



HAL
open science

Un algorithme de maillage anisotrope automatique adapté à la simulation multiphysique d'un arc en soudage Tungsten Inert Gas (TIG)

Stephane Gounand

► To cite this version:

Stephane Gounand. Un algorithme de maillage anisotrope automatique adapté à la simulation multiphysique d'un arc en soudage Tungsten Inert Gas (TIG). Congrès Français de Mécanique 2025, AFM, Aug 2025, Metz, France. <hal-05235557>

HAL Id: hal-05235557

<https://hal.science/hal-05235557v1>

Submitted on 2 Sep 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

Un algorithme de maillage anisotrope automatique
adapté à la simulation multiphysique d'un arc en soudage
Tungsten Inert Gas (TIG)

Stéphane GOUNAND, Ingénieur-chercheur, Mécanique des fluides
CEA-Saclay, DES/ISAS/DRMP/SRMA/LTA
Version du 2 septembre 2025

Sommaire

1 Contexte

2 Tenseur métrique : calcul automatique

- Interpolation de tenseurs SDP
- Conditions aux limites
- Algorithme

3 Cas tests

- Nécessité 2 passes
- 2D
- 3D

4 Applications

- Calcul Arc TIG 2D axisymétrique
- Amélioration maillage 3D « complexe »

5 Conclusion et Perspectives

6 Bibliographie

Contexte (I)

Simulation Numérique du Soudage

- Outils de soudage et pièces à assembler de géométries complexes ;
- Modèles multiphysiques : présence de couches (cathodiques, anodiques, couches limites) ;
- Modèles multiphysiques : nombreuses inconnues (MHD).

Modélisation par éléments finis

- Simplifier la construction du maillage \Rightarrow (semi)-automatique ;
- Limiter le nombre d'éléments \Rightarrow maillage anisotrope.

Contexte (II)

Approche adoptée

1. Maillage

- (a) Maillage initial du bord et de l'intérieur ;
- (b) **Construction d'un tenseur métrique anisotrope par interpolation ;**
- (c) Remaillage respectant la métrique (critère de qualité) ;
- (d) Si nécessaire : goto (b).

2. Calcul ;

3. Post-Traitement.

Tenseur métrique (I)

Interpolation des tenseurs Symétrique Définis Positifs (SDP)

- Problème non trivial : définir une métrique (Riemannienne) sur l'espace tangent (euclidien), distance = géodésique sur la variété ;
- Interpolation linéaire des composantes cartésiennes non satisfaisante ;
- Utilisation du formalisme dit Log-Euclidien Arsigny et al. [2006].

Formalisme Log-Euclidien

- Log \rightarrow Interpolation linéaire \rightarrow Exp ;
- Non-invariant par tout changement de repère : rotation et dilatation OK.

Tenseur métrique (II)

Problème aux limites

- Laplacien du tenseur (en log) ;
- Contrainte de compatibilité de taille avec le bord (tangentielle).

Conditions aux limites

Neumann (naturelle) pas de contrainte de taille, partie remaillable du bord ;

Dirichlet tangentielle construite par la donnée du bord ;

Dirichlet normale champ de taille normale donnée par l'utilisateur ;

Dirichlet bord conservé + taille normale.

Tenseur métrique (III)

