

Simulation Numérique des Transferts de Chaleur et de Masse dans une Boucle Diphasique à Pompage Capillaire avec Calculs Détaillés à l'Echelle Evaporateur

Journée SFT: Systèmes Diphasiques pour le Contrôle
Thermique de l'électronique de puissance

Pierre-Yves FRAVALLO

Doctorant Énergétique et Transferts



Sommaire

1. Contexte
2. Modèles à l'échelle boucle
3. Modèles d'échelle intermédiaire
4. Modèles détaillés de la mèche
5. Perspectives

Contexte

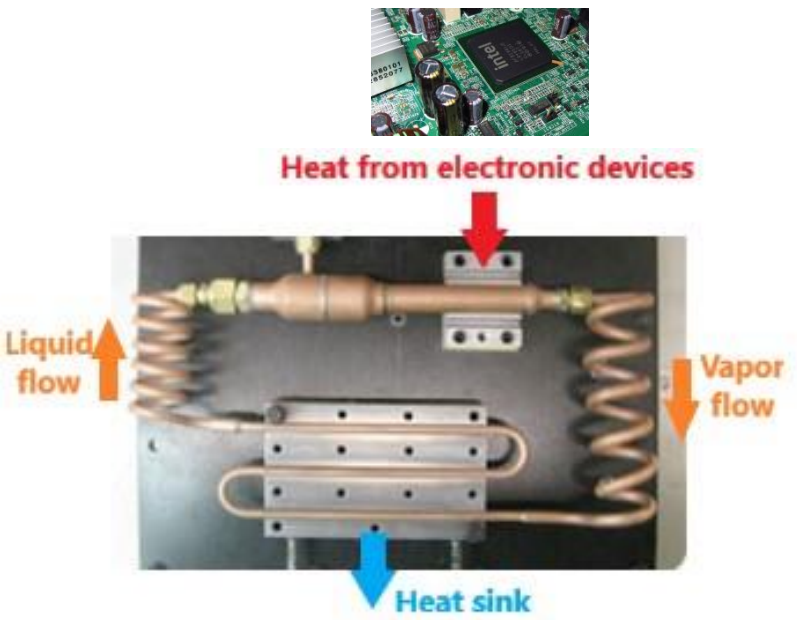


Fig 1 : Loop Heat Pipe (LHP)
picture – 1-act.com

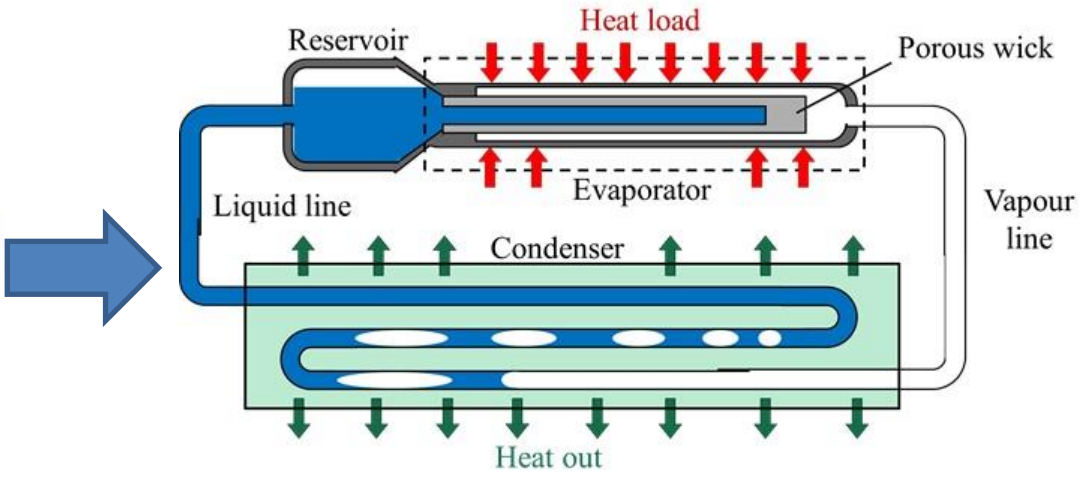


Fig 2 : Loop Heat Pipe schema

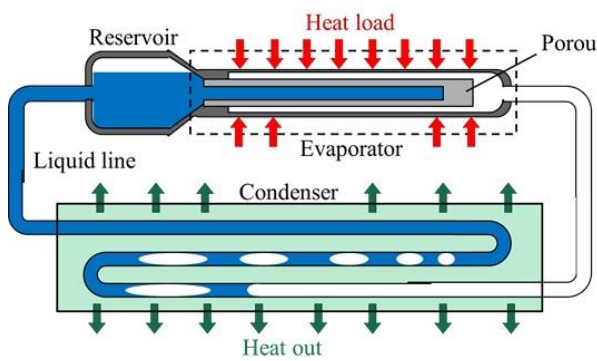
Objectif: Etablir un modèle complet se basant sur les thèses de P.Soler 2009 et L.Mottet 2016

