

Modélisation multiphysique du bain de fusion en soudage à l'arc dans différentes configurations

Stéphane GOUNAND¹, Olivier ASSERIN¹, Minh Chien NGUYEN^{1,3},
Marc MEDALE³, Philippe GILLES² et Harry POMMIER¹

¹CEA Saclay, SEMT, LTA

²AREVA NP, Paris La Défense 

³Aix Marseille Université, IUSTI, Marseille 



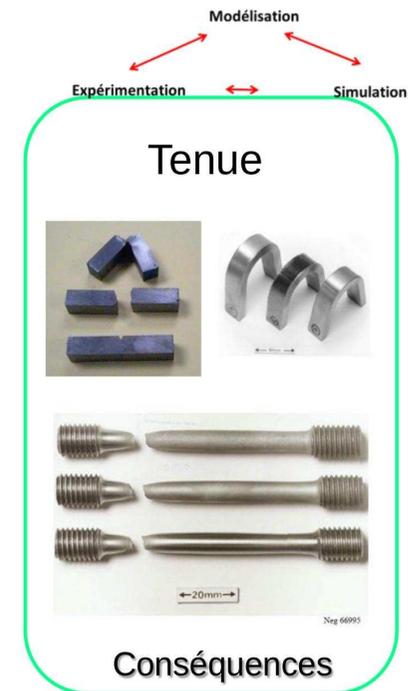
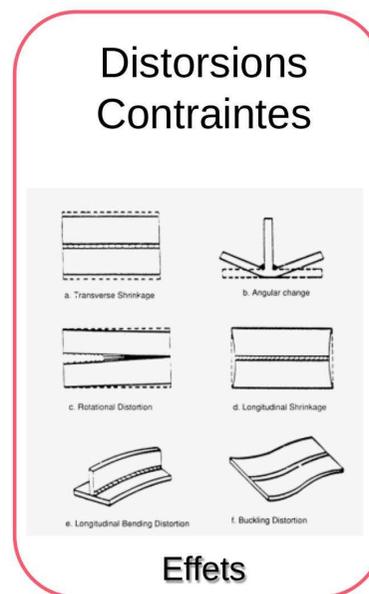
POURQUOI SIMULER LE SOUDAGE ? NOS AXES PRINCIPAUX

Exigences

- sureté : fiabilité (qualité des soudures) et maintenabilité (mitigation, réparation, contrôle, ...);
- fabricabilité : mode opératoire de soudage et développement de procédé.

Simulation pour améliorer la maîtrise

- des procédés de soudage (comprendre les limitations, contrôler, limiter les défauts ...),
- des effets de l'opération de soudage sur la fabricabilité et comprendre leurs conséquences sur la tenue :
 - contraintes résiduelles => intégrité des structures, ex. fatigue, CSC
 - microstructure, métallurgie => tenue mécanique, coefficient de joint

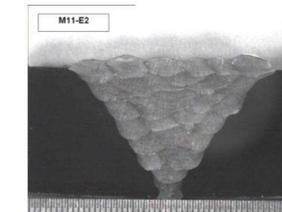
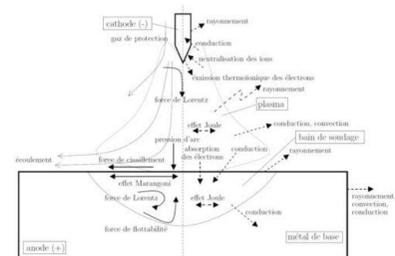
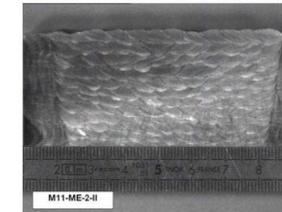
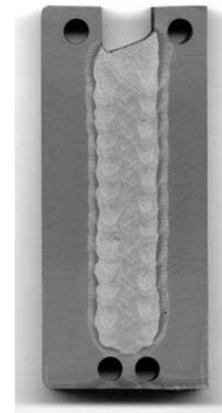
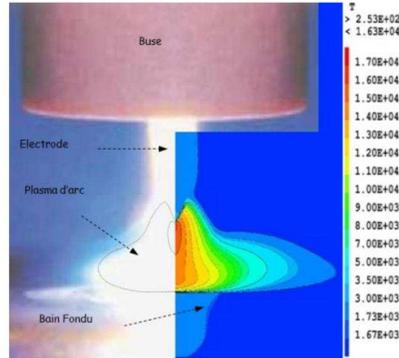
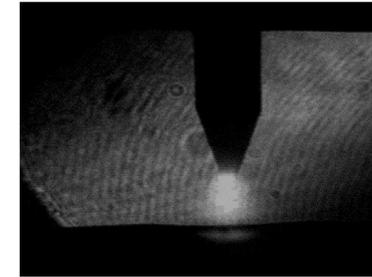
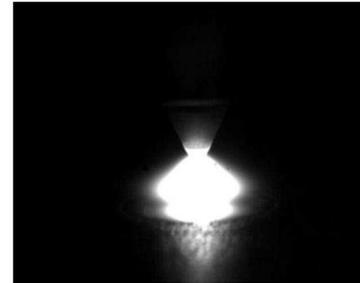


