



Elaboration d'un modèle de durée de vie des contacteurs



CENTRE DES MATERIAUX
P.MFOURT

Vendredi 4 Mars,2016



Fadoua MAJID

Schneider Electric : A. Bonhomme
GEEPS-Centrale Supélec : P.Testé
CDM-MinesParisTech : G.Cailletaud
V.Esin
V.Yastrebov

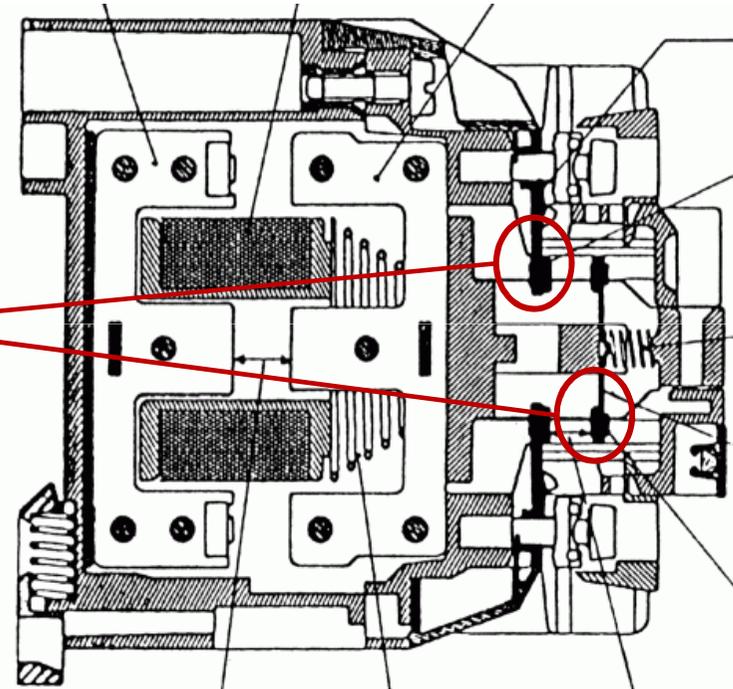


DMS 2015-2016

Contacteurs

Dispositifs permettant d'établir et d'interrompre à distance le courant dans les conditions normales et de surcharge en service de fonctionnement

Contact
électriques



- Durée de vie : 10^6 manœuvres (Essais AC3)
- Intensité de courant : 30A à 38000A

Matériaux de contact électrique

Un arc électrique apparaît entre les deux contacts lors de l'ouverture ou de la fermeture du circuit

Modes d'endommagement

- Soudure
- Erosion
- Fatigue

Cahier de charge matériau

- Conductivité électrique et thermique élevée
 - ✓ Matrice Ag
- Soudure facile à casser
- Endurance mécanique acceptable
 - ✓ Composite à matrice métallique



1. Introduction
2. Description du problème
 - 2.1 Résolution de l'équation de chaleur
 - 2.2 Mesure de la température des contacts
 - 2.3 Effet de l'énergie d'arc sur les contacts
3. Calcul sur géométrie axisymétrique
 - 3.1 Calcul thermique
 - 3.2 Calcul mécanique
4. Perspectives

Bibliographie

R.Landfried, Ph.Teste : Centrale Supélec-laboratoire Geeps

- Mesure de la température d'un contact soumis à un arc électrique
- Mesure de la quantité de liquide métal créée durant l'arc
- Influence de l'énergie d'arc sur les propriétés matériau
- Mesure et calcul de l'évolution de la résistance du contact en fonction de l'intensité du courant
- Calcul du champ de température d'un électrode soumis à un arc électrique

L.Kharin, Kazakh-British Technical University

- Influence de la fréquence du courant sur le taux d'érosion

Phénomènes physicochimiques

- Vaporisation : perte de matière quand la température maximale atteinte est proche du point d'ébullition
- Présence d'un bain liquide au point d'impact de l'arc
- Diffusion des espèces, modification de la structure du matériau
- Dissociation des oxydes et oxydation :
 - la solubilité de l'oxygène dans l'argent augmente avec la température
 - phénomène de « rochage » lors du refroidissement

