

Contribution aux exercices de prospective 2020-2030

-Energie nucléaire et environnement-

1) Aperçu / Overview

Thème de recherche proposé :

Etude du vieillissement des absorbants neutroniques dans les RNR

Axe principal concerné (voir la liste des thèmes en fin de document) :

Irradiation des matériaux nucléaires

Contributeur(s) (et affiliations) de la proposition :

Y. Papon, C. Gaillard, N. Moncoffre (CNRS/IN2P3/IP2I)

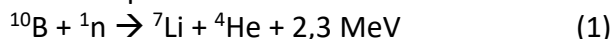
Email du contact de la proposition : yves.papon@univ-lyon1.fr

Résumé (500 caractères max., incluant les espaces) :

Dans le contexte des réacteurs nucléaires à spectres à neutrons rapides, cette contribution vise à évaluer le vieillissement des absorbants neutroniques. Les objectifs sont d'une part, d'obtenir des données quantitatives sur la diffusion thermique et/ou sous irradiation du Li et d'autre part, d'élaborer et caractériser (par l'expérience et la modélisation) des matériaux céramiques pouvant jouer le rôle d'absorbant neutronique alternatif : un composé $B_xC_yO_z$ et le diborure d'hafnium HfB_2 .

2) Description de la question/problématique scientifique rattachée au thème (1 page)

Dans l'optique des réacteurs de 4^{ème} génération, l'emploi de céramiques à base de carbure de bore (B_4C) reste le meilleur choix pour les réacteurs à neutrons rapides, à la fois pour les fonctions de contrôle et d'arrêt. La durée de vie du carbure de bore en réacteur est principalement limitée par l'épuisement en bore-10 mais aussi et surtout par la dégradation du matériau sous irradiation. La réaction (1) conduit à la dégradation des pastilles de B_4C par fissuration due au gonflement des pastilles (accumulation du gaz 4He) et par les contraintes générées par le gradient thermique due à la faible conductivité thermique du matériau.



L'hélium est donc l'un des éléments majeurs à étudier pour prédire le gonflement et le vieillissement du carbure de bore. Des études récentes notamment dans le cadre du projet structurant de NEEDS (projet MATABS) ont permis d'améliorer la description de la dynamique des amas d'hélium dans le matériau et de quantifier le comportement diffusif de cet élément en fonction de la température et de l'endommagement du matériau. Le lithium est réputé n'avoir que peu d'influence sur la tenue ou le comportement du carbure de bore. Cependant, sa ségrégation éventuelle aux joints de grains pourrait conduire à un délitement en présence de sodium dans le cas des RNR-Na. De plus, très peu de données quantitatives existent dans la littérature sur son comportement diffusif dans le carbure de bore, ce qui constitue un point

faible dans la connaissance du vieillissement de ce matériau. **Le premier objectif est d'obtenir les coefficients de diffusion à différentes températures du lithium par un couplage implantation ionique de Li-7 et analyse par sonde ionique (SIMS).** L'objectif à plus long terme est de comprendre le couplage de l'hélium, du tritium et du lithium pour se rapprocher des conditions réacteurs et d'estimer l'effet des interactions notamment He-Li sur l'accumulation de l'He dans B₄C. Pour cela, des irradiations en double, voire triple faisceau à JANNUS pourront être utilisées.

Les matériaux alternatifs pouvant faire office d'absorbants neutroniques dans les REP et surtout dans les RNR sont peu nombreux. **L'élaboration de céramiques susceptibles de remplacer avantageusement le carbure de bore est un enjeu qui fait aussi l'objet de notre projet collaboratif.** Deux matériaux candidats sont actuellement étudiés : (i) un composé B_xC_yO_z puisqu'il a été récemment montré que les propriétés mécaniques de B₄C étaient largement modifiées par l'ajout d'oxygène et (ii) HfB₂. L'élaboration de B_xC_yO_z sera facilitée par une étude théorique thermodynamique grâce à un couplage calculs *ab initio* (DFT) et CALPHAD qui permettra d'explorer le diagramme ternaire BCO. Les composés élaborés seront irradiés par des ions de diverses natures et énergies pour simuler l'impact des neutrons afin de comprendre les modifications des matériaux en conditions extrêmes.

