

H2MEMS

Microsystèmes résonants pour la détection d'hydrogène dans les ouvrages de stockage de déchets radioactifs

Projet accompagné par l'Andra dans le cadre du programme « Nucléaire de Demain » des Investissements d'avenir - Sélectionné lors de l'appel à projets Andra « Optimisation de la gestion des déchets radioactifs de démantèlement », organisé en coopération avec l'ANR.

Durée : 4 ans

Démarrage du projet :
04/2017

Montant total projet : 2,3 M€

**Dont aide du programme
Investissements d'Avenir** :
537 k€

Forme de l'aide : Subvention

Localisations :

Bordeaux (33), Nice (06),
Toulouse (31), Tours (37)

Coordinateur : Laboratoire
de l'Intégration du Matériau au
Système (IMS, CNRS), Université
de Bordeaux

Partenaires :

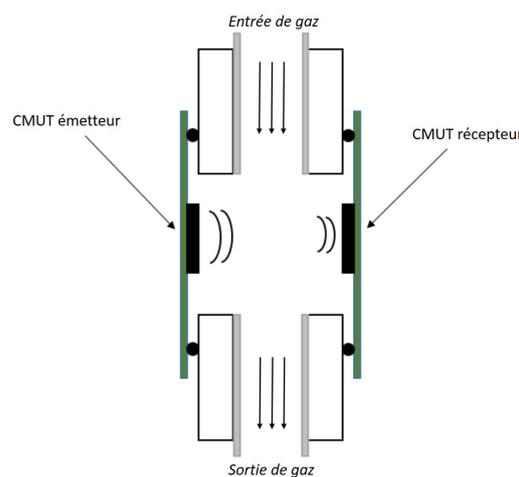
- Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS-CNRS)
- Groupe de Recherche en Matériaux, Microélectronique, Acoustique et Nanotechnologies (GREMAN - CNRS)
- Centre de Recherche sur l'Hétéro-Epitaxie et ses Applications (CRHEA - CNRS)

Contact : Isabelle DUFOUR,
isabelle.dufour@ims-bordeaux.fr

CONTEXTE

Les déchets radioactifs français les plus actifs (moyenne activité à vie longue, haute activité) sont prévus pour être stockés en profondeur (à - 500 mètres environ), dans le futur centre de stockage géologique Cigéo. La présence d'une quantité importante de matériaux métalliques parmi ces déchets (métal issu des assemblages de combustibles usés par exemple) ainsi que dans les éléments d'ouvrage (conteneurs de déchets, armatures métalliques des structures en béton armé, etc.) va entraîner la production d'hydrogène par corrosion de ces métaux en milieu anoxique (corrosion par l'eau en l'absence d'oxygène).

Au-delà d'une certaine quantité, l'hydrogène peut présenter un risque d'explosion en présence d'oxygène. L'Andra fixe pour cela une limite au taux de dégazage en hydrogène des colis, qui fera l'objet de contrôles.

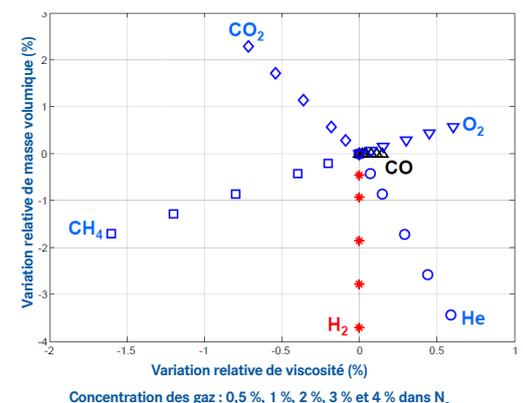


► Figure 1 : Principe de fonctionnement du capteur (simplifié) : des membranes cMUT sont placées face à face, séparées par le gaz à mesurer. Un signal est émis au niveau du CMUT émetteur, et on mesure au niveau du CMUT récepteur les propriétés acoustiques du signal transmis. La comparaison à un signal de référence permet d'en déduire la composition du milieu gazeux, ici la teneur en hydrogène.

Par ailleurs, pour éviter le risque d'explosion, les installations souterraines et de surface seront ventilées pendant toute la période d'exploitation du stockage, comme c'est le cas des installations d'entreposage dans lesquelles se trouvent actuellement ces déchets. Il s'agit d'éviter l'accumulation de gaz et de rester bien en dessous de la « limite inférieure d'explosivité » de l'hydrogène qui est de 4 %. Enfin, des dispositifs de surveillance seront mis en place pour détecter toute anomalie sur le fonctionnement de la ventilation. C'est l'objet du projet H2MEMS.

