



# Elaboration d'un modèle de durée de vie des contacteurs



Vendredi 4 Mars,2016



**Fadoua MAJID**

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

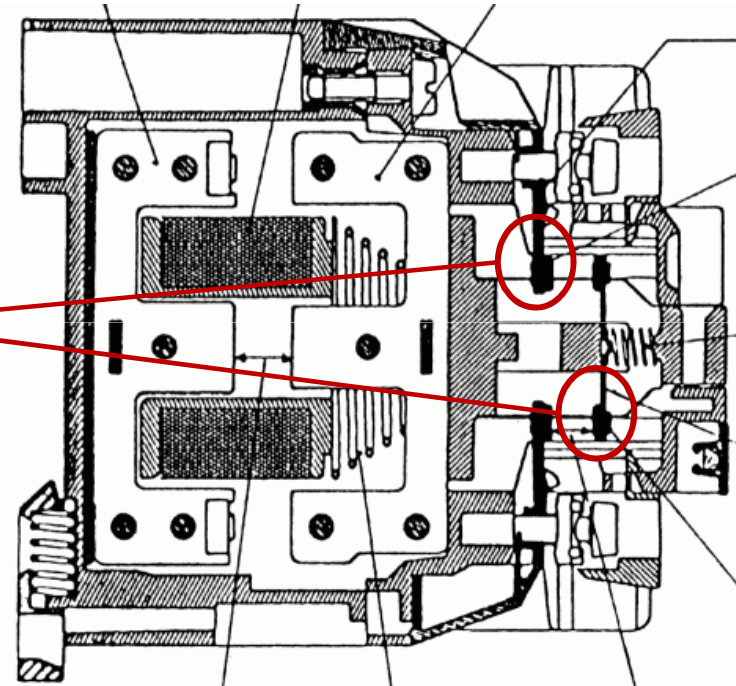


DMS 2015-2016

## 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 crée 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

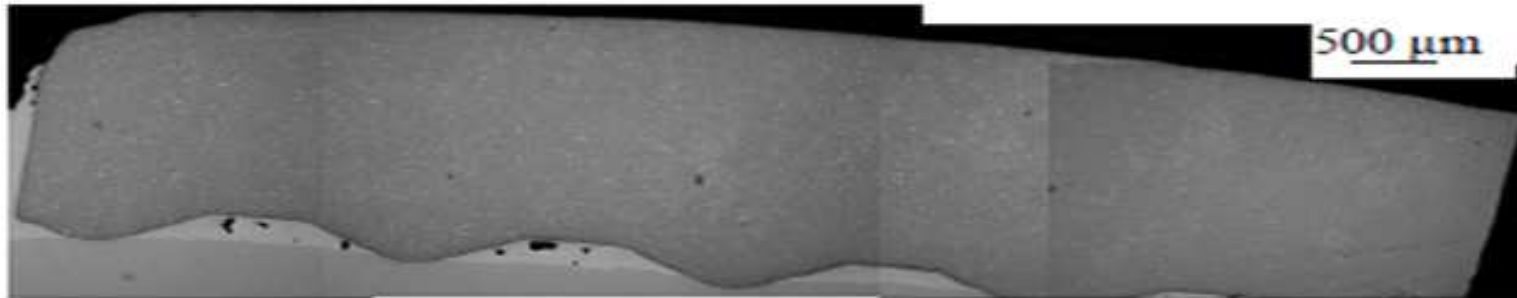


Après 3000 manœuvres

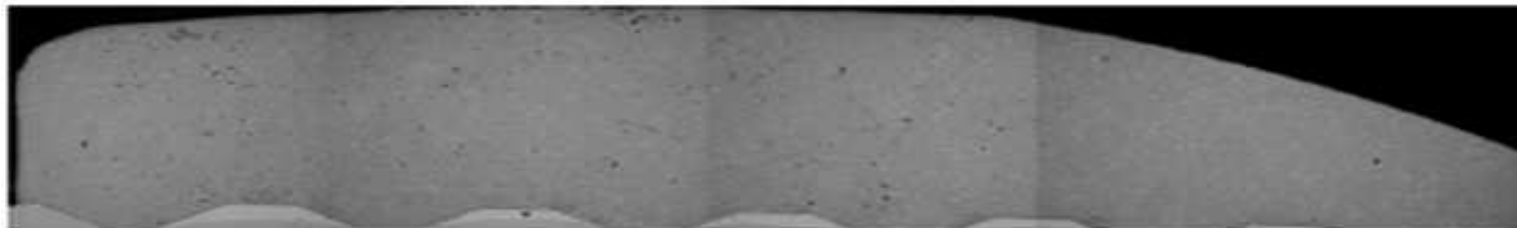




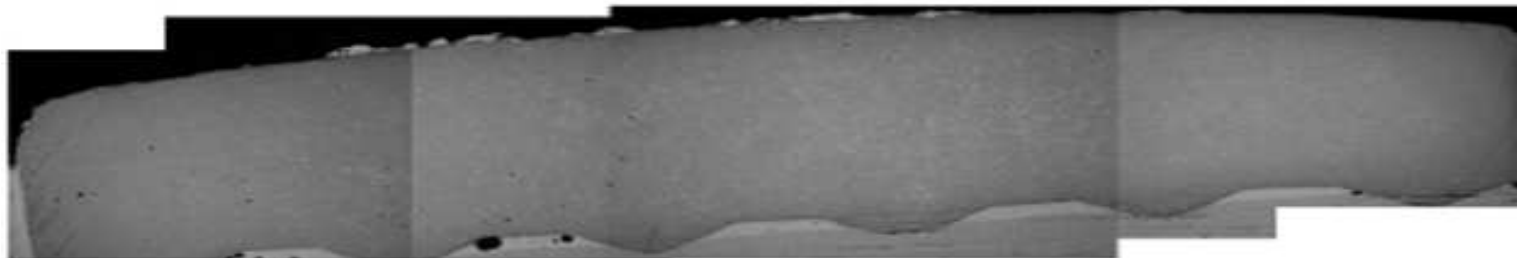
# Fatigue thermomécanique



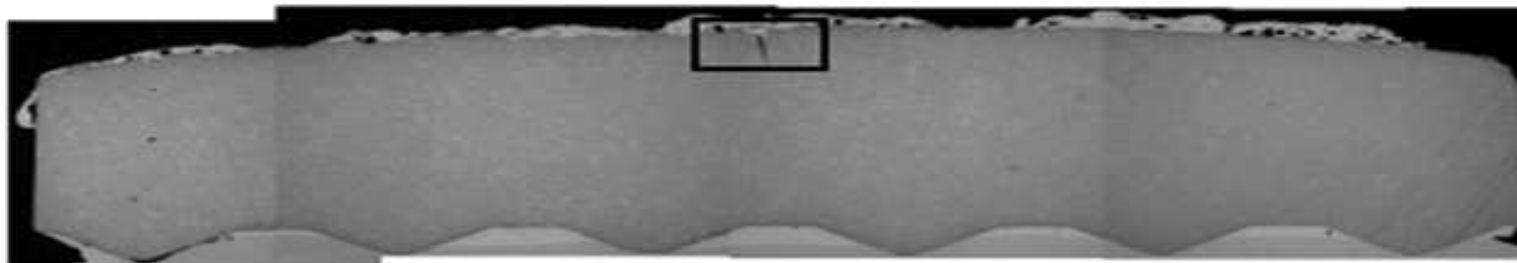
Etat initial



1 cycle



1000  
cycles



10000  
cycles

[Gaudemet,2001]