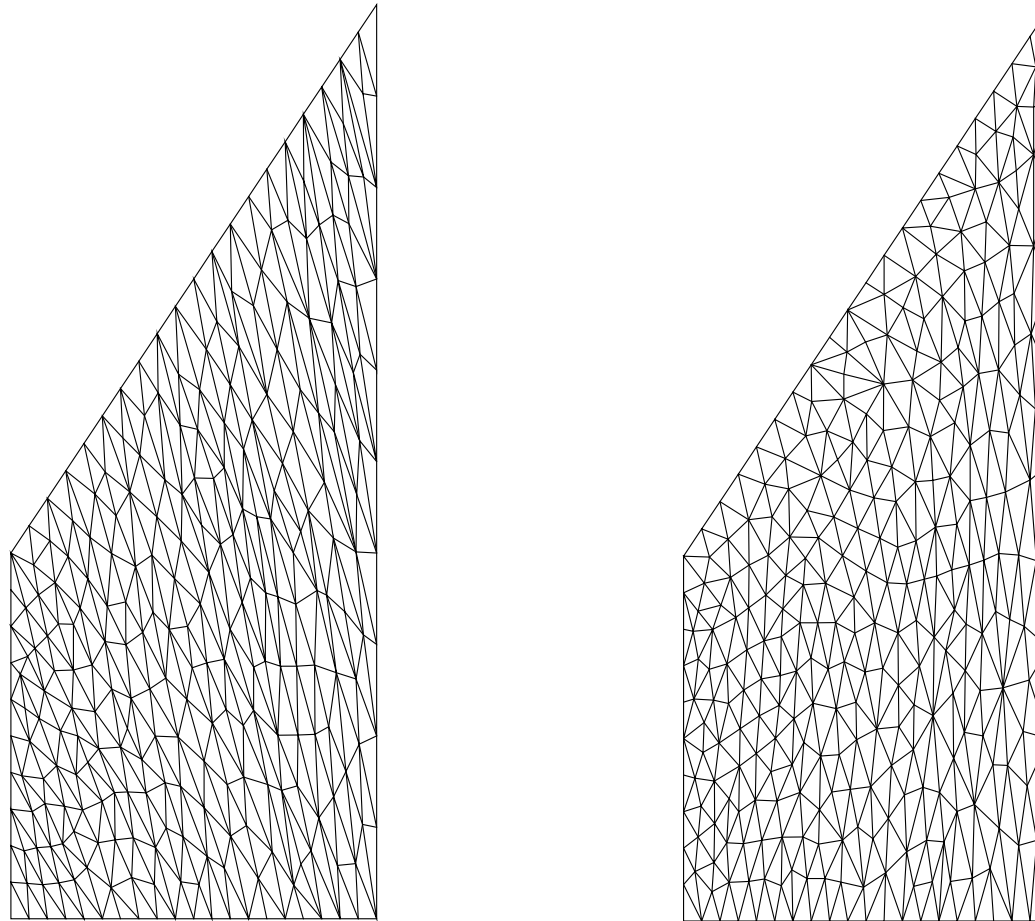
Algorithme

- Passe 1 : conditions aux limites ci-dessus ;
- Passe 2 : Dirichlet + directions principales.
- Implémenté dans Cast3M.

Avantages–Inconvénients

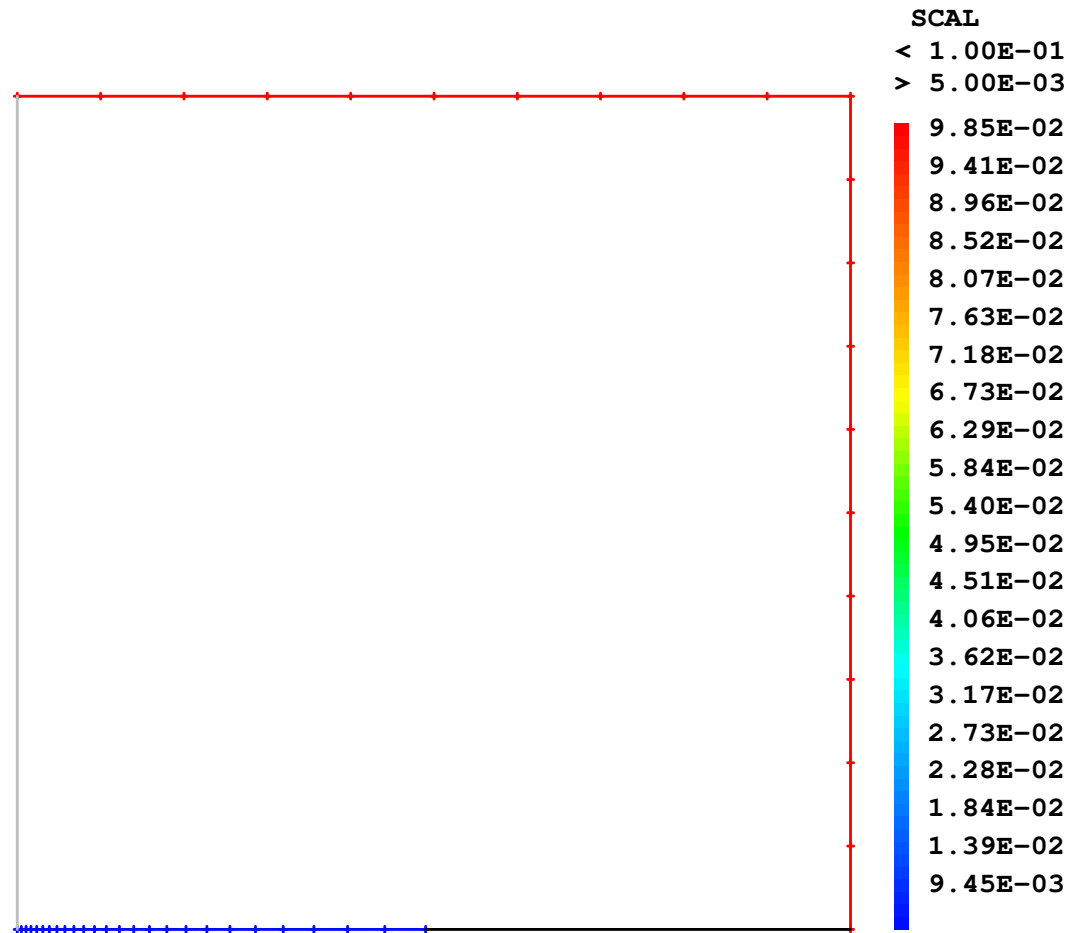
- + peu de données utilisateurs (bord + champ scalaire) ;
- EDP à $n(n + 1)/2$ inconnues ;
- besoin d'un remailleur anisotrope Dapogny et al. [2014]; Gruau and Coupez [2005].

Cas-test : nombre de passes (I)



