



HAL
open science

Identification des modes de vieillissement d'un assemblage Ni/Cu

Olivier Arnould, François Hild

► **To cite this version:**

Olivier Arnould, François Hild. Identification des modes de vieillissement d'un assemblage Ni/Cu. Colloque MECAMAT : Assemblages : des Matériaux à la Structure, Jan 2003, Aussois, France. hal-01961138

HAL Id: hal-01961138

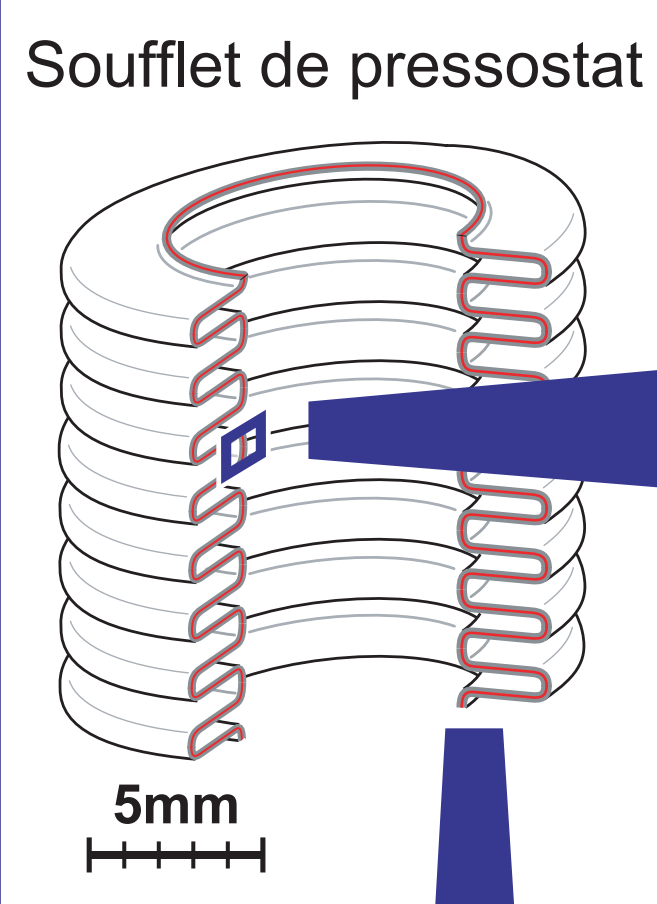
<https://hal.science/hal-01961138v1>

Submitted on 5 Jan 2019

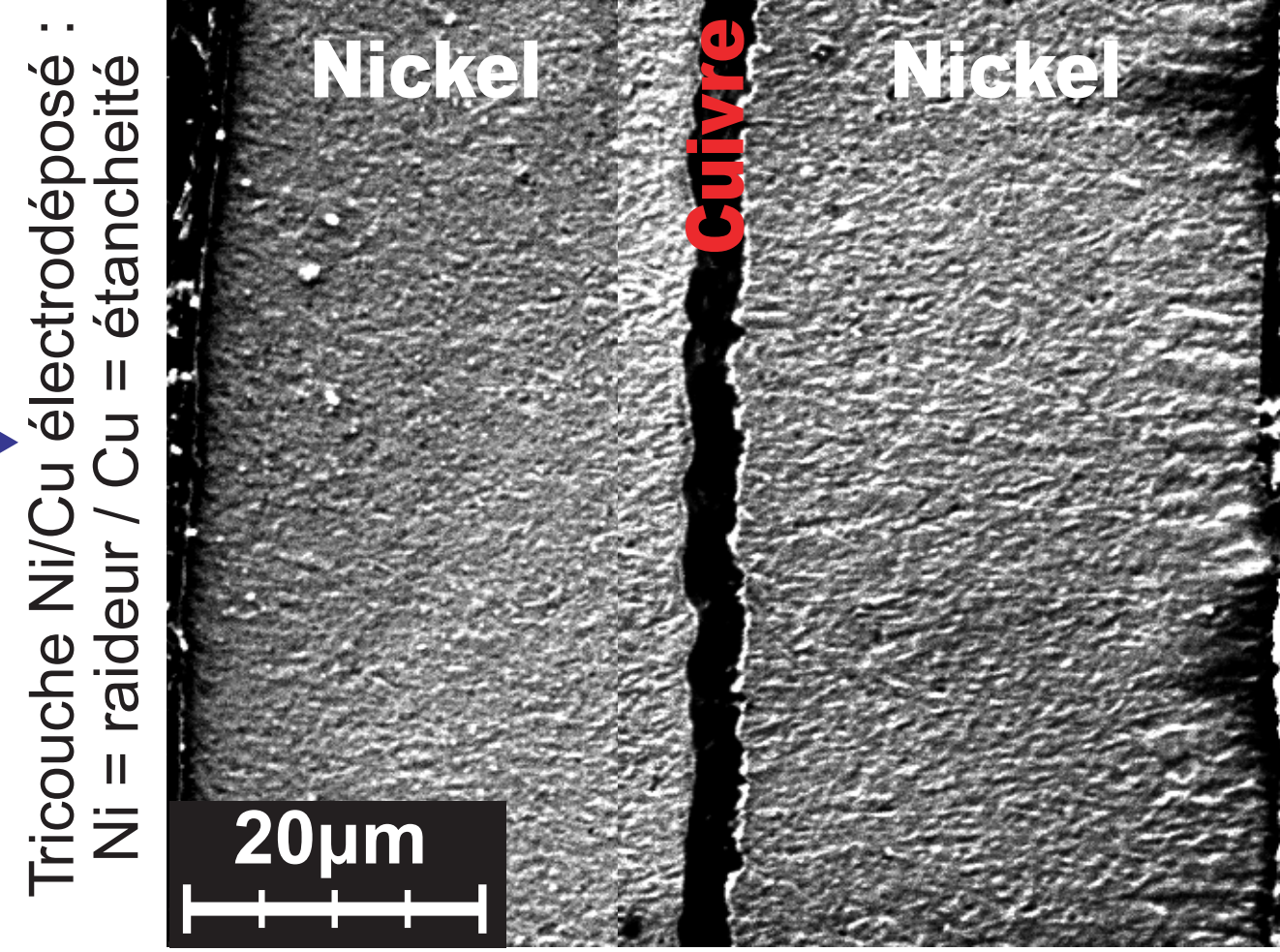
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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.

