

# Etude exploratoire des effets de l'électrohydrodynamique sur le pompage au sein d'un caloduc plat



Nicolas Cardin<sup>1</sup>

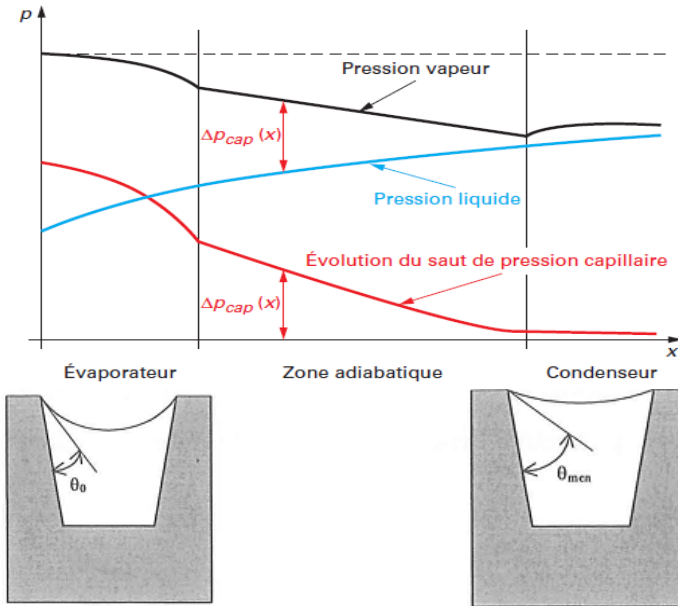
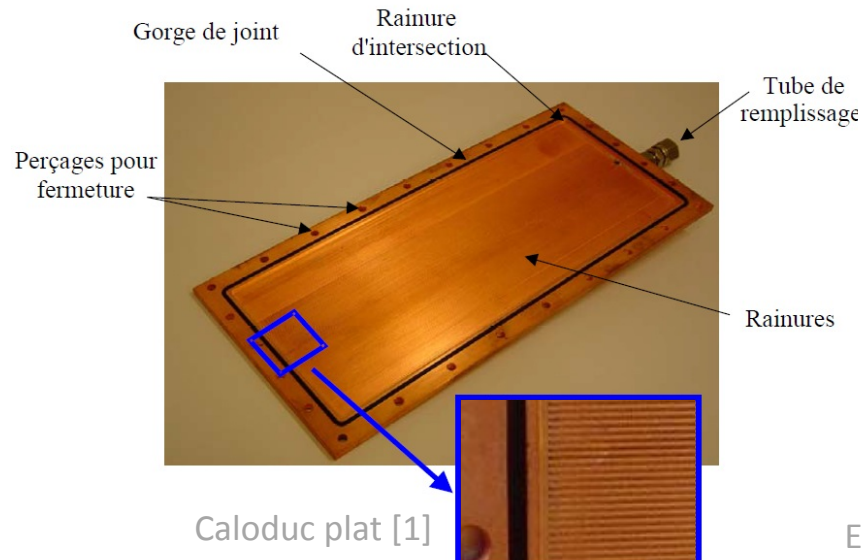
Samuel Siedel<sup>1</sup>, Stéphane Lips<sup>2</sup>, Laurent Davoust<sup>1</sup>, Jocelyn Bonjour<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SIMAP, 1340 rue de la piscine, St Martin d'Hères, France

<sup>2</sup> CETHIL, Bâtiment Sadi-Carnot 9 rue de la Physique, Villeurbanne, France

Thèse ARC-énergie : oct 2015-2018

# Caloducs plats



Evolution de la pression dans un caloduc plat [2] et évolution de la forme de l'interface entre l'évaporateur et le condenseur [3]

**Intérêt** : Transporter de chaleur dans des zones à fort encombrement en utilisant les propriétés d'un fluide diphasique

- Extraction de chaleur par changement de phase
- Pompage à l'aide de la variation de courbures à l'interface

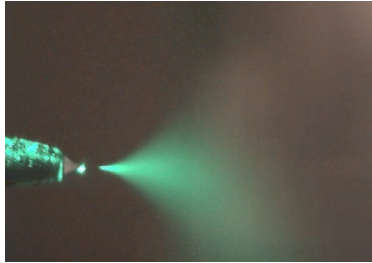
**Limite** : Pompage capillaire limité par les pertes de charges

[1] LIPS, S. (2009). Analyse phénoménologique du fonctionnement de diffuseurs thermiques diphasiques (caloducs plats) par voies expérimentale et numérique.