Endommagement des pastilles

Erosion

Après 3 manœuvres



Après 30 manœuvres



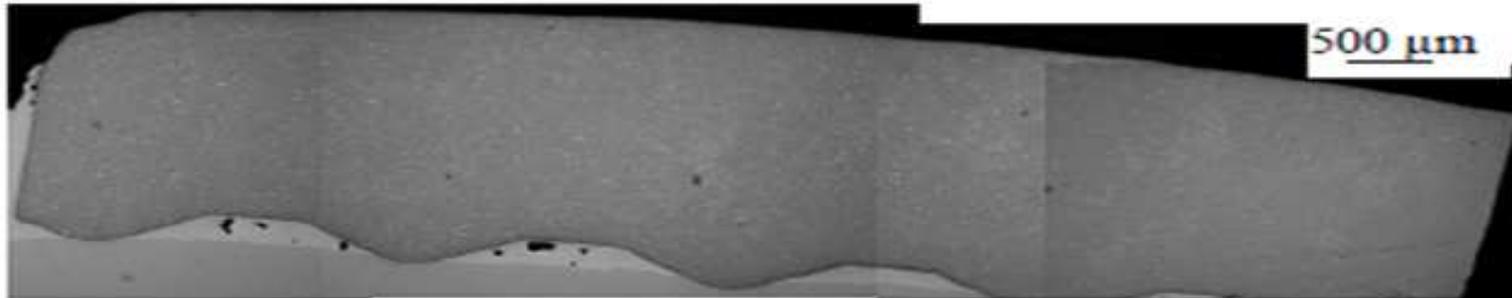
Après 300 manœuvres



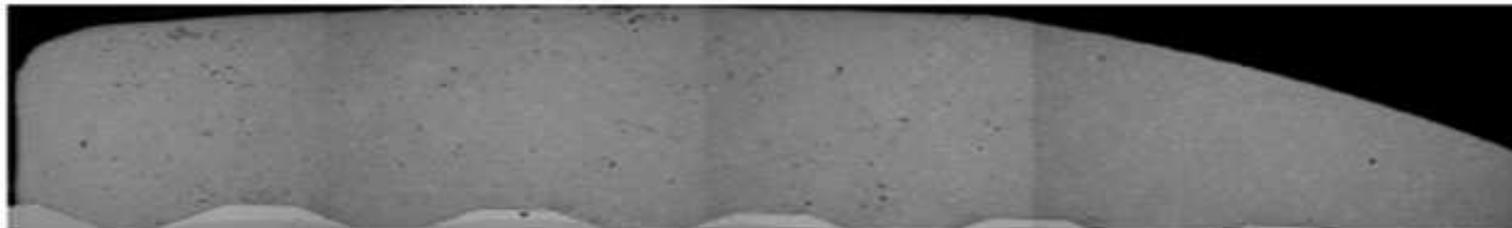
Après 3000 manœuvres



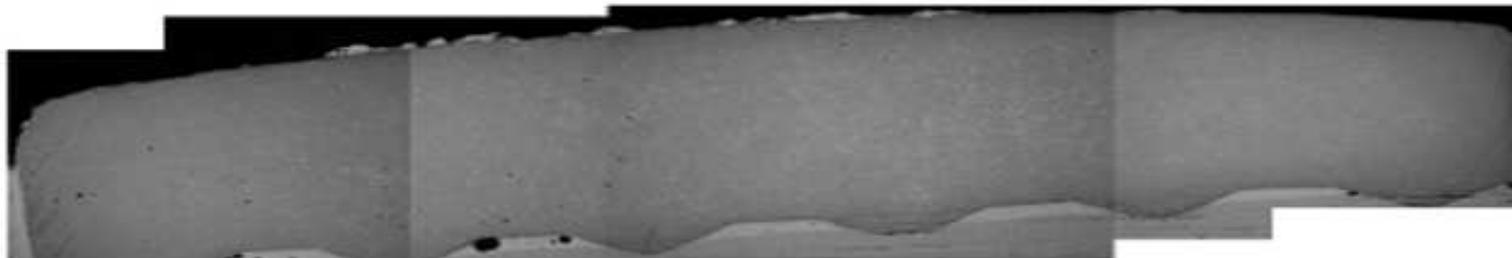
Fatigue thermomécanique



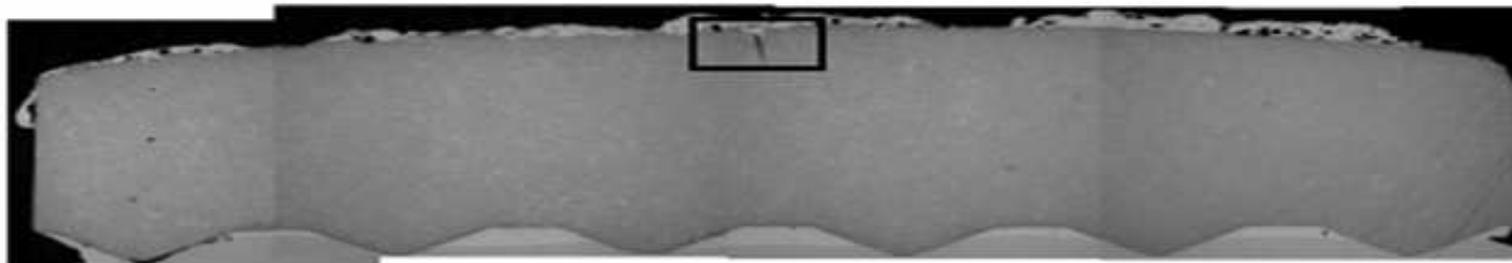
Etat initial



1 cycle



1000
cycles



10000
cycles

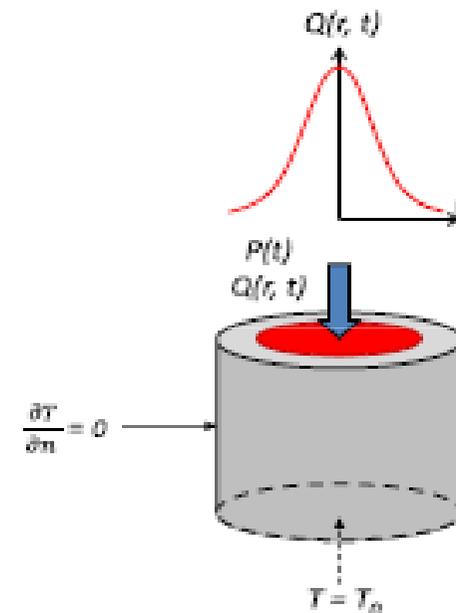
[Gaudemet,2001]

Endommagement des pastilles

Hypothèses du modèle

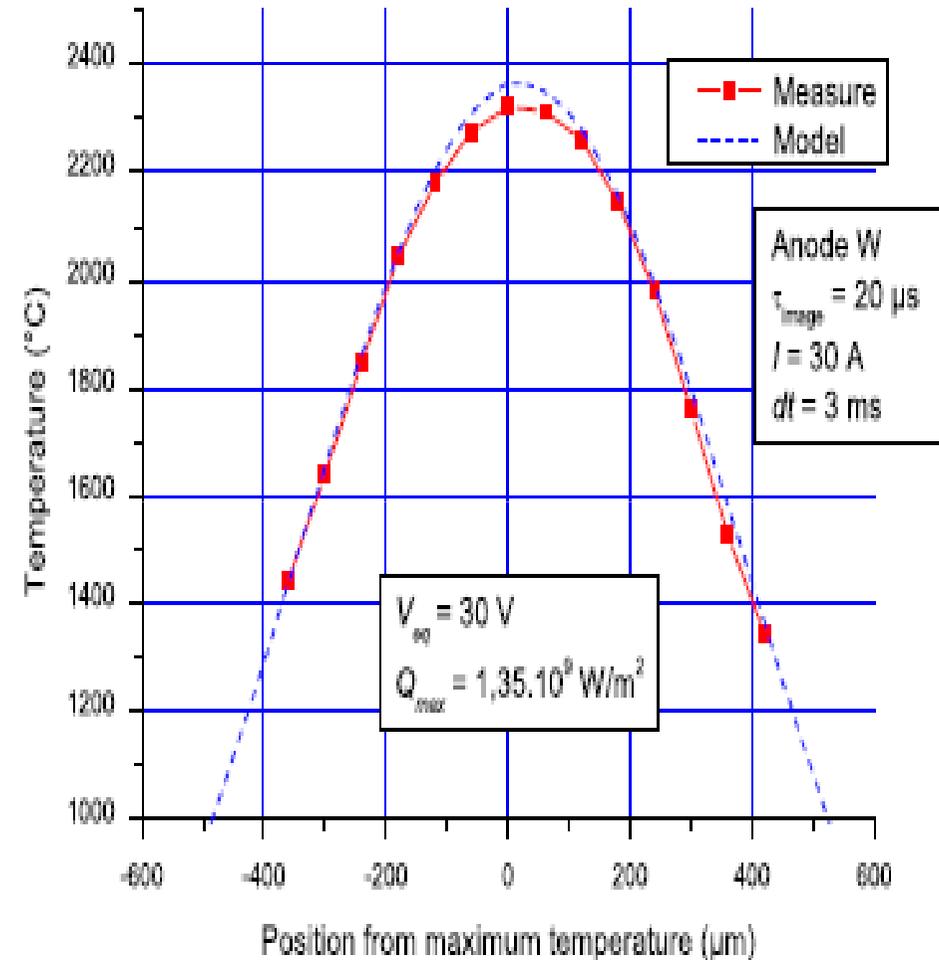
- Le problème est axisymétrique.
- La chaleur spécifique et la conductivité thermique dépendent de la température.
- La densité du matériau est constante.
- L'effet Joule est négligé.
- Les forces de Lorentz et l'effet Marangoni sont négligés.
- Flux de chaleur surfacique

$$Q(r) = Q_{max} \exp\left(-\frac{r^2}{a^2}\right)$$



[R.Landfried , 2008]