Présentation du problème de vieillissement



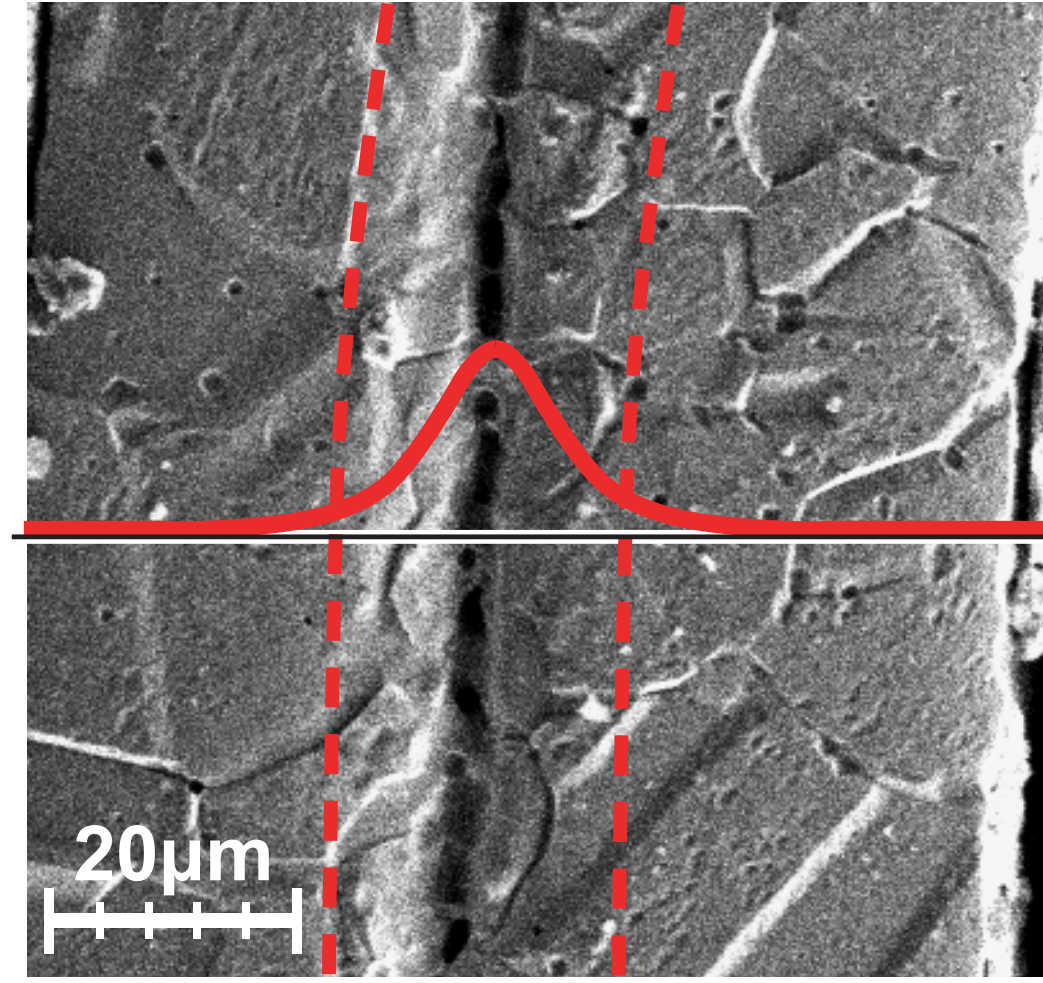
Les soufflets sont soudés au laser sur des interfaces en acier inoxydable