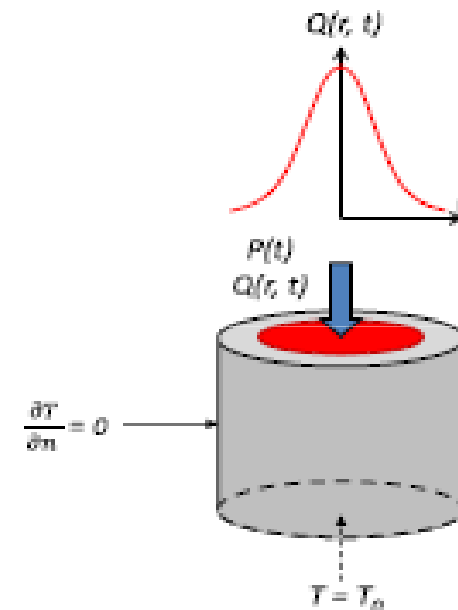
*Endommagement des pastilles*



## Hypothèses du modèle

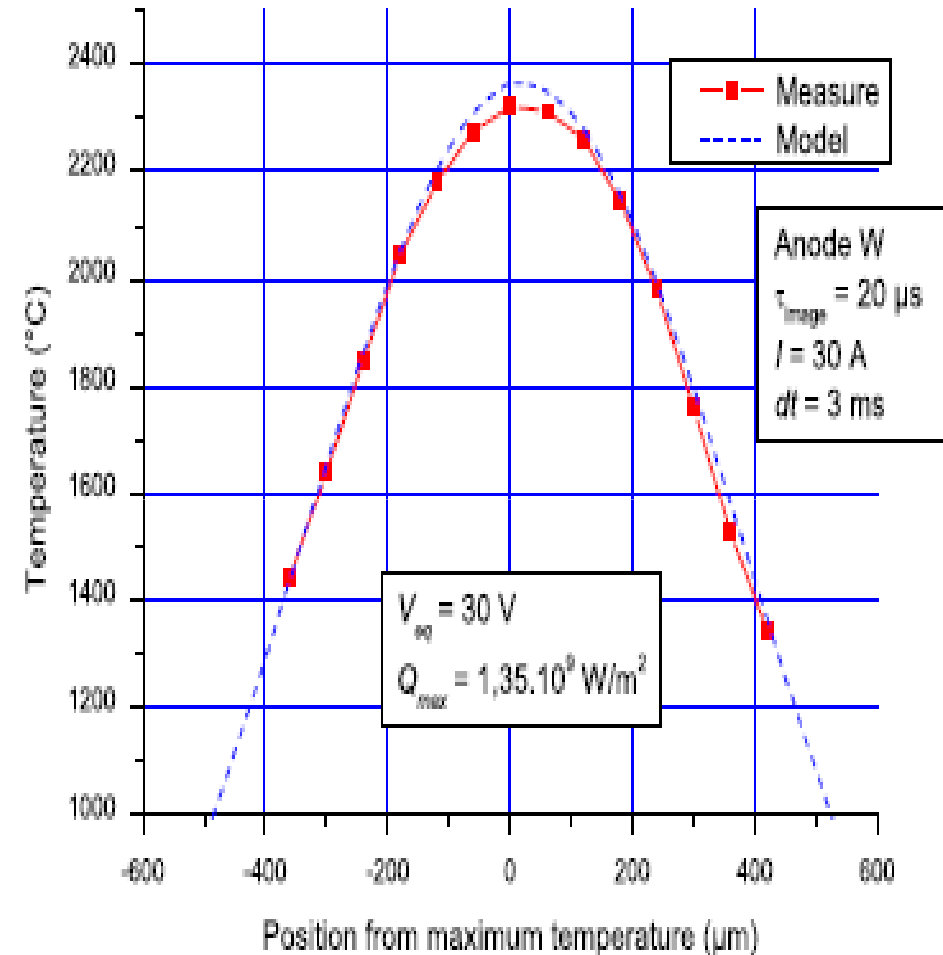
- Le problème est axisymétrique.
- La chaleur spécifique et la conductivité thermique dépendent de la température.
- La densité du matériau est constante.
- L'effet Joule est négligé.
- Les forces de Lorentz et l'effet Marangoni sont négligés.
- Flux de chaleur surfacique

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



[R.Landfried , 2008]

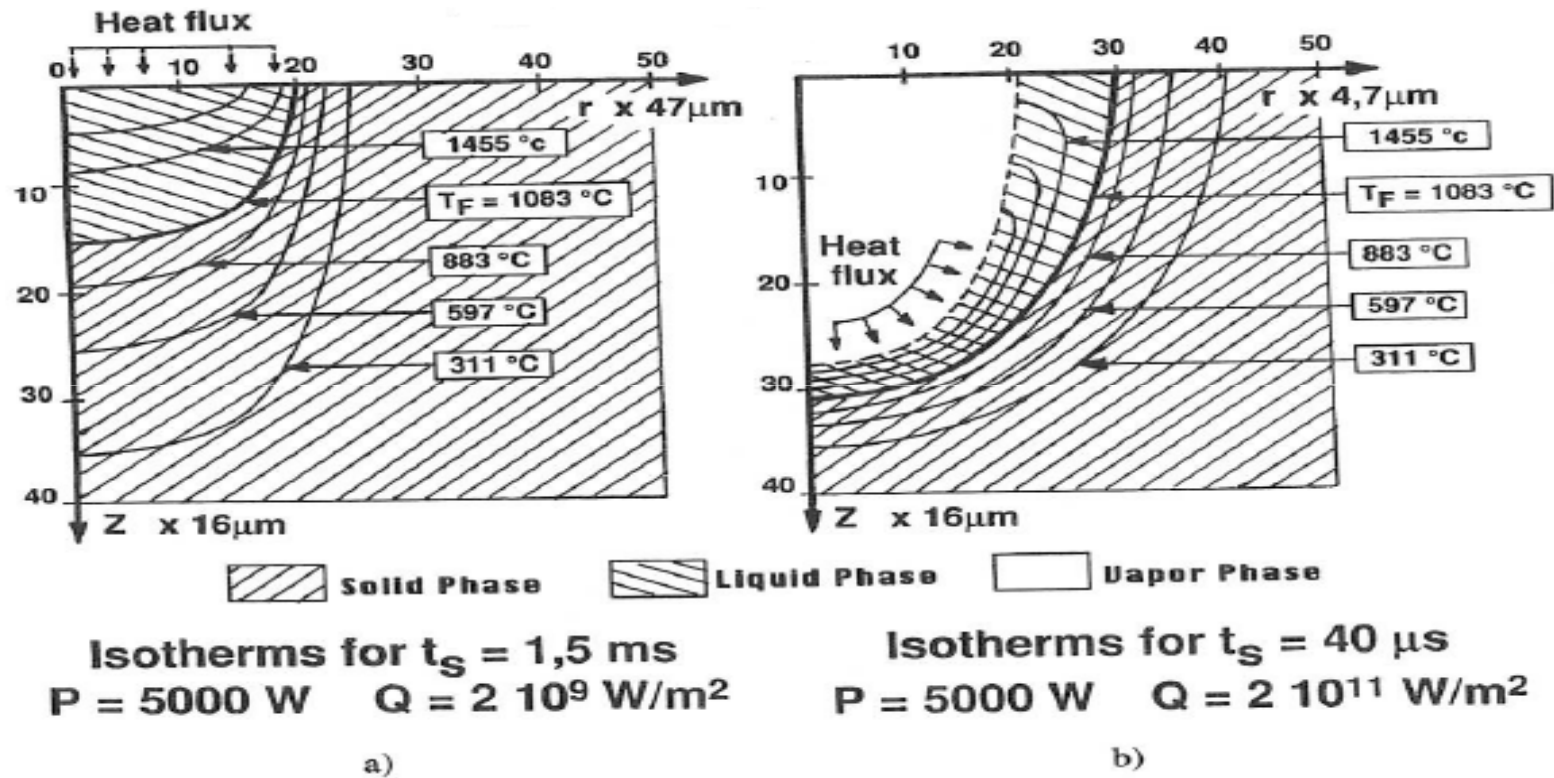
- Données expérimentales
  - Intensité=30A
  - Voltage=18V
  - Temps d'arc=3ms
- Données numériques
  - Densité de flux surfacique  
 $1,35 \cdot 10^9 \text{ W/m}^2$