Séminaire DM2S Faits Marquant Scientifiques 2015 | O. Asserin (SEMT), S. Gounand (STMF)





MODÈLES MULTI PHYSIQUES DE SOUDAGE SEMT ET STMF



De la ligne de fusion à l'assemblage multipasse

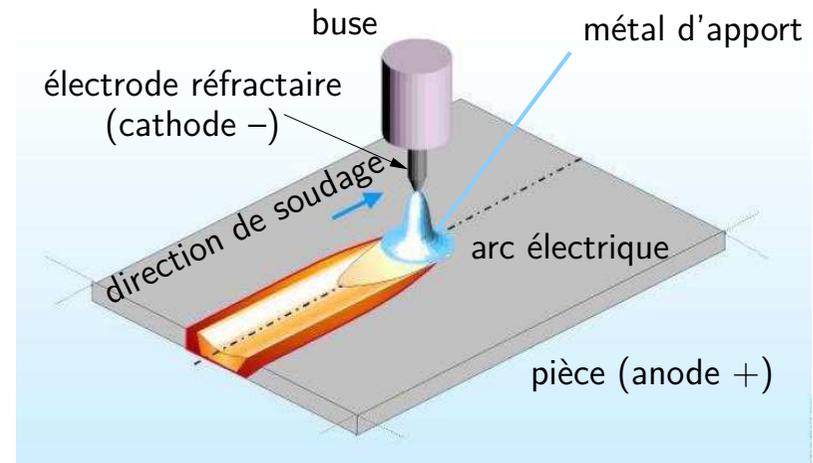
Séminaire DM2S Faits Marquant Scientifiques 2015 | O. Asserin (SEMT), S. Gounand (STMF)



Procédé de soudage à l'arc TIG



Procédé Tungsten Inert Gas (TIG)



