



Elaboration d'une sonde pour l'analyse de traces d'oxygène dissous dans le sodium liquide

NEEDS 2014

Projet Fédérateur Systèmes Nucléaires

Axe 5 : Instrumentation et les technologies pour les réacteurs du futur

LEPMI (*UMR 5279 : CNRS – Université de Grenoble Alpes*)

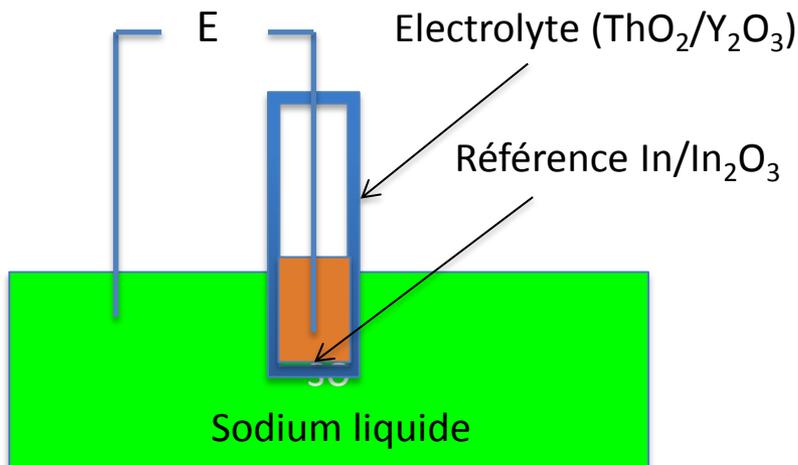
Marlu Cesar STEIL, Jacques FOULETIER

CEA Saclay - DPC-SCCME-LECNA

Jean-Louis COUROUAU, Anthony.MUCCIOLI

V. LORENTZ

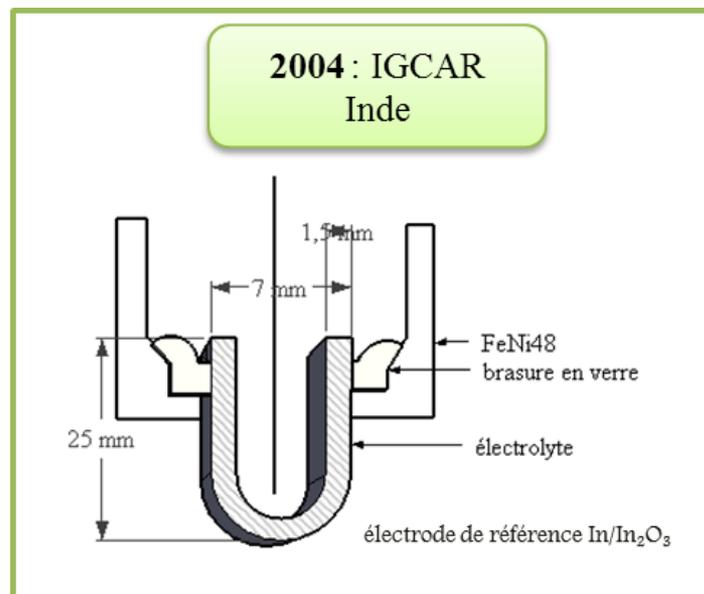
Rappel du fonctionnement d'une sonde potentiométrique



$$E = \frac{RT}{4F} \ln \frac{a_{((O))_{Na}}}{a_{\langle\langle O \rangle\rangle_{ref}}}$$

Sonde potentiométrique en thorine (ThO₂) yttrée, depuis les années 70

*Westinghouse (1968-1978); Harwell (1975-1985), MkII
EDF-CEA (1986), Oxyfra; General Electric (1974);
Harwell (1983), MkIII*