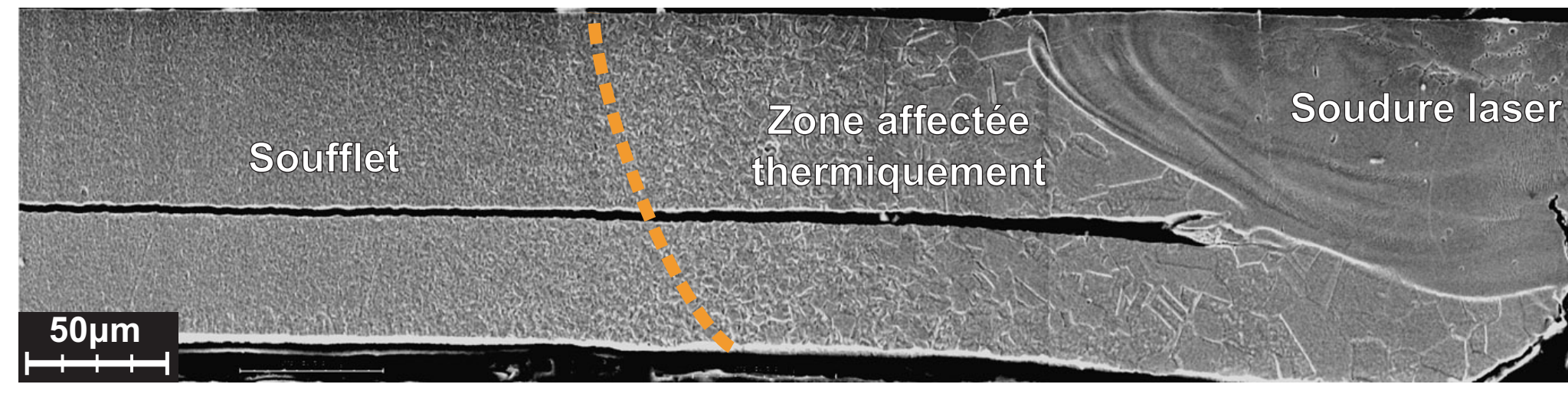
Tricouche Ni/Cu électrodéposé : Ni = raideur / Cu = étanchéité

Micrographie MEB après attaque chimique

Vieillesissement : recristallisation et interdiffusion



Micrographie MEB après attaque chimique (traitement thermique : 780°C/15min)

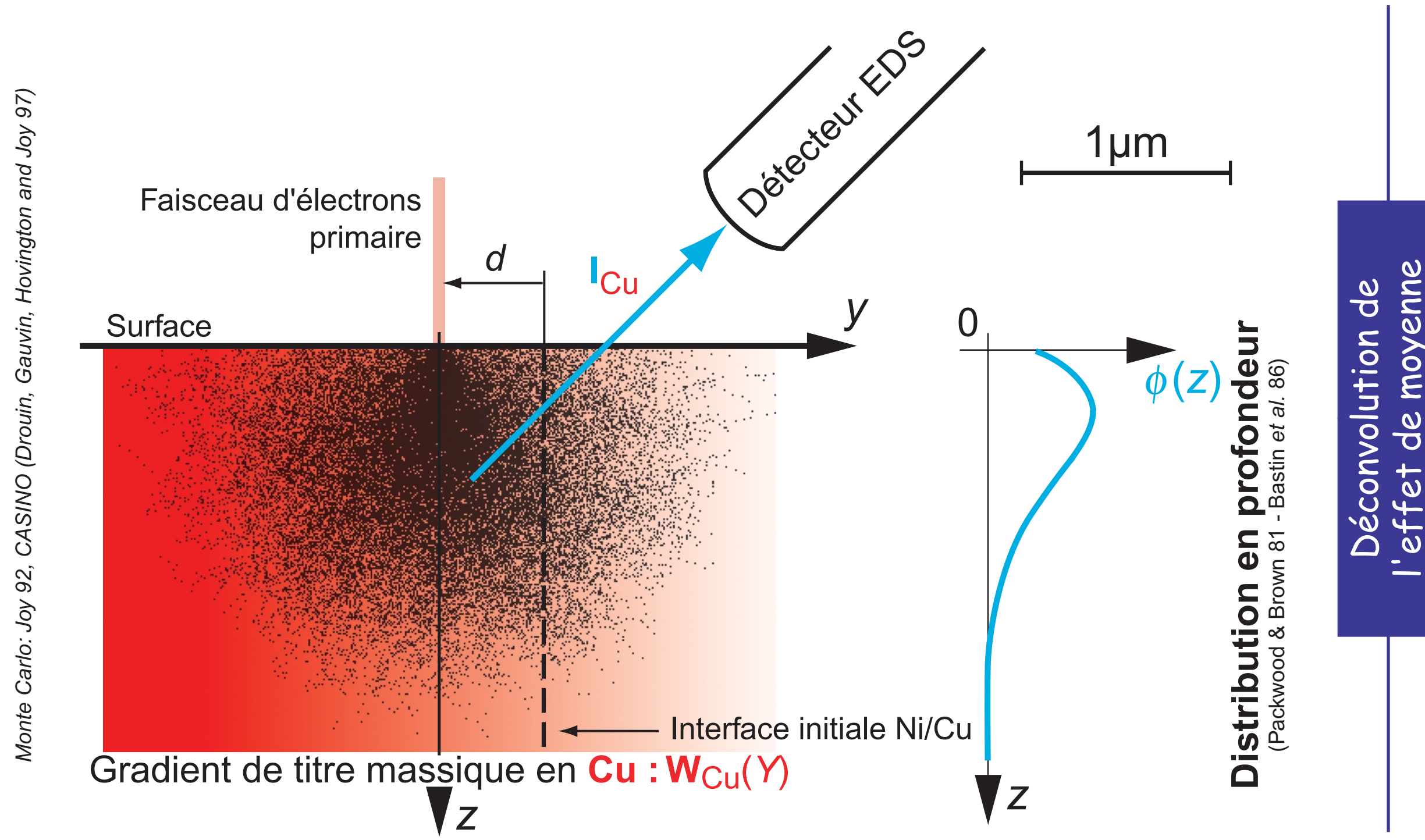


Micrographie MEB après attaque chimique sur une soudure soufflet/acier inoxydable