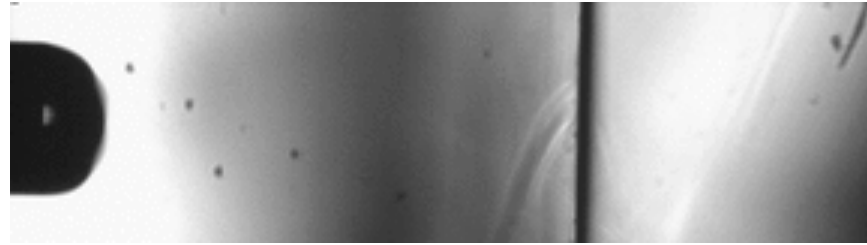
[2] Bonjour, J., Lefèvre, F., Sartre, V., Bertin, Y., Romestant, C., Ayl, V., & Platel, V. (2010). Systèmes diphasiques de contrôle thermique Thermosiphons et caloducs. *Techniques de l'Ingénieur*, 1–24.

[3] Avenas, Y. (2010). Etude et réalisation de caloducs plats miniatures pour l'intégration en électronique de puissance. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00473217>

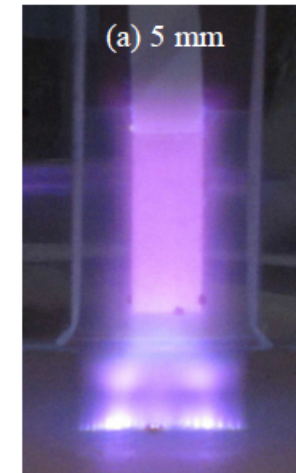
# EHD



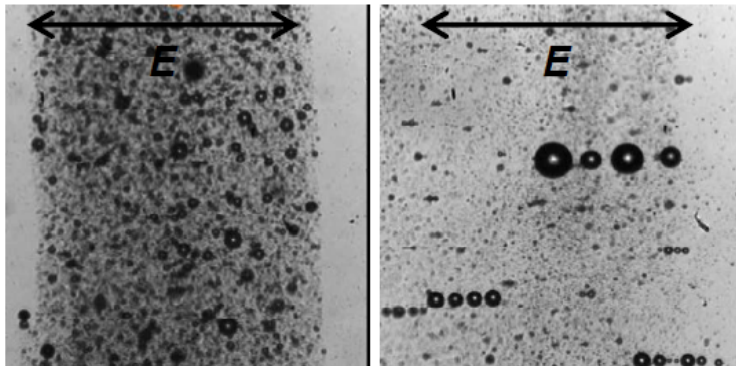
Electro-spray [4]



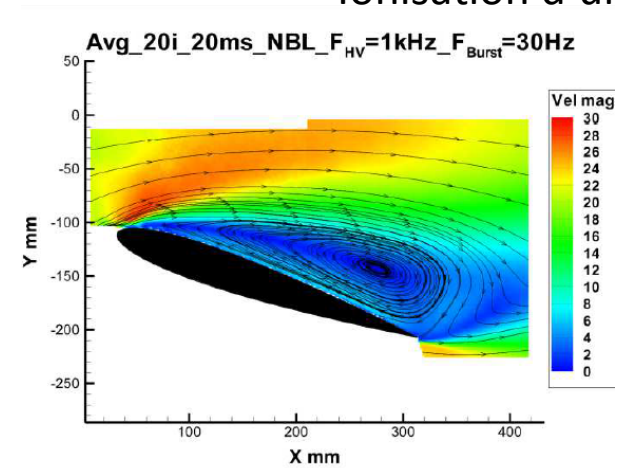
Déformation d'interface [5]



Ionisation d'un gaz [6]



Séparation de phases [7]



Modification de l'écoulement [8]

[4] <http://rsl.eng.usf.edu/Pages/ResearchElectrosprayAmbient.html>

[5] L. Davoust, SIMaP/EPM. EHD Drop on demand.

