

Un algorithme de maillage anisotrope automatique Application à des géométries de soudage

Stéphane GOUNAND¹

¹Des-Service de recherche en matériaux et procédés avancés (SRMA)
CEA, Université Paris-Saclay, F-91191, Gif-sur-Yvette, France
stephane.gounand@cea.fr
Version du 27 novembre 2025



Sommaire

1 Contexte

2 Tenseur métrique : calcul automatique

- Interpolation de tenseurs Symétriques Définis Positifs
- Conditions aux limites
- Algorithme

3 Cas tests

- 2D

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 TRIA TOPO ;
- (b) **Construction d'un tenseur métrique anisotrope par interpolation ;**
- (c) Remaillage respectant la métrique (critère de qualité) REMA ;
- (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

- $\text{Log} \rightarrow \text{Interpolation linéaire} \rightarrow \text{Exp}$;
- 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)

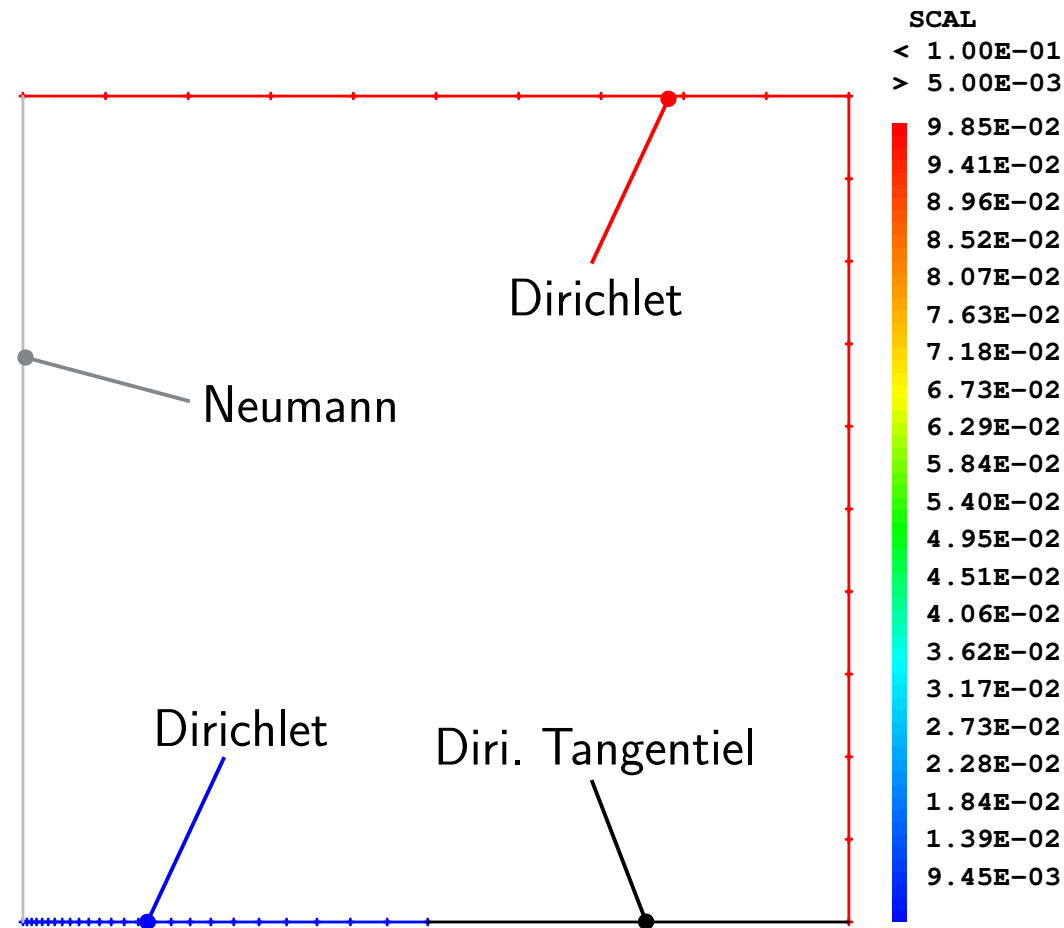
Algorithme

- Implémenté dans Cast3M ;
- MAIL = AUTOMAIL CONT CONTFIX CTNORMALE ;
- utilise MAIL TOPO ; REMA.