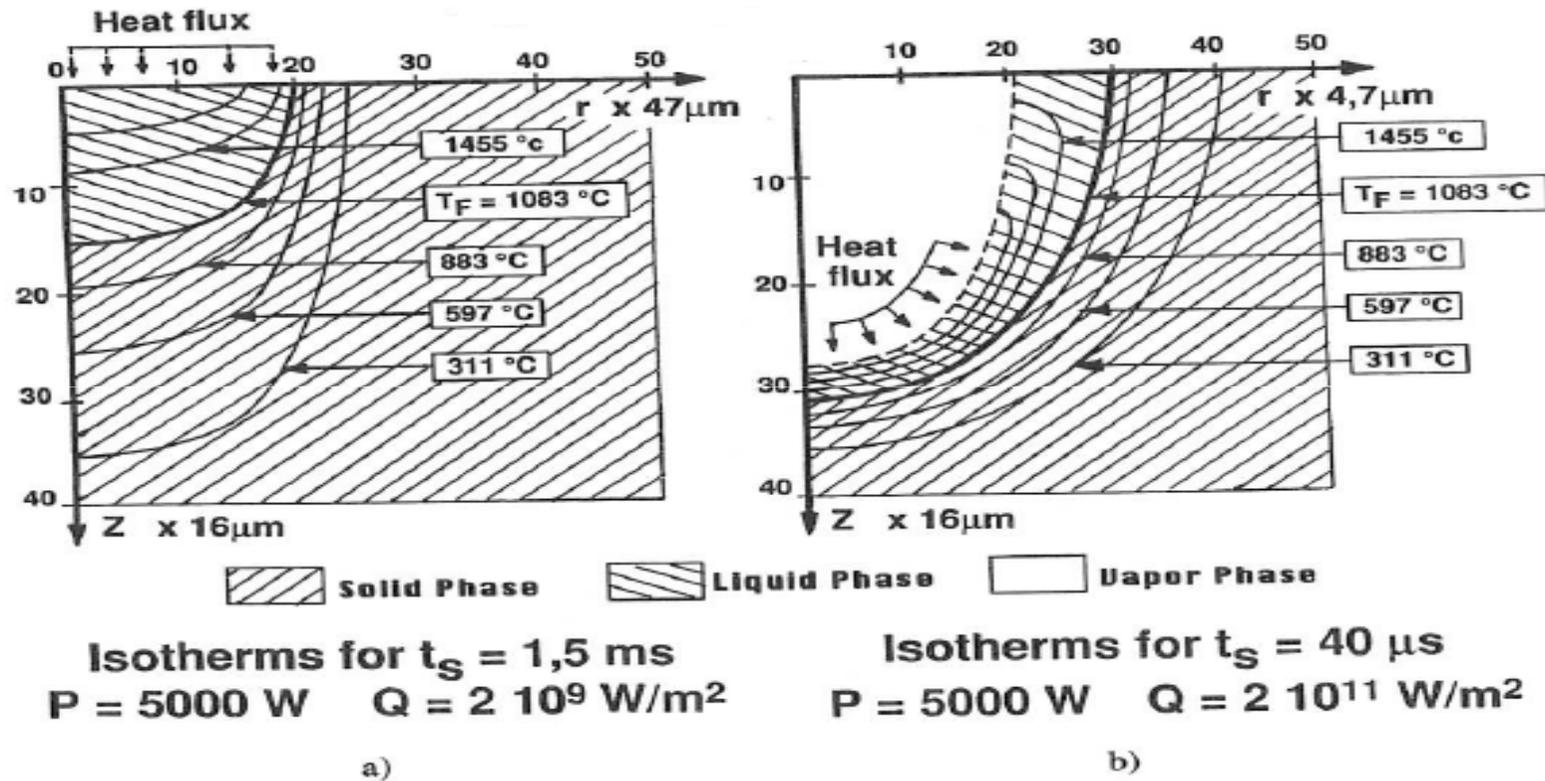
- Données expérimentales
 - Intensité=30A
 - Voltage=18V
 - Temps d'arc=3ms
- Données numériques
 - Densité de flux surfacique
 $1,35 \cdot 10^9 \text{ W/m}^2$



[Landfried, 2014]

Les isothermes

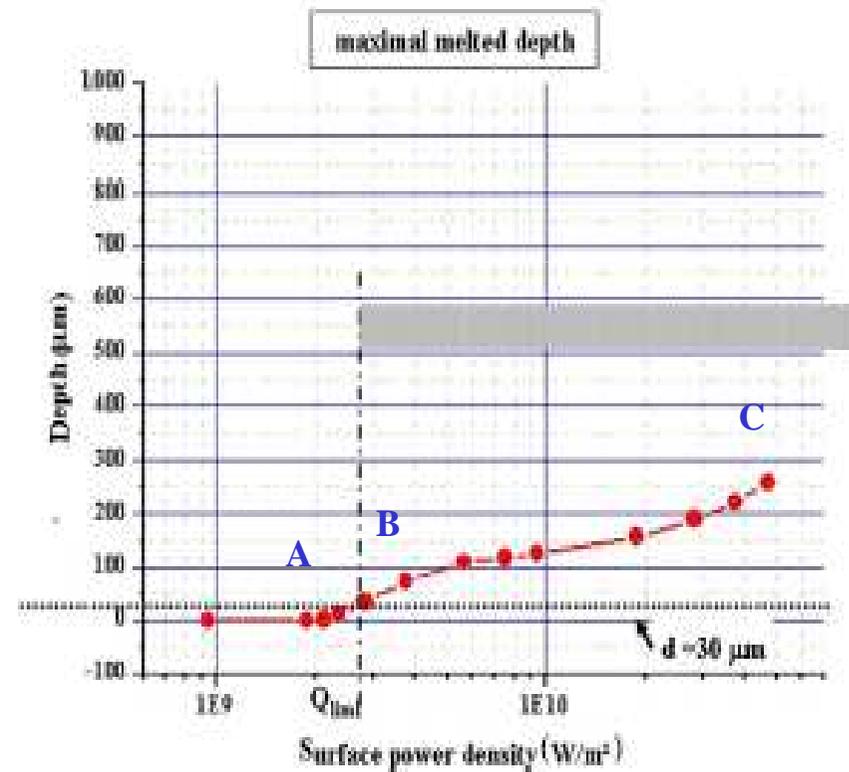
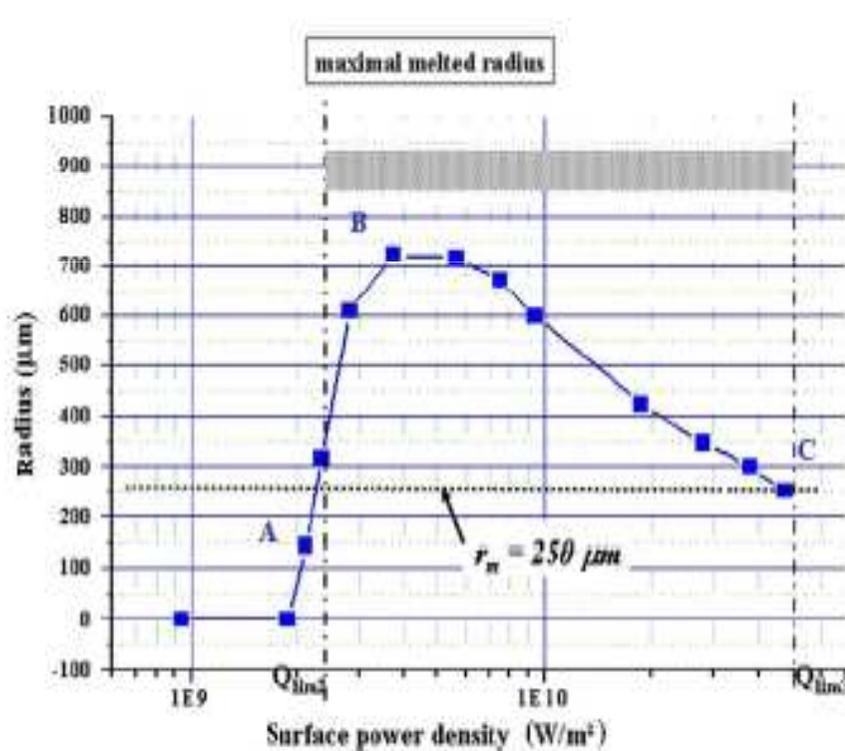
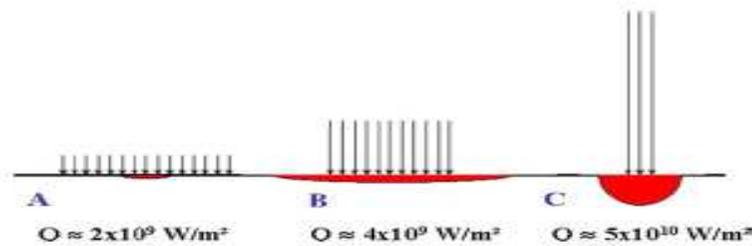
Arc modélisé par une densité de flux d'énergie de l'ordre de $5 \cdot 10^{10} \text{ W/m}^2$ appliquée sur un contact de Cu pur.