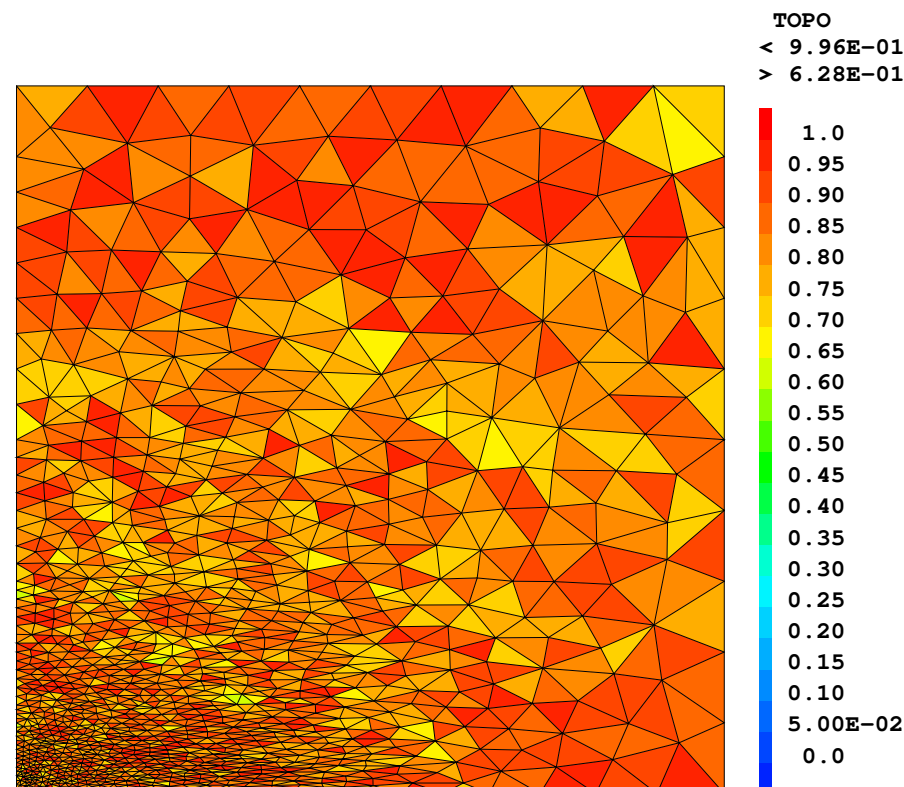
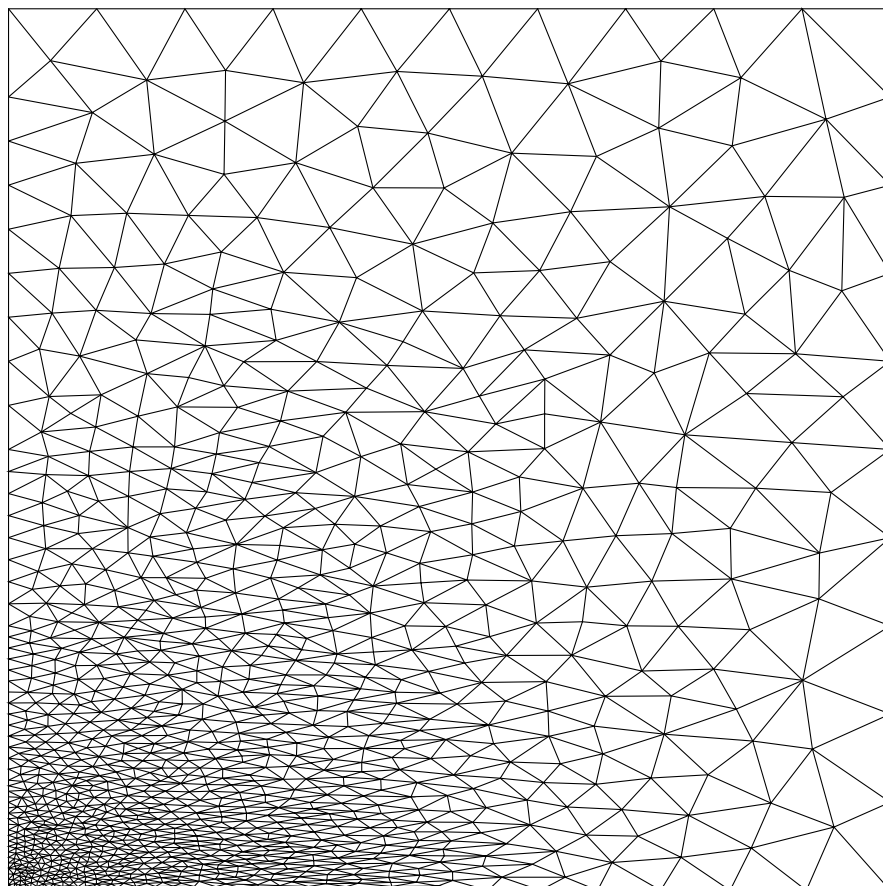
Passe 1 (gauche) ; Passe 2 (droite)

Cas-test : 2D (II)