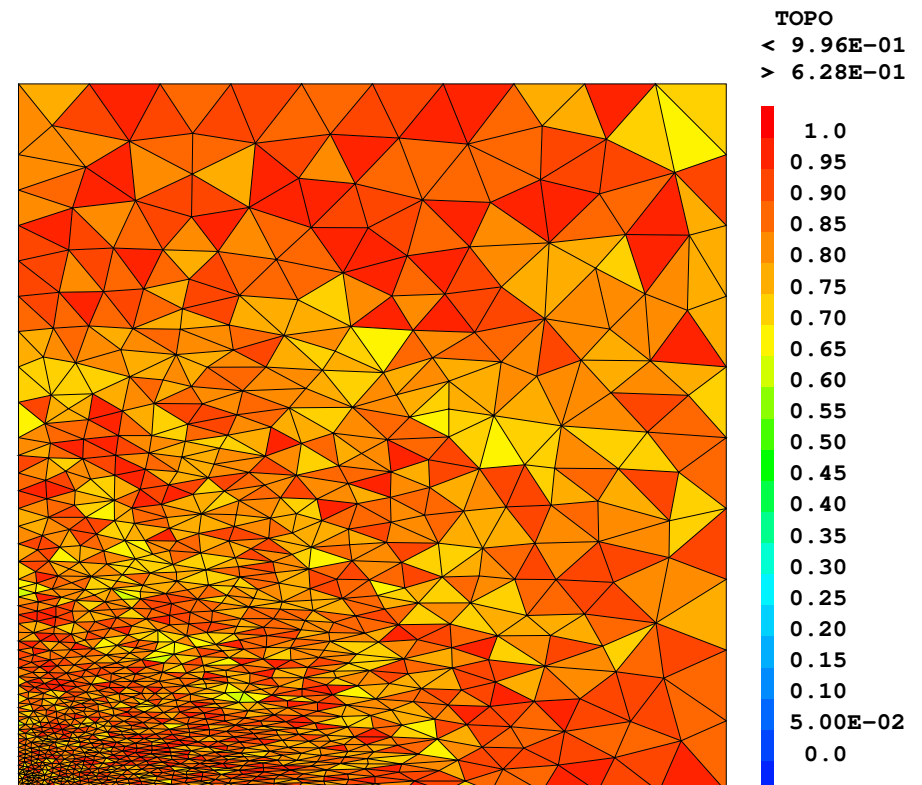
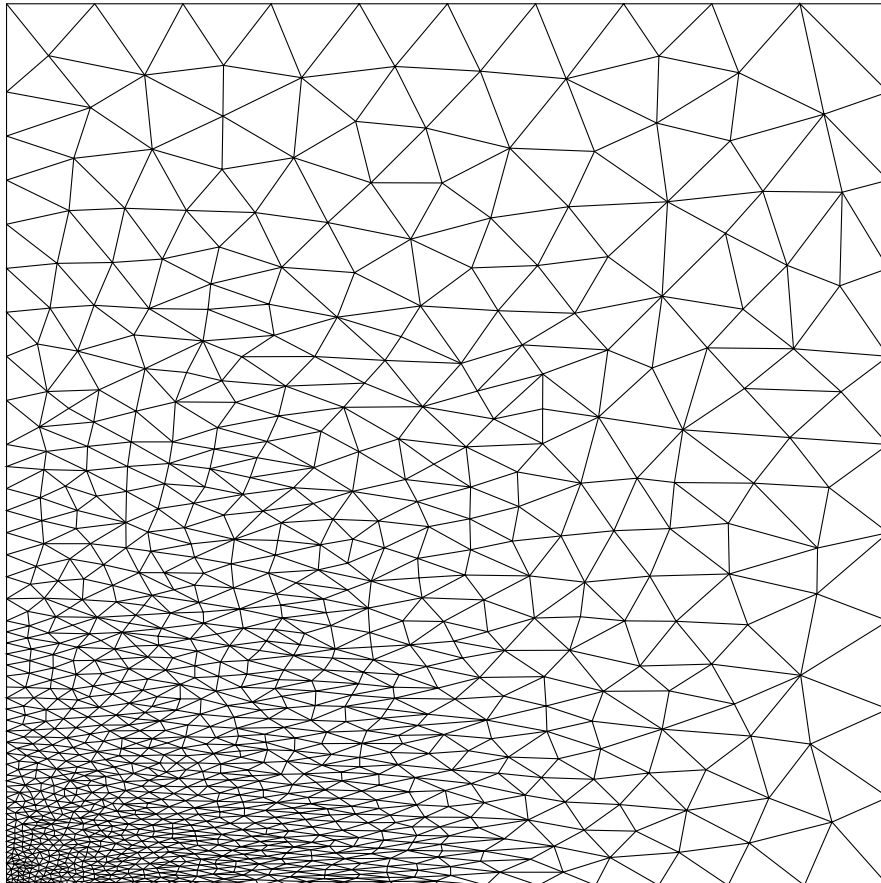
Avantages–Inconvénients