La zone fondue dépend fortement du flux de chaleur

[Devautour, 1993]

Effets de l'énergie d'arc sur la zone fondue



$0 \mu\text{m} < \text{rayon} < 725 \mu\text{m}$

$0 \mu\text{m} < \text{profondeur} < 270 \mu\text{m}$

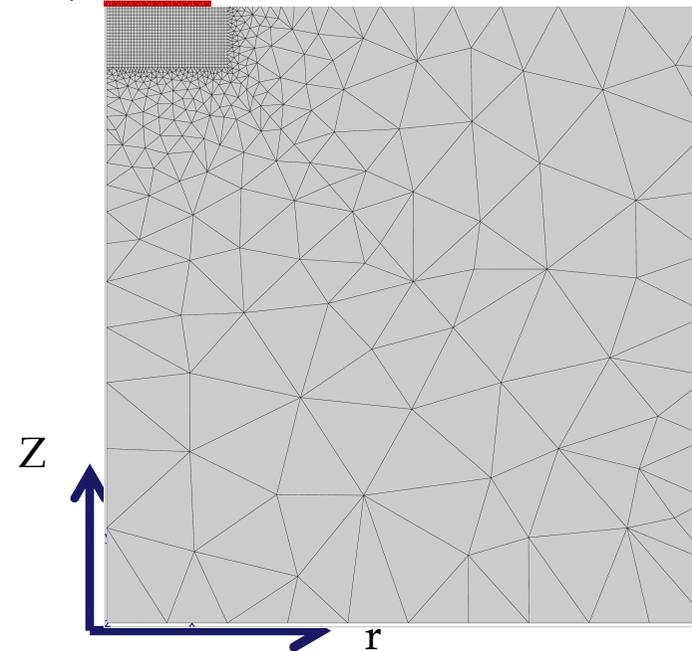
[Ph. Testé, 2012]

- Géométrie axisymétrique
- Matériau : AgSnO_2
- Calcul thermique avec arc immobile
- Calcul mécanique

Zone d'application du flux de chaleur →

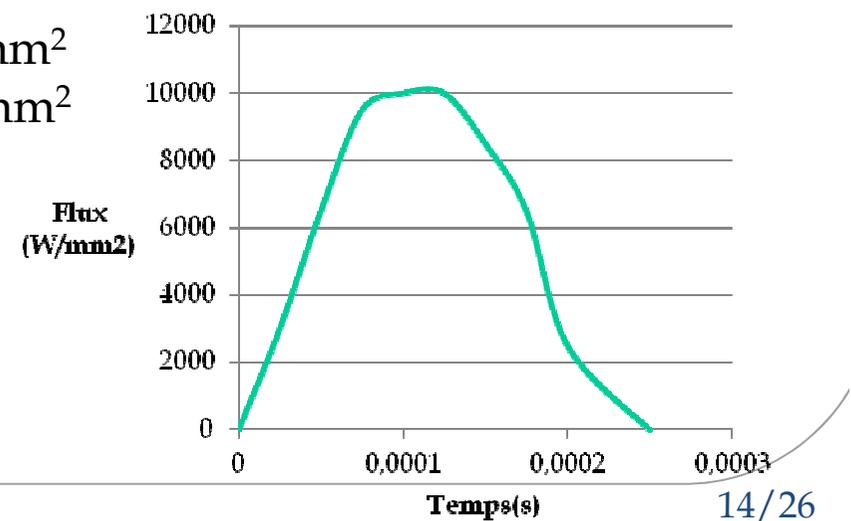
Géométrie

- Axisymétrique
- Type élément : quadratique
- Taille des éléments dans la zone critique : 0,0025 mm
- Nombre de nœuds : 3689
- Code de calcul : Zset

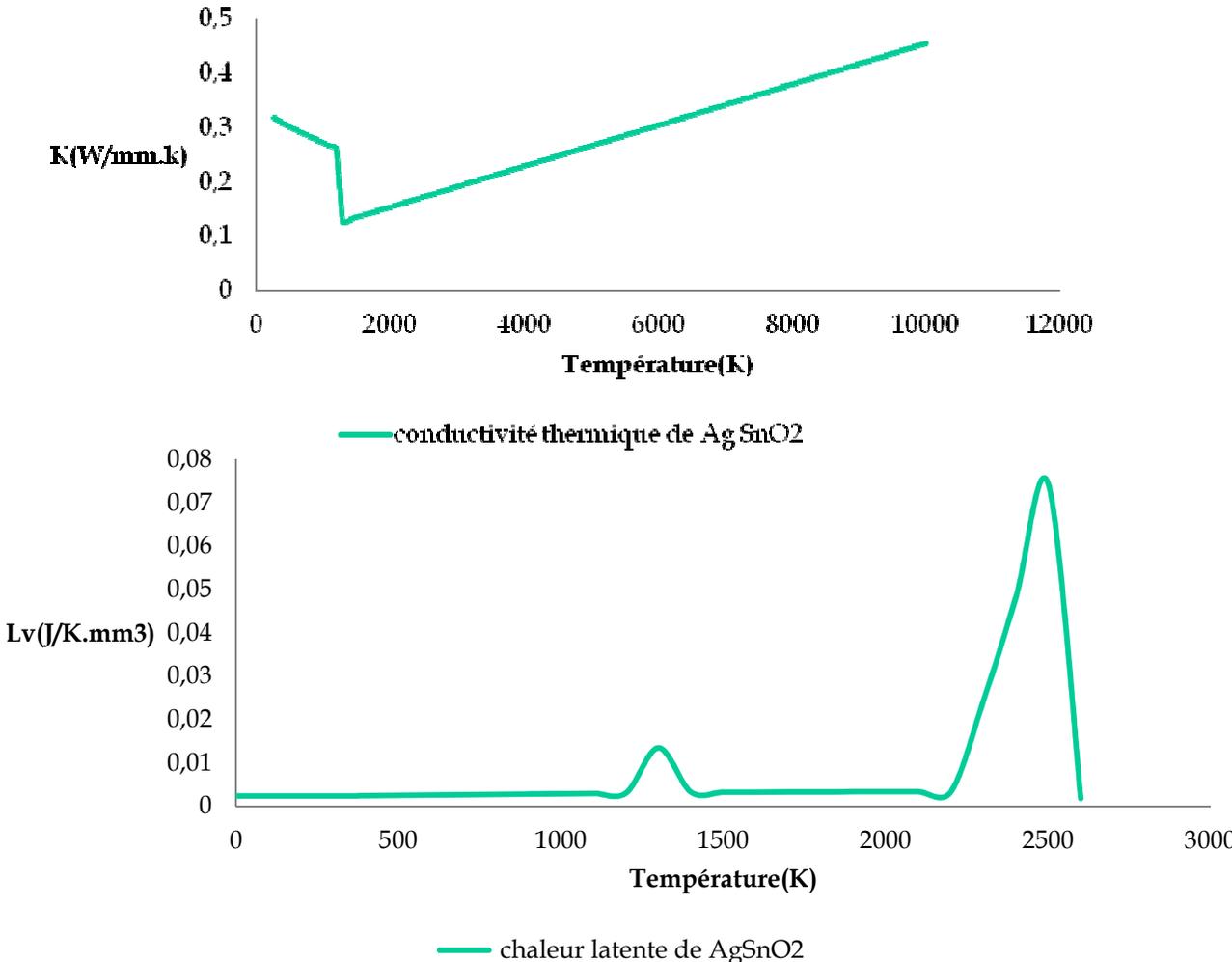


Conditions aux limites

- Surface supérieure de l'électrode
 - Flux radiatif $2,865 \cdot 10^{-15} \text{ W/mm}^2$
 - Flux de chaleur convectif $h=12 \cdot 10^{-6} \text{ W/mm}^2$
- Surfaces latérale et inférieure
 - Température=298K
- Le flux de chaleur est appliqué sur un rayon de 100 micromètres pendant 1ms (0,1J)

