



**HAL**  
open science

# Diffusion du chrome dans un alliage à base de nickel Application à la problématique de la Corrosion sous Contrainte de l'Alliage 600 en milieu primaire des Réacteurs à Eau Pressurisée

M. Maisonneuve, C. Guerre, J. Nguejio-Nguimatsia, Cecilie Duhamel

► **To cite this version:**

M. Maisonneuve, C. Guerre, J. Nguejio-Nguimatsia, Cecilie Duhamel. Diffusion du chrome dans un alliage à base de nickel Application à la problématique de la Corrosion sous Contrainte de l'Alliage 600 en milieu primaire des Réacteurs à Eau Pressurisée. Journées de soutenance des étudiants de l'ENSIACET, Sep 2016, Toulouse, France. cea-02439448

**HAL Id: cea-02439448**

**<https://cea.hal.science/cea-02439448>**

Submitted on 26 Feb 2020

**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.

# Diffusion du chrome dans un alliage à base de nickel : Application à la problématique de la Corrosion sous Contrainte de l'Alliage 600 en milieu primaire des Réacteurs à Eau Pressurisée



CEA / Catherine GUERRE, Josiane NGUEJIO-NGUIMATSIA  
Mines-Paristech / Cécilie DUHAMEL

Maisonneuve Marc

IMAT/DMS

## Contexte/Objectifs

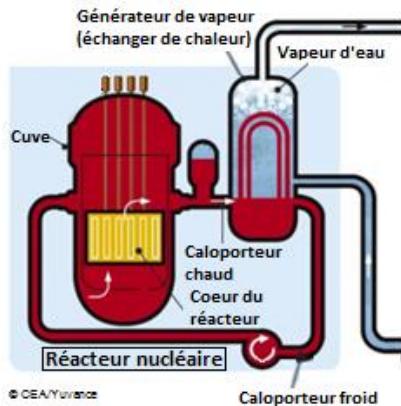
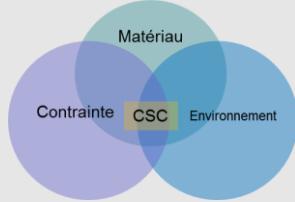
### Contexte

Corrosion sous contrainte de l'Alliage 600 dans le circuit primaire des Réacteurs à Eau Pressurisée (REP)

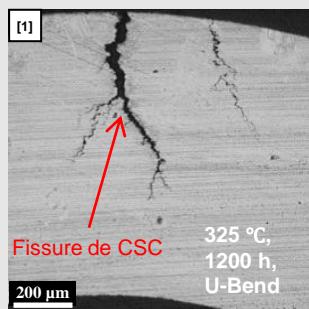
75 % de la production française

Alliage 600 (Ni-15Cr-10Fe)  
↔ Tubes de générateurs de vapeur (GV)  
↔ Pièces massives (circuit primaire)

Corrosion sous contrainte (CSC)

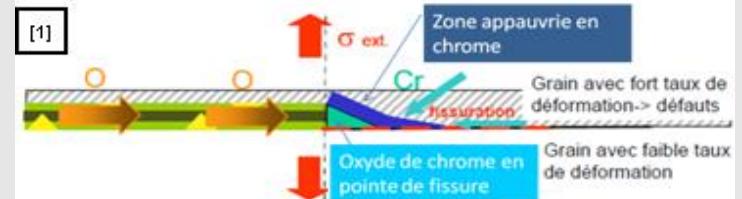


Exemple de fissure de CSC



Modèle de CSC de l'alliage 600 en milieu primaire REP de Laghoutaris [1]

Propagation de fissure :  
Oxyde de chrome en pointe  
+  
Zone déchromée  
↓  
Fragilisation du joint de grains



Hypothèse : Etape limitante de la propagation de la fissure de CSC ↔ Diffusion du Cr (et non de O)

Or, diffusion en volume du Cr à 350°C → Insuffisant pour expliquer la taille de la zone déchromée

Zone déchromée : 20 nm formés en 6300s [2]  
→ D nécessaire =  $6 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2/\text{s}$  [3]

D théorique =  $1 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2/\text{s}$   
(extrapolation de données de la littérature) [3]

Hypothèse : Effet accélérateur du taux de défauts sur la diffusion [1]

Travaux de Chetroui [2] → Pré-déformation ne suffit pas à former une telle zone déchromée

Dislocations mobiles nécessaires ? [2]

Thèse de Nguejio [3] en cours : montrer l'effet accélérateur de la plasticité sur la diffusion du chrome

### Objectifs

Montrer qu'il existe un couplage plasticité-diffusion dans l'alliage 600 susceptible d'expliquer la taille de la zone déchromée et son caractère dissymétrique