- + 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 : 2D (II)

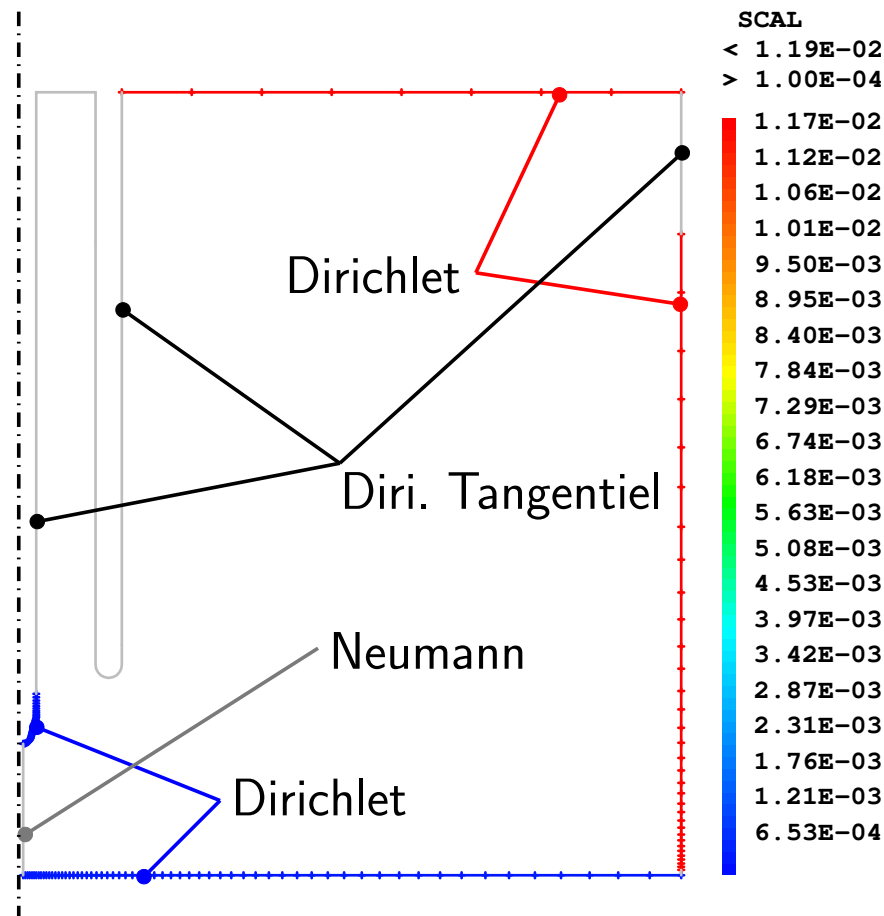


Carré : conditions aux limites (taille normale voulue)

Cas-test : 2D (III)