[6] T. Kawasaki (2012). Basic Study on Generation and Sterilization of Sheet Type Plasma Jet-like DBD Under Atmospheric Pressure

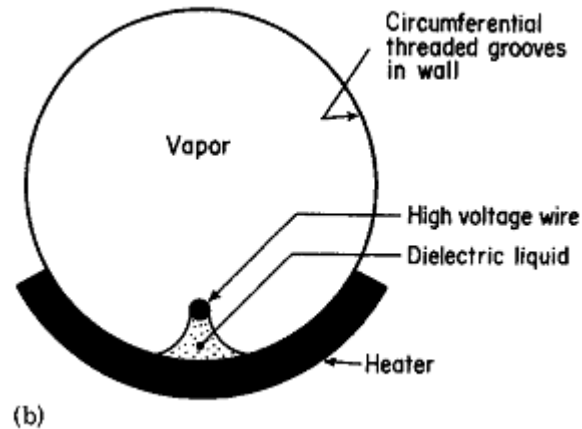
[7] P. Atten (2012). Electrohydrodynamics of dispersed drops of conducting liquid : from drops deformation and interaction to emulsion evolution

[8] A. Leroy (2012). Enhancement of lift and drag performances of NACA0012 airfoil by multi-DBD plasma actuator with additional floating interelectrodes

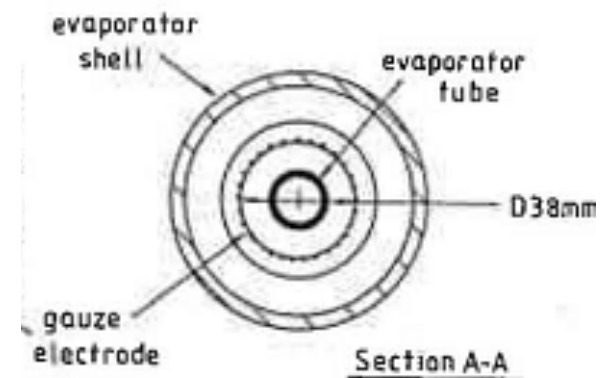
# Les caloducs et l'EHD

## Plusieurs expériences :

- T.B. Jones (1974)
- R. Loehrke (1978)
- P. Cooper (1990)
- J.Yagoobi (1997)
- Z. YU (2003)



Expérience de Jones [9]



Expérience de Cooper [10]

## But :

- Améliorer le pompage/les transferts
- Contrôler la température

## Conclusion :

- Effets positifs de l'EHD sur l'amélioration des performances
- Géométrie différente d'un caloduc plat
- Pas de bilan local

[9] Jones, T. B. (1974). Electrohydrodynamic heat pipe experiments. Journal of Applied Physics, 45(5), 2129. <http://doi.org/10.1063/1.1663557>  
[10] Cooper, P. (1990). EHD Enhancement of Nucleate Boiling. Journal of Heat Transfer, 112(2), 458. <http://doi.org/10.1115/1.2910400>

# EHD interfaciale

- Deux milieux de **permittivité différente** délimités par une interface
- Pas de présence de charges volumiques dans ces milieux
- Saut de propriétés à l'interface

