



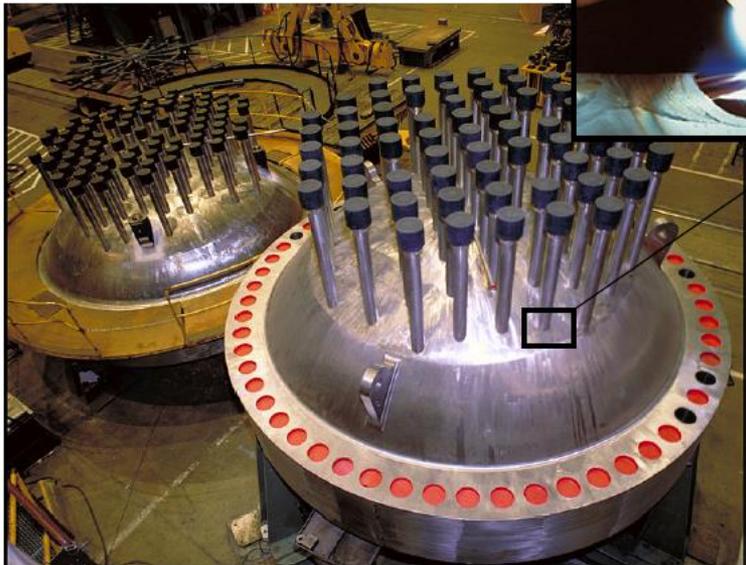
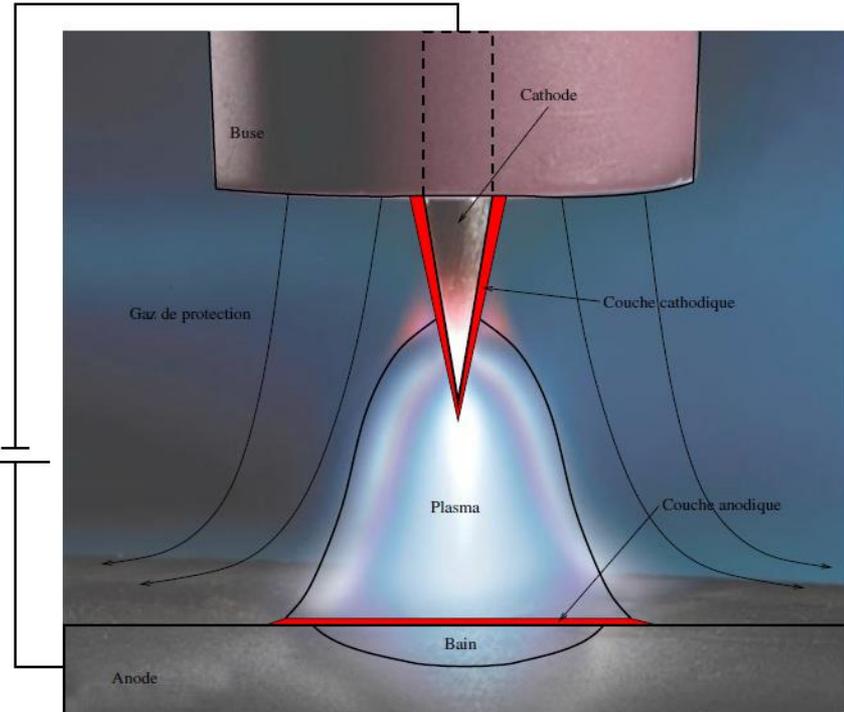
Modélisation Multi-Physique d'un Arc TIG et son Bain de Soudure