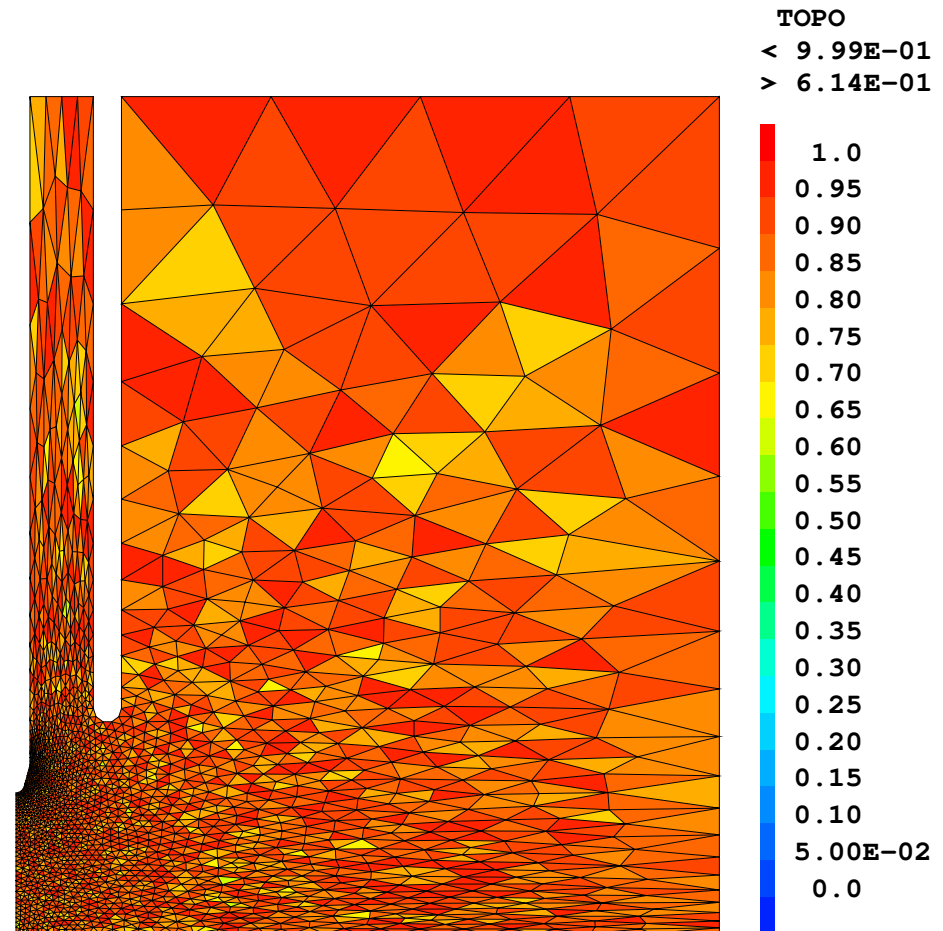
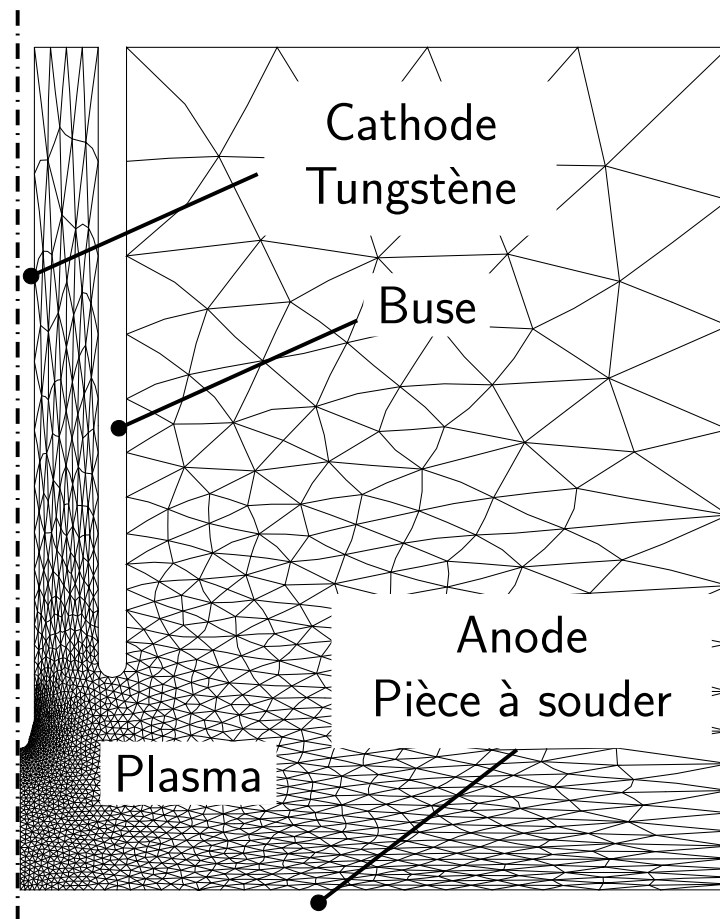
Carré : maillage (2000 éléments) et qualité des mailles (vidéo)