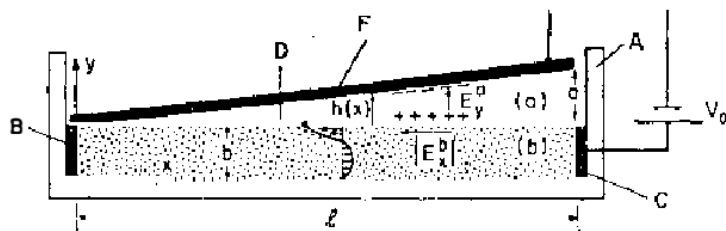
⇒ création de contrainte électrique

**Contrainte normale :**

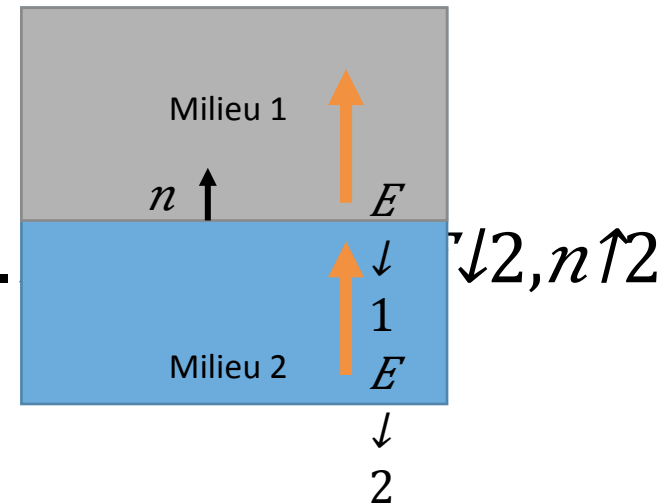
$$\tau \downarrow n = \epsilon \downarrow 1 / 2 (E \downarrow 1, n \uparrow 2 - E \downarrow 1, t \uparrow 2) - E \downarrow 2, t \uparrow 2) \cdot n$$

⇒ Contrainte indépendante de l'orientation de  $E$

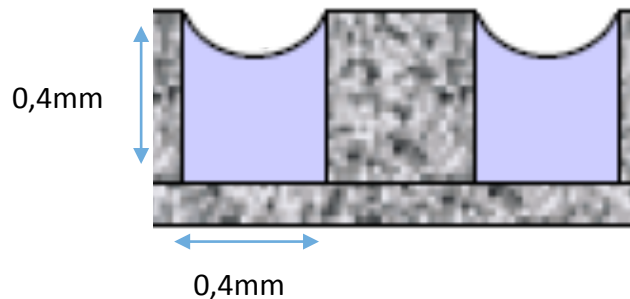
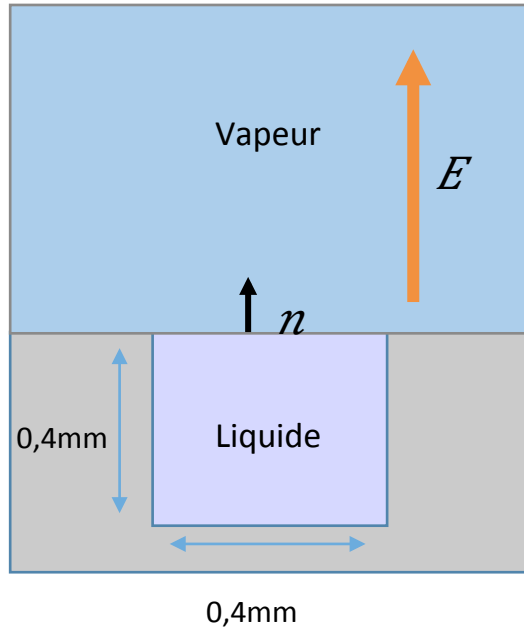
**Contrainte tangentielle :**



**Expérience de Taylor Melcher (1969) :**  
 Utilisation d'un champ normal et d'un champ tangentiel à l'interface  
 $P \tau \downarrow n$  et  $\tau \downarrow t$   
 ⇒ Écoulement dans le liquide



# Ordre de grandeur : modèle



## Hypothèses :

- Liquide isopotentiel
- ⇒ Champ uniquement dans la vapeur
- Champ normal à l'interface
- Champ électrique max avant claquage dans le milieu

$$P \tau \downarrow n = \varepsilon \downarrow vap / 2 E \downarrow max \uparrow 2 .$$

$$n$$

- Estimation de la contrainte capillaire pour un rayon de courbure  $R \downarrow min, cal$   
 $= 400 \mu m$

