

Nucléaire : énergie, environnement, déchets, société

Projet fédérateur Déchets

Annexe 1 : programme scientifique

Le projet NEEDS-Déchets fédère des équipes de l'Andra, du CNRS, d'EDF, d'AREVA, du CEA et de l'IRSN. Il fait partie des 7 projets fédérateurs regroupés au sein du Grand Défi Interdisciplinaire NEEDS (Nucléaire : Energie, Environnement, Déchets, Société) prévu pour durer 5 années à partir de 2012.

L'enjeu général de ce projet fédérateur est de développer des méthodes innovantes de caractérisation des déchets primaires ou des colis produits ainsi que des procédés innovants de traitement et de conditionnement des déchets radioactifs avec pour objectif une meilleure optimisation technico-économique de l'aval du cycle incluant notamment les aspects de la maîtrise phénoménologique et de la sûreté du stockage (en exploitation et à long terme).

Des propositions innovantes sur les trois thématiques suivantes seront soutenues :

1. Confinement des radionucléides d'intérêt (principalement ^{129}I , ^{36}Cl , ^{14}C , ^3H , ^{10}Be)

- *Développement de matrices spécifiques*

Il s'agit de proposer/étudier des matrices de conditionnement permettant de garantir à la fois un confinement sur le long terme des principaux radionucléides à vie longue (^{129}I , ^{36}Cl , ^{14}C , ^{10}Be) susceptibles de migrer dans l'environnement et notamment l'argile hôte, et une bonne compatibilité avec les matériaux d'environnement naturels ou ouvragés (argiles, bétons...). On s'intéressera également aux matrices permettant de gérer le tritium par décroissance. Les résultats des études conduites dans le passé dans le cadre du GRD-Nomade puis du GNR-Matinex pourront constituer un point de départ.

Les travaux seront à la fois menés sous l'angle expérimental (élaboration et propriétés des matrices spécifiques), et sous l'angle simulation à petite échelle pour comprendre les comportements, puis à plus grande échelle pour en déduire des lois de comportement plus globales. Les outils de modélisation atomistique pourront être une aide importante dans la formulation et l'étude des performances de ces nouveaux matériaux de conditionnement.

Ces études ne se limitent pas aux déchets existants non conditionnés mais visent également à prendre en compte les déchets futurs qui résulteraient d'un déploiement des réacteurs de quatrième génération dans un cadre prospectif et d'innovation à long terme. A ce titre, les futurs déchets générés par l'installation ITER sont également visés.

- *Méthodes de caractérisation innovantes des radionucléides et de leurs précurseurs dans les déchets ou dans les colis de déchets*

Il s'agit de proposer des méthodes innovantes, compatibles avec une nucléarisation, permettant de déterminer l'inventaire d'un radionucléide ou de ses précurseurs au sein des déchets primaires ou conditionnés et de préciser leur localisation ainsi que leur forme chimique (spéciation). Les exemples ci-dessous constituent des sujets d'intérêt sur cette thématique :

La teneur en iode 129 au sein des déchets vitrifiés HA repose aujourd'hui sur un bilan usine et des valeurs enveloppes sont par conséquent considérées. L'objectif consiste à proposer une méthode qualifiée pour mesurer la teneur en iode 129 au sein des verres.

Le carbone 14 est un produit d'activation principalement présent dans les graphites et dans les éléments de structures (aciers inoxydables et alliages de zirconium). L'objectif

consiste à préciser la localisation et la forme chimique (minérale et/ou organique) du carbone 14 ou de ses précurseurs au sein des déchets.

Le chlore est une impureté qui, après activation des matériaux en réacteurs, conditionne l'inventaire en chlore 36 contenu dans ces déchets métalliques souvent très faiblement activés. Par conséquent, une meilleure maîtrise de ces inventaires est précieuse pour l'optimisation de la gestion des centres de stockage de surface qui acceptent des quantités limitées de ce radionucléide.

- *Comportement des radionucléides dans les matrices*

Il s'agit d'étudier le comportement des radionucléides et des matrices¹ proposées en entreposage (voire en réacteur pour certains matériaux) ainsi que dans les conditions d'un stockage géologique français, en l'occurrence au contact de l'argilite hôte, et des autres matériaux utilisés dans un stockage, comme notamment les bétons et les aciers. La phénoménologie au niveau des interfaces sera particulièrement analysée. Les principaux mécanismes à étudier concernent l'influence de l'irradiation, l'altération sous eau (liquide ou vapeur d'eau) et le relâchement des radionucléides d'intérêt.

Ces travaux seront d'abord menés à petite échelle, afin d'avoir une bonne compréhension des phénomènes mis en jeu, puis seront extrapolés à plus grande échelle pour en déduire des lois macroscopiques de comportement sur le long terme.