Motivations :

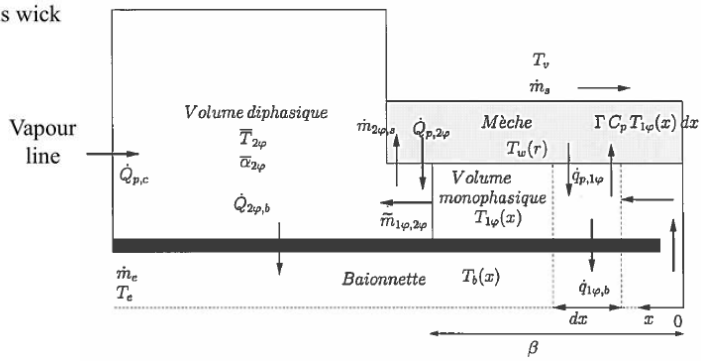
- Prédiction du comportement et performances des boucles au sol et en vol
- Aide à la conception

Différents types de modèles

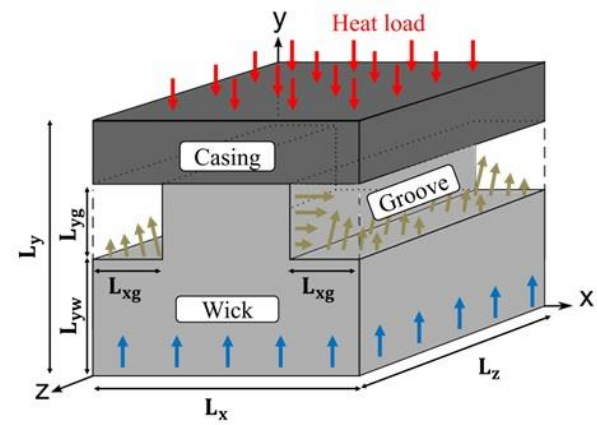
2 principales catégories de modèles :



Echelle Boucle



Modèle Intermédiaire
P.Soler 2009



Modèle détaillé
L.Mottet 2016

Echelle Composant

Modèles à l'échelle boucle

Caractéristiques :

- Paramètres géométriques et propriétés fluides permettant un design rapide
- Cas permanents et transitoires
- Temps de calculs rapides
- Détermination expérimentale de la résistance de l'évaporateur toutefois nécessaire
- Correspondance avec les expériences sous des conditions spécifiques
- Physique à l'échelle des composants (trop) simplifiée