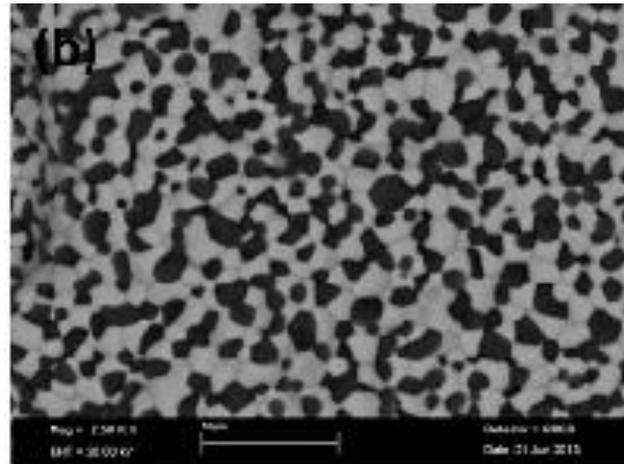


Retour d'expérience :
Fragilité au niveau de l'électrolyte et de la brasure

Très bonne tenue de l'Alumine dans Na Liquide (2)

2013 : *Elaboration et caractérisation de céramiques du type $\text{HfO}_2\text{-x}\%\text{Y}_2\text{O}_3$;*
x : 1, 10 et 15 %mol,

2014 : *Composites H10Y50A (50vol.%Alumine)*



Comportement en sodium

Essais réalisés dans CORRONa en conditions sévères (T, O)

n°	T, °C	t, h	[O], µg/g
essai β10	450	1000	40
essai α14	550	250	200
essai β13	550	3028-4600	1-10

- $HfO_2-x\%Y_2O_3-y\%vol. Al_2O_3$: x : 1, 10 et 15 %mol., y = 0 ou 50 %vol.

Paramètres :

- Pureté céramique ($SiO_2...$) et sodium (oxygène)
- Taille de grain, densité et porosité (type et proportion)
- Durée et température d'exposition au sodium
- Etude en conditions sévères sachant qu'à 350-400°C, ces effets seront beaucoup moins rapides

Effets observés :

- 1- Variation de masse (dissolution, produits de réaction ou pénétration sodium)
- 2- Pénétration du sodium : dégradation limité en surface ou en volume et une modification du faciès de rupture
- 3- Décoloration en surface et sur un front de réaction (lacunes)



Banc d'essais CORRONa a&b (Système étanche en BâG, 2,3 kg de Na, statique, creuset Mo, 30 000 h d'essais depuis 2010)



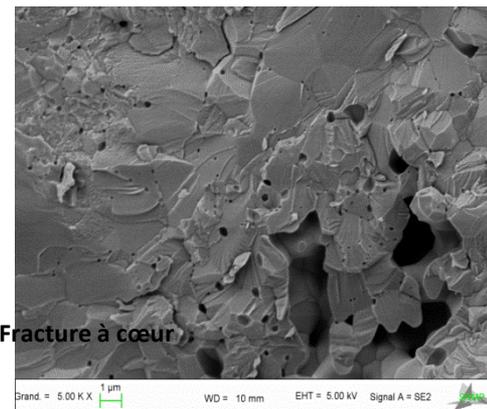
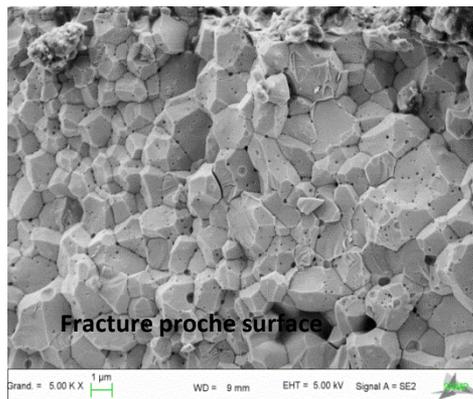
H10Y : - 40 mg/dm²