# Ordre de grandeur : résultats

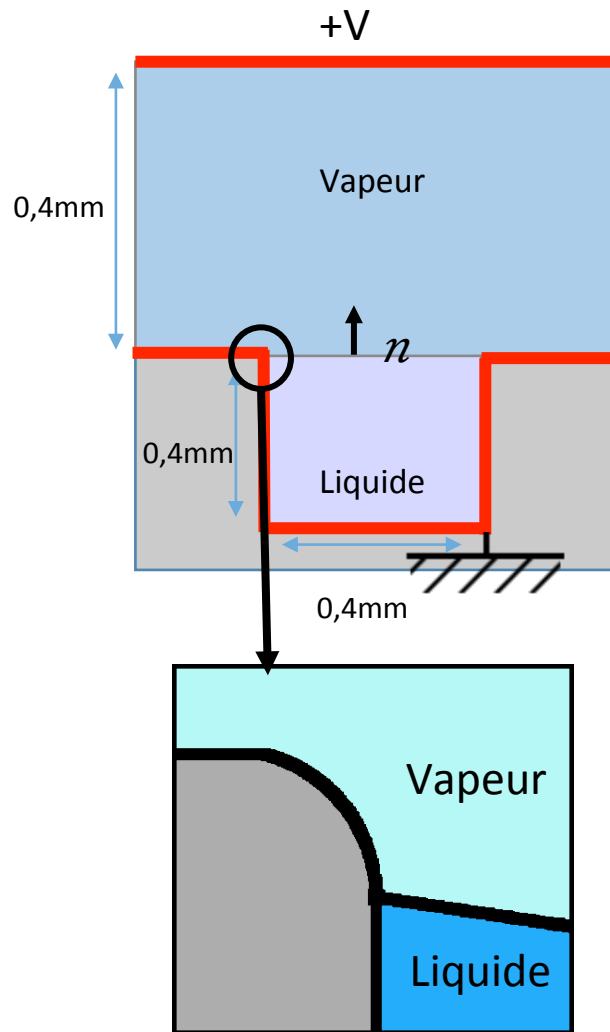
	Tension de surface $N.m^{-1}$	Longueur capillaire $mm$	Contrainte capillaire max $N.m^{-2}$	Champ max $V.m^{-1}$	Contrainte électrique $N.m^{-2}$
Eau pure	0.07	2.5	<b>175</b>	$10^{16}$	<b>5</b>
FC-72	0.01	0.8	<b>25</b>	$10^{17}$	<b>500</b>
Pentane	0.015	1.5	<b>37</b>	$10^{17}$	<b>500</b>

- **Conclusion :**

- La contrainte maximale électrique est supérieure à la contrainte maximale capillaire d'un ordre de grandeur pour le FC-72 et le pentane

=> Vérifier les ordres de grandeur des contraintes dans une géométrie plus complexe