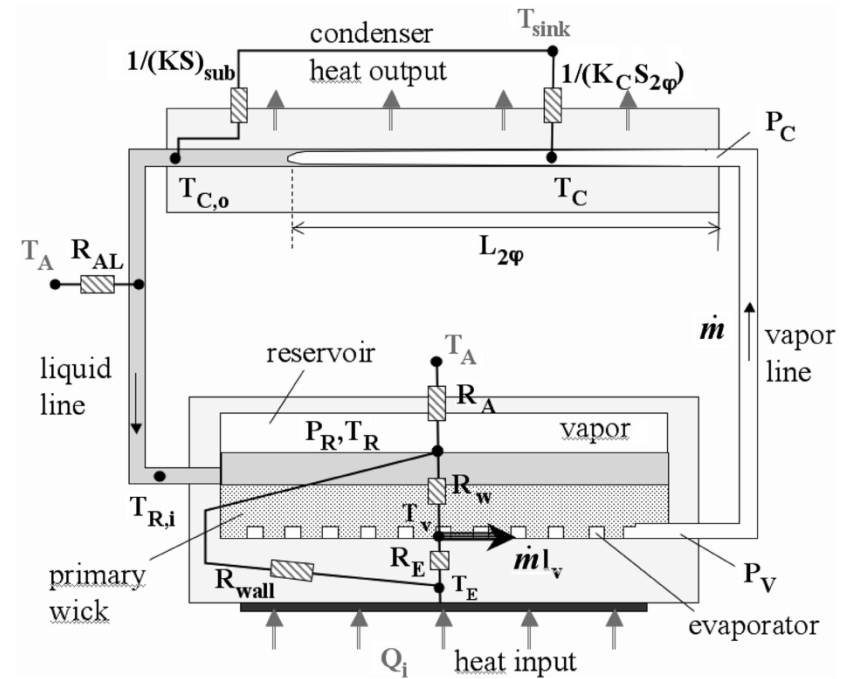


Fig 4 : LHP schematic and thermal resistance network. *Launay et al. 2008*

$\Delta P_{cap} = \Delta P_{grooves} + \Delta P_{vaporline} + \Delta P_{condensor} + \Delta P_{liquidline} + \Delta P_{wick}$
Fig 5 : Pressure losses that should be counterbalanced by the capillary pressure

Modèle réservoir/cœur évaporateur

Exemple :

Thèse de P.Soler « *Expérimentation et modélisation thermohydraulique des boucles à pompage capillaire de type Loop Heat Pipe (LHP) : étude du lien entre la chambre de compensation et l'évaporateur* » 2009

Objectifs :

- Description dynamique du fonctionnement d'une boucle
- Description du comportement du liquide dans et autour de la baïonnette (avec et sans gravité)