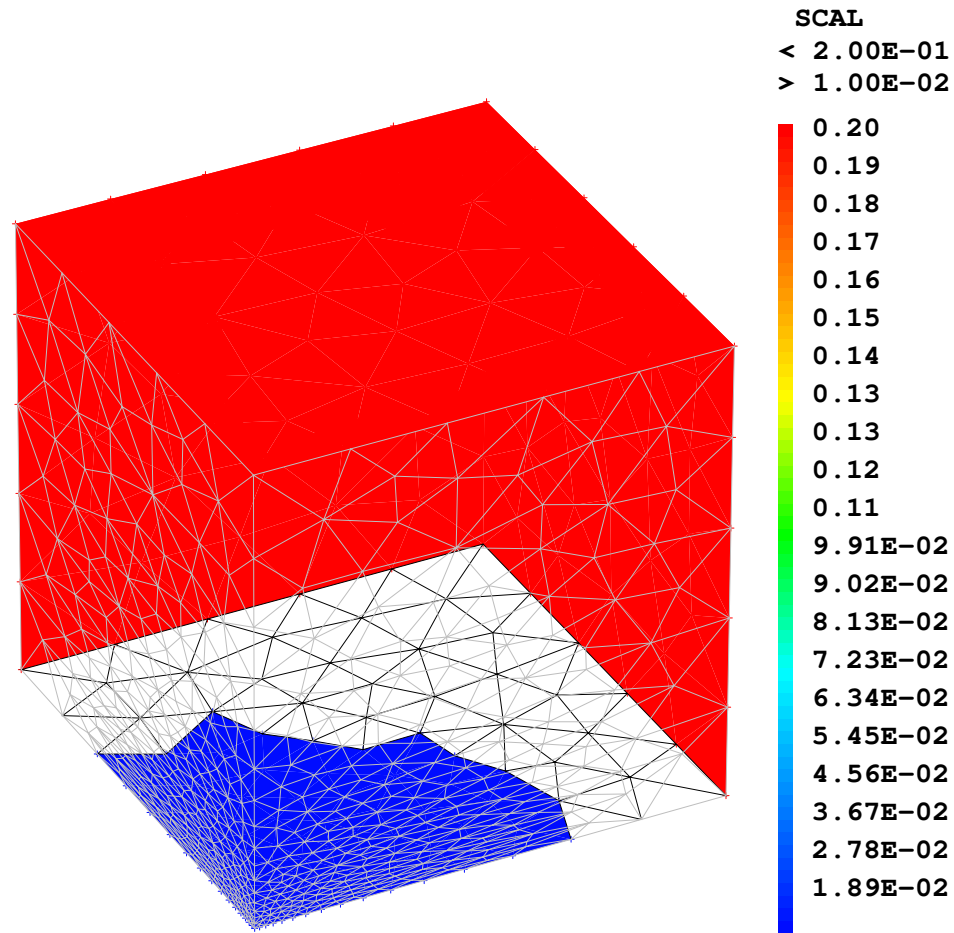
Carré : conditions aux limites (taille normale voulue)

Cas-test : 2D (III)



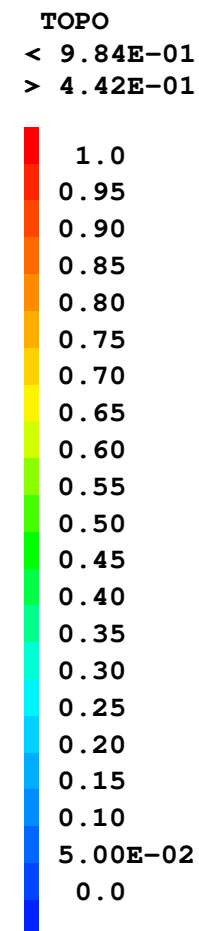
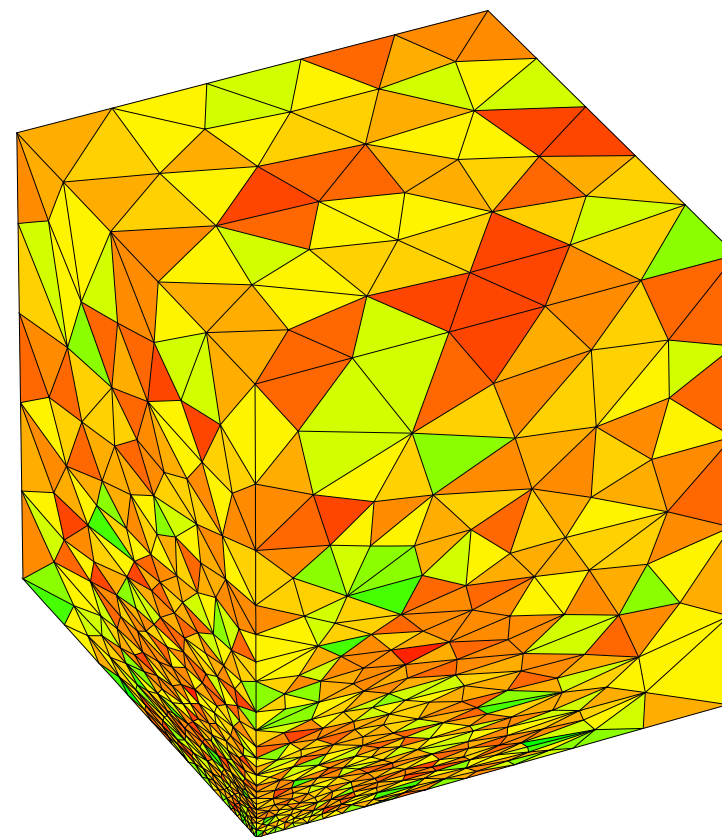
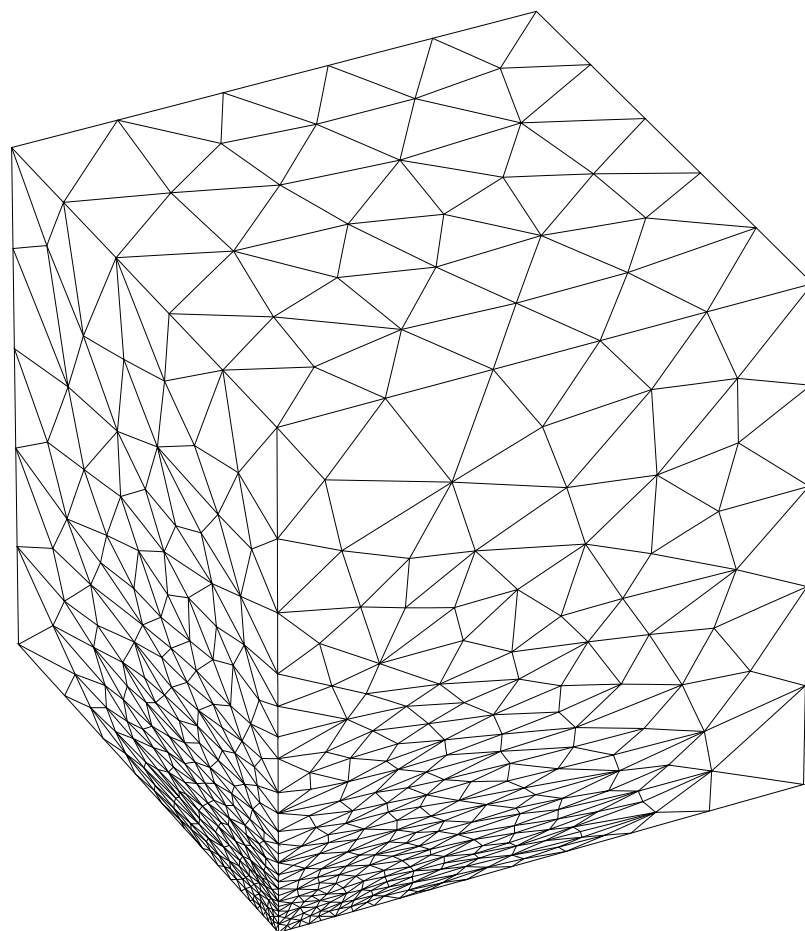
Carré : maillage (2000 éléments) et qualité des mailles