Présentateur: Christopher Nahed

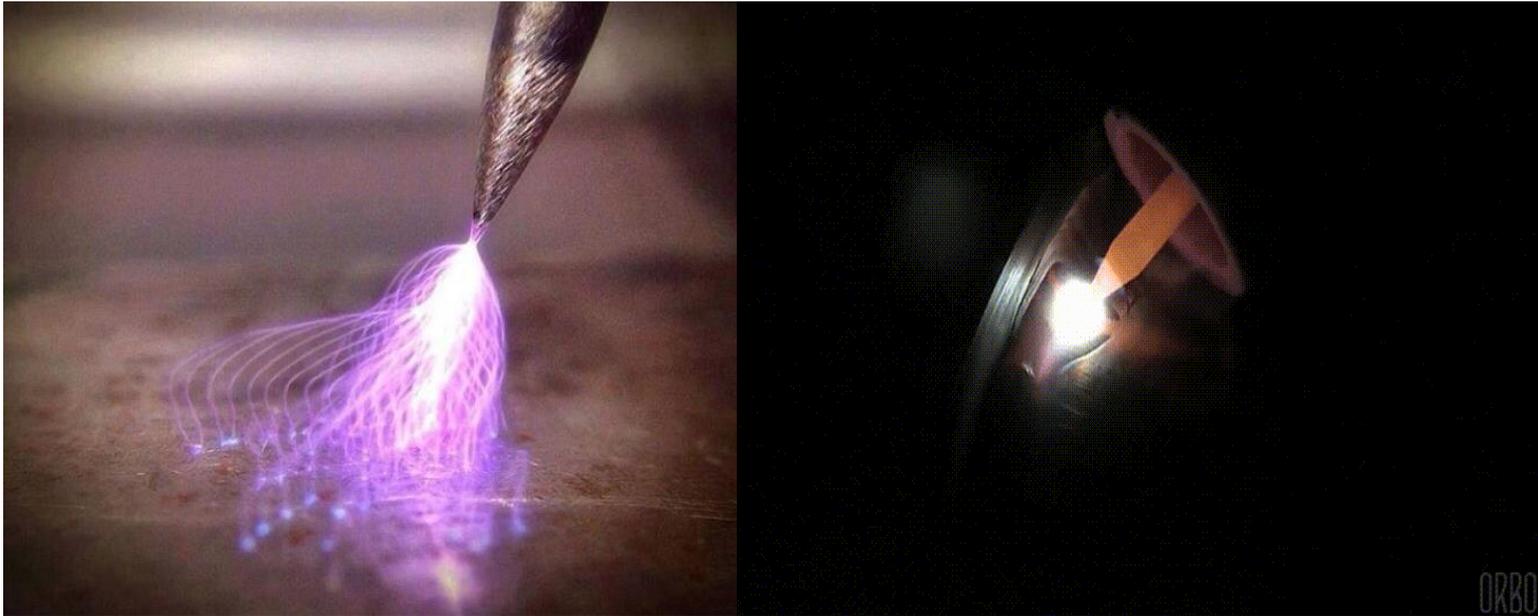
Encadrant: Stéphane Gounand

Directeur: Marc Medale

- ▶ L'arc TIG est utilisé en soudage, comme une torche de soudage. TIG = Tungsten Inert Gas
- ▶ Le circuit d'un arc TIG →
- ▶ L'arc est un plasma quasi-thermique
- ▶ Ça veut dire qu'on peut assumer une seule température pour les différentes espèces de particules