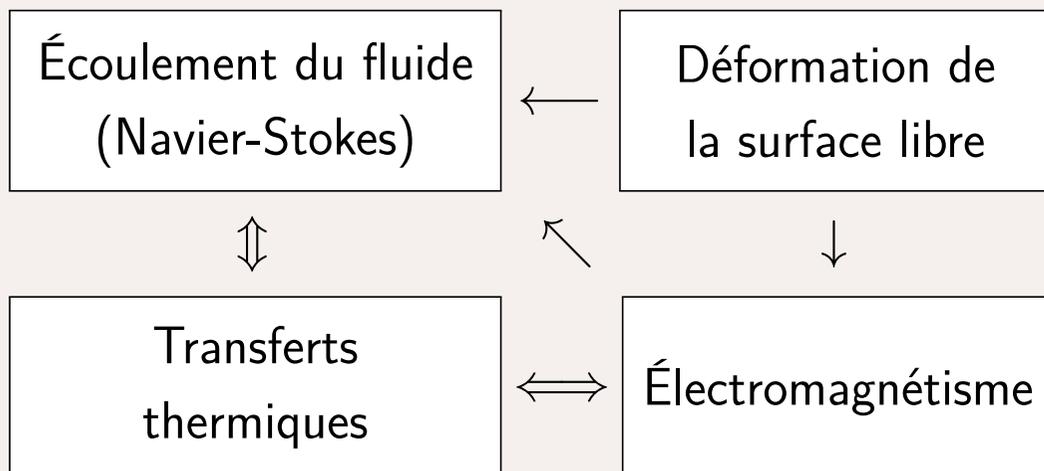
Modélisation du procédé TIG

Soudage TIG

- électrode non fusible
- paramètres d'entrée : tension, intensité, vitesse de défilement, hauteur d'arc
- paramètres de sortie : forme du bain de soudage, écoulement, température

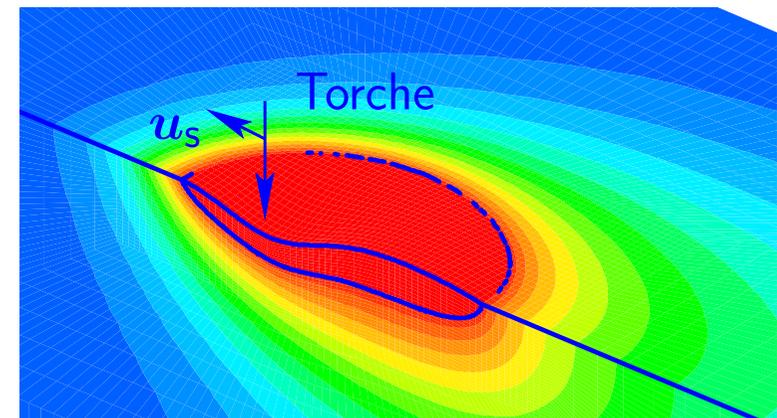
Modélisation multiphysique du soudage

Approche multiphysique



- les données d'entrée sont les paramètres opératoires du procédé : modèle direct
- permet de limiter le nombre d'expériences préalables