Cas-test : 3D (IV)



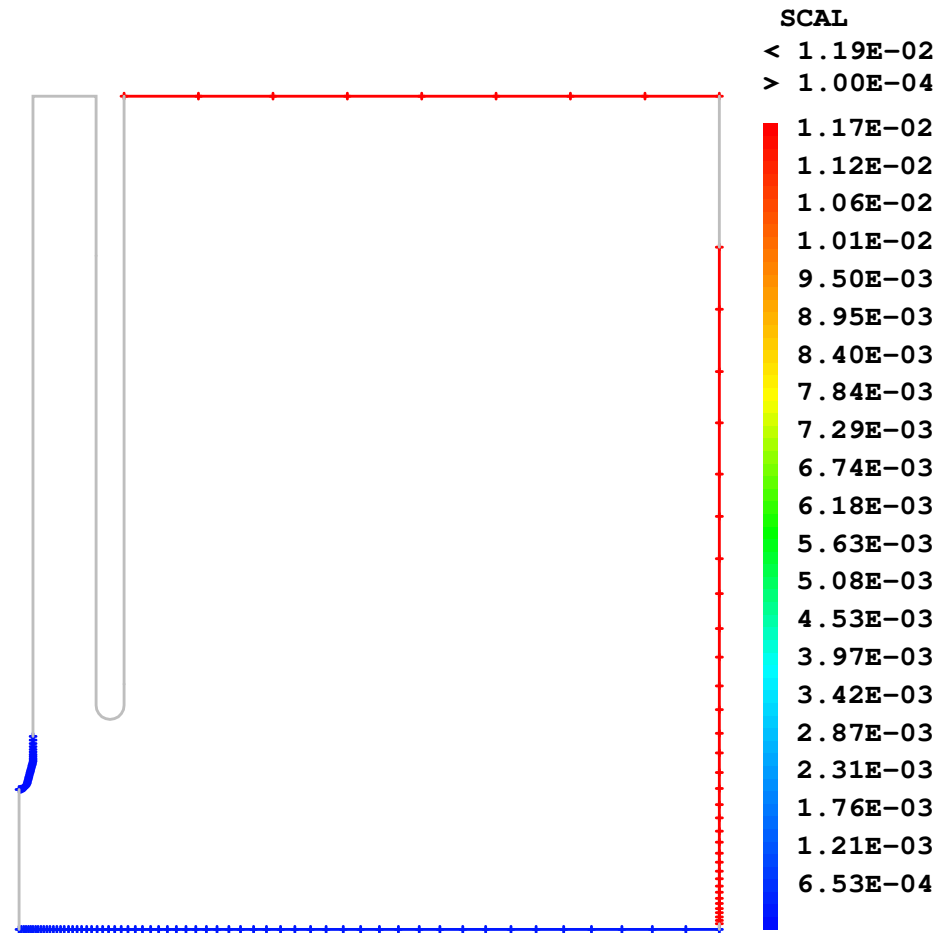
Cube : conditions aux limites (taille normale voulue)

Cas-test : 3D (V)