# Modélisation : Hypothèses



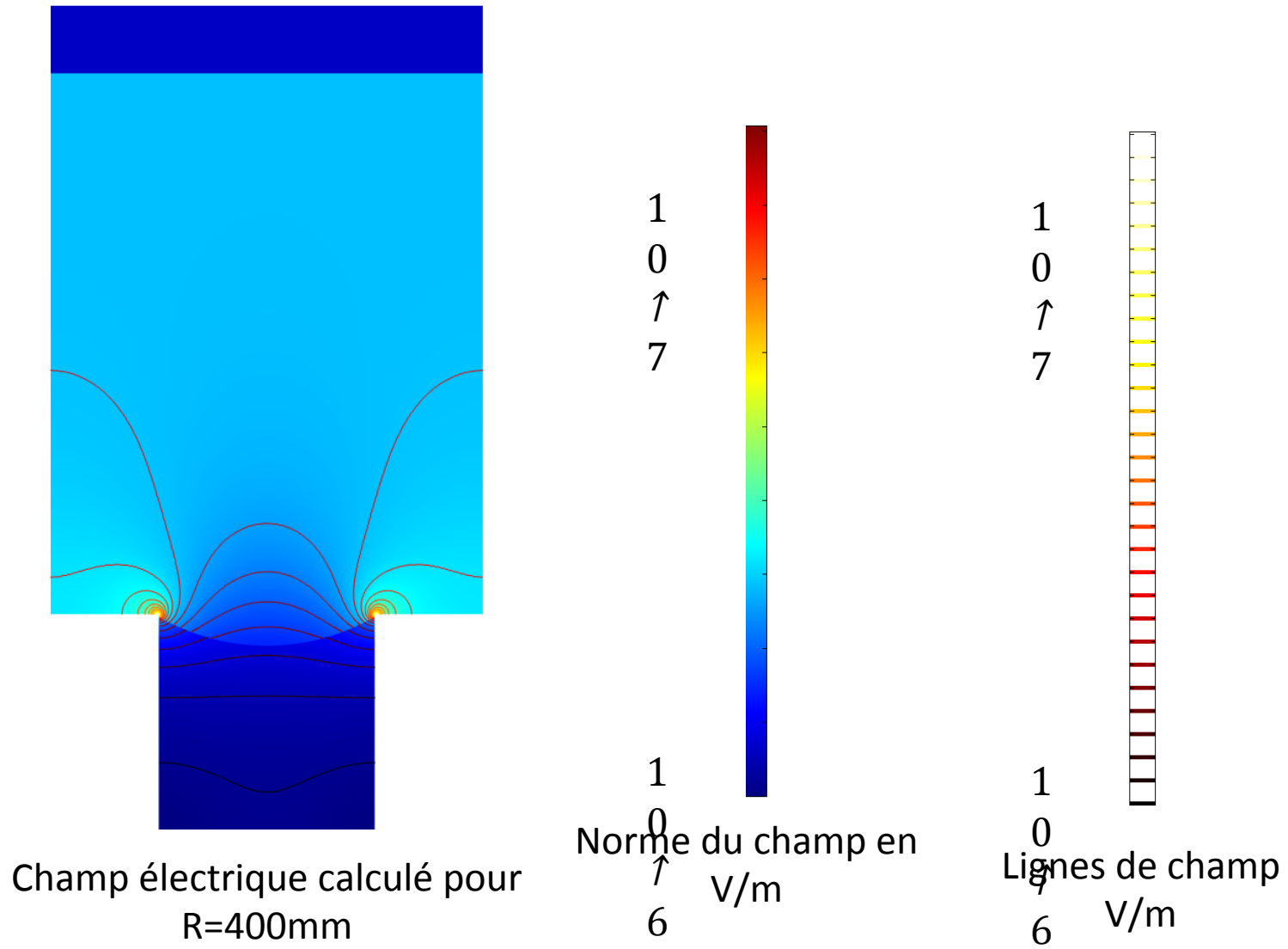
Caloduc plat avec des rainures rectangulaires de  $400\mu\text{m} \times 400\mu\text{m}$

