

DÉDICASSE : DÉtecteur Diamant Cvd pour la mesure de la radioactivité Alpha in Situ en Solutions et Eaux

Jean-Emmanuel Groetz, Christophe Mavon

Laboratoire Chrono-Environnement UMR CNRS 6249, Université de Franche-Comté, Besançon

Lynda Saidani, Bruno Vuillemin

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne UMR CNRS 6303, Université de Bourgogne, Dijon

Sébastien Colas, Nicolas Saurel

CEA, Centre de Valduc, 21120 Is-sur-Tille



Contexte : radioactivité α en milieu liquide

Besoin mesures α

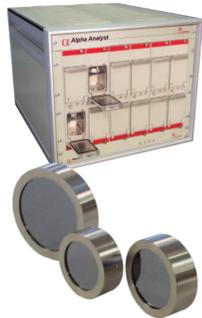
- Activité totale des effluents liquides aval cycle du combustible
- Spectrométrie pour caractérisation actinides
- Surveillance environnementale
 - eaux contaminées (rejets accidentels, mines et déchets)
 - lixiviats de STEP ou de décharges
 - eaux potables (robinet, sources)

Spectrométrie α actuelle

- Diodes Si passivées (PIPS®)
 - Mesures en chambre à vide à l'abri de la lumière
 - Nécessité d'une préparation/séparation chimique
- Diodes Si mesure ambiante (CAM PIPS®)
 - utilisables à l'air libre
 - résistantes à la corrosion et à l'humidité

Mesures en milieu liquide impossible

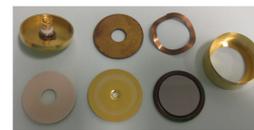
Pas de mesures en temps réel



Amélioration du procédé d'assemblage

L'amélioration du procédé initial est primordiale, car nous partions d'une diode commerciale encapsulée et d'une électrode BDD montée sur un wafer Si avec des couches intermédiaires de SiO_2 et Si_3N_4 .

	2018-2019	DÉDICASSE	Avantages
Base BDD	Wafer Si (111)	Wafer Si (100)	Si (100) moins résistant
Isolant	SiO_2 (~ 500 nm)		seulement sur BDD
Accroche	Si_3N_4 (~ 200 nm)		pas nécessaire
Électrode	BDD (~ 300 nm)	BDD (~ 300 nm)	diamètres 1" et 2"
Diode	PIPS® désencapsulée	PIPS® 1" et 2" sur plaque céramique	planéité requise pour collage Au



Désencapsulation



Wafer Si + diode

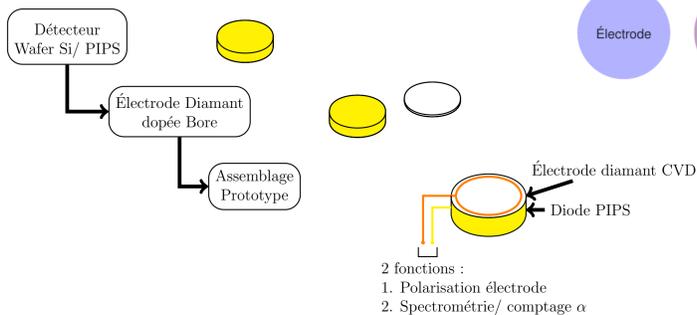
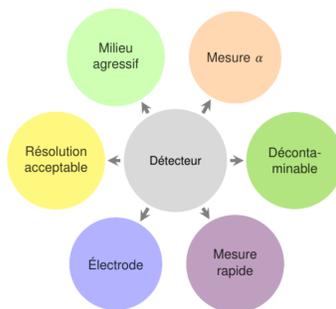


Diode PIPS+ électrode BDD

Objectif : réalisation d'un détecteur blindé

Fonctions essentielles :

- Formation de la source α en surface du détecteur
 - concentration des actinides
- Immersion du détecteur en solution
 - réalisation d'un détecteur blindé doté d'une électrode diamant CVD dopé bore (BDD)



- 2 fonctions :
- Polarisation électrode
 - Spectrométrie/ comptage α

Choix d'une cellule de mesure

Il s'avère nécessaire de disposer d'une cellule de mesure permettant la concentration des actinides en surface de l'électrode BDD. Deux types de cellule électrochimique ont été sélectionnées :

Cellule de Lewis à agitation mécanique (Thèse N. Schmitt)