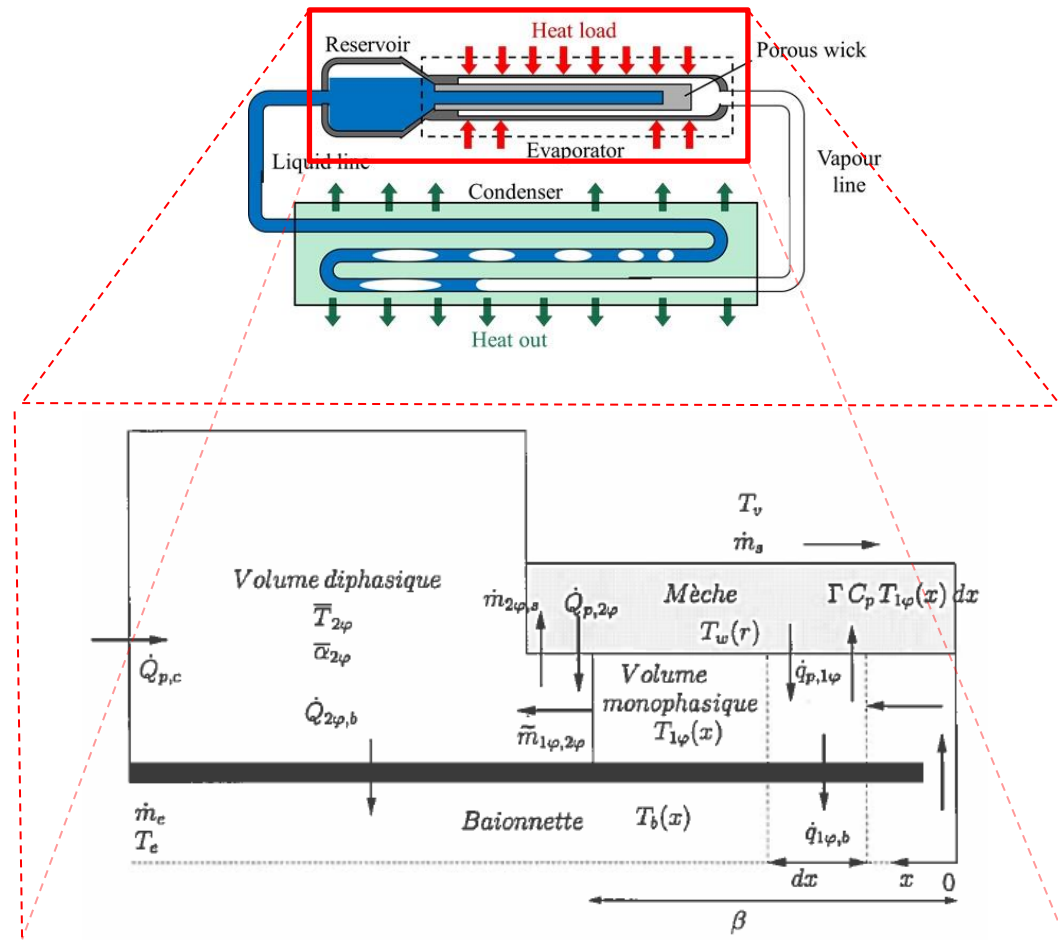


Fig 6 : Variables du problème pour l'ensemble évaporateur-réservoir – Soler 2009

Apports du Modèle de P.Soler

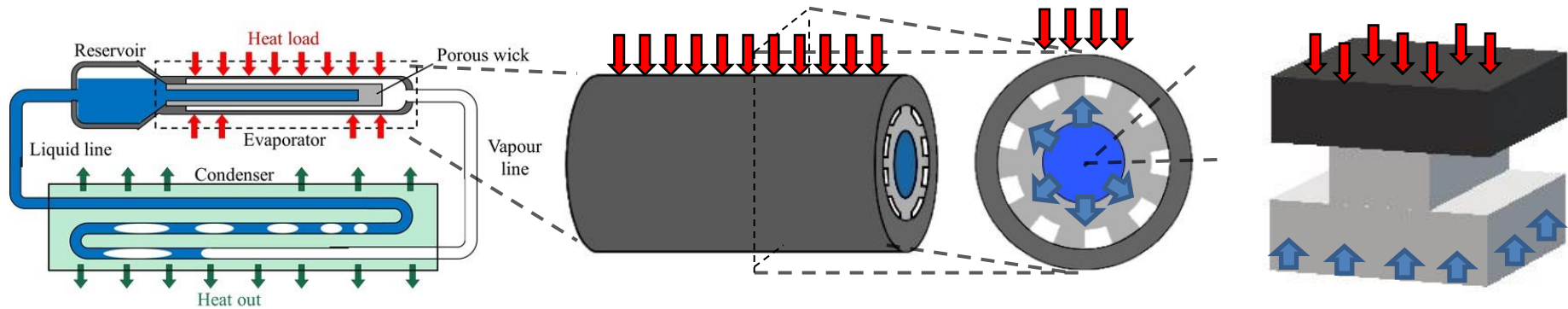
Résultats principaux:

- Reproduction des oscillations thermiques dues aux changements de charges thermiques
- Phénomènes dans les conduites et dans le condenseur impactent sur la dynamique de la boucle
- Importance du couplage réservoir/cœur évaporateur sur le comportement de la boucle

Pour aller plus loin :

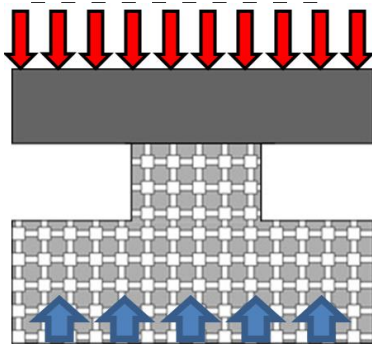
- Etude d'un éventuel reflux de liquide dans la baïonnette
- Abandon des Transferts 1D par zones
- Prise en compte d'une mèche non saturée