Inter/intra 50µm



fracture

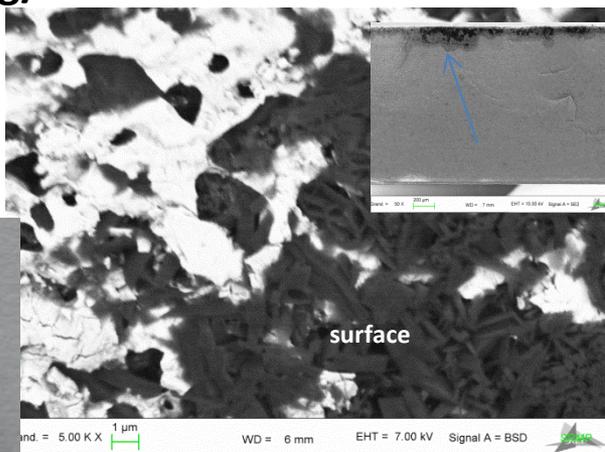


H10Y50A : +72 mg/dm²

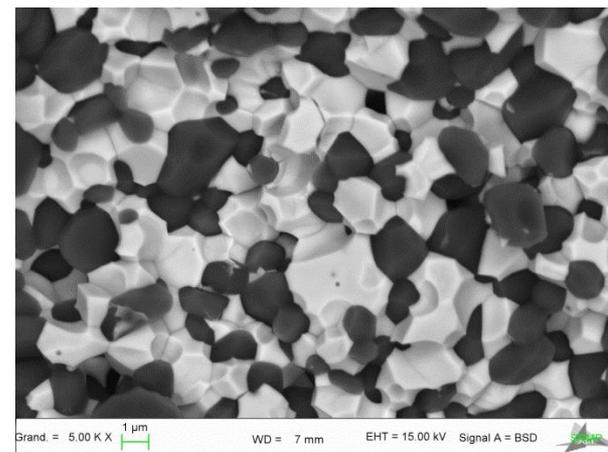
Bords abimés



fracture

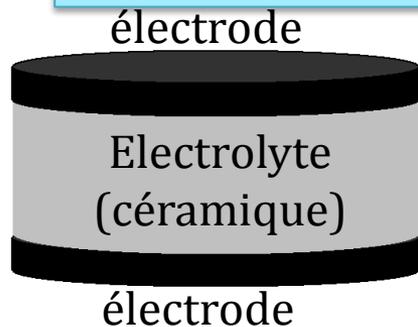


Fracture à cœur



➤ Effet de l'alumine = variation de masse, insertion sodium significative, mais pas sur la totalité de l'épaisseur