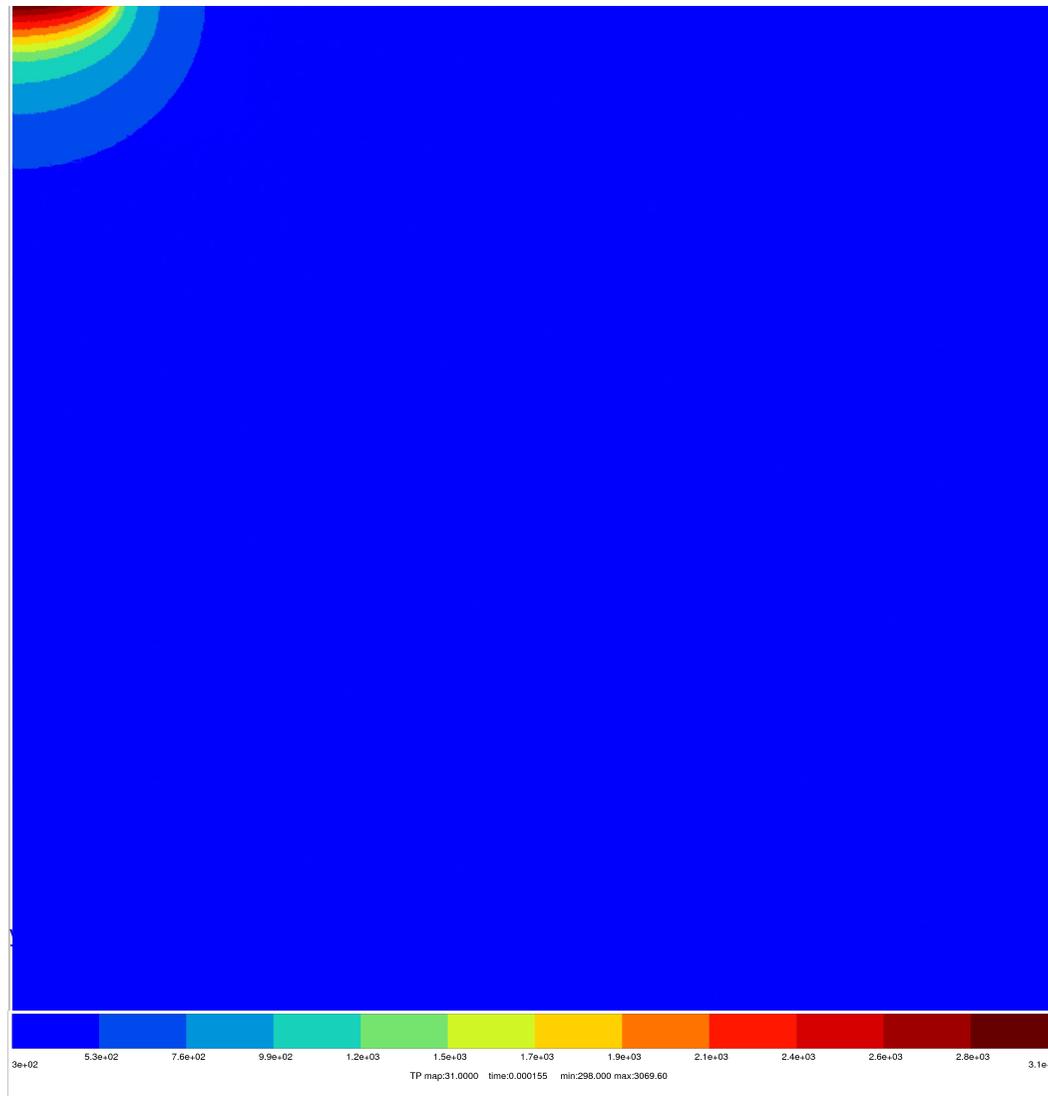


Propriétés thermiques du matériau [Bonhomme, 2005]