Modèles détaillés de la mèche

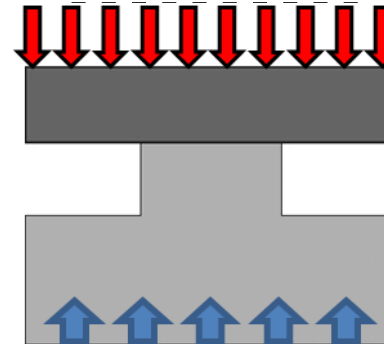


Types d'approches retenues:

Réseau de pores (PNM)



Continu (CMS)



Approche réseau de pores

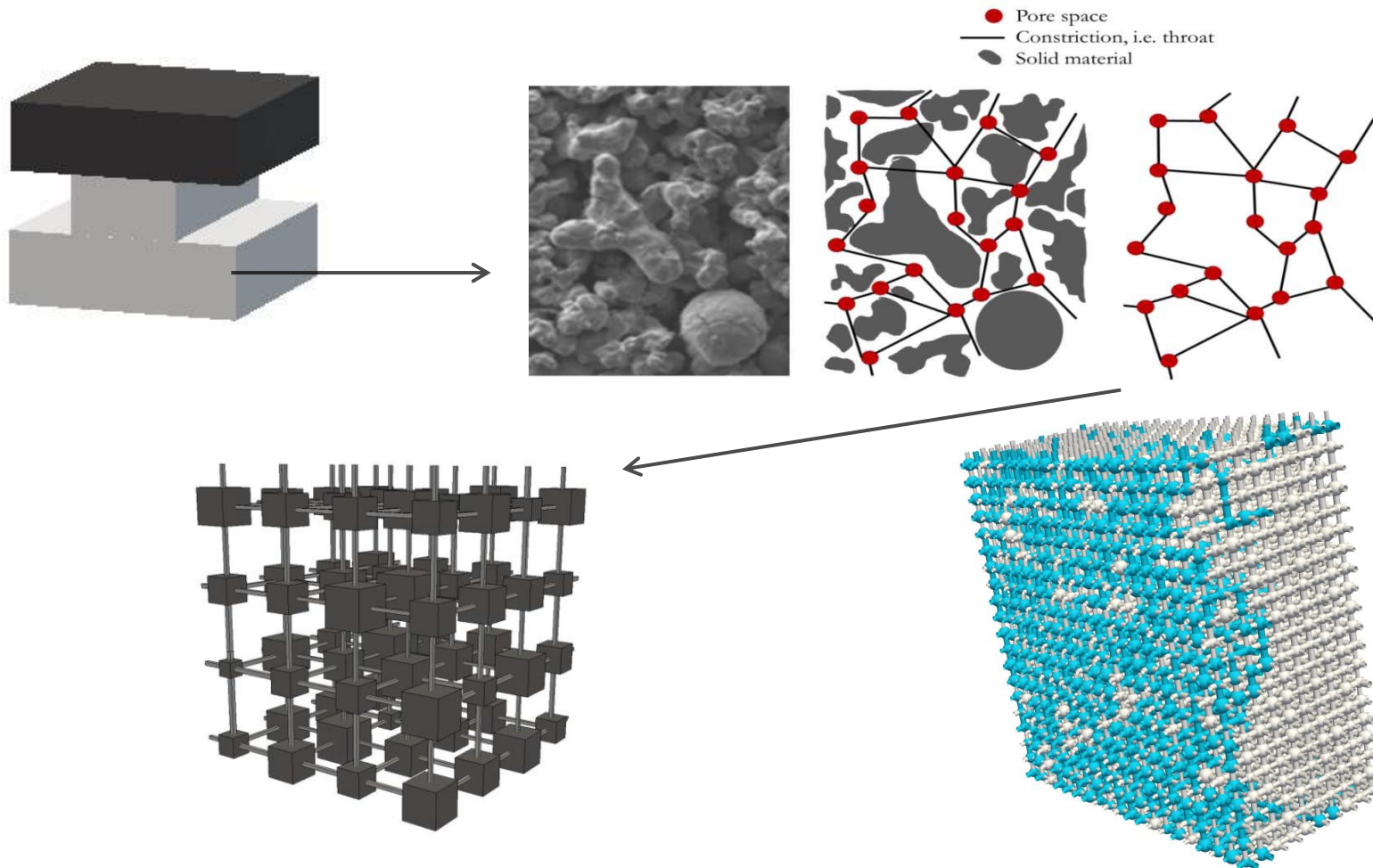


Fig 7 : Pore network representation – *L.Mottet 2016*

Approche réseau de pores par L.Mottet

Exemple :

Thèse de L.Mottet «*Simulations of Heat and Mass Transfers within the Capillary Evaporator of a Two-Phase Loop* » 2016

Caractéristiques :

- Hauteur total 3mm, Largeur 2mm, Profondeur 2mm
- Cas permanents
- Charge thermique uniforme