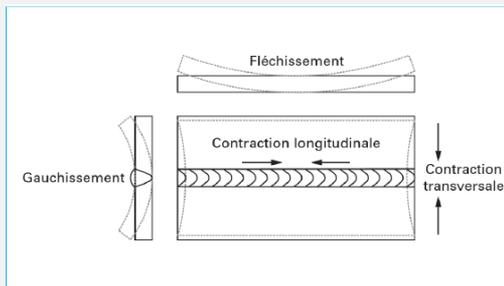
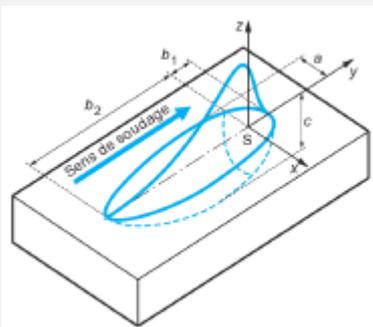
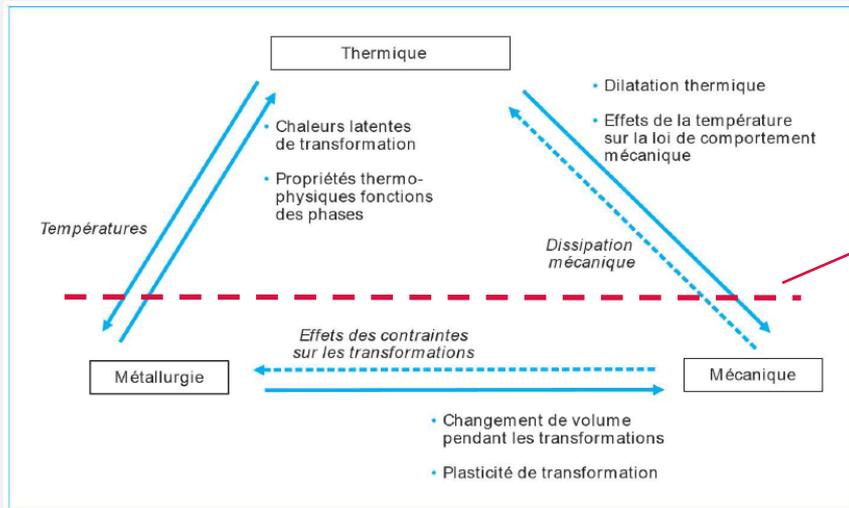
- ▶ Le bain de soudure est un bain métallique fondu, chauffé par la torche de soudage
- ▶ Un exemple d'un bain de soudure
- ▶ L'arc TIG transfère la chaleur à une haute température, et donc il est utilisé dans le domaine nucléaire. Ex: La soudure des barres au couvercle de la cuve d'un PWR.



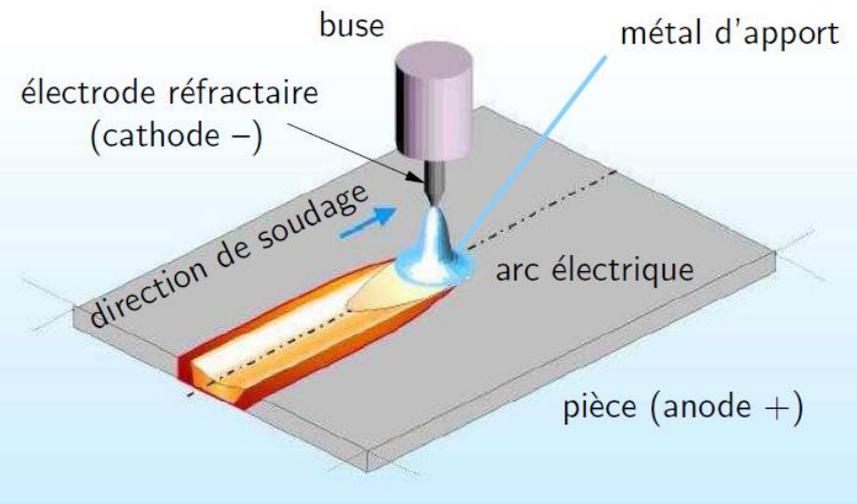
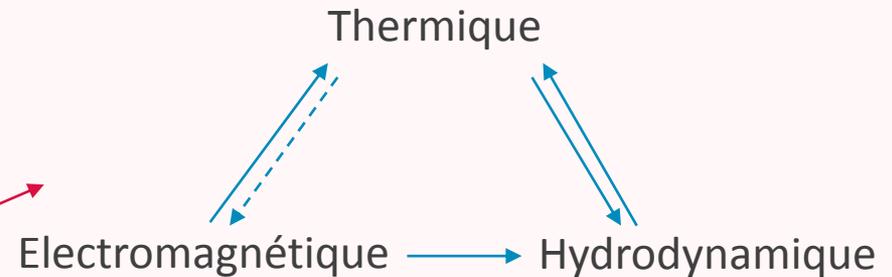
Soudage TIG :