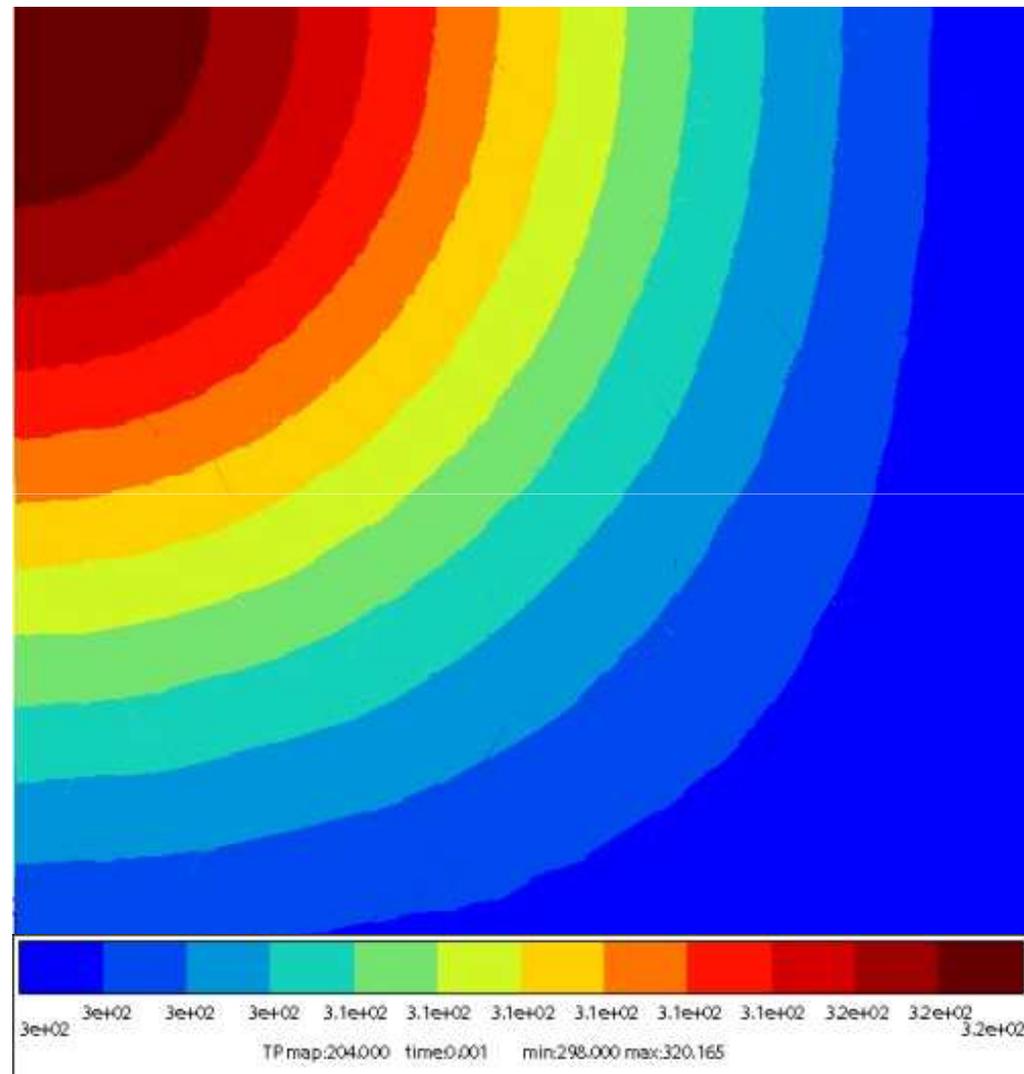
Cartes de température

$t=0,000165s$,Température entre 298K et 3000K



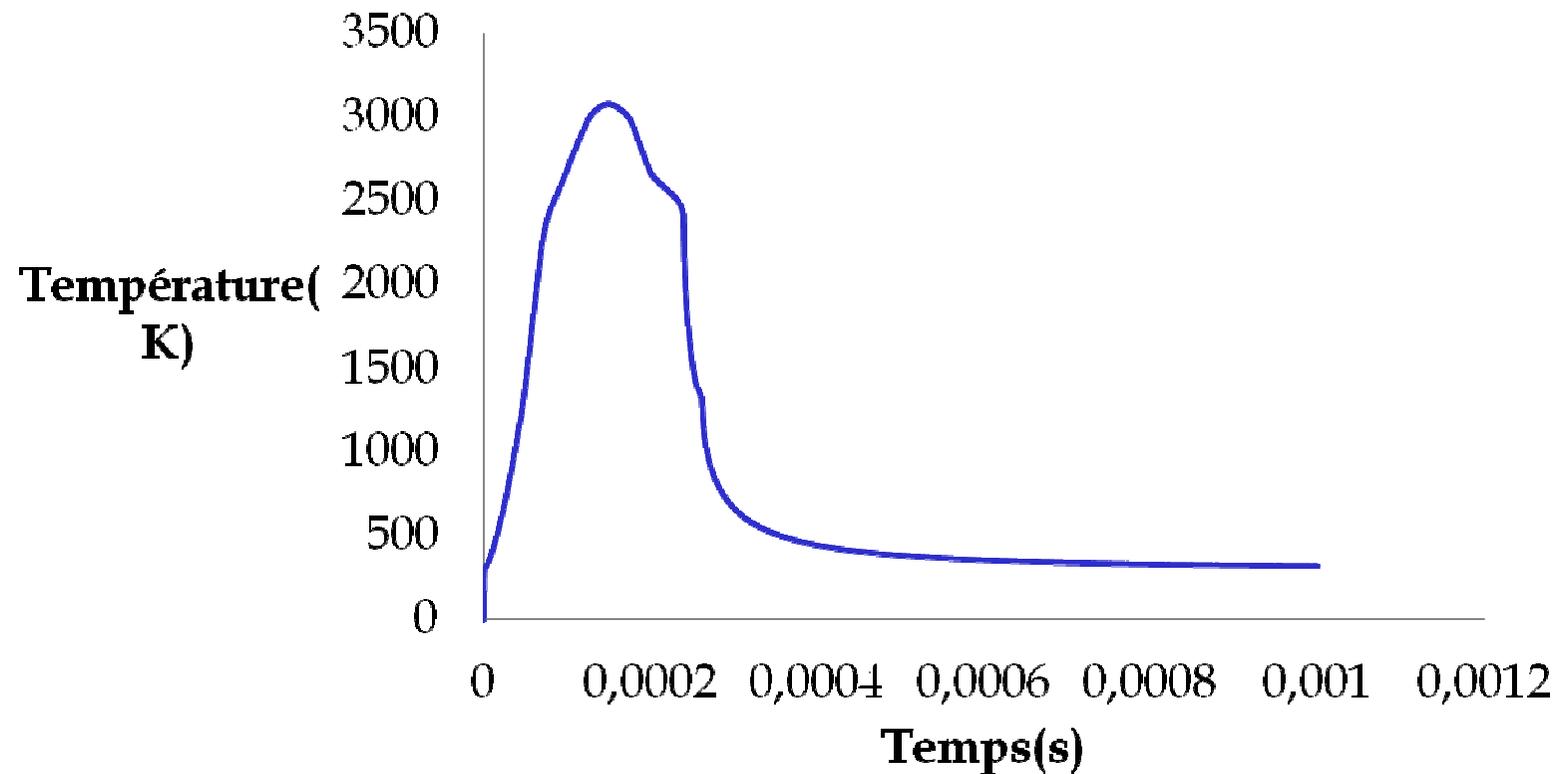
Cartes de température

$t=0,001s$, Température entre 298K et 320k



Evolution de la température

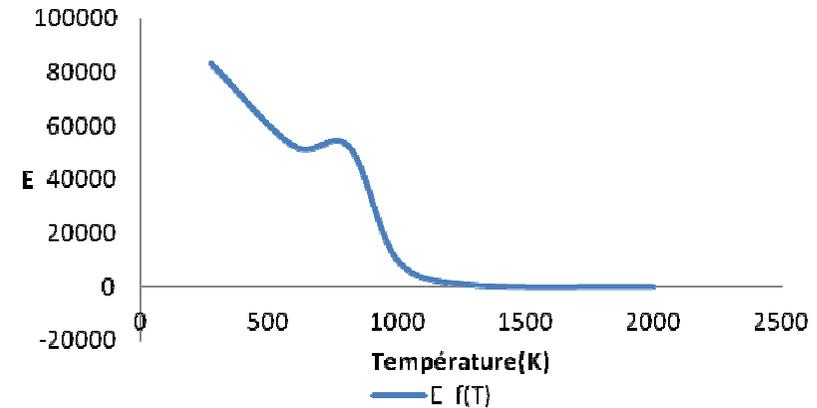
Evolution de la température du nœud central en surface



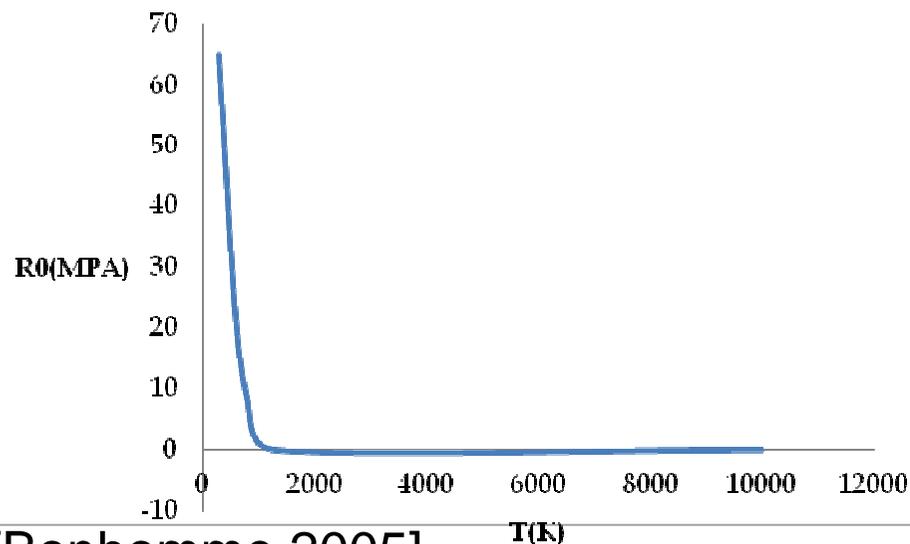
Propriétés mécaniques de l'AgSnO₂

- Elasticité isotrope
 - Module de Young
 - Coefficient de Poisson 0,37
- Ecouissage isotrope
- Ecouissage cinématique non linéaire
 - $D=275$
- Norton

Module de Young (MPa)

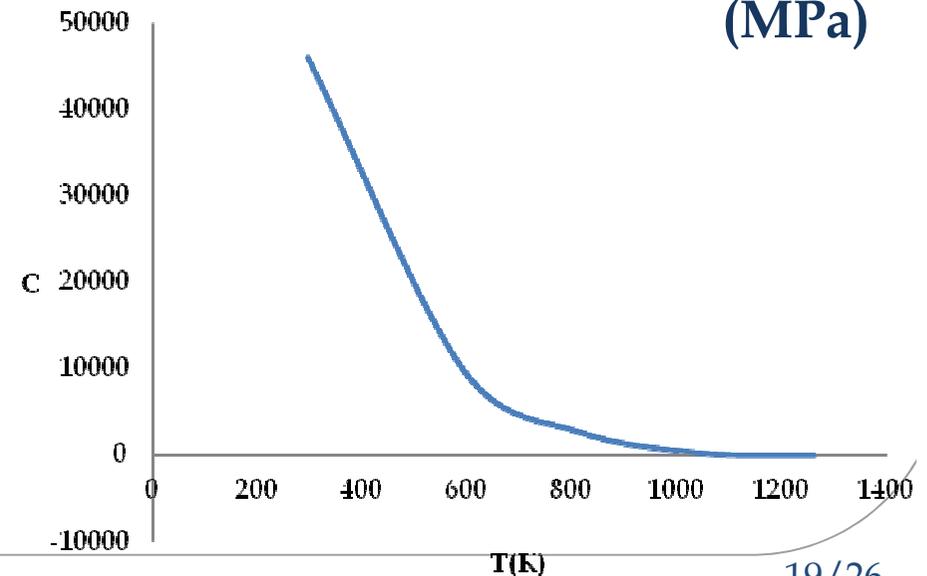


Limite d'élasticité (MPa)



[Bonhomme, 2005]