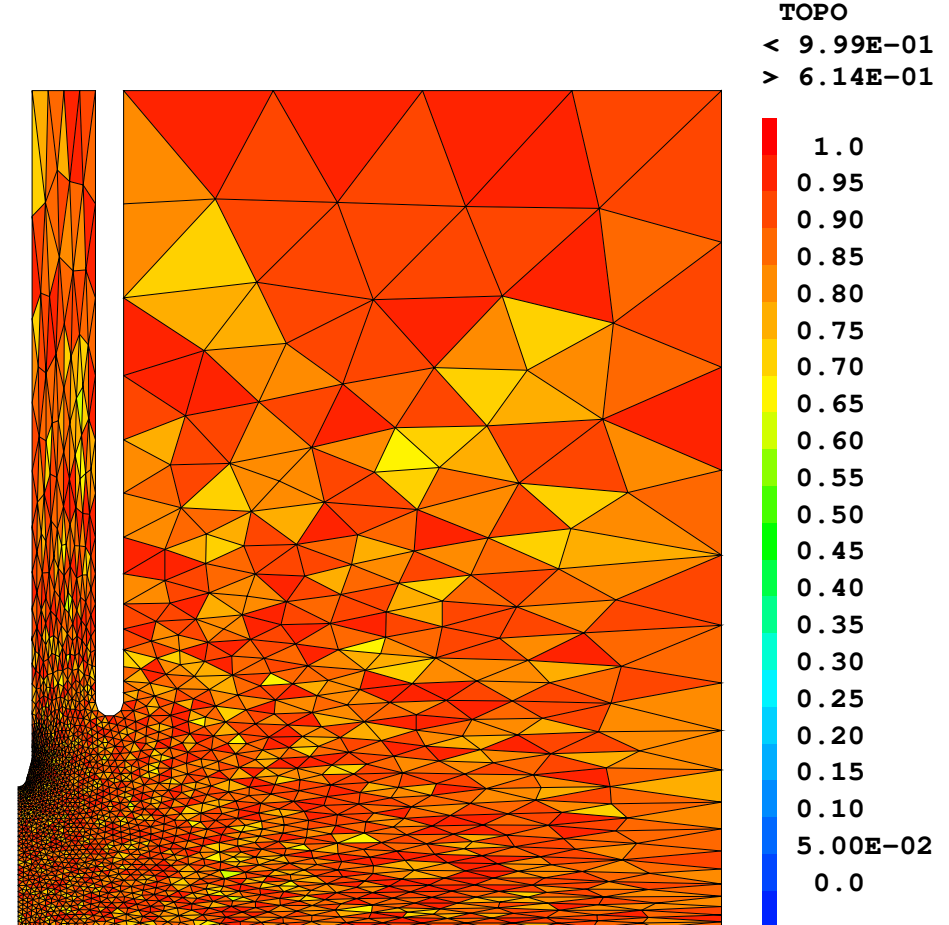
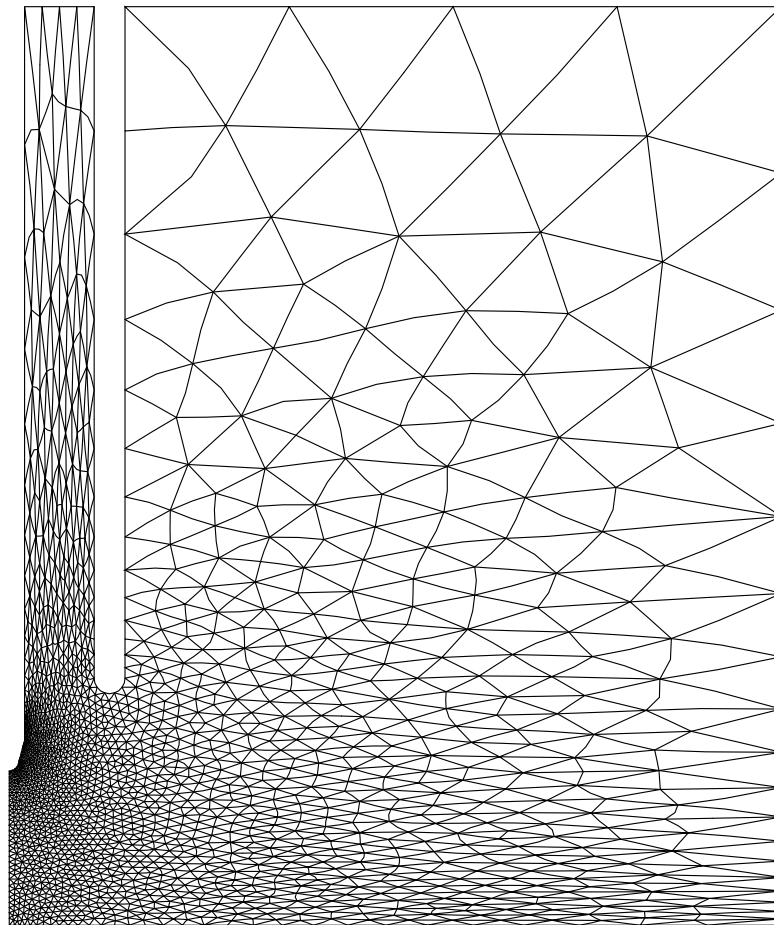
Cube : maillage (8646 éléments) et qualité des mailles

Application : soudage TIG 2D axi (I)