## Principaux Résultats

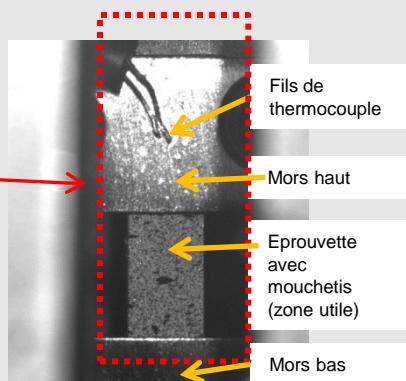
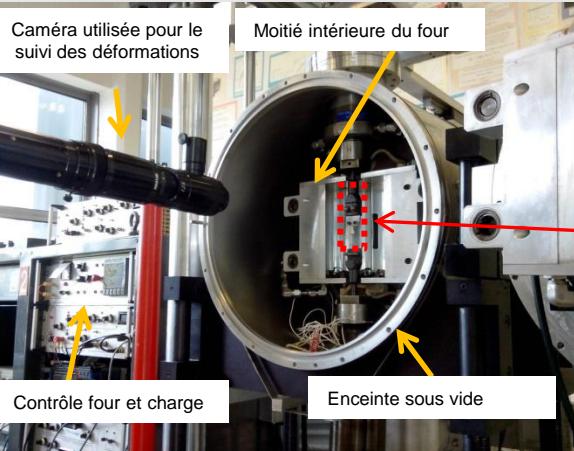
### Démarche

Réalisation d'essais de diffusion sous charge, dans le domaine plastique

- À plusieurs niveaux de contrainte
- Sous vide secondaire à 350 °C et 500 °C
- Avec suivi des déformations par corrélation d'images

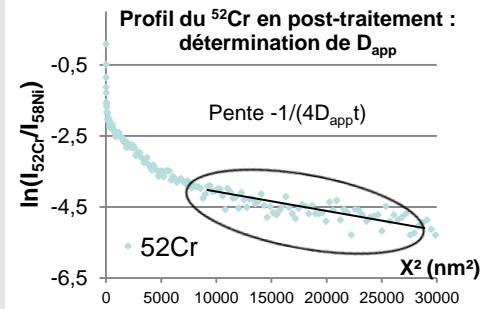
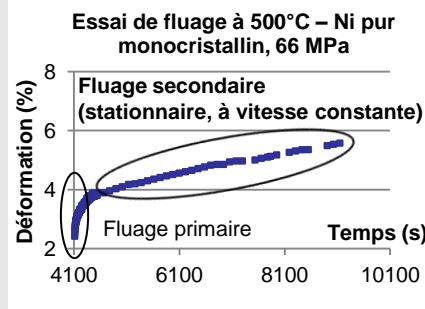
Mesure de coefficients de diffusion du chrome par spectrométrie de masse d'ions secondaires (SIMS) après essai

Différents niveaux de contrainte  
↓  
Différentes vitesses de fluage  
↓  
Variation de la densité et de la mobilité des dislocations



Matériaux étudiés de plus en plus proches de l'alliage industriel :  
Ni pur monocristallin ↔ Alliage 600 à gros grains  
Pas d'effet des éléments d'alliage ni des joints de grains → Taille de grains plus favorable à l'étude

### Résultats



Mesure des coefficients de diffusion :

- Obtention de profils SIMS
- Application de la solution « Couche mince » de la seconde équation de Fick
- Exploitation de la partie linéaire du profil de diffusion pour déterminer le coefficient de diffusion apparent ( $D_{app}$ )

Analyse SIMS au laboratoire GEMaC (Université de Versailles-Saint-Quentin, François Jomard)

$$C(x,t) = \frac{Q}{\sqrt{D_{app}t}} \exp\left(-\frac{x^2}{4D_{app}t}\right)$$

Quelques résultats à 500 °C :

Ni pur monocristallin	Contrainte (MPa)	$\dot{\epsilon}$ ( $\text{s}^{-1}$ )	D ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )
Nguejio [3]	Pas de contrainte appliquée	-	$4,0 \pm 0,2 \cdot 10^{-17}$
Nguejio [3]	60	$5,6 \cdot 10^{-7}$	$7,7 \pm 0,1 \cdot 10^{-17}$
Cette étude	66	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \pm 0,2 \cdot 10^{-16}$
Cette étude	70	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \pm 0,1 \cdot 10^{-15}$
Nguejio [3]	74	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$4,2 \pm 1 \cdot 10^{-15}$

## Conclusion et perspectives

Résultats pour le Ni à 500 °C complètent ceux de Nguejio [3] – en cohérence avec un couplage diffusion-plasticité

Essais identiques en cours pour Ni monocristallin à 350 °C et alliage 600 à gros grains  
→ Modélisation de la zone déchromée de l'alliage 600 en milieu primaire REP

[1] adapté de Laghoutaris, P., Corrosion sous contrainte de l'alliage 600 en milieu primaire des réacteurs à eau sous pression : apport à la compréhension des mécanismes, thèse MINES Paristech, 2009  
[2] Chetroui, B.-A., Corrosion sous contrainte de l'Alliage 600 en milieu primaire des REP : étude de la diffusion du chrome, thèse MINES Paristech, 2015  
[3] Nguejio, J., et al., HTCPM 2016 - 9th International Symposium on High-Temperature Corrosion and Protection of Materials / 15 - 20 May, 2016