Quantification des risques de **DEFAILLANCE** =
Quantification de la **PERTE DE RAIDEUR** et de la **PERTE D'ÉTANCHEITÉ** au cours du temps par l'étude des **COUPLAGES PHYSIQUES**

Propriétés du nickel électrodéposé
Grains sub-micrométriques
Nano-poreux
Module d'élasticité ~ 160 GPa
Limite élastique > 760 MPa
Limite à rupture > 960 MPa
Peu ductile
Comportement thermique
Comportement magnétique
Coefficient de diffusion
Recristallisation > Ni standard

Mesures des profils de diffusion par EDS : Déconvolution



Intensité du rayonnement X de Cu en un point de mesure d (Hypothèses : couple de matériaux proches (numéro atomique), détecteur parallèle à l'interface initiale du couple Ni/Cu, interface initiale perpendiculaire à la surface)

$$I_{Cu}(d) = \int_{y=-\infty}^{\infty} \int_{z=0}^{\infty} g_{\sigma}(y) \phi(z) \exp(-(\mu_{Cu}^{Ni/Cu} \rho_{Ni/Cu})(y+d)z/\sin\theta) W_{Cu}(y+d) dy dz$$

Intensité du faisceau d'électrons, efficacité du détecteur, ...

Illustration de l'effet de moyenne : en négligeant l'absorption pour une diffusion à coefficient constant D

$$D_{apparent} = D + \frac{\sigma^2}{2t}$$

Coefficient de diffusion obtenu avec I_{Cu}

Ecart-type de la distribution latérale X

O. Arnould et F. Hild, *Microscopy & Analysis*, July, pp.13-15, 2000

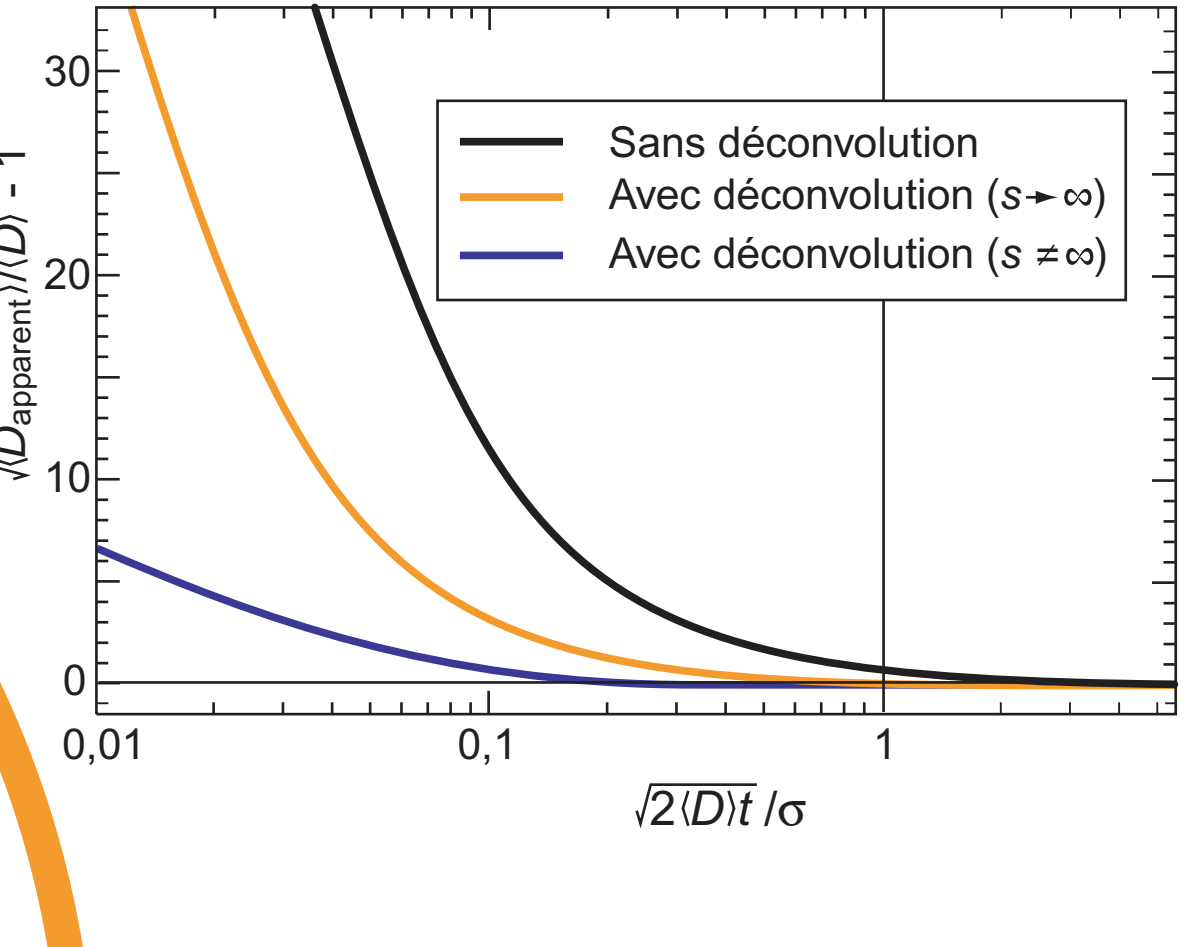
Déconvolution régularisée par minimisation de la fonctionnelle T_{λ} (Demoment et al., 01)