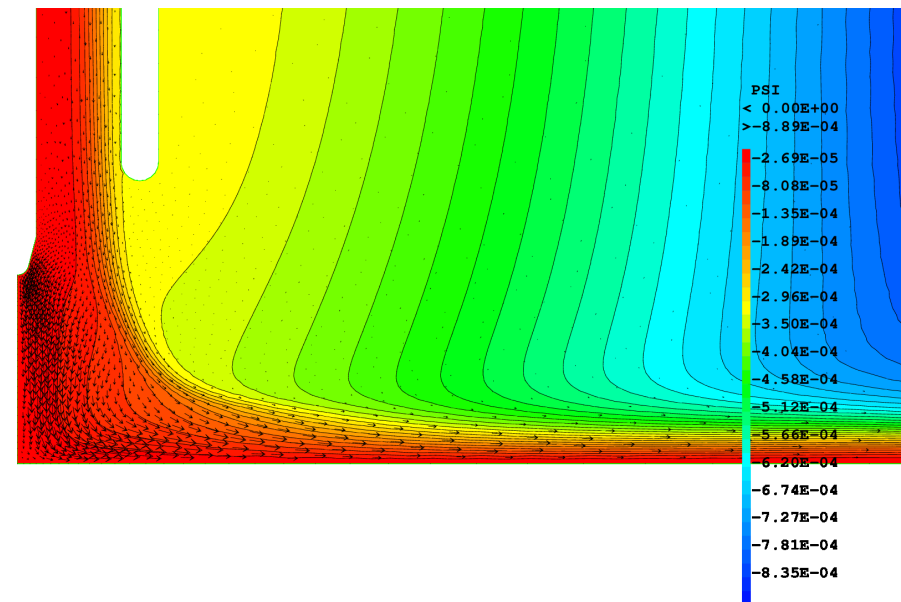
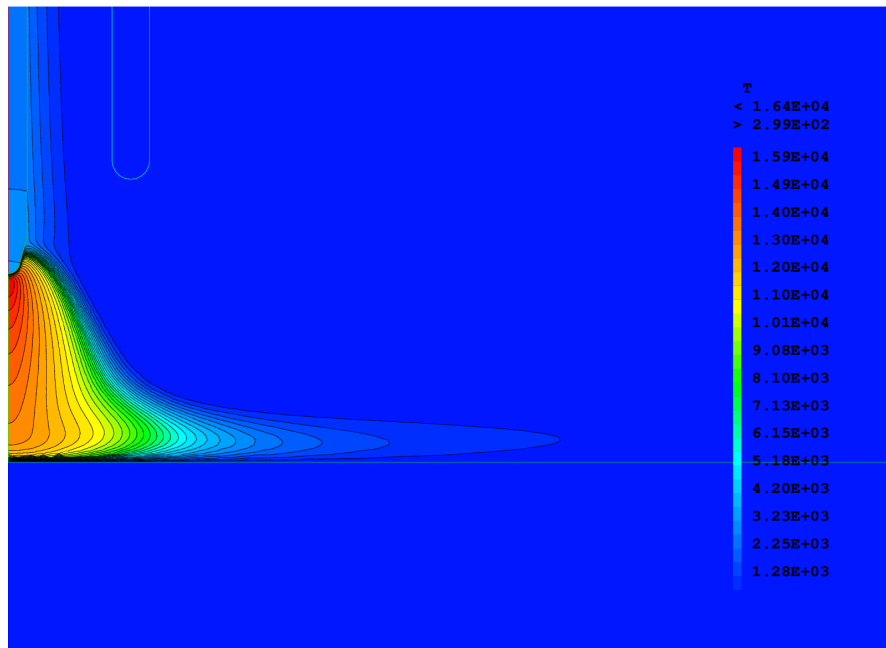
Maillage plasma : conditions aux limites (taille normale voulue)

Application : soudage TIG 2D axi (II)



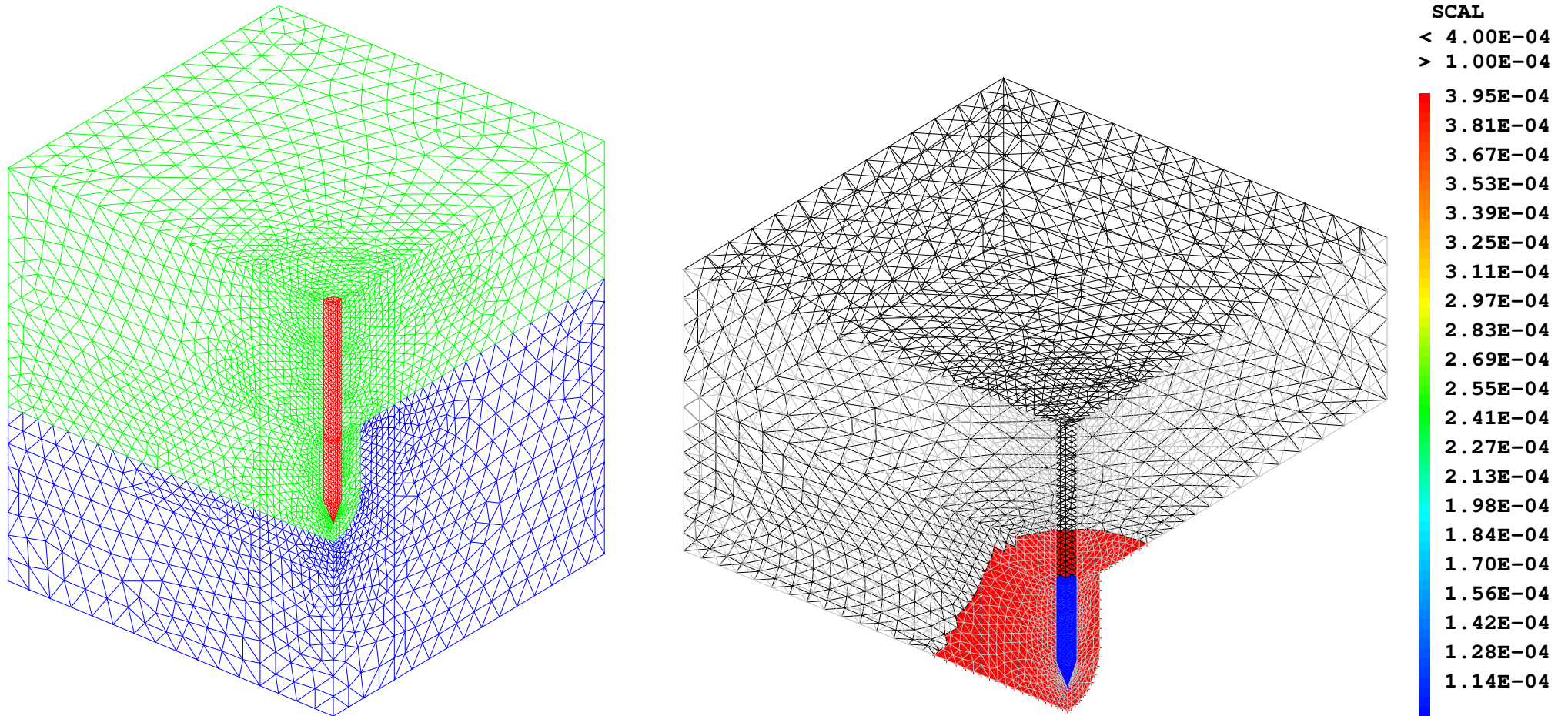
Maillage plasma (3529 éléments) et qualité des mailles