- Température et pression liquide d'entrée indépendante de la charge thermique

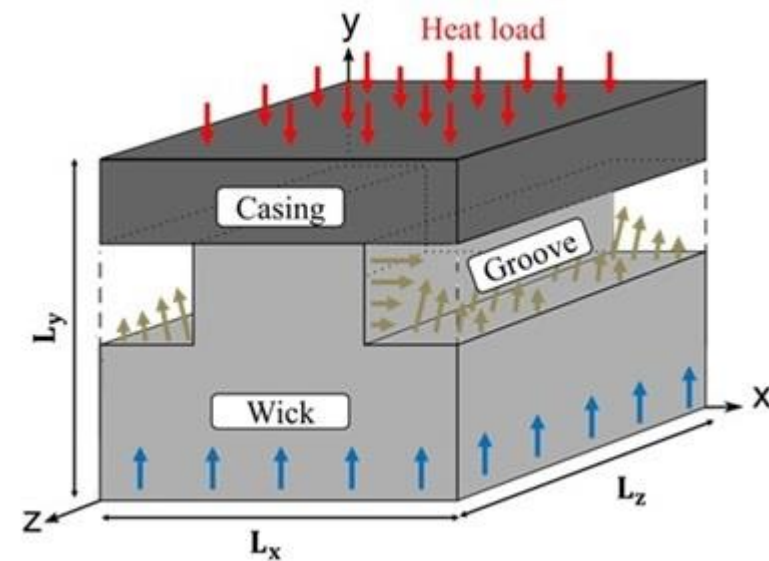


Fig 8 : Cellule unitaire d'évaporateur
- L.Mottet 2016

Approche réseau de pores par L.Mottet

Résultats principaux :

- Identification de 3 principaux régimes de fonctionnement

$$Conductance \left[\frac{W}{K} \right] = \frac{Charge\ Thermique [W]}{T_{max\ evaporateur} [K] - T_{condenseur} [K]}$$

- Mode de fonctionnement normal = mode avec zone diphasique dans la mèche (cas des meilleurs performances)
- Optimisation des couples de matériaux et de la géométrie
- Temps de calculs importants