[Landfried, 2014]

# Les isothermes

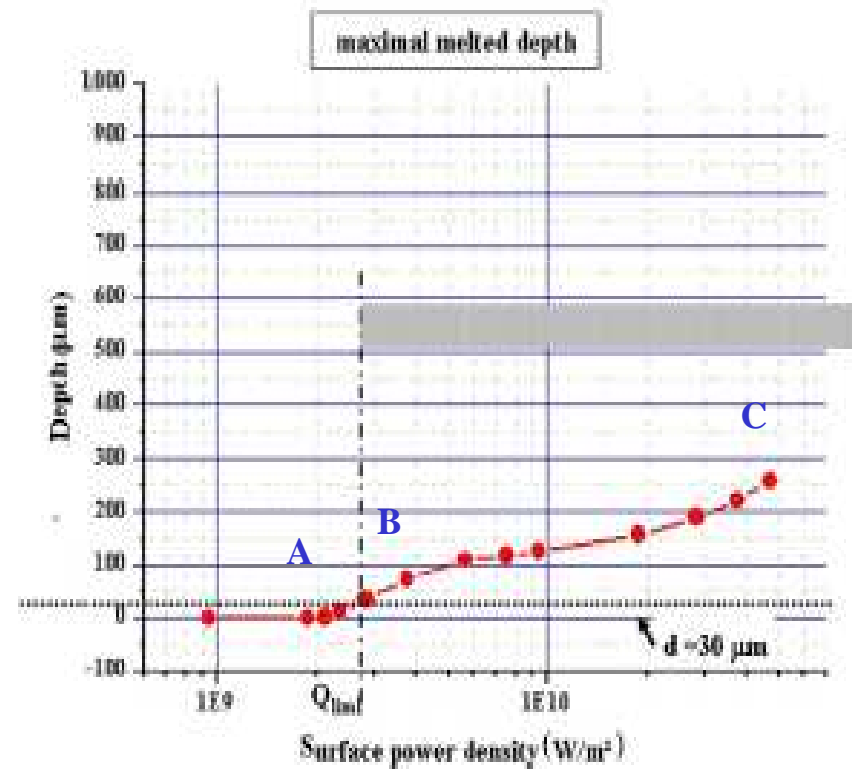
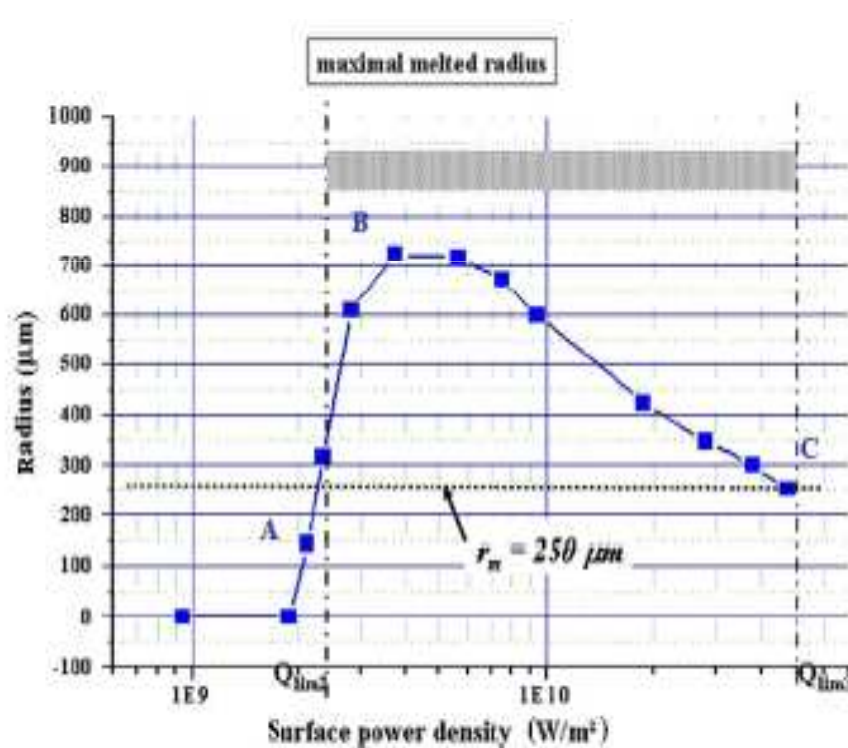
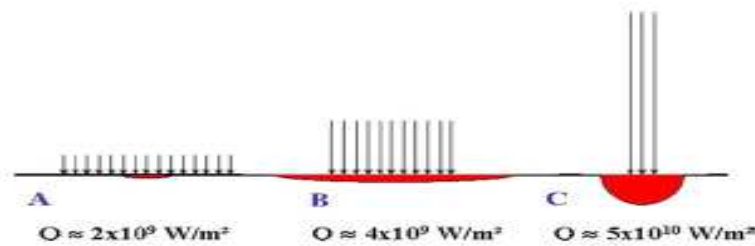
Arc modélisé par une densité de flux d'énergie de l'ordre de  $5 \cdot 10^{10} \text{ W/m}^2$  appliquée sur un contact de Cu pur.



La zone fondue dépend fortement du flux de chaleur

[Devautour, 1993]

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



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

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

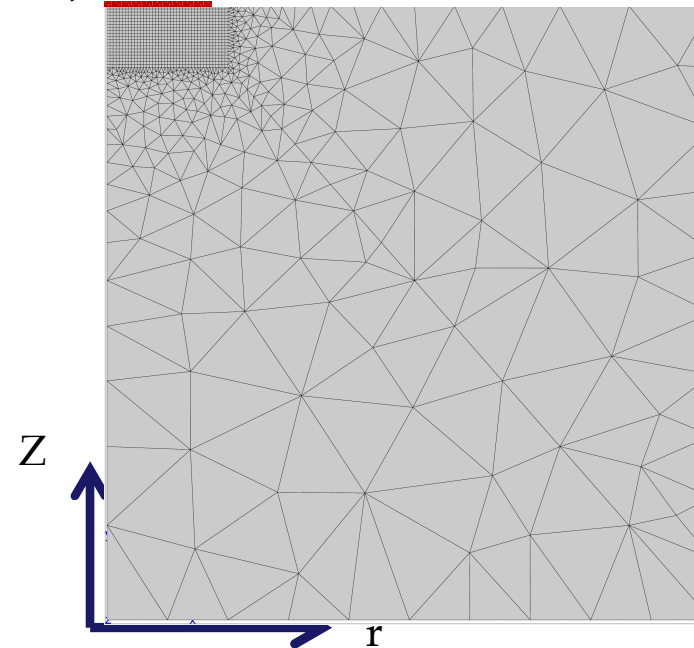
[Ph. Testé, 2012]