Fonction de régularisation à seuil s = connaissance a priori de la solution

Erreur au sens des moindres carrés pour un bruit de mesure d'écart-type σ_n

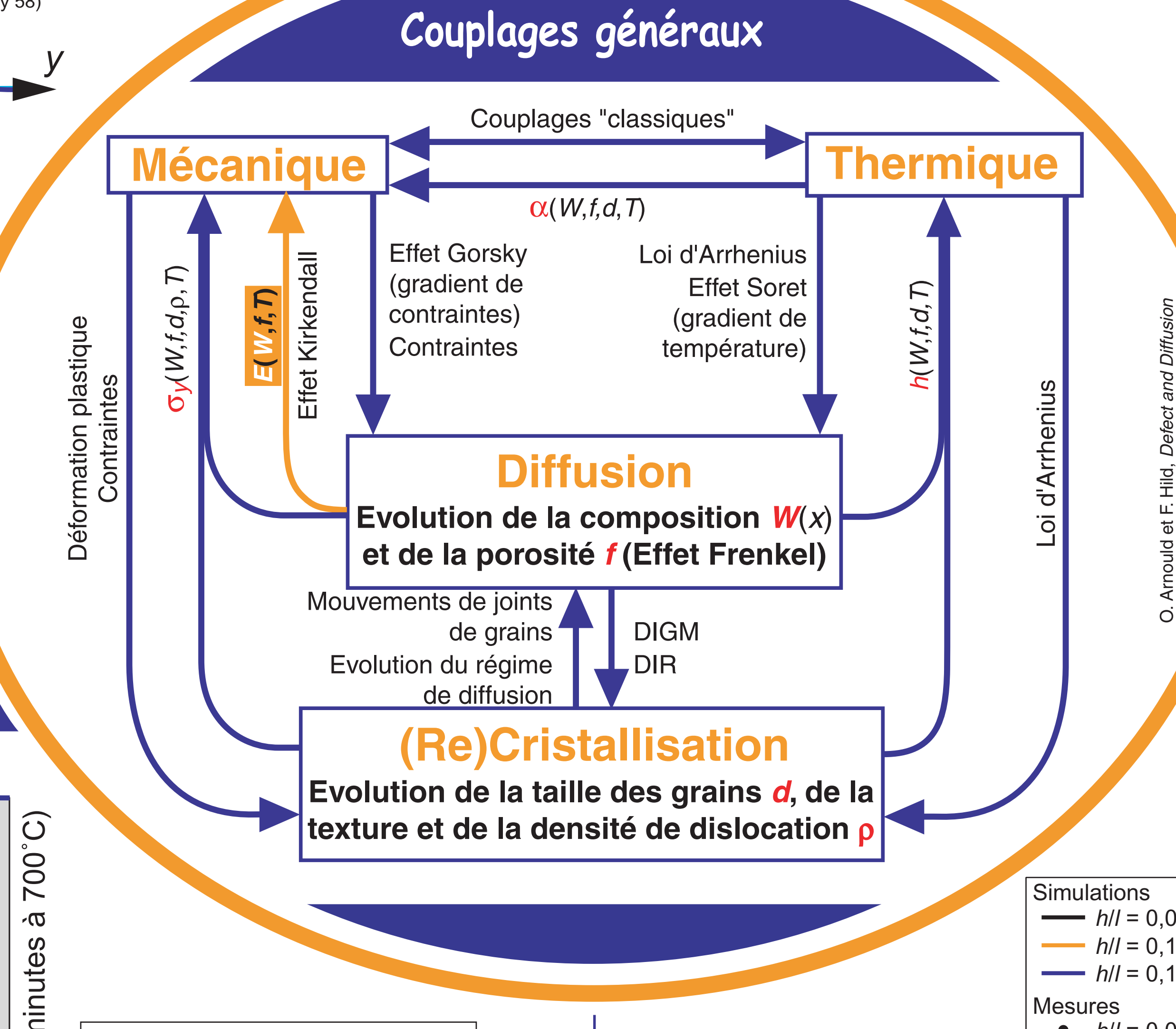