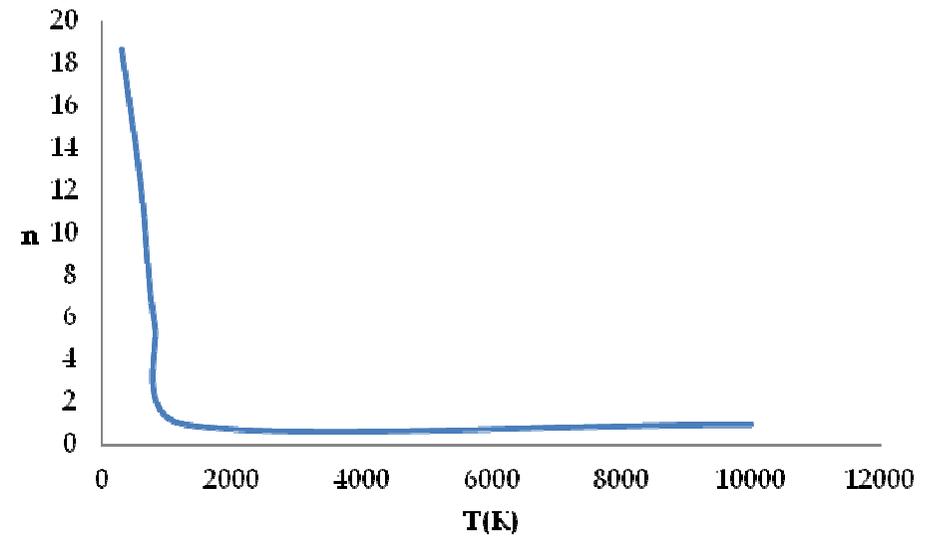
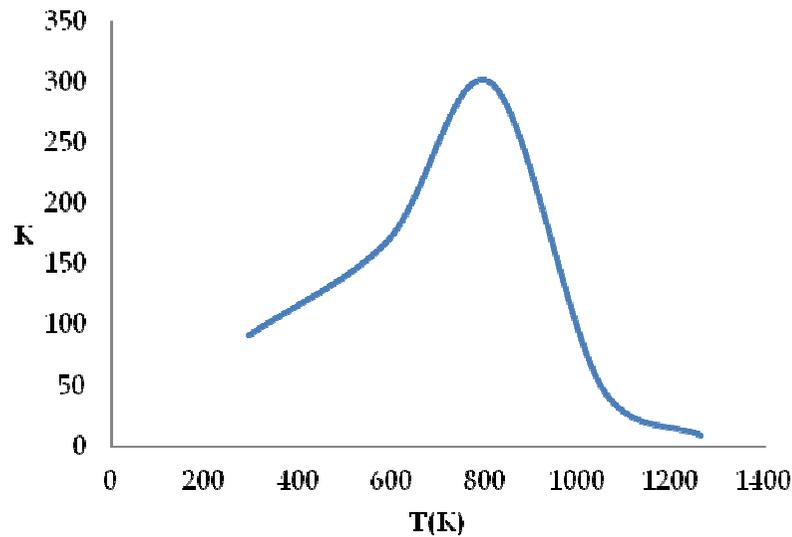
Paramètre d'écrouissage cinématique (MPa)



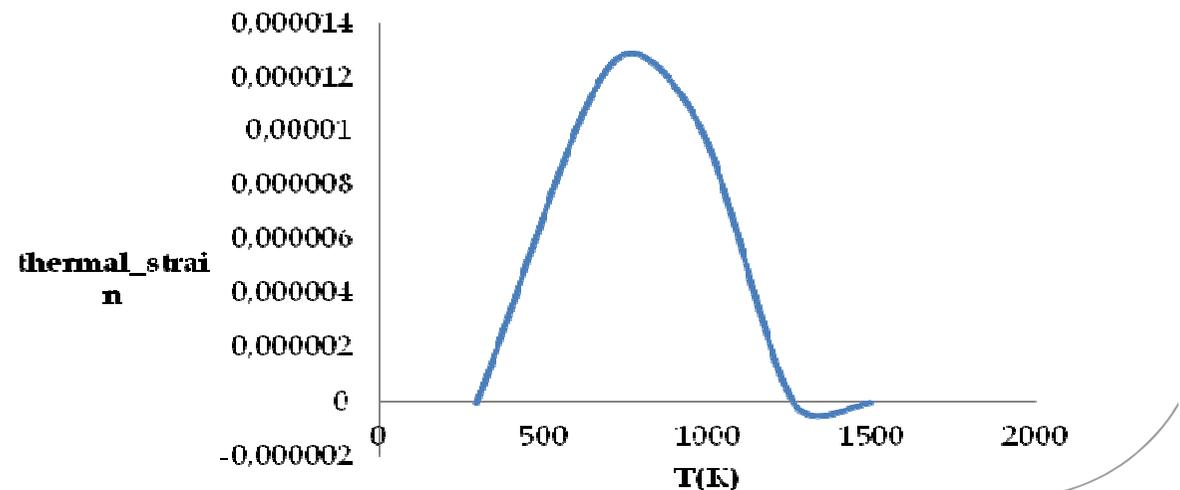
Calcul Thermomécanique

Propriétés mécanique de l'AgSnO₂

Paramètres de la loi Norton



Coefficient de dilatation thermique

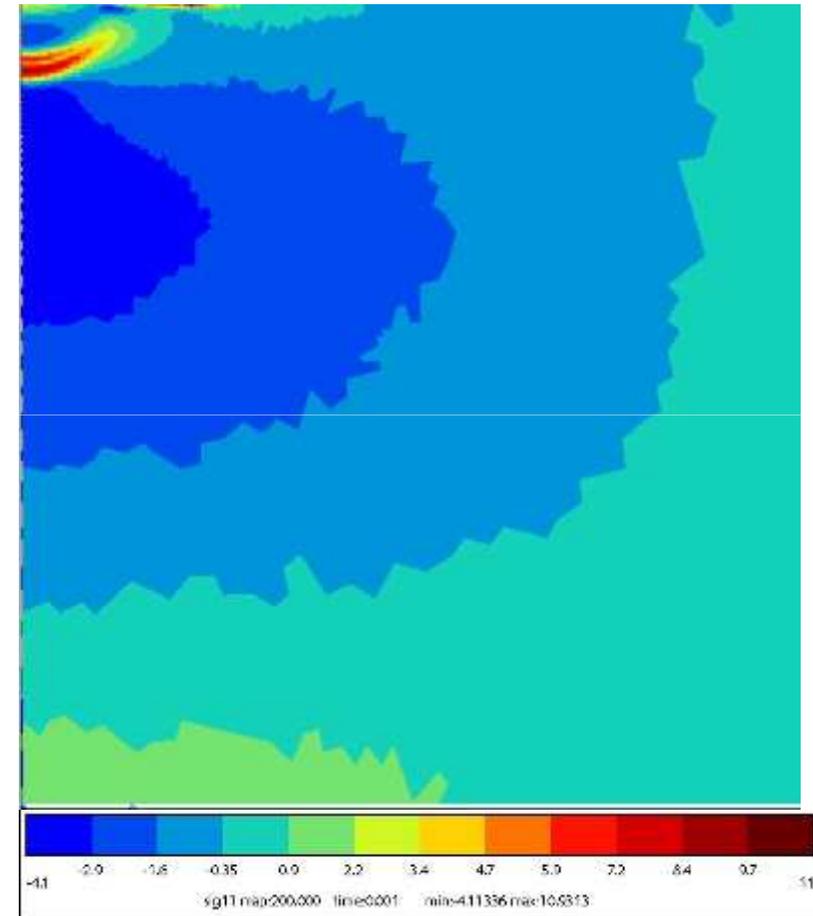
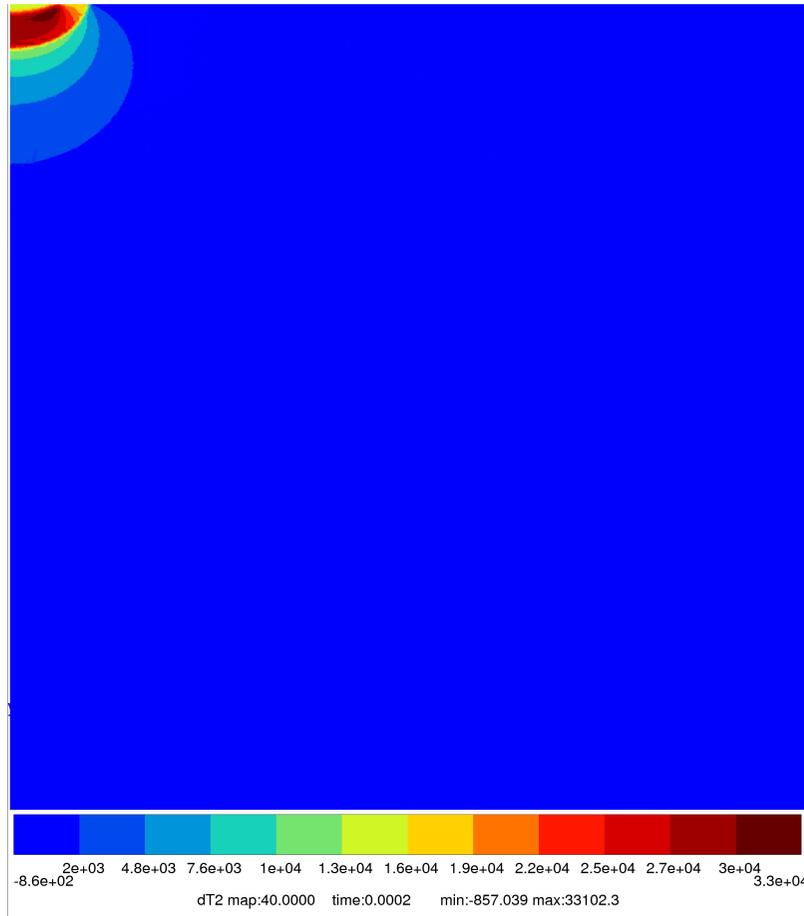