- Géométrie axisymétrique
- Matériau :  $\text{AgSnO}_2$
- 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

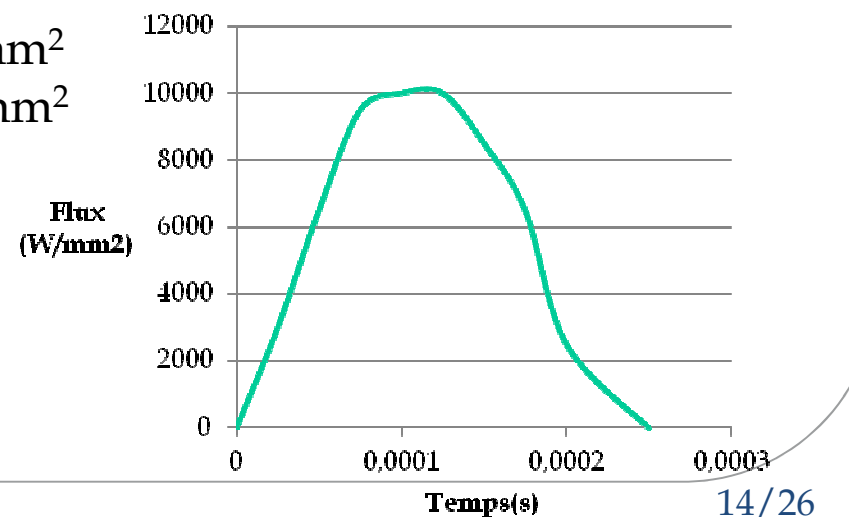
- Flux radiatif  $2,865 \cdot 10^{-15} \text{ W/mm}^2$

- Flux de chaleur convectif  $h=12 \cdot 10^{-6} \text{ W/mm}^2$

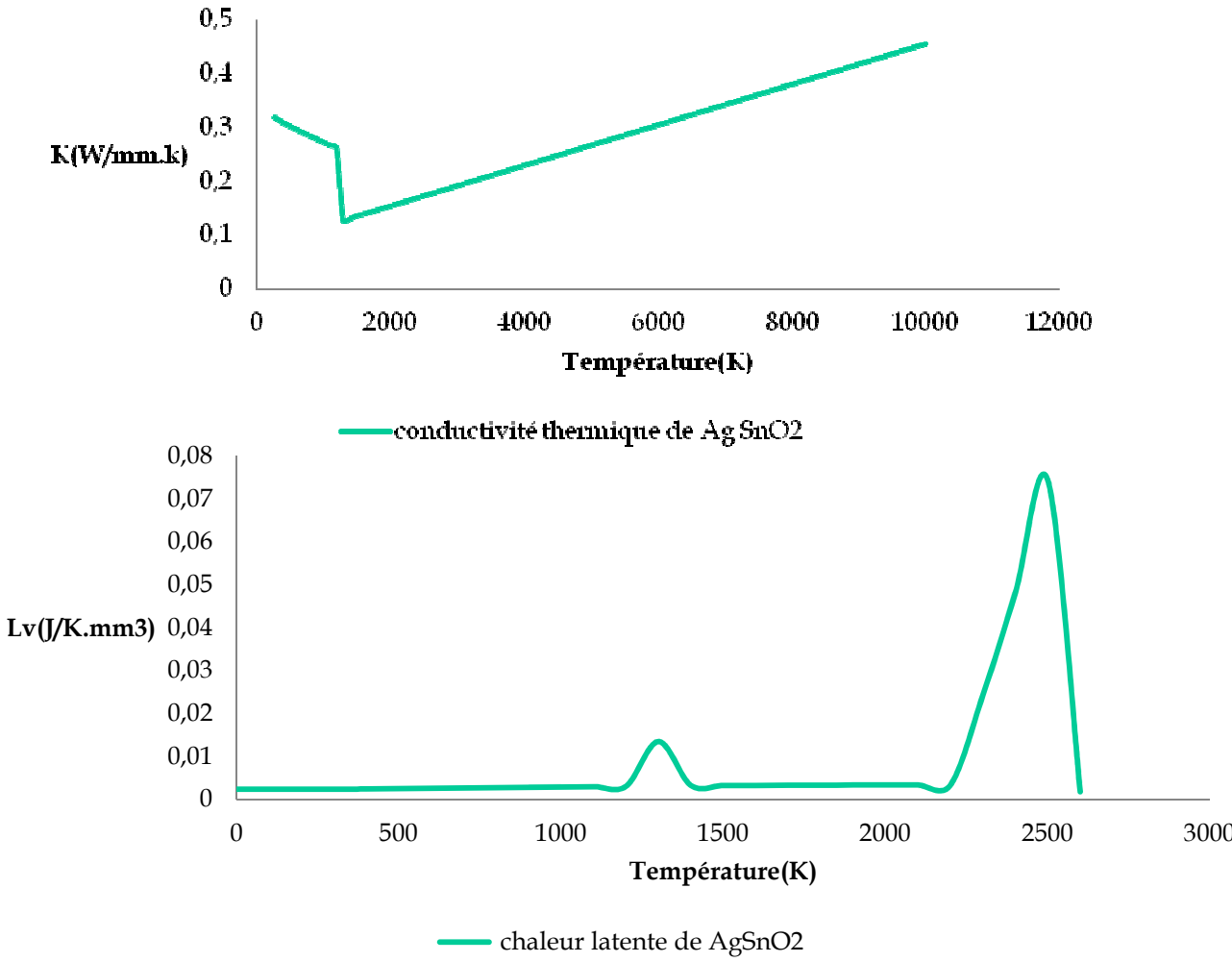
- Surfaces latérale et inférieure

- Température=298K

- Le flux de chaleur est appliqué sur un rayon de 100 micromètres pendant 1ms (0,1J)