D'autres composés pourraient ensuite être élaborés puis caractérisés sous irradiation suivant les résultats obtenus.

Collaborateurs identifiés ou potentiels (dans et hors IN2P3) :

IRCER Limoges → *élaboration des échantillons, calculs thermodynamiques (CALPHAD), caractérisations mécaniques*

CEA Saclay, DMN/SRMA et SRMP/JANNUS Saclay → *irradiation des échantillons, MET, Raman*

Instruments/Outils impliqués :

- Utilisation de plateformes d'irradiation accessibles via le réseau EMIR&A : TANDEM Orsay, JANNUS Saclay principalement
- Caractérisations : nano indentation ; fluage ; MET ; Raman ; SIMS
- Modélisations : calculs *ab initio* en DFT (VASP) et thermodynamiques via la méthode CALPHAD (Thermo-Calc)

3) Suggestion de projet(s) pouvant répondre à la question/problématique proposée (1 page max.) / *Suggestion of project(s) addressing the issue proposed (1 page max)*

NEEDS Projet Blanc (20 000 euros, 1 ou 2 ans) déposé en octobre 2019 (nommé IVAN) qui permettrait d'avoir un cadre de collaboration entre les différents partenaires.

Ce projet pourrait être ouvert pour devenir un projet structurant les différentes équipes travaillant sur les absorbants.

*Indiquer si possible l'envergure qu'auraient ce ou ces projets (manpower, budget, durée).
Indicate if possible the scale of this(these) project(s) (manpower, budget, duration).*

Merci de renvoyer ce document à prosp2020-GT11-copil-l@in2p3.fr avant le
1er Novembre 2019

*Please send this document to prosp2020-GT11-copil-l@in2p3.fr before
November 1st, 2019*

Liste des thèmes

- Physique des réacteurs : modélisation et expérimentation, neutronique, thermohydraulique, couplage multi-physique, acquisition de données de base (sections efficaces, évaluation des données nucléaires, données de thermohydraulique), physique de la sous-criticité, études de scénarios, ouverture interdisciplinaire : approche technico-socio-économique (prix, coût, ressources, ...). Application aux réacteurs actuels et innovants, études de scénarios...
- Radiochimie des matières nucléaires : données de base (spéciation, interaction avec ligands), compréhension des processus de dissolution, de séparation, processus de diffusion, modélisation. Application au traitement des combustibles usés, processus de dissolution et d'extraction, conditionnement des radionucléides, diffusion des radionucléides dans un site de stockage (matériaux, barrière, argile)...
- Irradiation des matériaux nucléaires : compréhension des processus d'endommagement par les ions et neutrons, acquisition de données de base, modélisation. Application aux matériaux de structures et combustible, tenue des déchets nucléaires à l'irradiation, impact de l'irradiation dans les gisements...
- Radioactivité et environnement : acquisition de données de base (spéciation, ligands), modélisation, processus de transferts, mesures de très basses radioactivités. Application au comportement des radionucléides dans le biotope, microorganismes, exploration de procédés de remédiation.

Research topics :

- Reactor physics : modelling and experimentation, neutronics, thermohydraulics, multi-physics coupling, basic data acquisition (cross sections, evaluation of nuclear data, thermohydraulics data), subcriticality physics, scenario studies, interdisciplinary activities : technical-socio-economic approach (price, cost, resources, etc.). Application to current and innovative reactors, scenario studies....
- Radiochemistry of nuclear materials : basic data (speciation, interaction with ligands), understanding of dissolution, separation, diffusion processes, modelling. Application to the treatment of spent fuels, dissolution and extraction processes, conditioning of radionuclides, diffusion of radionuclides in a storage site (materials, barrier, clay)...
- Irradiation of nuclear materials : understanding of ion and neutron damage processes, basic data acquisition, modelling. Application to structural and fuel materials, resistance of nuclear waste to irradiation, impact of irradiation in deposits...
- Radioactivity and environment : acquisition of basic data (speciation, ligands), modelling, transfer processes, measurements of very low radioactivity. Application to the behaviour of radionuclides in the biotope, microorganisms, exploration of remediation processes.