- ❖ Électrode non fusible
- ❖ Paramètres d'entrée: tension, intensité, vitesse de défilement, hauteur d'arc...
- ❖ Choix de matériaux: Gaz de protection, type de dopage de la cathode, métal d'apport, métal à fusionner...
- ❖ Paramètres de sortie: forme du bain de soudage, écoulement, température...

SNS thermomécanique



SNS multi-physique



Thèses

- Brochard, 2009: Modèle 2D multi-physique Axisymétrique d'arc bain sans surface libre.
- Kong, 2012: modèle 3D du bain à surface libre
- Nguyen, 2016: modèle 3D multi-physique du bain à surface libre

Code de Calculs

- Une base de procédures utilitaires, qui facilite la modélisation hydrodynamique, était construite
- Standardisation d'Operateurs de Discrétisation spatiale
- Une vérification et validation des procédures était faite
- Une mise en disposition d'un algorithme d'adaptation de maillage



Quoi de Neuf

- Le lancement de la thèse de Nahed, 2018: Couplage arc bain 3D multi-physique avec surface libre
- 1. Une étude paramétrique de l'influence de la forme de cathode sur l'arc: à publier**
 - 2. Une adaptation et assemblage des plusieurs travaux précédents.**

Équations Electro/Magnétostatiques

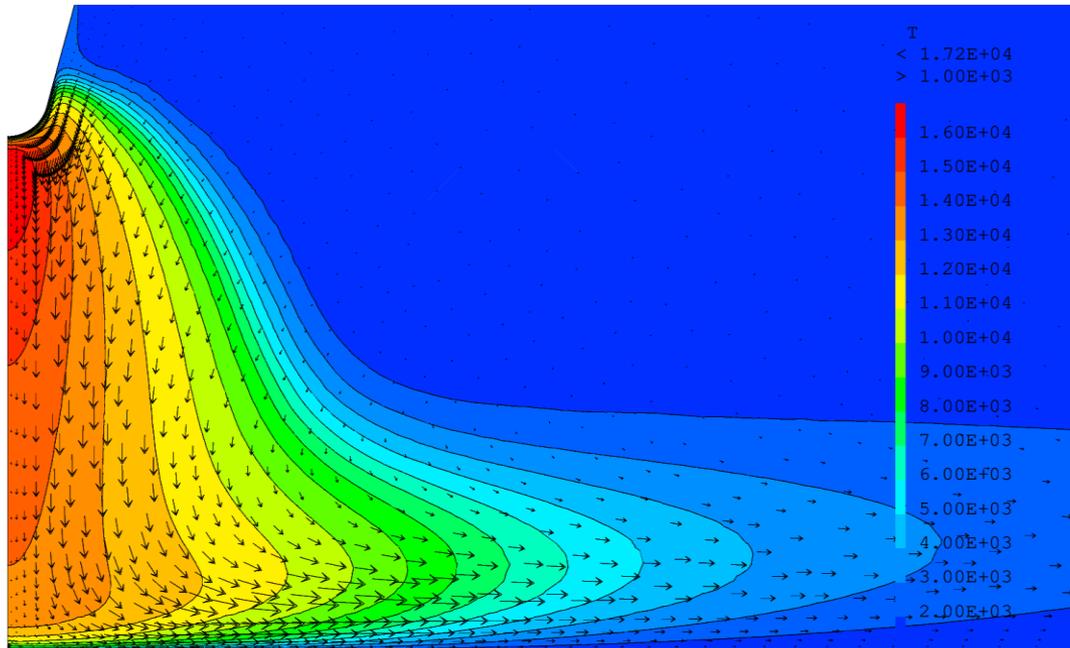
$$\left\{ \begin{array}{l} -\nabla \cdot \sigma^* \nabla \phi = 0 \quad \forall \quad \sigma^* = f(T, \Omega) \quad \text{in} \quad \Omega_{\text{tot}} \\ \nabla \wedge \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j} \quad \forall \quad \mathbf{j} = -\sigma^* \nabla \phi \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \end{array} \right.$$