- Agitation à ~ 600 tours/min
- Condition : écoulement laminaire au niveau de la cathode BDD
- Création d'une couche de diffusion de ~ qq μm en surface du capteur
- Gradient de pH et électroprécipitation des actinides par réduction de O_2 dissous

Conditions difficiles à maîtriser

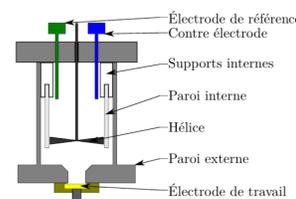
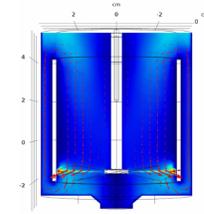
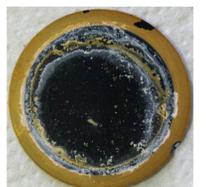


Schéma cellule de Lewis



Simulation MEF de la vitesse d'écoulement

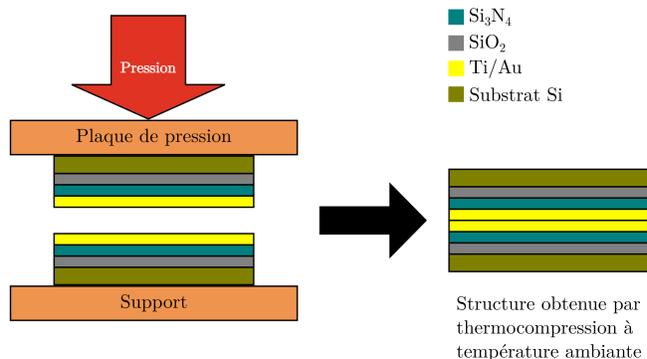


Dépôt de Th sur électrode BDD

Choix de la technologie d'assemblage

Collage par thermocompression à T° ambiante (Thèse N. Schmitt, 2019)

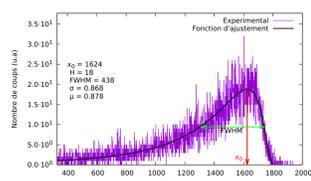
- Croissance BDD sur diode PIPS® problématique (zone morte, décohésion)
- Collage à l'or : pas de traitement thermique entraînant le recuit de la diode
- Dépôts SiO_2 , Si_3N_4 et Ti/Au sur électrode BDD et Ti/Au sur diode PIPS®
- Nécessité d'enlever support Si et dépôts initiaux (érodage méca., gravure ionique)
- Procédé réalisé en collaboration avec Florent Bassignot (Femto-Engineering, Besançon)



- Encapsulation du nouveau détecteur
- Préservation des propriétés du détecteur



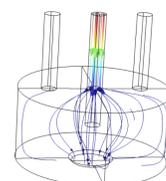
Prototype 2019



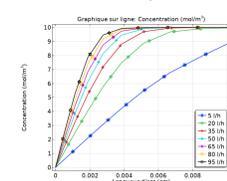
Spectre α de ^{239}Pu

Cellule à écoulement de type wall-jet (projet DÉDICASSE)

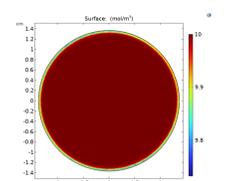
- Cellule avec une buse d'entrée projetant un flux perpendiculaire au détecteur
- Simulation numérique par la méthode des éléments finis (MEF) des conditions d'écoulement laminaire au niveau de la cathode BDD (éq. de Navier-Stokes)
- Paramétrage des rayons des buses, des distances buse entrée-détecteur, des buses de sortie et du débit de la solution pour la création d'une couche de diffusion



Lignes du flux diffusif (simulation MEF)



Distribution de la concentration à proximité de l'électrode BDD



Concentration à 1 mm de l'électrode BDD

Références

- F. Bassignot, E. Courjon, G. Ulliac, S. Ballandras, J.-M. Lesage, R. Petit, *Acoustic resonator based on periodically poled transducers : Fabrication and characterization*, J. Appl. Phys. 112 (2012) 074108.
- N. Schmitt, *Faisabilité et réalisation d'un détecteur silicium/électrode diamant CVD pour la spectrométrie α en milieu liquide*, Thèse de doctorat de l'UBFC, soutenue le 10/12/2019.
- N. Schmitt, S. Colas, N. Saurel, F. Bassignot, B. Vuillemin, J.-E. Groetz, *Detector-electrode for alpha spectrometry in water sample, numerical and early feasibility investigation toward thermocompression bonding assembly*, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research A, 963 (2020) 163270.