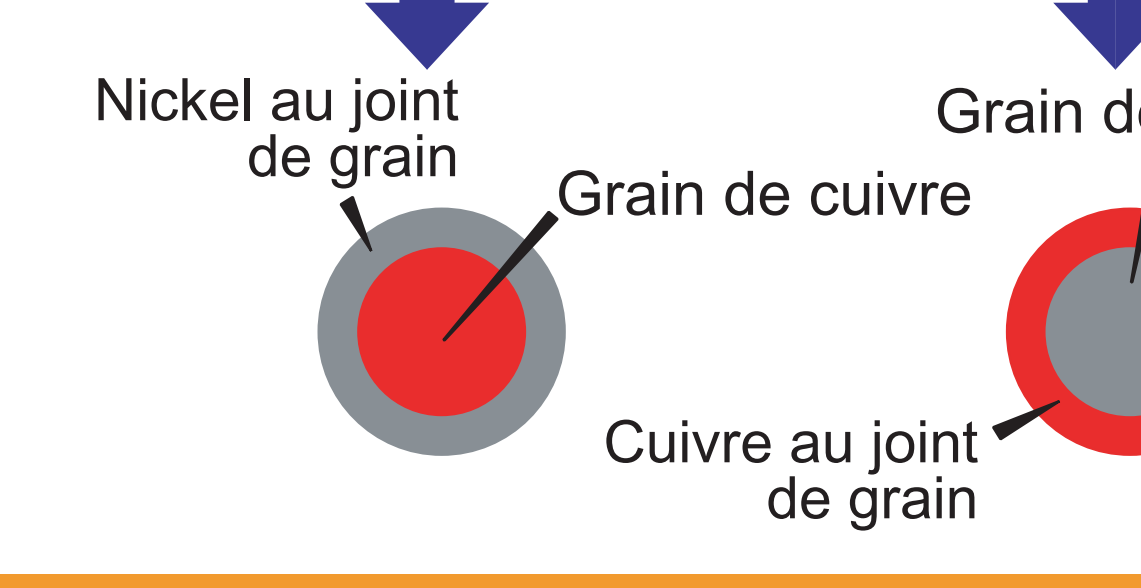
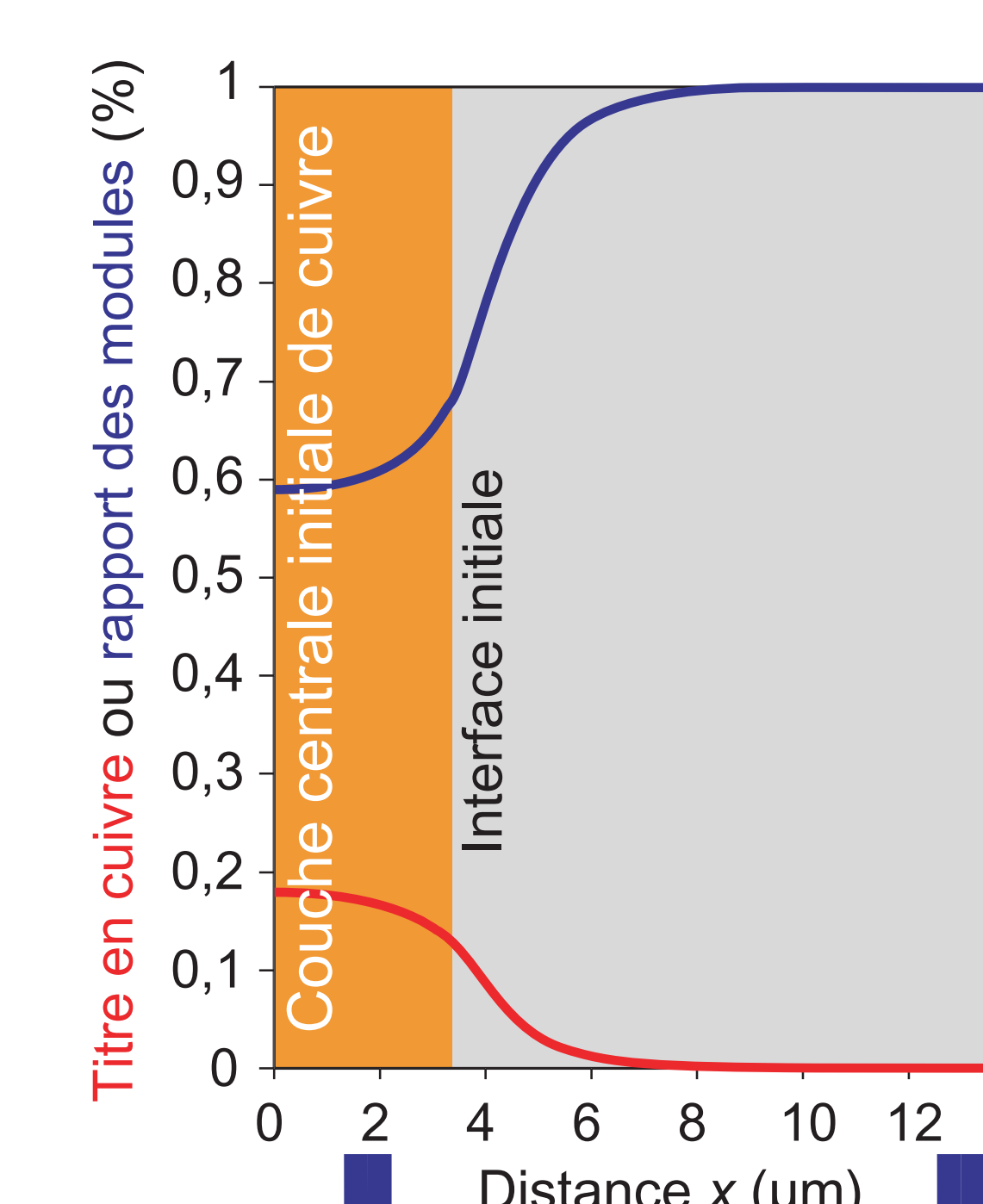
$$T_{\lambda}(W) = \sum_{i=1}^N \frac{(I_i^m - I_i(W))^2}{\sigma_n^2} + \lambda \sum_{i=1}^N \Phi\left(\frac{d^2 W}{dy^2}, s\right)$$