[Bonhomme,2005]

Résultats du calcul mécanique ($t=0,000165s$)

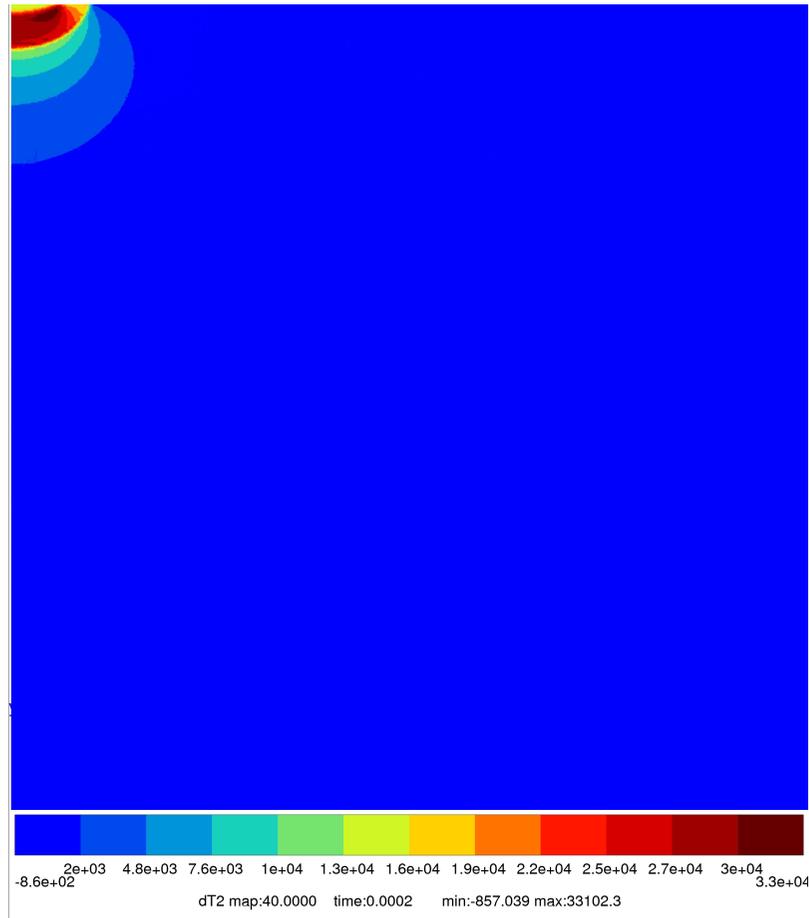
Gradient de
température

σ_{rr}

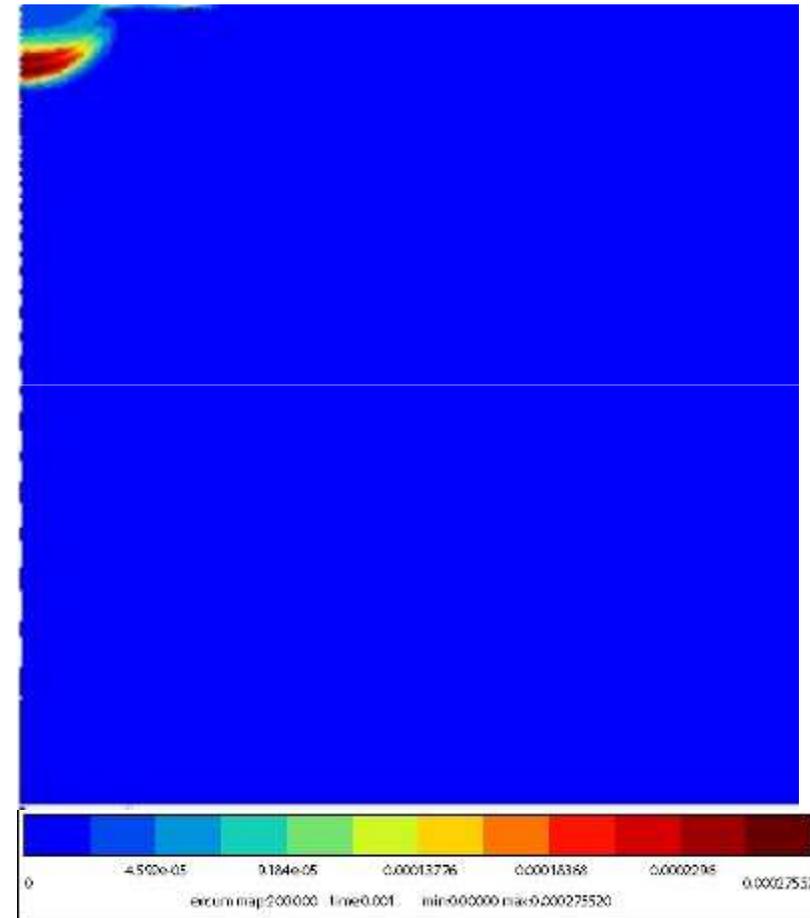


Résultats du calcul mécanique ($t=0,000165s$)

Gradient de
température



Déformation élastoviscoplastique
cumulée



Partie expérimentale

Campagne 1: mise au point sur machine de tête (15 mars-30 mars)

Campagne 2 : essais courts sur les bancs d'endurance (avril)

Campagne 3: essais interrompus jusqu'à la fin de vie (10 mai-06 août)

Objectifs de la partie expérimentale

- Déterminer les conditions de chargement représentatives des contacteurs au cours d'un essai
- Disposer d'une base expérimentale permettant de déterminer les modes d'endommagement des contacteurs
- Déterminer les causes de la ruine des contacteurs et les variables d'endommagement

Partie numérique

- Calcul thermique, avec conduction, convection et pertes par rayonnement
- Calcul thermomécanique pour évaluer les contraintes résiduelles et les déformations viscoplastiques
- Post traitement pour gérer la compétition érosion-fissuration-soudure
- Post traitement pour l'estimation de l'érosion, avec remaillage
- Modèle 3D avec arc mobile et interaction entre plusieurs arcs
- Construction d'un modèle simplifié pour utilisation en conditions réelles.

Merci pour votre
attention