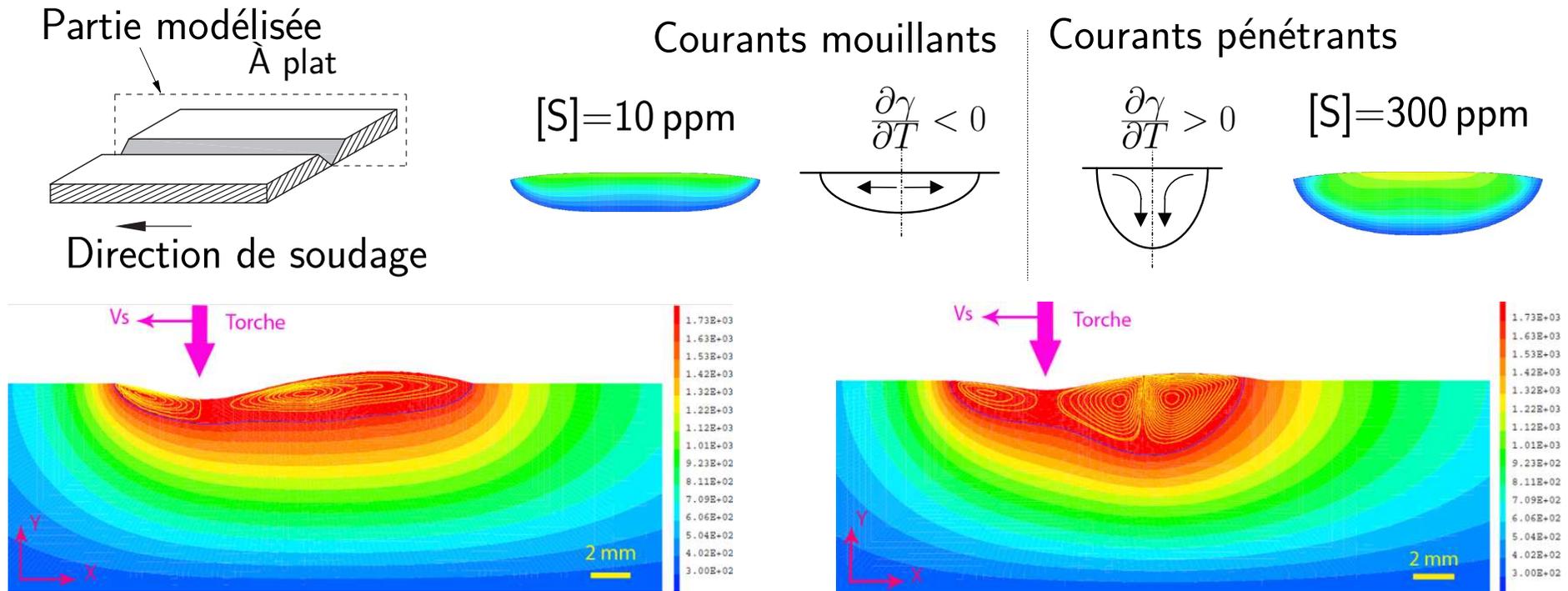
Modèle bain 3D



Modélisation

- multiphysique : mécanique, métallurgique, chimie
- multiéchelle : pièce, soudure, couche électrode-plasma
- multiphasique : métal, plasma
- multimatériaux

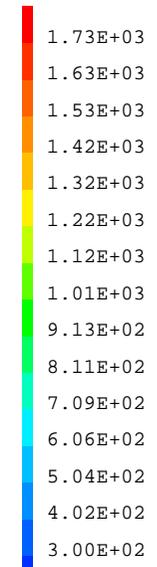
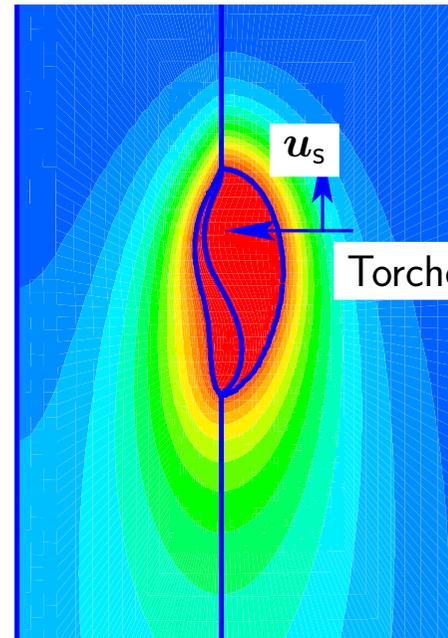
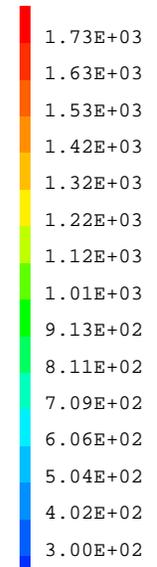
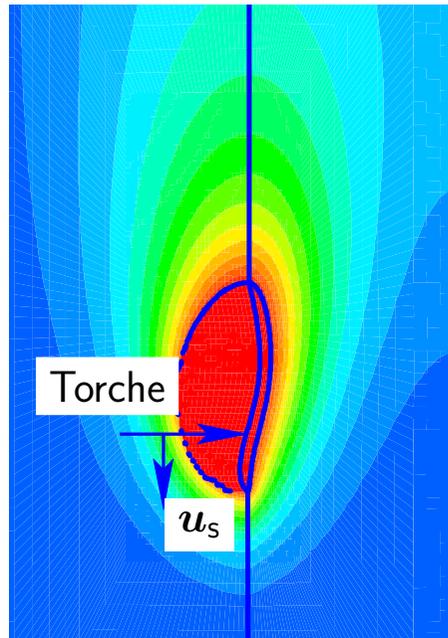
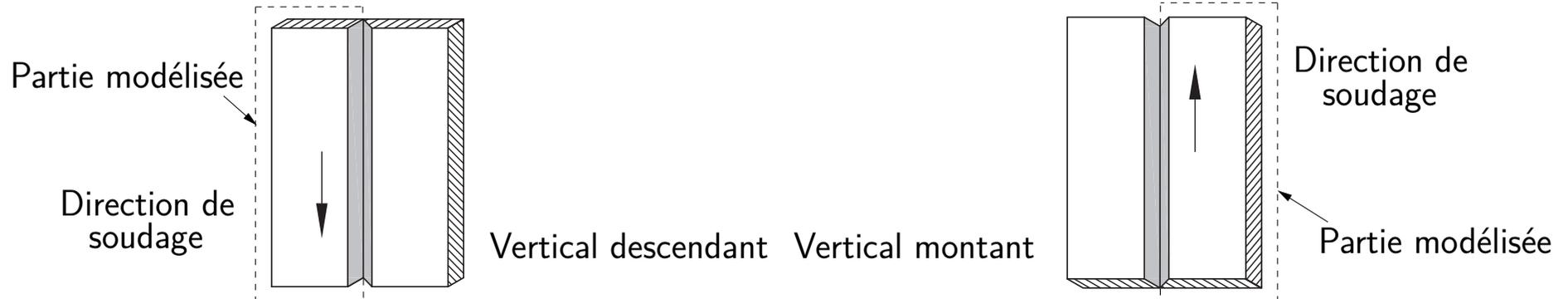
En surface du bain de soudage



