quantities through resistivity measurements of a medium [Zhou-2014]. This technique appears particularly promising in the context of studies on mass and heat transfer in falling films to determine the temperature and/or concentration field of solutions, as the resistivity of the salt solution depends on these two parameters [Osta-Omar-2017].

In the proposed M2 internship, the electrical resistivity distribution within the film will be performed by inverse methods using 14 electrodes, used by groups of four electrodes (2 injection electrodes; 2 measurement electrodes) via the Wenner- α protocol [Wenner-1916] for example. The concentration distribution within the film will be deduced from the resistivity field knowing its temperature (measured by microthermocouple or induced fluorescence). First experimental tests carried out on saline solutions of NaCl and LiBr have recently demonstrated the feasibility of the method at LOCIE.

Description of the M2 internship :

The objective of the M2 internship is to develop a method of concentration field measurement by electrical tomography in a confined environment allowing to study the mass and heat transfers developing in Lithium Bromide solution of a few millimeter thickness.

The course of the internship to achieve this objective will be as follows:

State of the art :

- Survey of the different measurement protocols and choice of the most suitable measurement protocol
- State of the art on the inversion methods and choice of the most adapted method to the study

Development of the measurement method :

- Development of the instrumentation and data acquisition.
- Development of the inverse method
- Validation of the measurement technique on simple configurations

Required competencies :

Instrumentation.

A taste for the experimental is highly recommended.

Knowledge of Labview will be appreciated.

Salary : 550 € /mois

Bibliographical references :

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 Micalef. 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