Application : soudage TIG 2D axi (I)



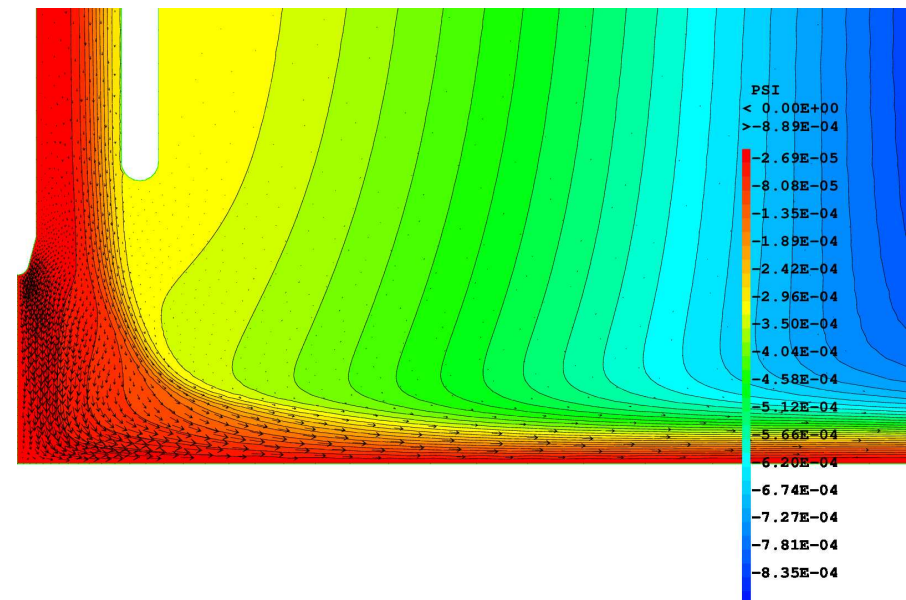
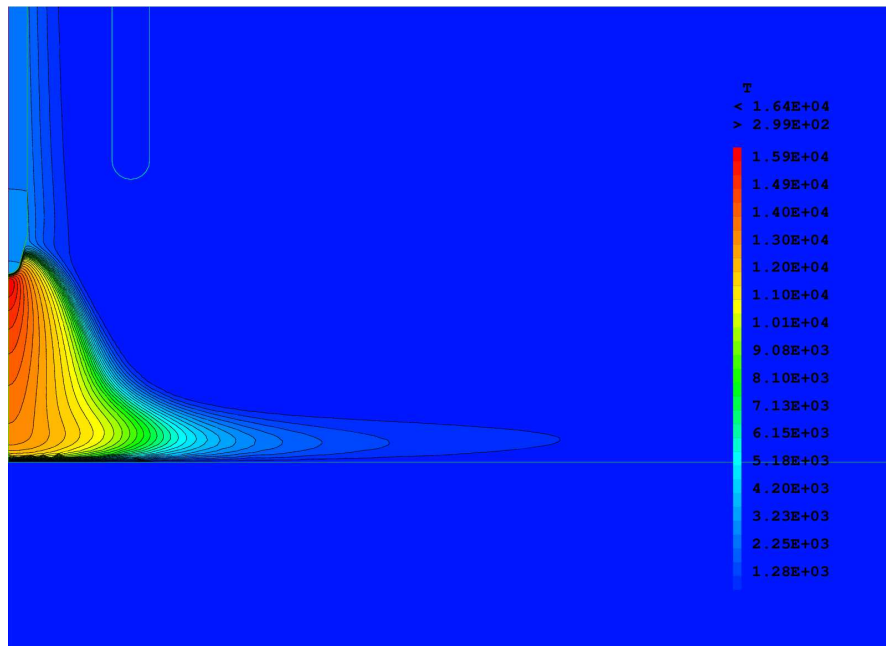
Maillage plasma : conditions aux limites (taille normale voulue)