Paramètre de régularisation (déterminé par GCV)



Vieillesissement par diffusion Evolution de la raideur

Première étape d'homogénéisation : comportement élastique microscopique



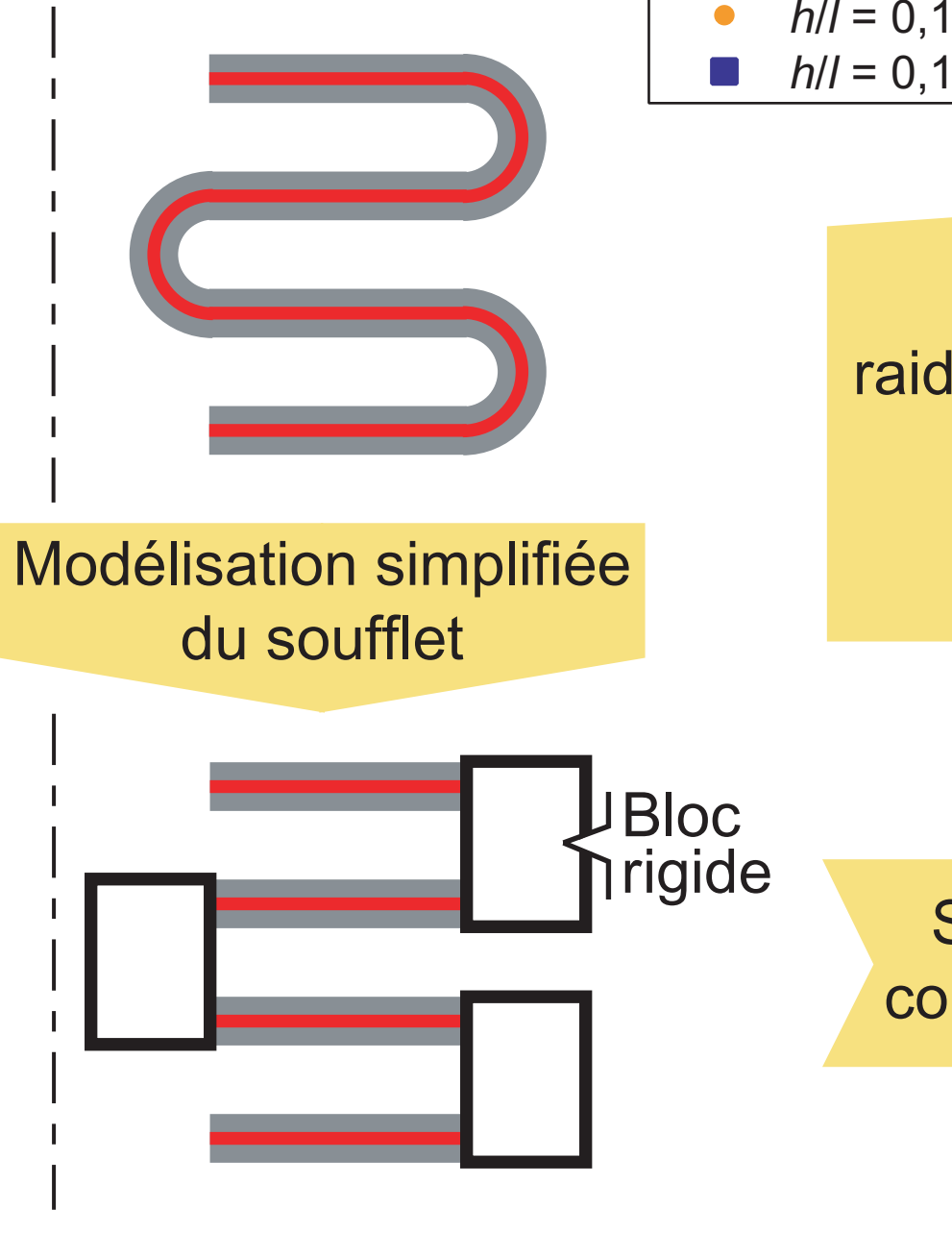
Titre massique en cuivre pour une diffusion pendant 37 minutes à 700°C

Evolution du rapport entre le module élastique homogénéisé $E(x,t)$ et le module de nickel pur