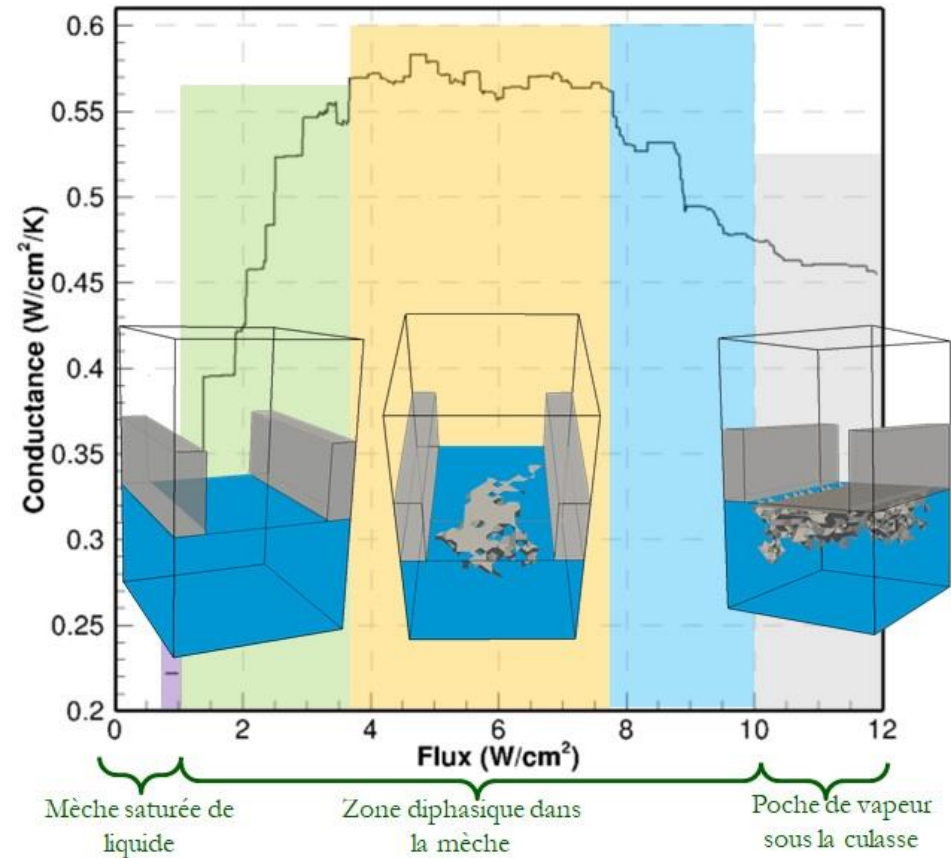


Fig 9 : Evolution des performances d'une LHP en fonction de la charge thermique – L.Mottet 2016

Approche Continue

Caractéristiques :

- Modèle instationnaire basé sur des équations macroscopiques (échelle de Darcy)
- Notion de saturation utilisée pour décrire le diphasique et le transfert de masse dans la mèche
- Calage des paramètres par réseau de pores

Résultats principaux:

- Bonne reproduction de la saturation de la mèche
- Gain de temps 1-2h pour construire la courbe de conductance contre 60-90 jours avec le PNM

Pour aller plus loin :