Application : soudage TIG 2D axi (II)



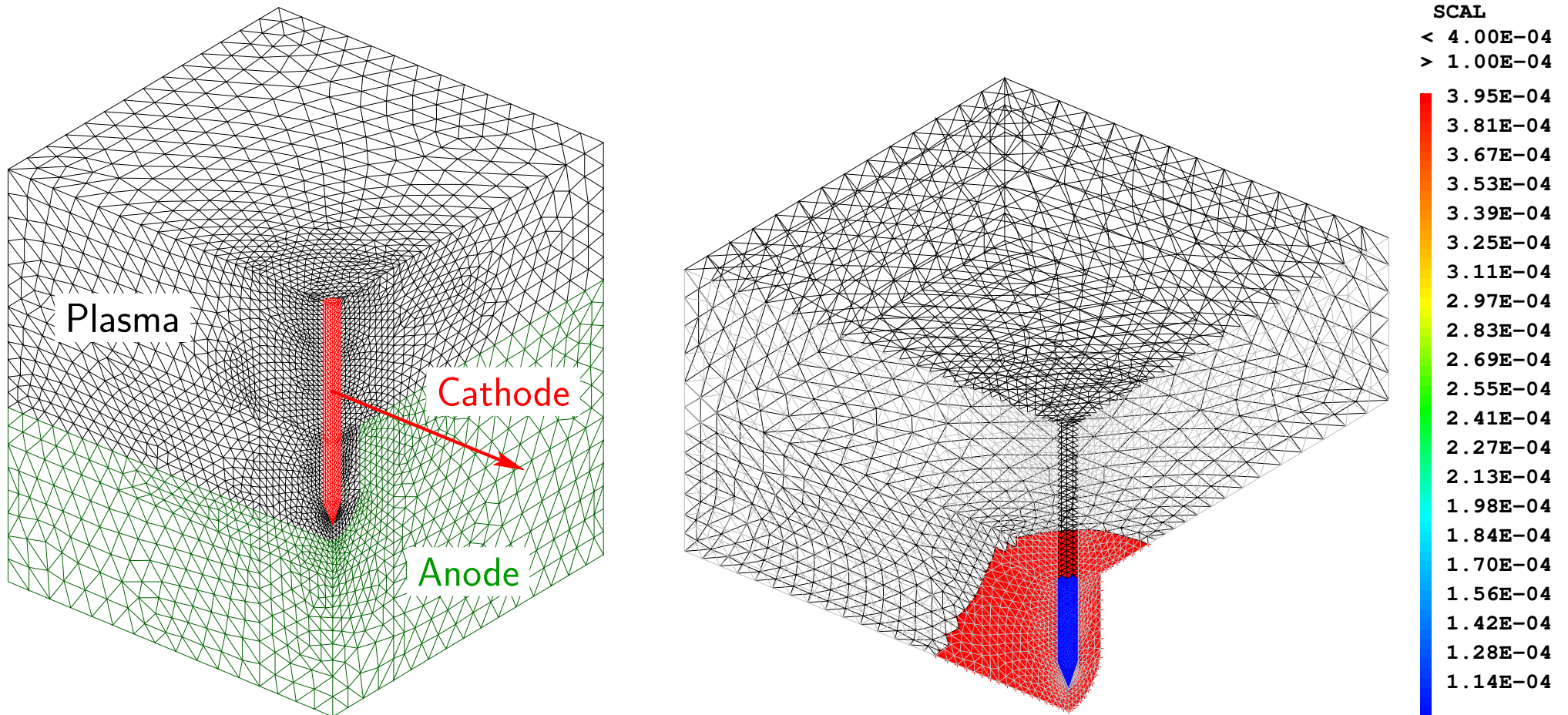
Maillage plasma (3529 éléments) et qualité des mailles (vidéo)