Application : soudage TIG 2D axi (III)



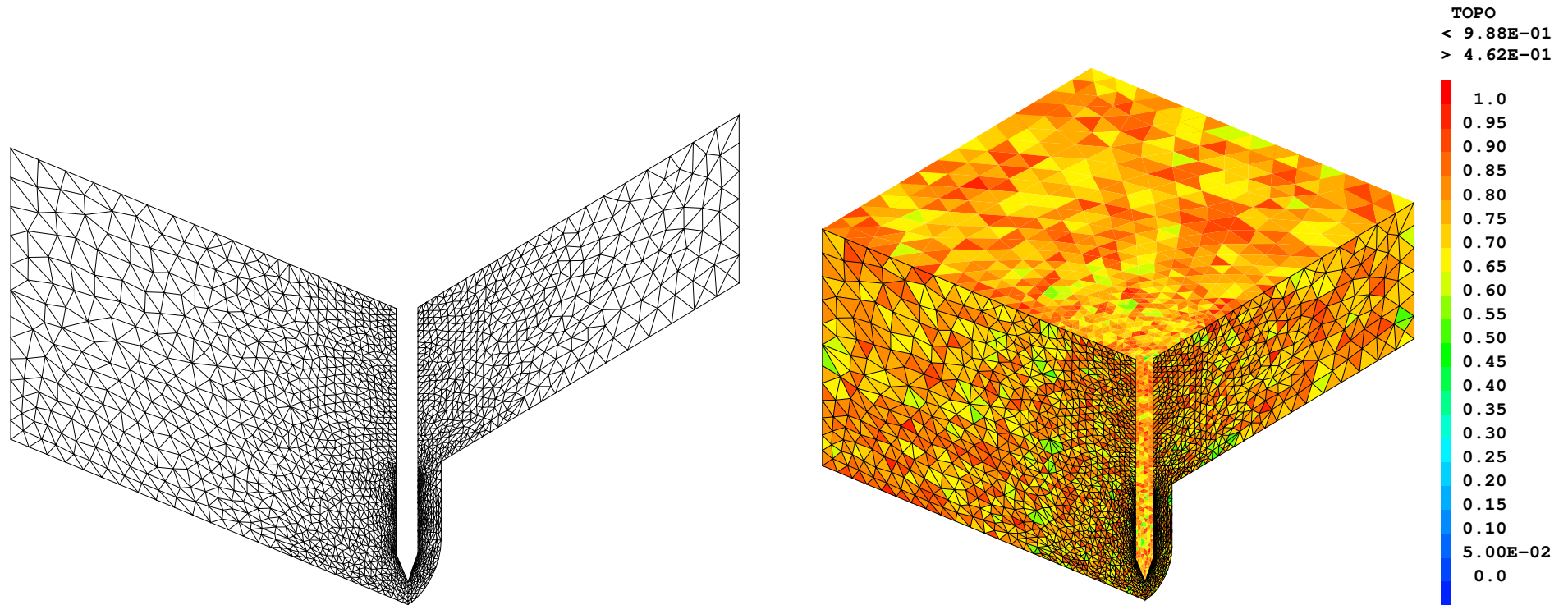
Résultats : température (gauche) et vitesse (droite, max=148 m/s)

Application : soudage 3D chanfrein (IV)



Maillage initial (54000 éléments) et conditions aux limites (taille normale voulue)

Application : soudage 3D chanfrein (V)



Maillage plasma (71000 éléments) faces avant et qualité des mailles

The End

Conclusion

- réalisation d'un outil de remaillage anisotrope simple d'utilisation dans Cast3M ;
- l'anisotropie permet de limiter le nombre de mailles générées ;
- permet de prendre en compte les contraintes géométriques des modèles magnéto-hydrodynamiques pour le soudage TIG.

Perspectives

- Remaillage adaptatif avec prise en compte des contraintes géométriques ;
- Performances remaillageur.

Bibliographie

Articles :

- [Arsigny et al., 2006]** V. Arsigny, P. Fillard, X. Pennec, and N. Ayache. Log-euclidean metrics for fast and simple calculus on diffusion tensors. *Magnetic Resonance in Medicine*, 56(2) :411–421, June 2006. URL <http://dx.doi.org/10.1002/mrm.20965>.
- [Dapogny et al., 2014]** C. Dapogny, C. Dobrzynski, and P. Frey. Three-dimensional adaptive domain remeshing, implicit domain meshing, and applications to free and moving boundary problems. *Journal of Computational Physics*, 262 :358–378, 2014. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021999114000266>.
- [Gruau and Coupez, 2005]** C. Gruau and T. Coupez. 3d tetrahedral, unstructured and anisotropic mesh generation with adaptation to natural and multidomain metric. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 194(48) :4951–4976, 2005. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045782505000745>. Unstructured Mesh Generation.

Logiciels :

- [Cast3M]** Cast3M. Cast3m web site, 2025. URL <https://www-cast3m.cea.fr/>.