- Extension du modèle continu à l'évaporateur entier

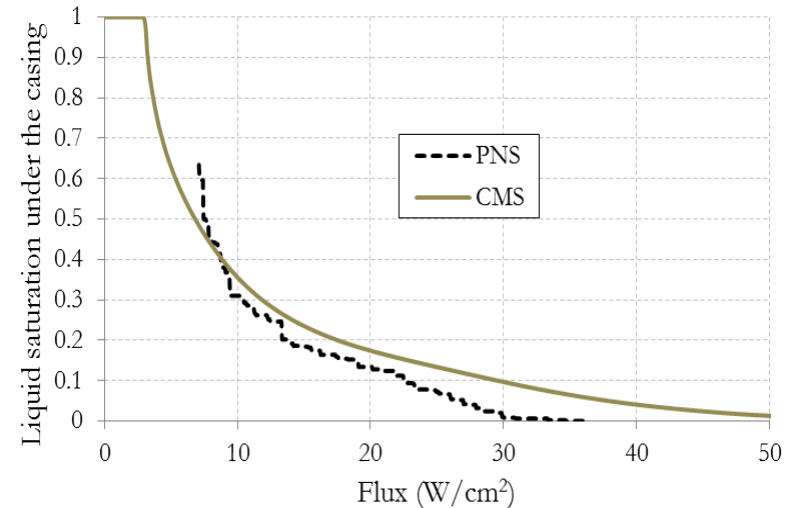
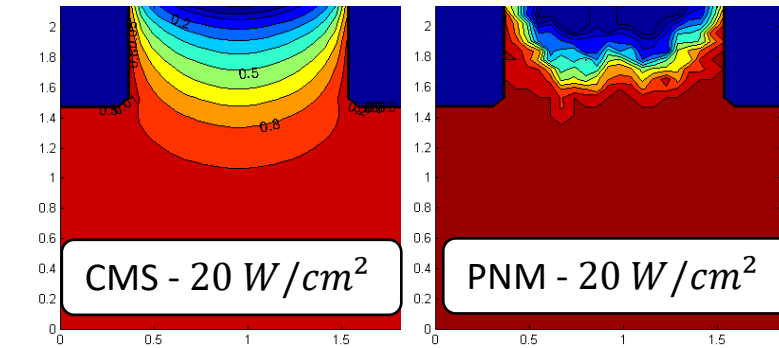
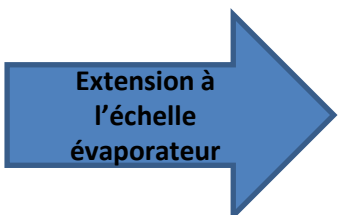
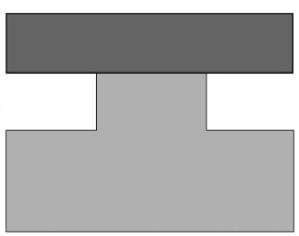
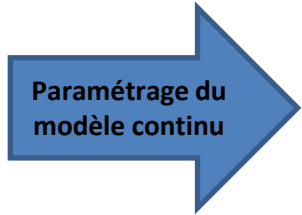
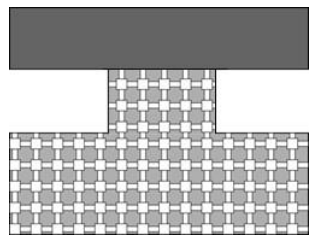


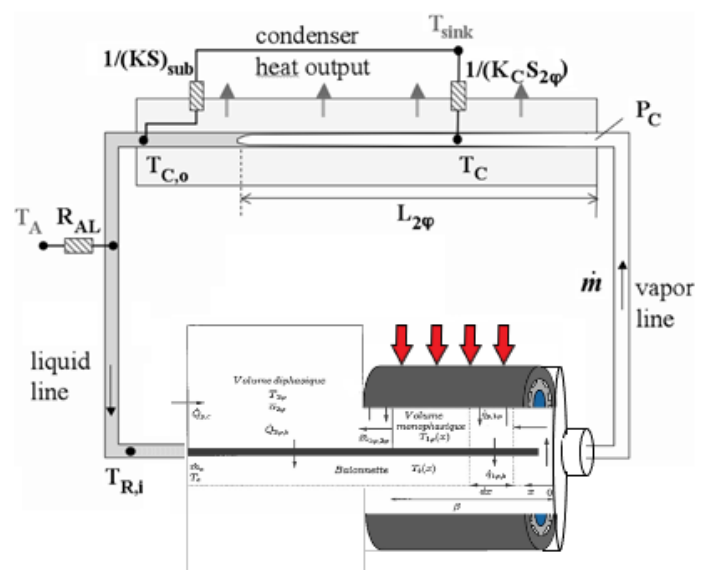
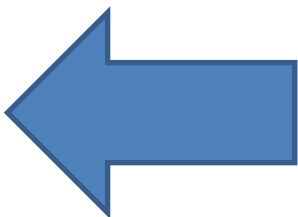
Fig 10 : Comparaison entre les saturations CMS et PNM – L.Motter 2016

Perspectives



Intégration dans un modèle à l'échelle boucle avec prise en compte de l'interaction réservoir / cœur évaporateur

- Meilleure compréhension du fonctionnement des LHP
- Aide à la conception des LHP
- Modèle détaillé permettant de valider des modèles simplifiés en conditions gravitaires ou non



MERCI DE VOTRE ATTENTION