Équations Hydrodynamiques

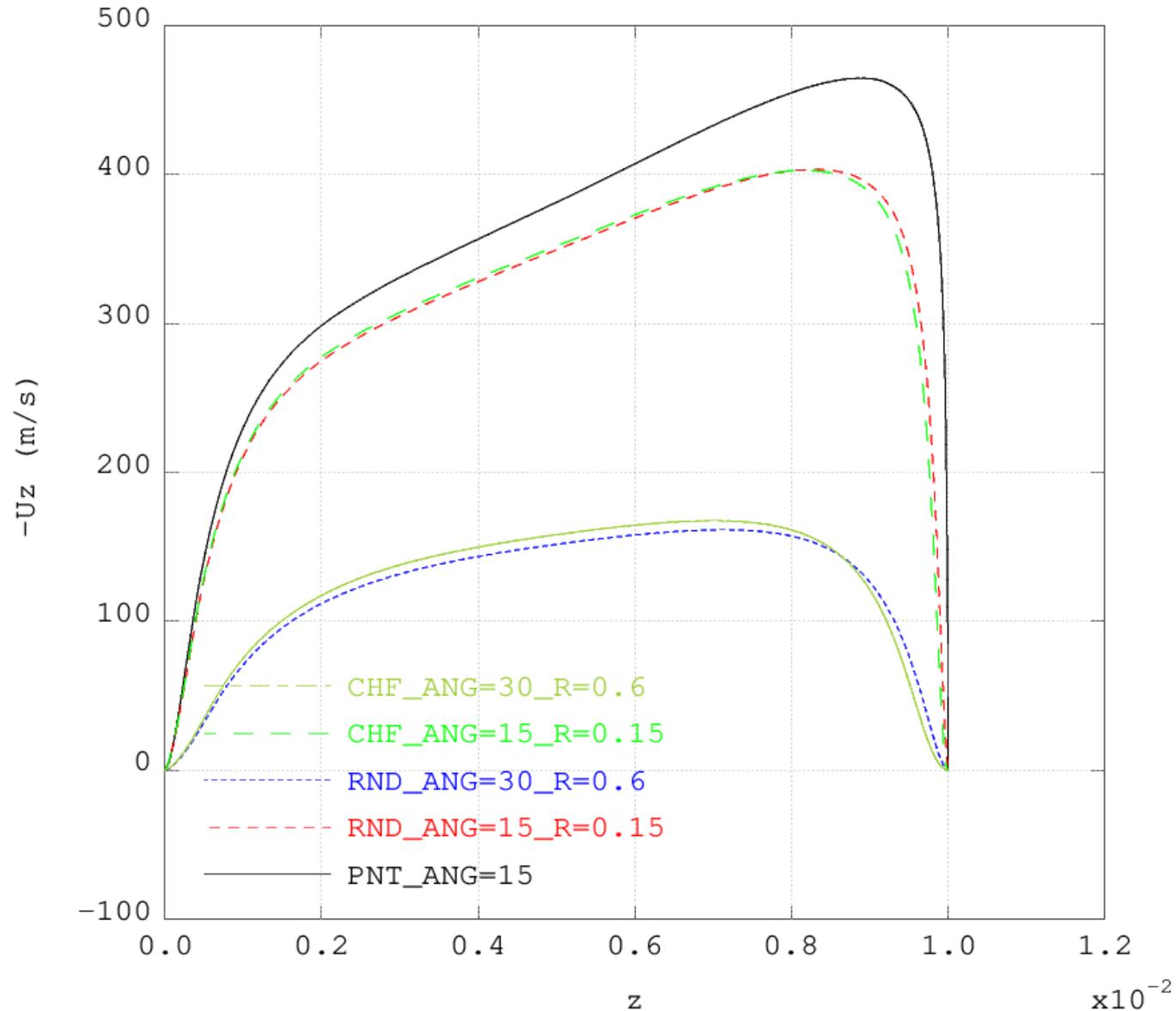
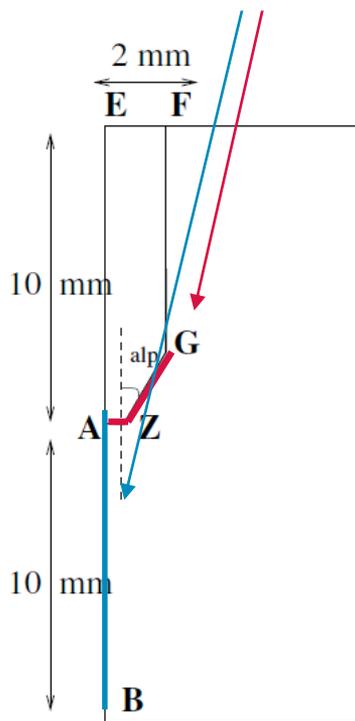
$$\left\{ \begin{array}{l} (\nabla \mathbf{u}) \cdot \rho \mathbf{u} = -\nabla p + \nabla \cdot \mu \left(\nabla \mathbf{u} + \nabla^t \mathbf{u} - \frac{2}{3} \nabla \cdot \mathbf{u} \mathbf{1} \right) + \mathbf{f}_{\text{Lor}} \\ \nabla \cdot \mathbf{u} = -\frac{d(\ln \rho^*)}{dT} \mathbf{u} \cdot \nabla T \end{array} \right.$$