A titre d'exemple, on peut citer les aciers inoxydables et les coques et embouts compactés, issus du traitement des combustibles usés, qui sont destinés à être stockés en milieu cimentaire. L'étude du relâchement des radionucléides et leurs interactions avec les produits de dégradation cimentaires en milieu argileux est à approfondir. Il sera donc question de développer des protocoles expérimentaux afin d'étudier la dissolution aqueuse en milieu cimentaire d'acier, d'alliage de zirconium et de la zircone, produit d'oxydation de cet alliage. Le rôle de la radiolyse sur la dissolution de la zircone et le relâchement des radionucléides sera étudié. L'utilisation de la technique d'échange isotopique permettra de mieux comprendre les mécanismes de dissolution de la zircone en phase aqueuse hyperalcaline. Il sera également question d'étudier la spéciation du carbone 14 relâché par la zircone (CO₂, CO, CH₄...).

2. Méthodes innovantes de décontamination, de séparation, de traitement et de conditionnement des déchets de très faible, faible et moyenne activité

Cette seconde thématique vise à promouvoir le développement de procédés innovants de traitement et de conditionnement des déchets radioactifs afin de permettre ou de faciliter leur prise en charge en stockage (procédés de séparation / décontamination / traitement / conditionnement des déchets au sens large). A ce titre, les procédés développés devront répondre à un ou plusieurs des objectifs suivants :

- réduire le volume des déchets, afin d'optimiser l'utilisation des ressources de stockage et réduire les coûts de gestion des déchets de faible et moyenne activité ;
- obtenir une forme physico-chimique la plus inerte possible par rapport aux besoins du stockage (limiter la production de gaz, la réactivité chimique, etc.) ;
- prendre en charge les déchets posant des problématiques particulières en stockage (par exemple les déchets sodés) ainsi que les déchets sans filière à ce jour (liquides organiques contenant de fortes teneurs en tritium/carbone 14 par exemple).

Les avantages auxquels devront répondre ces nouveaux procédés de traitement sont la simplicité de la technologie, une productivité élevée dans le cas du traitement de volumes

¹ Sont exclus du périmètre de l'appel d'offre les études sur les interactions entre les verres R7T7 et les autres matériaux du stockage (matériaux métalliques, produits de corrosion et argilite). Il en est de même pour les études sur les combustibles UOx et MOx. En effet, ces thématiques font déjà l'objet de programmes de R&D dédiés.

importants, une sécurité environnementale maximale, une réduction significative de l'impact sur le personnel, une minimisation de génération de déchets secondaires, une stabilisation des résidus de traitements dans une matrice durable en vue d'un stockage géologique et une optimisation des coûts.

Les déchets graphites font actuellement l'objet de tels travaux en collaboration avec le CEA, EDF, l'Andra et plusieurs laboratoires du CNRS. Dans le cadre de NEEDS, on pourrait explorer des voies complémentaires et encore amont qui n'ont pas été retenues dans le programme actuel².

Le traitement des déchets métalliques en vue d'une réduction de volume d'une part et de recyclage dans l'industrie nucléaire d'autre part est un objectif à poursuivre dans un but de développement durable. Les changements d'échelle depuis les équipements de laboratoire jusqu'à l'échelle des installations industrielles devront être évalués et abordés dans le cadre de l'efficacité des procédés étudiés.

3. Développement de matériaux non métalliques pour les alvéoles de déchets HA

La corrosion en conditions anoxiques des surconteneurs métalliques et des chemisages en acier non allié qui sont envisagés pour les déchets HAVL génère des quantités importantes d'hydrogène dans le stockage. L'objectif recherché pour cette thématique vise à développer et étudier des matériaux alternatifs aux matériaux métalliques afin de supprimer ou tout au moins de limiter très fortement la production d'hydrogène. Ces matériaux devront répondre aux mêmes exigences que celles requises pour le surconteneur et le chemisage actuellement définis et devront de plus être relativement inertes vis-à-vis de l'altération du verre et de l'argilite du site. Le choix de ces matériaux devra également intégrer des critères d'optimisation économique.

Les exigences principales retenues pour le surconteneur et le chemisage sont les suivantes :

- Une étanchéité totale du surconteneur sur 500 à 1000 ans, ce qui implique une faible altération et la capacité de démontrer la faisabilité et la tenue à long terme de la liaison entre le corps et le bouchon,
- Une bonne conductivité thermique du surconteneur,
- Une tenue à l'irradiation du surconteneur (principalement β , γ),
- Une tenue mécanique du chemisage sur 500 à 1000 ans,
- Etre plus inerte que les surconteneurs en acier vis-à-vis de l'altération du verre.

La robustesse de la démonstration du respect de ces exigences sera d'autant plus importante que le retour d'expérience sur ces matériaux risque d'être moins important que celui disponible pour les aciers non alliés.

² Sont exclus du périmètre de l'appel d'offre les procédés de traitement thermique des graphites (incinération, vaporéformage...).