- **Modélisation sur une rainure :**

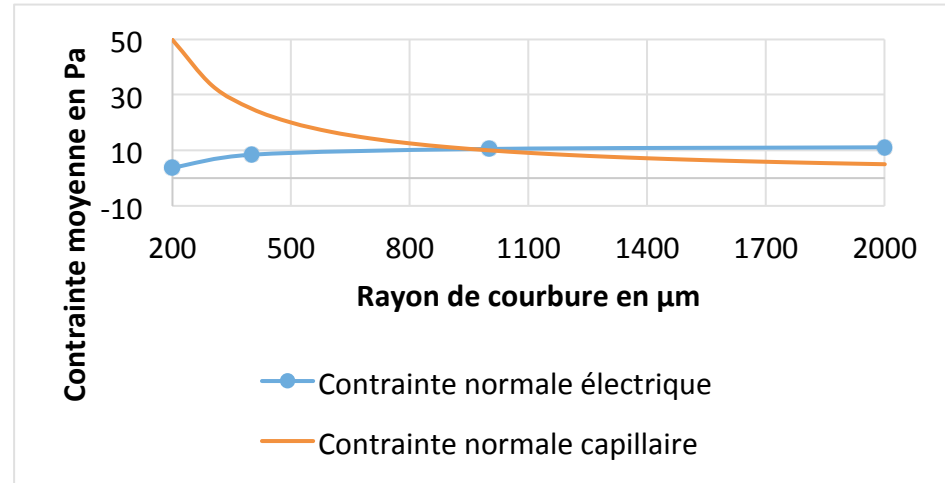
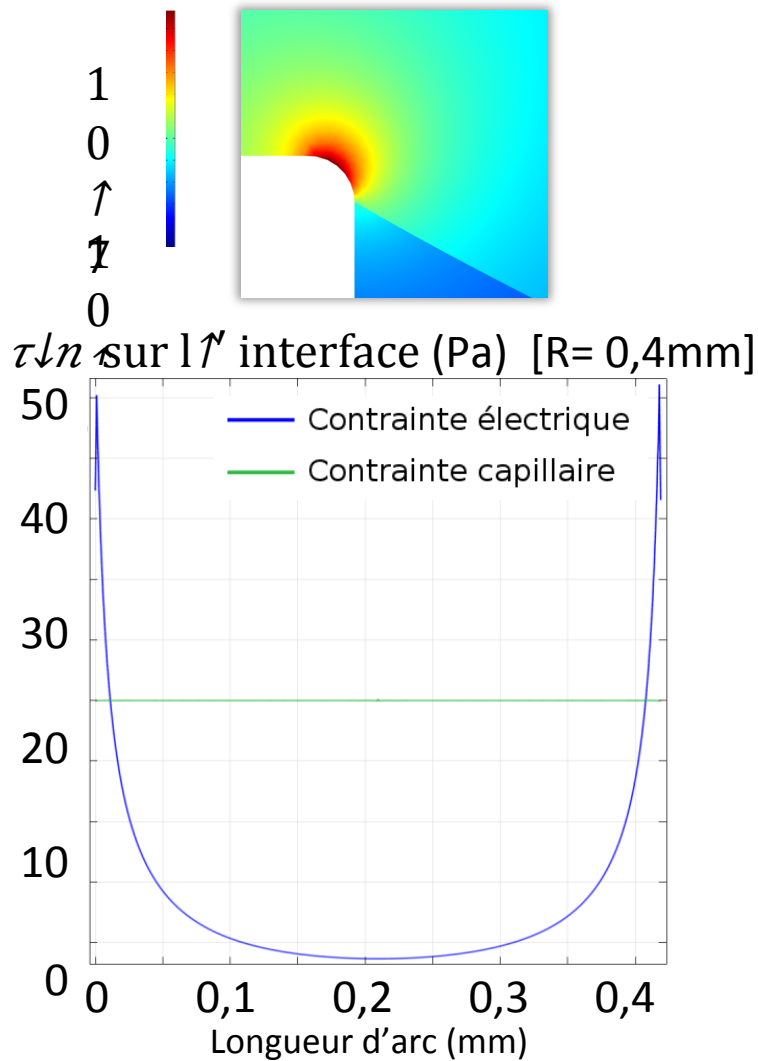
- Electrode supérieure plane, électrode inférieure = plaque inférieure en cuivre
- Les rebords du canal ont été rabotés avec un rayon de  $5\mu\text{m}$  (éviter les singularités géométriques)
- Interface fixe (rayon de courbure imposé)
- Le point d'accroche de la ligne triple est contraint en partie basse du rebord