Application : soudage TIG 2D axi (III)



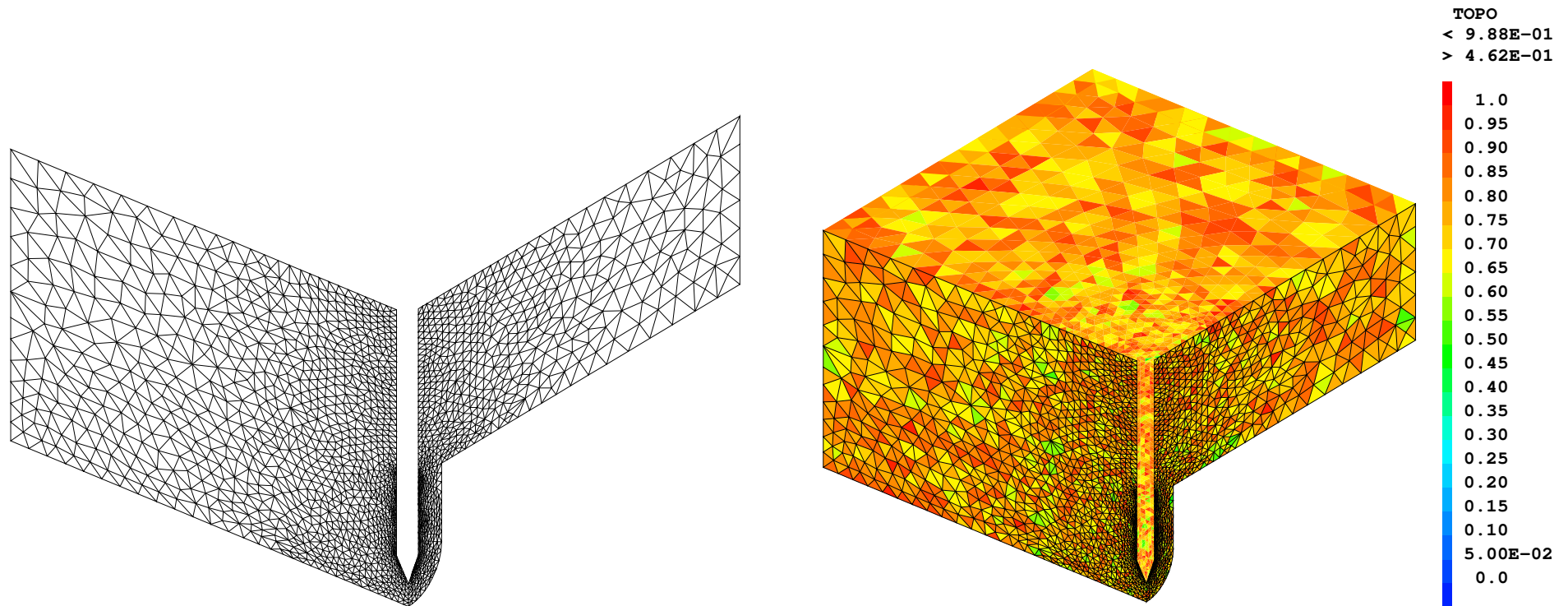
Résultats : température (gauche) et vitesse (droite, max=148 m/s)

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 ;
- pour les mécaniciens, une option ISOTrope est disponible.

Perspectives

- Remaillage adaptatif avec prise en compte des contraintes géométriques ;
- Interpolation des champs tensoriels (contraintes, déformations) ;
- Performances remailleur.

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/>.