Équations Thermiques

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho c_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot \lambda \nabla T + s_{\text{Joule}} - s_{\text{Ray, pla}} \quad \text{sur} \quad \Omega_{\text{tot}} \end{array} \right.$$



Vitesse
verticale sur
l'axe de l'arc



Équations Electro/Magnétostatiques

$$\left\{ \begin{array}{l} -\nabla \cdot \sigma^* \nabla \phi = 0 \quad \forall \quad \sigma^* = f(T, \Omega) \quad \text{in} \quad \Omega_{\text{tot}} \\ \nabla \wedge \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j} \quad \forall \quad \mathbf{j} = -\sigma^* \nabla \phi \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \end{array} \right.$$

Équations Thermiques

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho(\nabla h) \cdot (\mathbf{u} - \mathbf{u}_s) = \nabla \cdot \lambda \nabla T + s_{\text{Joule}} \quad \text{sur} \quad \Omega_{\text{tot}} \end{array} \right.$$

Équations Hydrodynamiques

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho(\nabla \mathbf{u}) \cdot (\mathbf{u} - \mathbf{u}_s) = -\nabla p + \nabla \cdot \mu(\nabla \mathbf{u} + \nabla^t \mathbf{u}) + \mathbf{f}_{\text{Bou}} + \mathbf{f}_{\text{Lor}} + \mathbf{f}_{\text{Ext}} \\ \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad \text{sur} \quad \Omega_{\text{tot}} \end{array} \right.$$