OBJECTIFS

Le projet H2MEMS propose de développer et d'optimiser des capteurs d'hydrogène à base de microsystèmes électromécaniques (MEMS) résonants. Il s'agit de composants électroniques de taille micrométrique utilisant des éléments mécaniques couplés à de l'électronique pour réaliser des mesures : ils intègrent ainsi une partie mobile sensible à la variation d'une grandeur physique (vitesse, pression, etc.). Cette variation est convertie en une grandeur électrique,

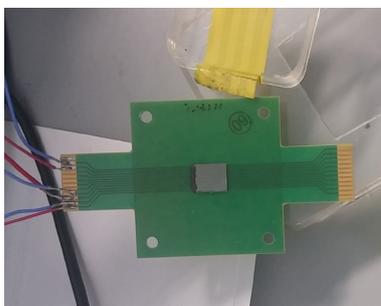


► Figure 2 : Évolution pour différents mélanges gazeux de la masse volumique en fonction de la viscosité. Ces deux grandeurs permettent donc de discriminer les mélanges gazeux.



■ Silicium
■ Fils conducteurs
■ Piézorésistances
■ Champ magnétique
■ Courant
■ Force de Lorentz

► Figure 3 : Représentation schématique de la micropoutre à actionnement électromagnétique et lecture piézorésistive.



► Figure 4 : Intérieur de la cellule de mesure.



► Figure 5 : Cellule de mesure intégrant 2 cMUT (émetteur et récepteur).

analysée ensuite par la partie électronique du MEMS. Les MEMS sont aujourd'hui largement utilisés dans les smartphones ou les manettes de consoles de jeu par exemple.

Compte tenu de l'application visée et de l'hostilité de l'environnement (milieu irradiant lié à la présence de déchets radioactifs à proximité), les capteurs développés devront être non seulement sensibles (mesure de très faibles concentrations de gaz), mais également durables (absence de maintenance sur plusieurs dizaines d'années, correspondant à la durée d'exploitation du stockage Cigéo). Pour cela, le projet H2MEMS utilise les propriétés physiques du gaz environnant en mesurant conjointement sa masse volumique et sa viscosité qui sont dans le cas de l'hydrogène très différentes de celles de l'air (Figure 2).

DÉROULEMENT

H2MEMS est un projet de recherche fondamentale qui se déroule sur une durée de 4 ans. Il est coordonné par le laboratoire IMS (Bordeaux), associé à 3 autres laboratoires : LAAS (Toulouse), GREMAN (Tours) et CRHEA (Nice). Il vise au développement de systèmes durables de détection d'hydrogène aisément transférables vers des partenaires industriels.

RÉSULTATS ATTENDUS

Innovation

Le projet H2MEMS fait suite à des travaux préliminaires effectués au laboratoire IMS (Bordeaux) sur l'utilisation de MEMS en silicium. Il repose sur deux innovations principales en complément de ces premiers travaux :

- Le remplacement du silicium (Si) par du carbure de silicium (SiC), matériau plus résistant mécaniquement et présentant une meilleure tenue sous irradiation. Les capteurs à base de carbure de silicium devraient ainsi être plus durables en conditions de stockage ;
- La combinaison de 2 technologies de MEMS (micropoutre et membranes cMUT) dans un même capteur, permettant d'augmenter significativement la sensibilité et la sélectivité du capteur grâce à la mesure de plusieurs grandeurs physiques (masse volumique et

viscosité du gaz pour la micropoutre, vitesse de propagation d'une onde sonore pour les cMUT).

Le projet prévoit également d'optimiser l'architecture interne du capteur (électronique), à la fois pour diminuer sa consommation électrique et améliorer sa compacité (miniaturisation).

Impact pour la gestion des déchets radioactifs

Les capteurs développés dans le cadre du projet H2MEMS devraient permettre à terme de mesurer de manière plus précise l'hydrogène, en particulier dans le cadre du stockage des déchets radioactifs. Ils pourront être intégrés au sein des ouvrages de stockage et simplifier les opérations de contrôle. Leur durabilité renforcée permettra également une utilisation sur plusieurs dizaines d'années.

Application et valorisation

Au-delà du domaine spécifique de détection d'hydrogène dans les installations de stockage des déchets radioactifs, les résultats du projet H2MEMS pourraient être utiles dans toutes les activités où des capteurs d'hydrogène sont nécessaires pour la détection des fuites : activités de production, stockage, transport d'hydrogène. Le secteur des piles à combustibles à hydrogène pour l'alimentation des véhicules électriques est particulièrement visé.

Les innovations mises au point dans le cadre du projet pourraient plus généralement être appliquées à la détection d'autres types de gaz, voire de liquides, avec par exemple des applications dans le secteur médical, pour le diagnostic de certaines maladies par analyse de la composition chimique de l'haleine.