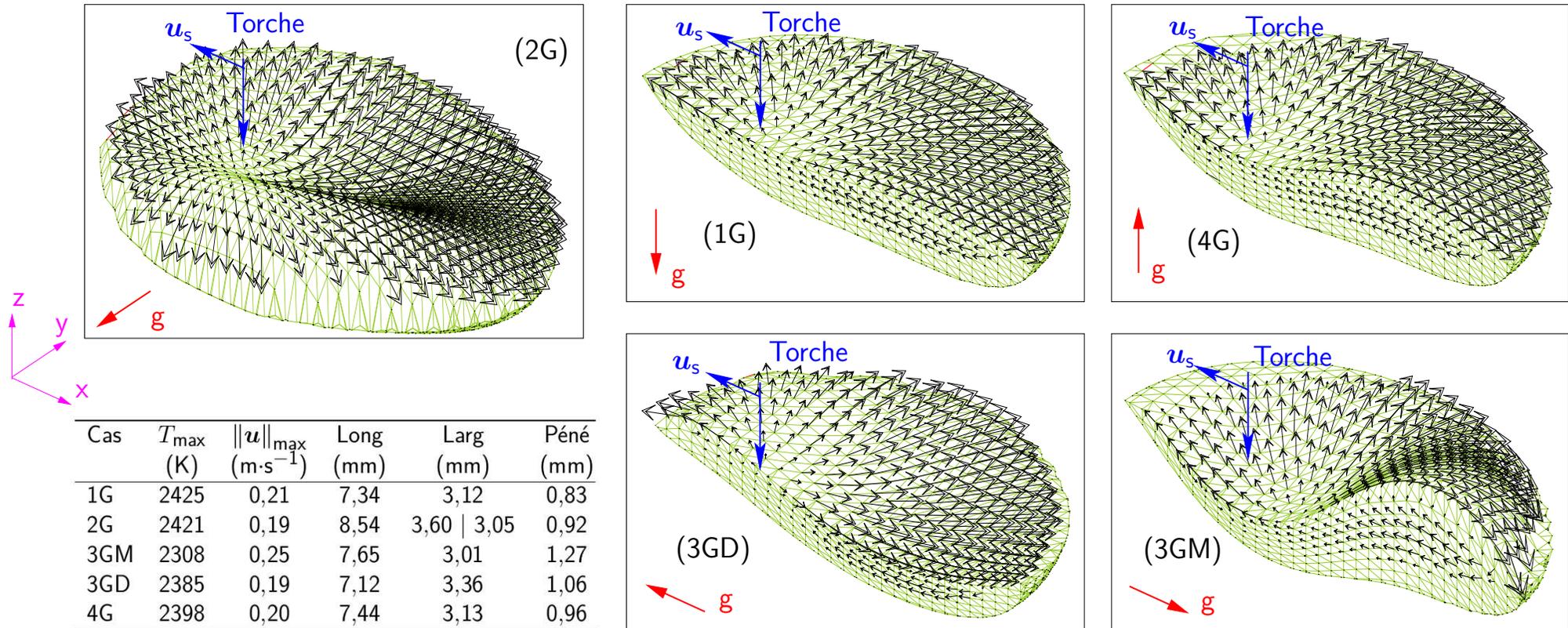
Bilan des forces normales et tangentielles