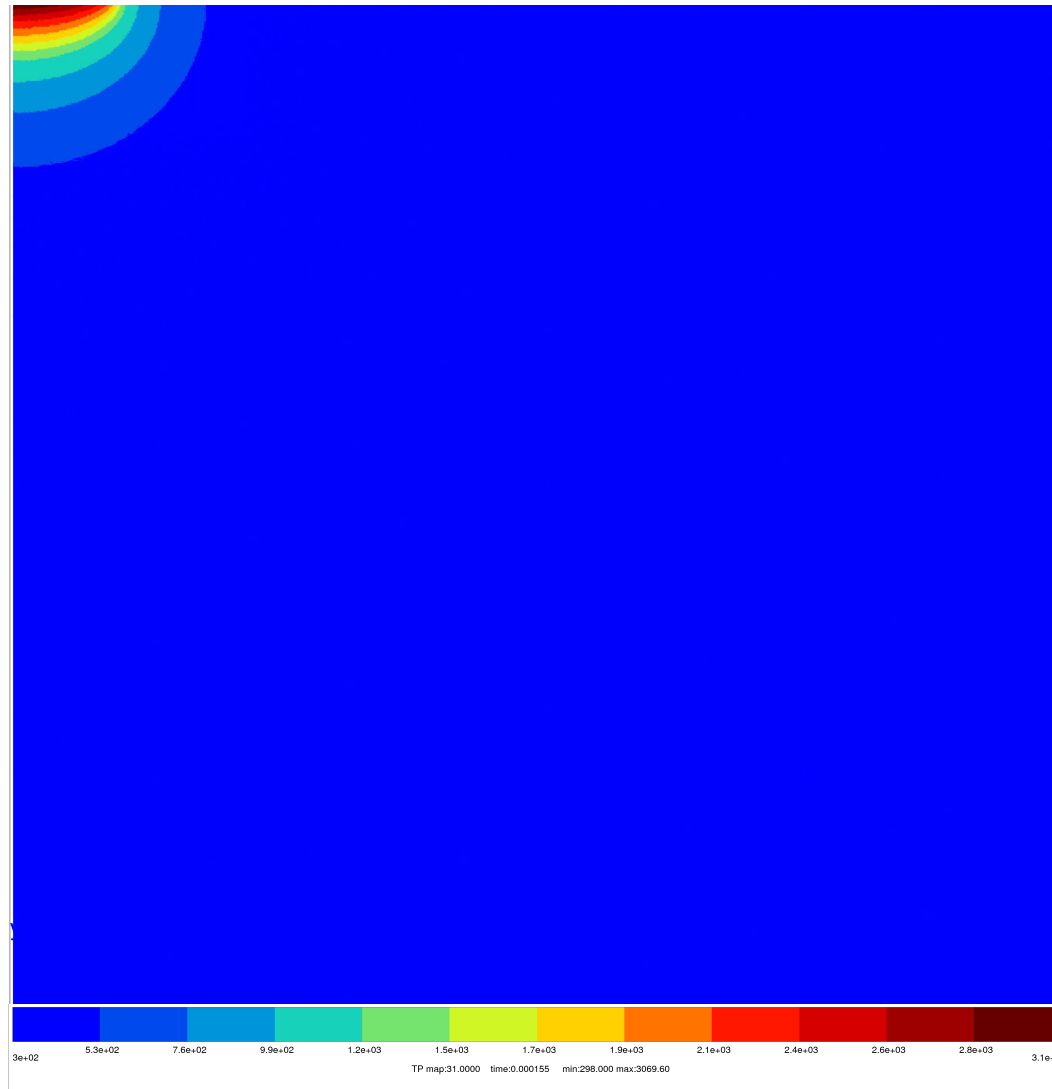
## Propriétés thermiques du matériau [Bonhomme, 2005]