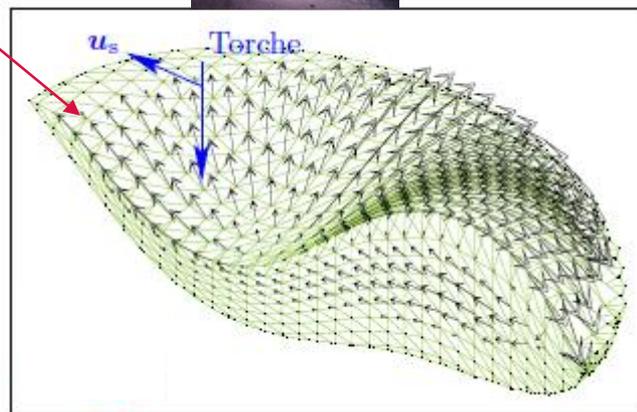
Et la surface ?

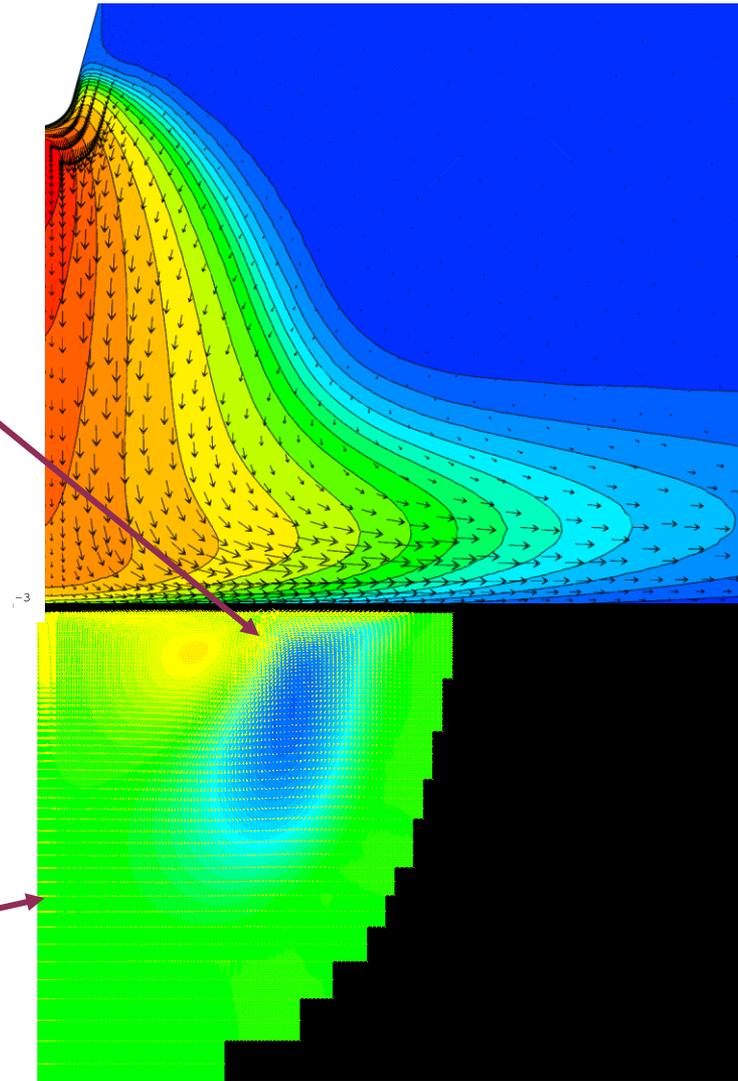
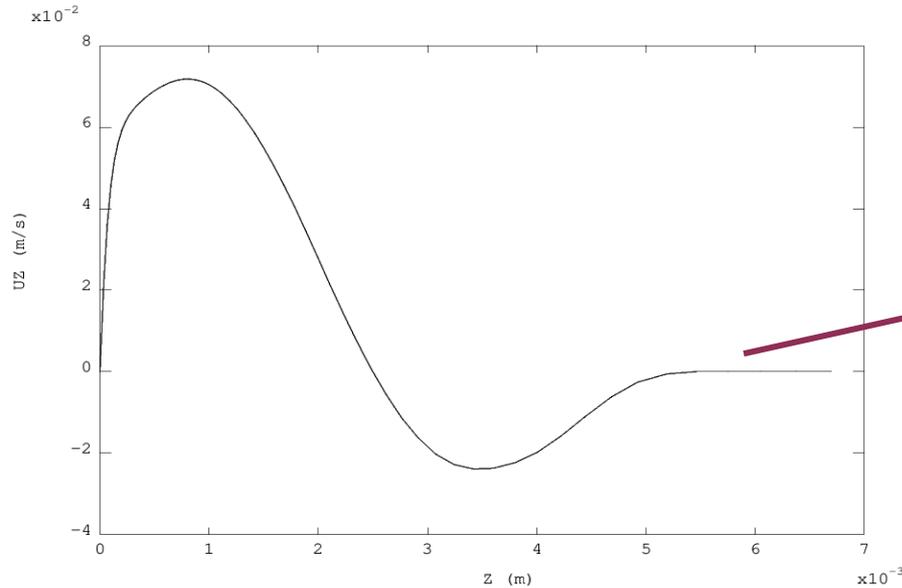
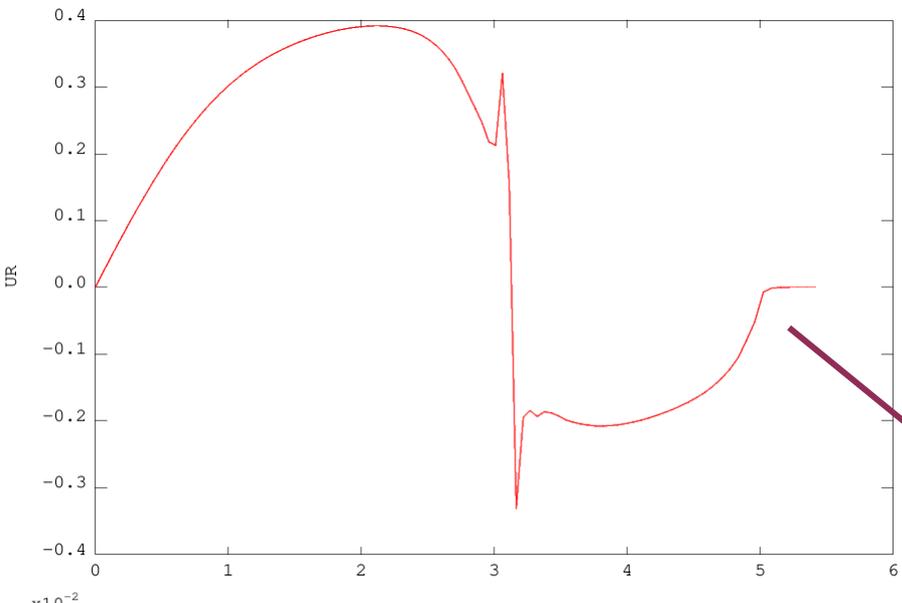
1. On rajoute les forces de Marangonie et tension de surface
2. On laisse la dynamique de la surface prendre effet



Et le couplage avec l'arc?

1. La pression de l'arc est dans le bilan des forces normales à l'interface
2. Les forces de cisaillement de l'arc sont imposées aux équations tangentielles





1. Publier notre article sur l'étude paramétrique sur le comportement d'un arc TIG en fonction du forme de cathode
2. Voir si en raffinant les maillages, dans les zones aux forts gradients, qu'on trouve des solutions qui converge plus facilement
3. Utiliser un mailleur adaptatif pour qu'on puisse mailler nos systèmes plus facilement, et pour qu'on évite les systèmes (liés à la qualité du maillage) non-convergeants
4. Coupler la dynamique de la surface libre du bain avec les forces de pression de l'arc
5. Passer en simulation 3D avec défilement de la torche



Merci de votre attention