$$\left(\sigma_{\text{liq}}^* \cdot \mathbf{n} \right) + \underbrace{\rho_{\text{liq}} g z \mathbf{n}}_{\text{Poids du métal}} = \underbrace{\left(\sigma_{\text{gaz}} \cdot \mathbf{n} \right)}_{\text{Pression d'arc}} + \underbrace{\frac{2\gamma}{R} \mathbf{n}}_{\text{Tension de surface}} + \underbrace{\frac{\partial \gamma}{\partial T} \nabla_s T}_{\text{Gradient surfacique de } \gamma}$$

Positions de soudage – Verticale descendante & montante

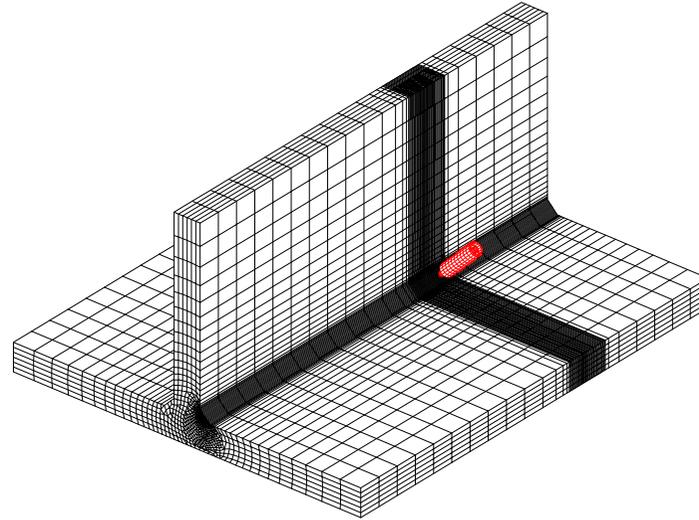


Écoulements dans le bain liquide



- > toutes les positions donnent le même ordre de grandeur de vitesse max. de $0,20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- > le sens de l'écoulement dans le bain n'est pas influencé par la position de soudage

Configuration de soudage en T



- Projet national multipartenaires MUSICAS 2013-2016 : Méthodologie Unifiée pour la Simulation de l'Intégrabilité et la Contrôlabilité des Assemblages Soudés
- WProcess : Welding Process (procédé de soudage), outil métier du CEA sur base Cast3M, SciPy et Salomé.
- Génération d'une vidéo pour la valorisation post-projet.

Post-traitement calcul soudage en Té (I)

Développements effectués

- gestion du Zoom/Pan en Gibiane :
'TRAC' 'BOIT' MAIL1 ...

Avantages/Inconvénients

- 1 seul argument supplémentaire, pas besoin de modifier les données à visualiser ;
- marche en 2D/3D.
- axe z vertical (OpenGL ?) ;
- écrire une petite procédure pour construire une boîte ou sphère ;
- extension aux déformées ?

Post-traitement calcul soudage en Té (II)

Chaîne de traitement graphique

1. Rasterization avec **Ghostscript** (.ps -> *.png) :

```
gs -sDEVICE=png16m -r100 -dTextAlphaBits=4 -dGraphicsAlphaBits=1 ou 4  
-sOutputFile=toto.%06d.png -f toto.ps
```