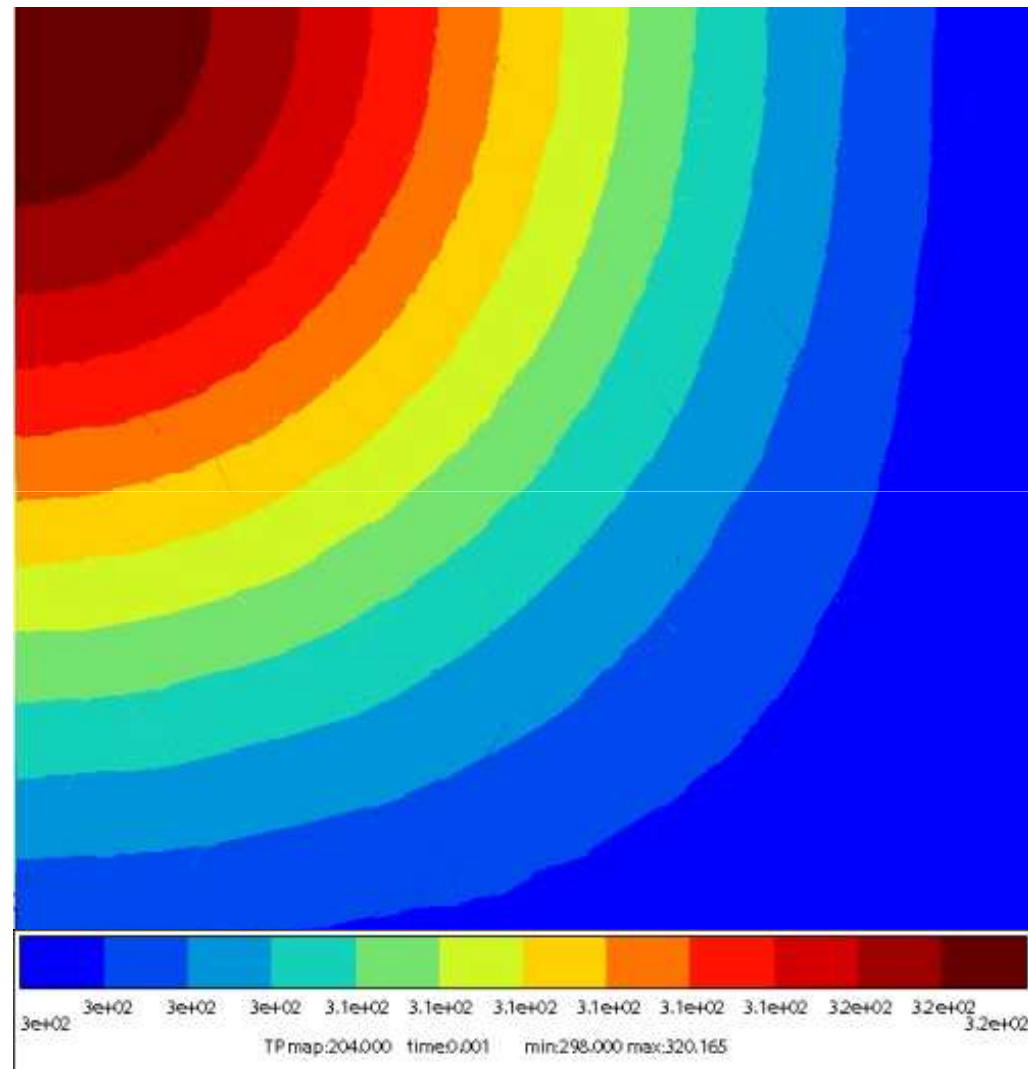
# Cartes de température

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



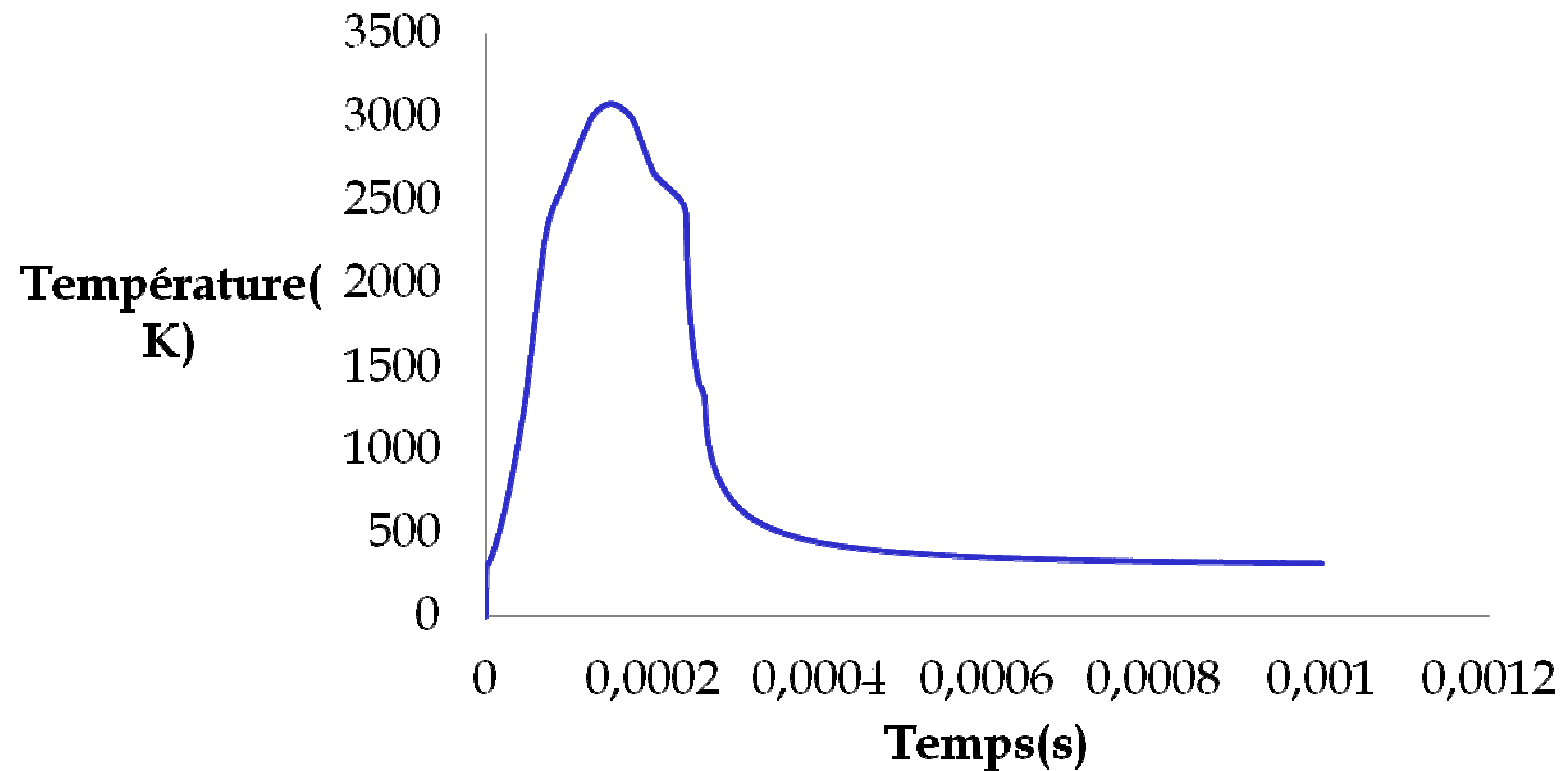
# Cartes de température

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



# Evolution de la température

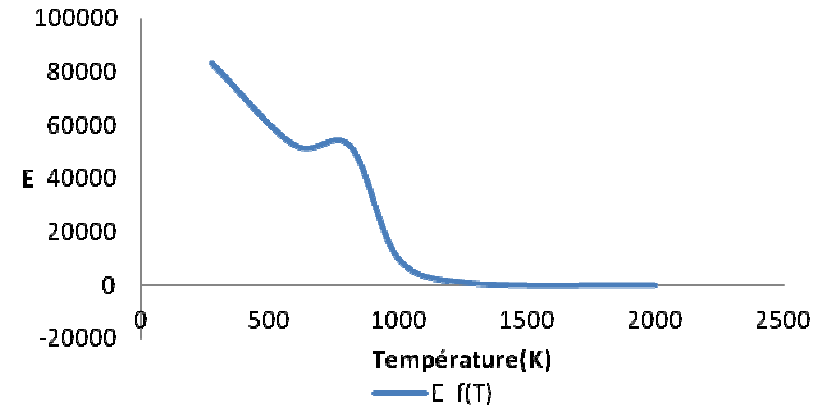
Evolution de la température du nœud central en surface



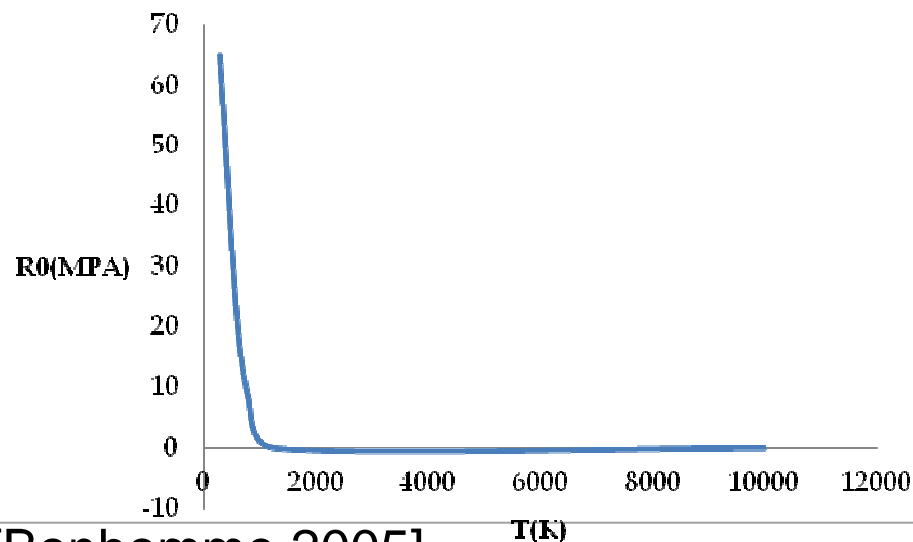
## Propriétés mécaniques de l'AgSnO<sub>2</sub>

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

## Module de Young (MPa)

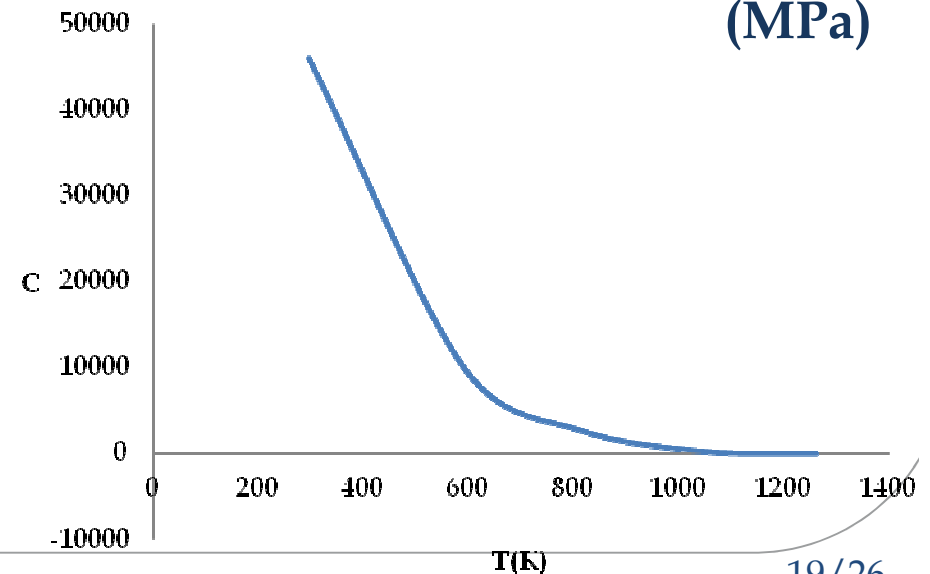


## Limite d'élasticité (MPa)



[Bonhomme, 2005]