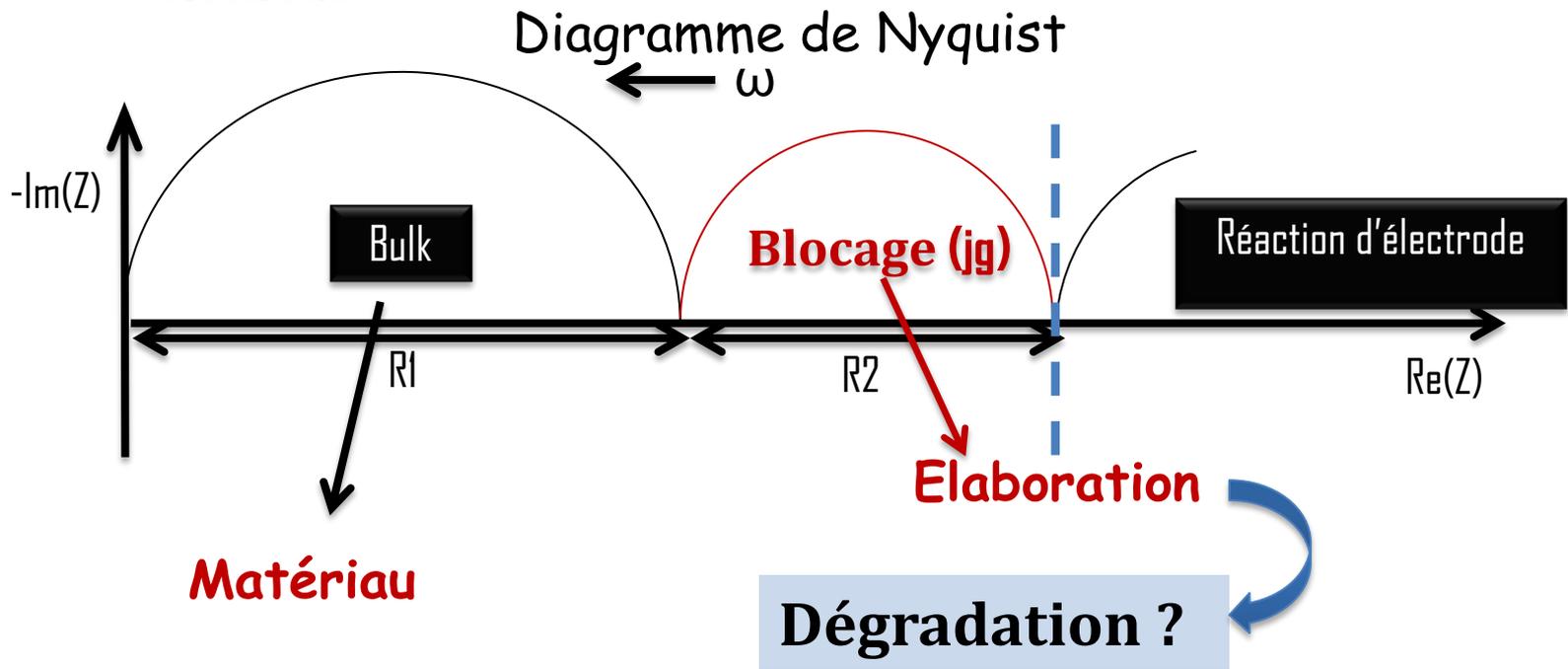
Spectroscopie d'impédance



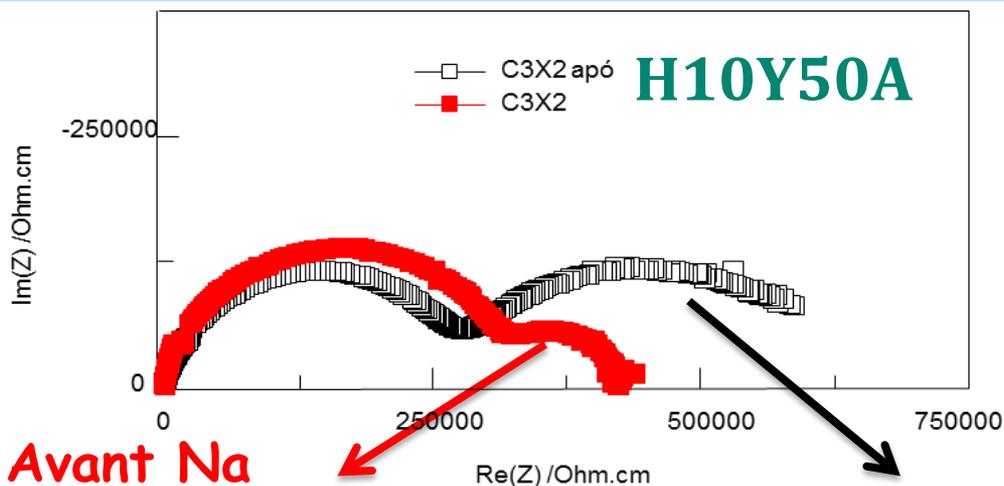
$$U = Ae^{-j\omega t}$$

$$I = Be^{-j\omega t + \phi}$$

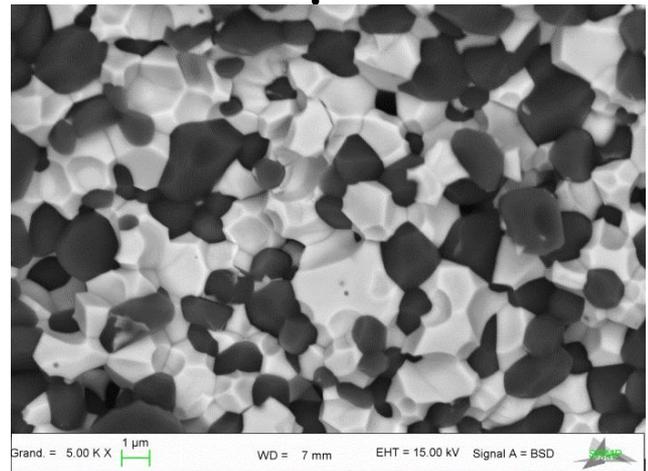
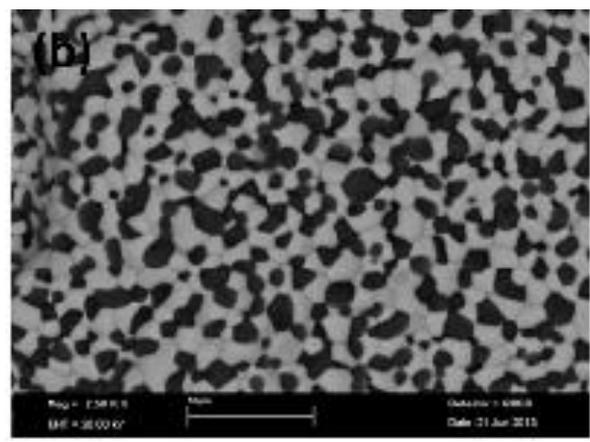
$$Z_{\text{systeme}}(\omega) = \frac{U(\omega)}{i(\omega)}$$