# Modélisation : champ calculé



# Modélisation : résultats



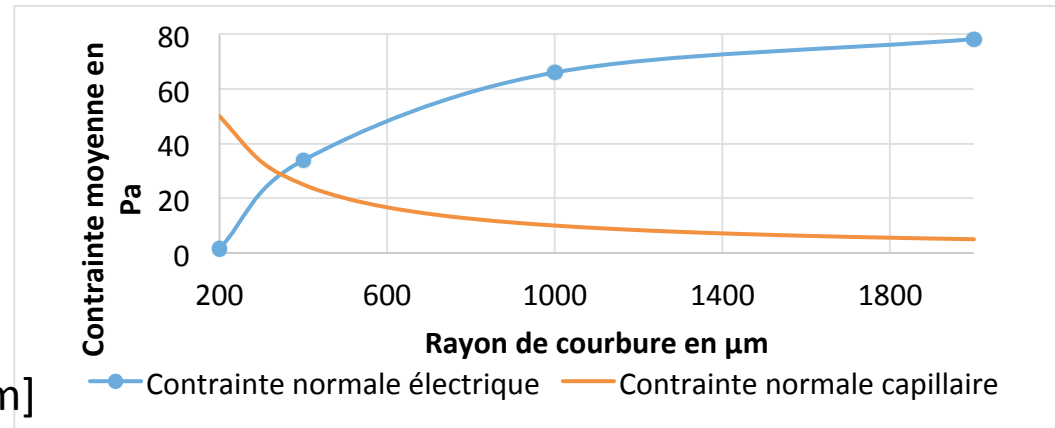
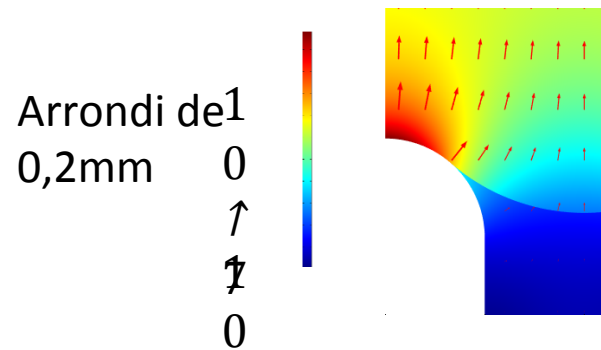
## Premiers Résultats :

- Dépendance important du point d'accroche de la ligne triple
- Concentration du champ sur le rebord du canal

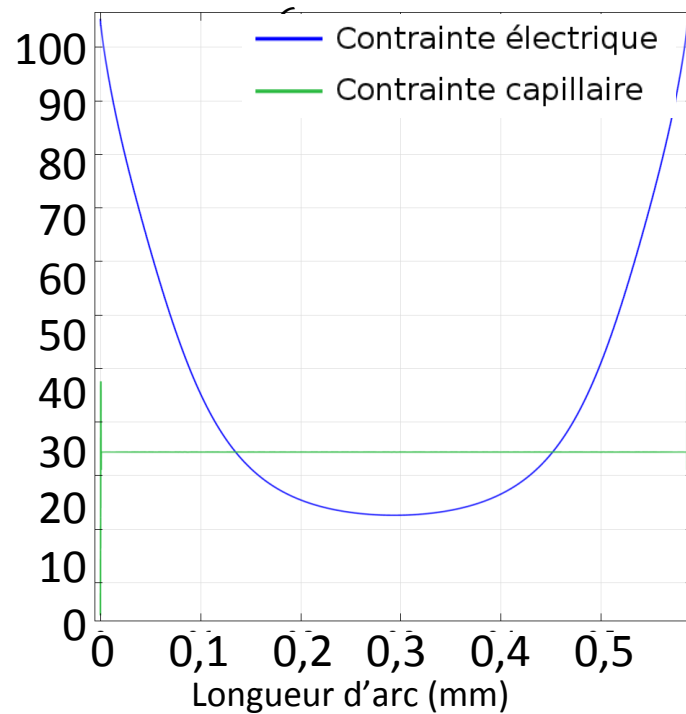
## Conclusion :

- Contrainte électrique moyenne du même ordre que la contrainte capillaire
- Deux contributions :
  - Position de la ligne triple
  - Zone de concentration du champ

# Modélisation : impact de la géométrie



$\tau \downarrow n$  sur  $\uparrow$  interface (Pa) [R= 0,4mm]



## Analyse :

- Contrainte électrique plus homogène
- Contrainte électrique augmentée

## Conclusion :

- Contrainte électrique supérieure à la contrainte normale
- La contrainte électrique ne va pas dans le sens de la contrainte capillaire

# Conclusions et perspectives

## Conclusions :

- Contrainte électrique  $\sim$  contrainte capillaire
- Contribution de la position de la ligne triple et de la géométrie

## Perspectives :

- Deux types d'améliorations :
    - La géométries des électrodes et le point d'accroche
    - Déformation non permanente de l'interface
- ⇒ Modéliser la déformation de l'interface (ALE) :
- Equilibre des contraintes
  - Fonctionnement en régime alternatif