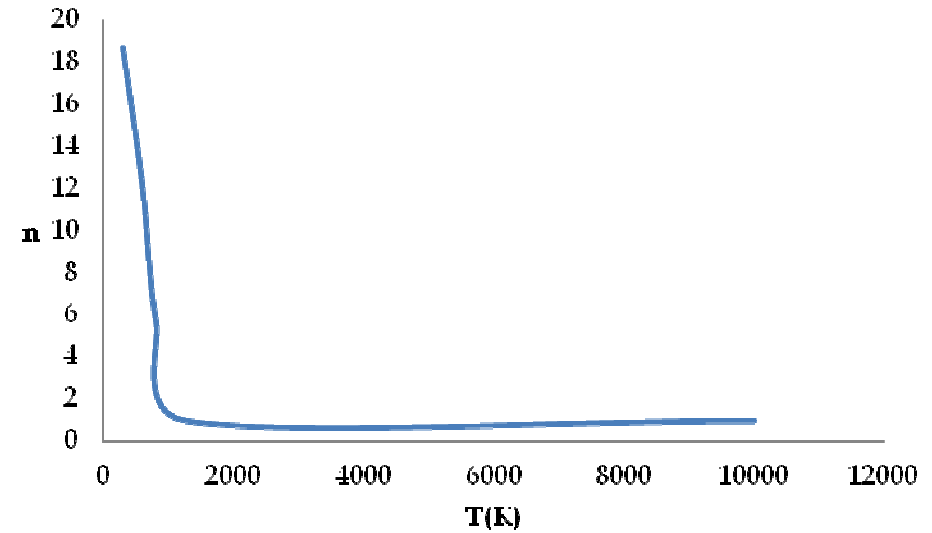
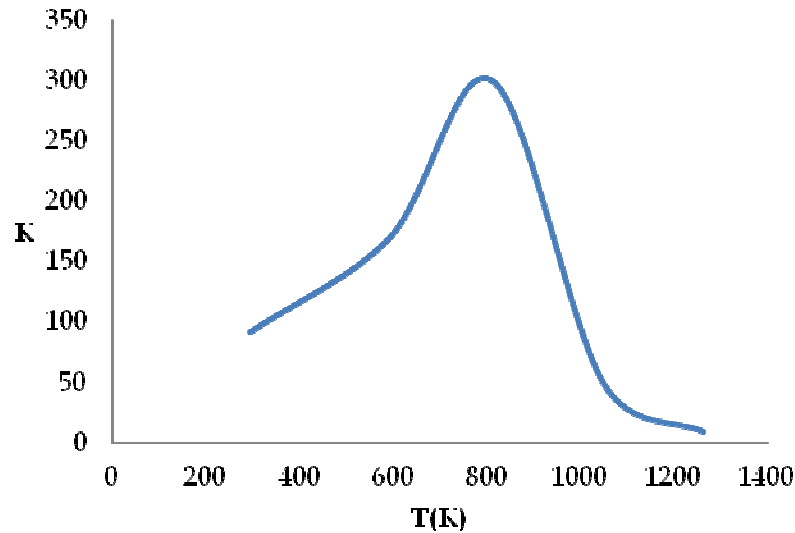
## Paramètre d'écrouissage cinématique (MPa)