2. Création des films « bruts » avec **FFmpeg** (*.png -> .avi) :

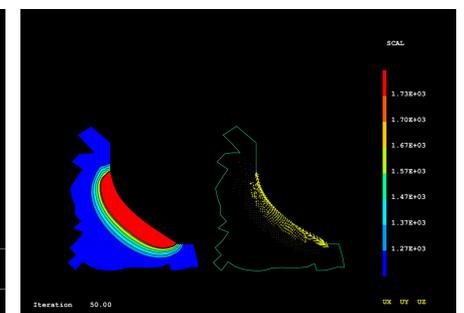
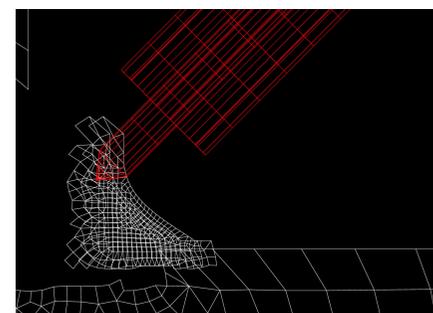
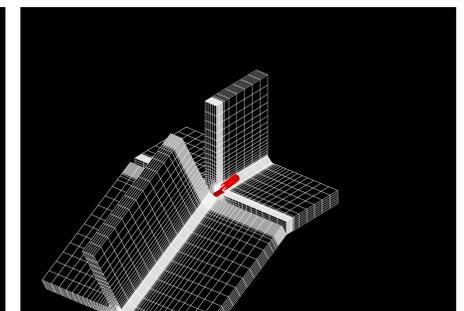
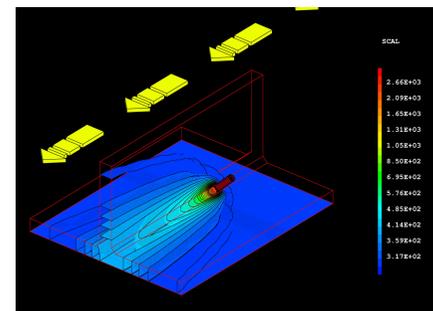
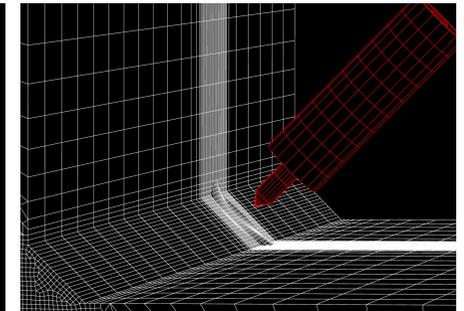
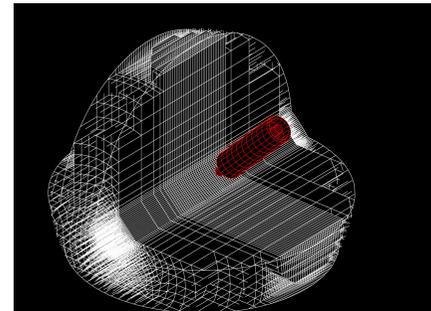
```
ffmpeg -r 50 -i toto.%06d.png -r 50 -c:v ffv1 -qscale:v 0 toto.avi
```

3. Montage des films avec **kdenlive**.

Post-traitement calcul soudage en Té (III)

Principaux opérateurs utilisés

1. CHAN LIGN, ELEM , ISOV (CHAN QUAF ; CHAN TET4) ;
2. OPTI OEIL, CUBT, MOIN ;
3. ISOV, CONT, DEPL option PLUS ;
4. OPTI OEIL, ELEM; DEPL option PLUS ROTA ;
5. DEPL option PLUS HOMO ;
6. PLUS.



Conclusion

- Soudage : de la recherche à l'industrie
- Recherche : thèses SEMT/LTA, industriel  et universitaire  :
 - [Brochard, 2009] *Modèle couplé arc-bain 2D axi à surface fixe*
 - [Kong, 2012] *Modèle 3D bain à surface libre*
 - [Nguyen, 2015] *Modèle 3D bain positions de soudage*
- Industrie : projet national multipartenaires MUSICAS + logiciel métier WProcess sur base Cast3M  et Salomé.
- Aide à la valorisation et à l'analyse des résultats obtenus : post-traitement.