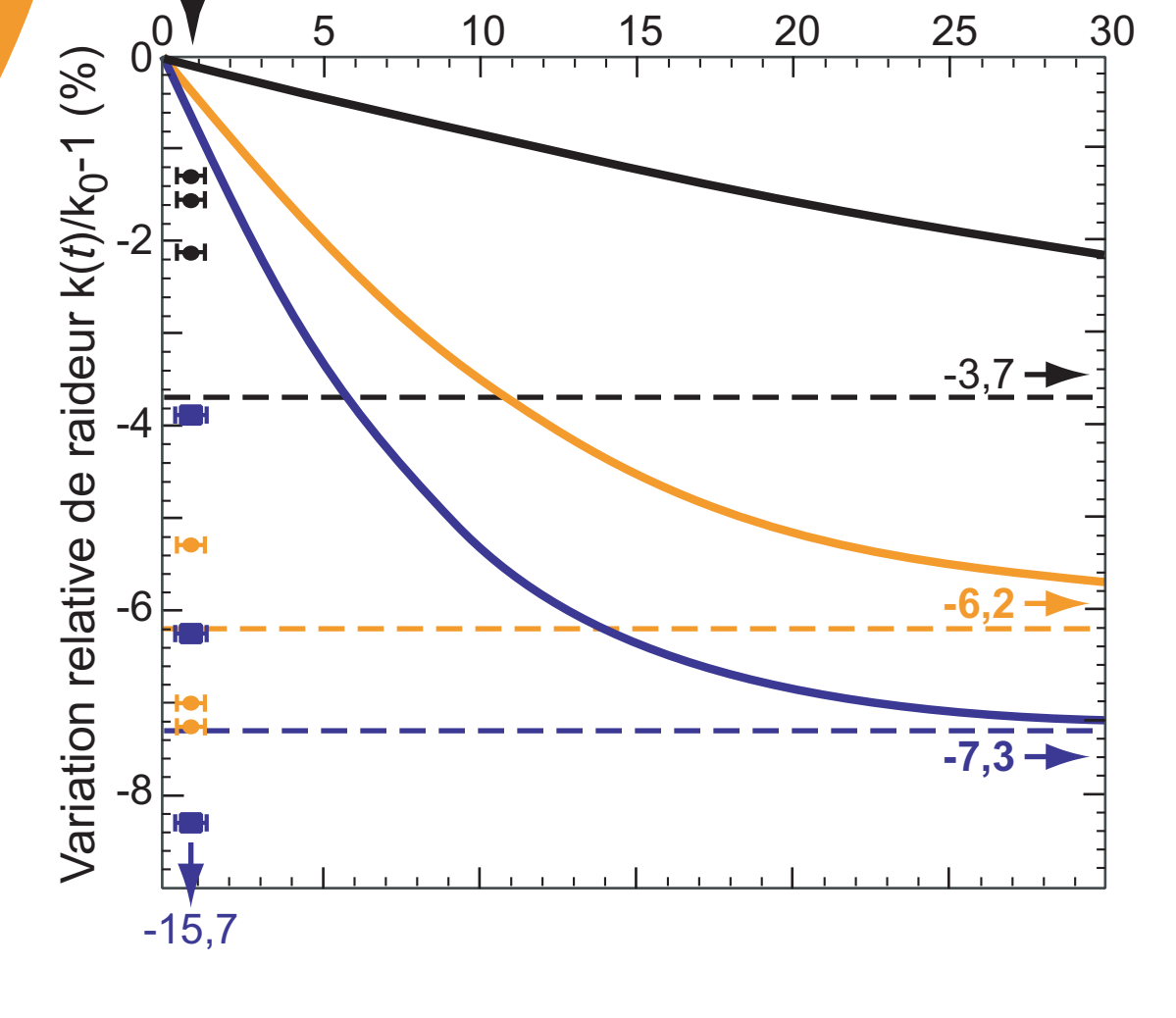
Diffusion principalement transgranulaire pour les températures considérées

Homogénéisation autocohérente à trois phases suivant le matériau qui diffuse aux joints de grains

Deuxième étape d'homogénéisation : raideur macroscopique du soufflet



Homogénéisation composite raideur du soufflet au cours du temps :



$$\frac{k(t)}{k_0} \propto \int_{x=0}^l E(x,t) x^2 dx$$

Soufflet ~ empilement de disque en composite stratifié à couches isotropes

Conclusions

Le vieillissement par interdiffusion de soufflets en Ni/Cu électrodéposés a été identifié à l'aide de mesures fines de courbes de diffusion par EDS dans un MEB grâce à la déconvolution régularisée des mesures brutes. L'utilisation d'une homogénéisation représentative du processus principal de diffusion permet d'évaluer l'évolution de la raideur des soufflets au cours du temps. La comparaison de simulations avec des mesures de raideur montre que le vieillissement par diffusion n'est pas suffisant pour rendre compte du vieillissement réel. Le mécanisme principal de vieillissement est en cours d'étude et repose sur la modification du comportement (élasto)plastique du nickel lors de sa (forte) recristallisation. Il sera, de plus, nécessaire de mieux quantifier le couplage de la diffusion avec la recristallisation. Enfin, la défaillance du composant par perte d'étanchéité est en cours de développement et repose sur l'analyse de la fatigue à grand nombre de cycles des soufflets. Celle-ci est réalisée grâce à un montage spécifique dans une machine de fatigue résonante à moyenne fréquence.