Emploi de la spectroscopie d'impédance pour la caractérisation des matériaux soumis à des conditions extrêmes



Modification importante aux basses fréquences: Joints de Grains!



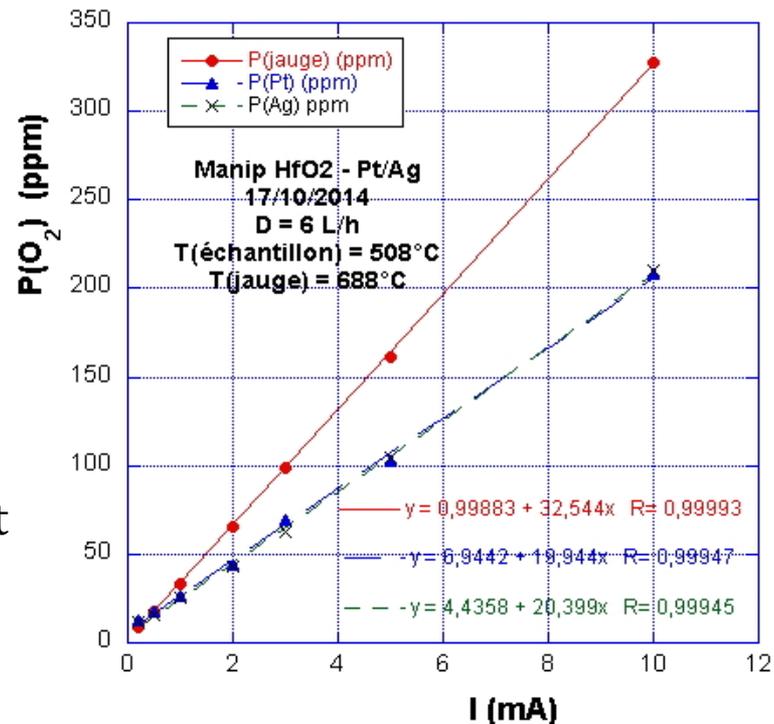
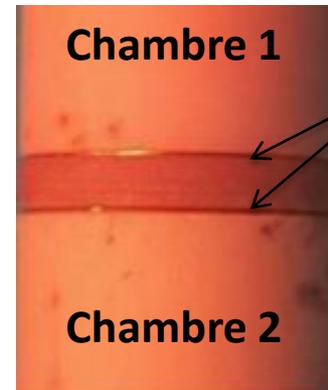
Changements de la microstructure
 Déchaussement des grains visible au MEB-FEG

Premiers tests de la sonde composite : système gaz/gaz

Dispositif spécifique au LEPMI



Vérification du fonctionnement
Ar - O₂ ($P(O_2) < 3 \times 10^{-4}$ bar)



2014 : cellule prototypique

□ Volet céramiques pour sonde oxygène – compatibilité Na

- HfO_2 dopée Y_2O_3 : tubes sont prêts

□ Banc de test de cellule prototypique

- Conception d'un banc de test dédié (autre que CORRONA), adapté à la qualification (étalonnage préliminaire, test de sensibilité, durée de vie...) de sondes prototypiques en sodium.
- *Les premiers éléments d'un banc en pyrex (cellule, creuset, potentiomètre) sont prêts à être testés.*
- Un autre banc en acier 316L est en cours de fabrication.



Merci pour votre attention!!

Merci à NEEDS