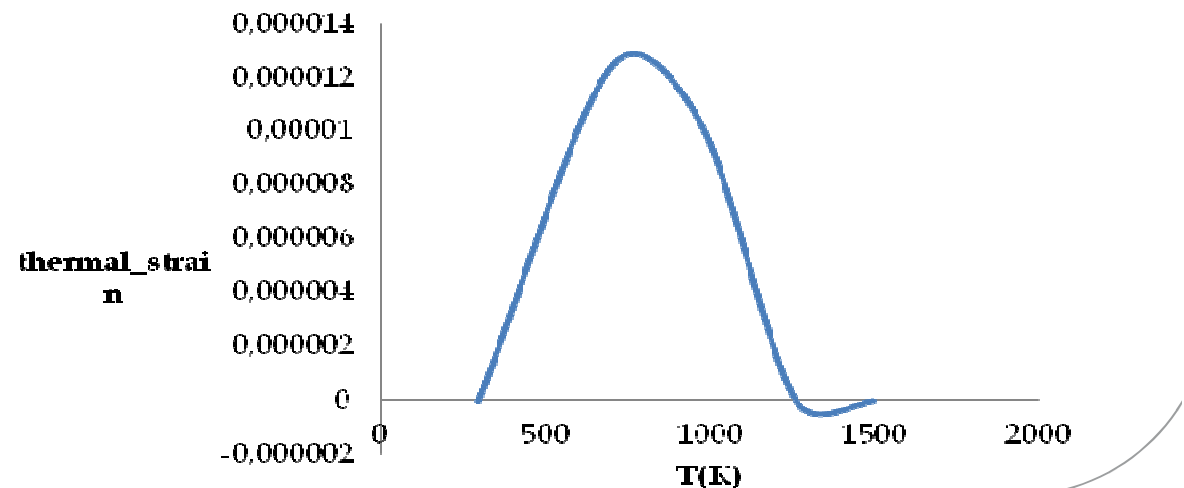
# Calcul Thermomécanique

## Propriétés mécanique de l'AgSnO<sub>2</sub>

### Paramètres de la loi Norton



### Coefficient de dilatation thermique

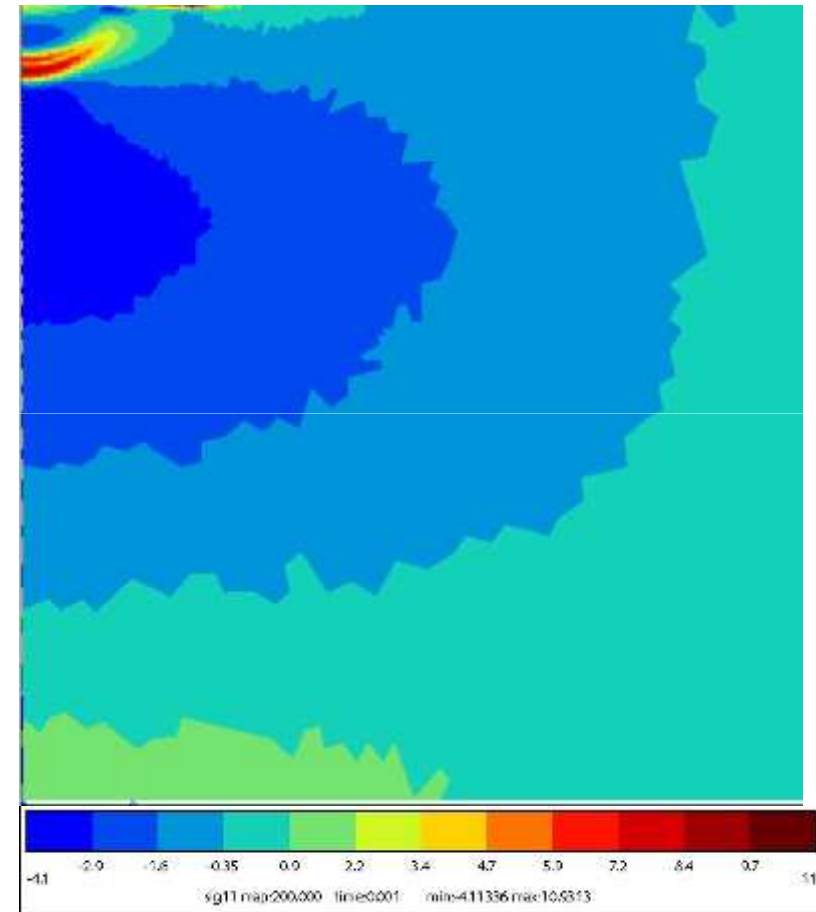
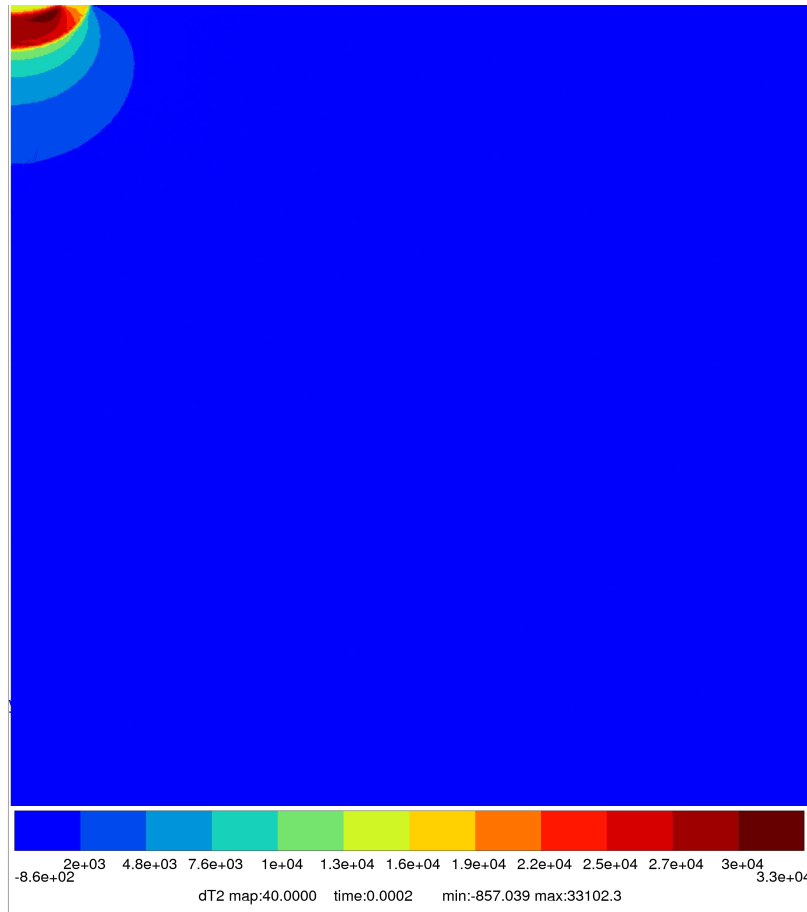


[Bonhomme,2005]

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

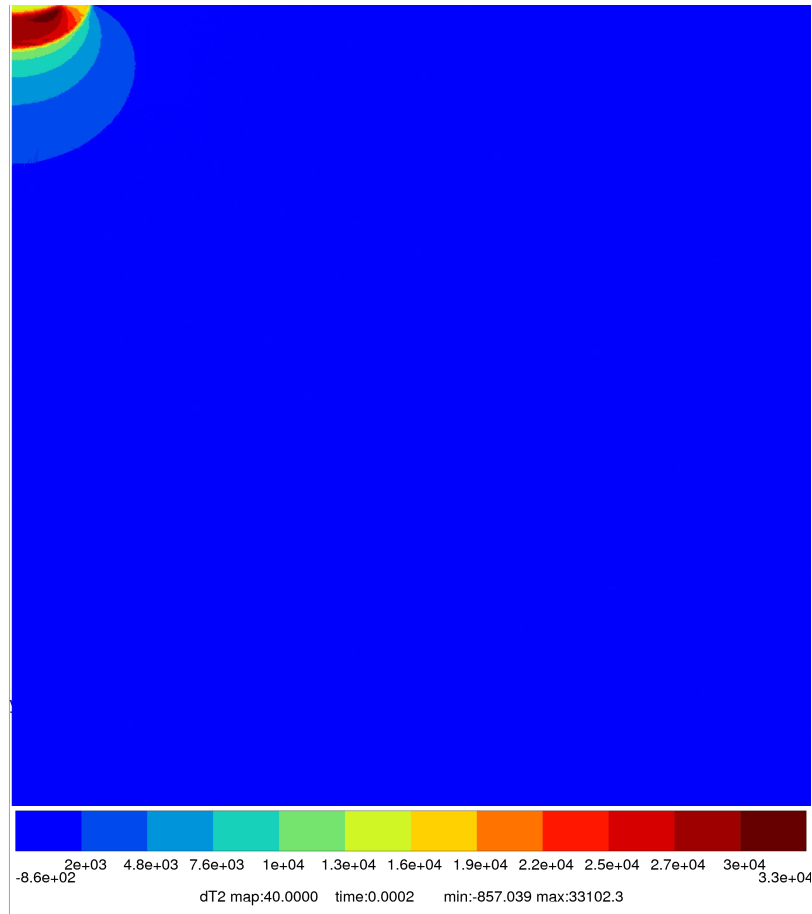
Gradient de  
température

$\sigma_{rr}$

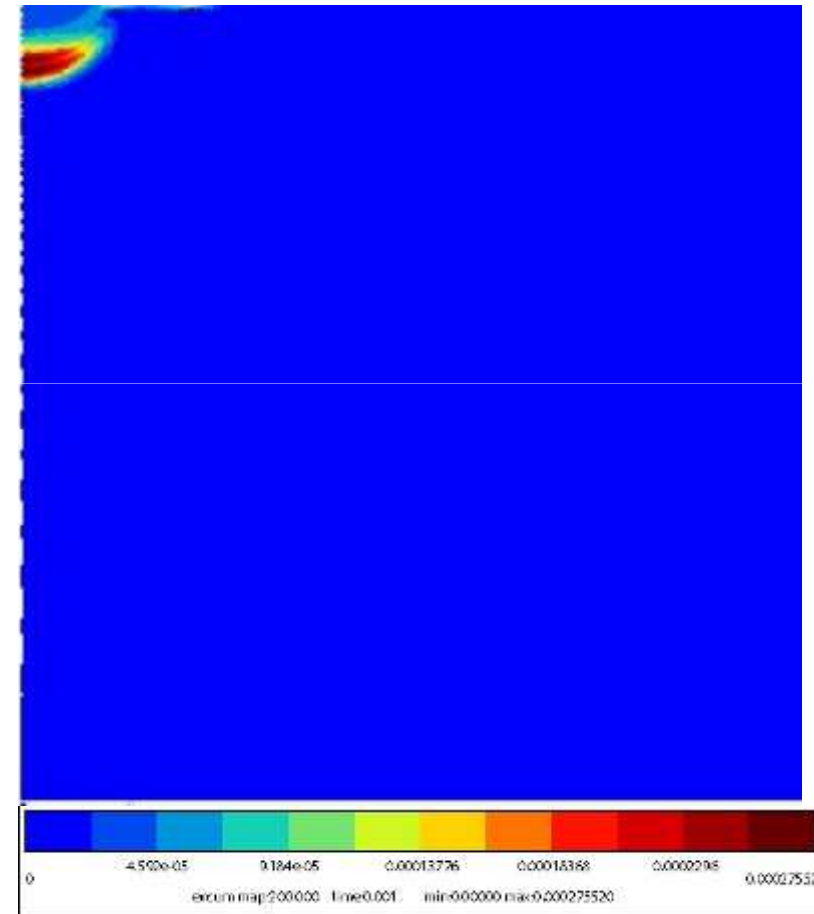


# Résultats du calcul mécanique ( $t=0,000165s$ )

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