

## **Avis de l'IRSN sur quatre études présentées dans le cadre du plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR)**

Par lettre référencée ASN/DRD/n° 0139/2009 du 17 février 2009, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé l'avis de l'IRSN sur des études qui lui ont été transmises en application de la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs et de son décret d'application relatif au Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR), concernant :

- l'entreposage des déchets tritiés sans filières (étude du CEA),
- la gestion des sources radioactives scellées usagées et la possibilité de stocker d'autres types de déchets de faible activité et à vie longue avec les déchets de graphite et radifères (étude de l'ANDRA),
- la valorisation des matières radioactives sans emploi actuel (étude conjointe EDF-AREVA-ANDRA et étude de la société RHODIA).

L'ASN demande en particulier à l'IRSN d'évaluer la pertinence des inventaires de déchets retenus dans ces études, le bien-fondé des options de sûreté des entreposages de déchets tritiés et des critères d'orientation des sources et objets radioactifs dans les diverses filières de stockage ainsi que la faisabilité des procédés de valorisation présentés, notamment pour ce qui concerne le thorium dans le cadre d'un cycle nucléaire dédié. L'ASN demande également à l'IRSN d'identifier l'apport des options ainsi définies à la sûreté globale de la gestion des déchets radioactifs et le cas échéant de formuler des préconisations pour poursuivre les processus engagés.

L'analyse par l'IRSN de ces études fait l'objet des annexes jointes au présent avis. Les principales conclusions de l'analyse réalisée sont précisées ci-après.

### **Entreposage des déchets tritiés sans filière**

Le dossier d'orientation pour l'entreposage des déchets tritiés sans filière concerne, selon le CEA, l'ensemble des déchets tritiés solides déjà produits et à produire jusqu'à l'horizon 2060. Ceux-ci proviennent pour l'essentiel des activités de la direction des applications militaires du CEA, de la défense nationale, de l'installation ITER et du nucléaire diffus. Le dossier présente l'inventaire de ces déchets, regroupés en 6 familles. A chacune d'elles, est associé un type d'entreposage dont les principales options de conception sont décrites. L'objectif visé est de permettre un entreposage sûr des déchets tritiés pendant une période de 50 ans préalablement à leur stockage dans des centres de l'ANDRA.

L'IRSN estime que la création de nouveaux entreposages apporte une solution concrète à la gestion des déchets tritiés compte tenu du constat de saturation des installations d'entreposage actuelles, qui sont par ailleurs de conception ancienne. En outre, à ce stade amont des études de conception, l'IRSN estime que les dispositions générales de sûreté retenues pour les différents types d'entreposage, qui tiennent compte notamment du retour

d'expérience de l'exploitation des installations existantes, sont globalement pertinentes. L'étude réalisée appelle toutefois deux remarques essentielles :

- la capacité radiologique du centre de stockage de déchets de faible et moyenne activité à vie courte de Soulaïnes (CSFMA), ou d'un centre futur de capacité similaire, risque d'être insuffisante pour accueillir l'ensemble des déchets entreposés, d'autant plus qu'il existe une incertitude sur les quantités effectives de déchets tritiés que produiront ITER et le démantèlement des installations du CEA. Aussi, l'IRSN suggère que le CEA adopte une approche prudente pour définir les besoins en capacité d'entreposage de déchets tritiés, en examinant les solutions de repli possibles si les stockages devant les recevoir après 50 ans d'entreposage s'avéraient insuffisants. L'IRSN recommande en particulier que le CEA évalue la capacité supplémentaire nécessaire pour entreposer ces déchets sur une durée de l'ordre du siècle (permettant une décroissance très significative du tritium) et examine l'incidence de l'augmentation de la durée d'entreposage sur la conception des installations,
- la possibilité de reprendre à tout moment, dans des conditions de sûreté satisfaisantes, les colis de déchets entreposés doit être un des fondements de la conception des installations d'entreposage. Le dossier d'orientation, qui ne présente pas de dispositions en matière de reprise des déchets, devrait être complété sur ce point, et en particulier préciser les critères de conception liés à la maintenance de l'installation (interventions sur les colis et équipements, maintien en état des barrières de confinement...).

D'autres remarques plus ponctuelles concernant la sûreté des entreposages envisagés sont formulées dans l'annexe 1 au présent avis.

Enfin, il faut signaler que les nouveaux entreposages vont générer des rejets de tritium dans l'environnement. Sur ce point, l'IRSN recommande que le CEA examine la faisabilité de réduire autant que possible les rejets de tritium pour les entreposages dont les rejets seront les plus importants. Cet examen devra s'attacher à préciser les techniques envisageables de réduction des rejets tout en tenant compte des risques d'exposition associés et des possibilités de gestion des déchets tritiés secondaires qui seraient ainsi produits.

#### **Stockage des sources scellées usagées - Etude du stockage d'autres types de déchets avec les déchets de graphite et radifères**

L'ANDRA présente dans les dossiers transmis un inventaire des sources scellées usagées et précise les critères d'orientation de ces sources dans les différentes filières de stockage.

L'ANDRA retient que les sources d'activité très faible pourraient être stockées dans le centre de stockage de déchets de très faible activité de Morvilliers (CSTFA). Les sources d'activité plus élevée peuvent être orientées vers le CSFMA si la période des radionucléides qu'elles contiennent est inférieure ou égale à 30 ans et leur activité inférieure à une limite donnée (Limite d'Activité par Source, ou LAS, qui est une valeur dérivée d'une analyse des expositions susceptibles d'être délivrées notamment en cas de récupération fortuite d'une source par une personne du public). Les sources plus actives ou de période plus élevée seront orientées vers les futurs centres de stockage de déchets de faible activité et à vie longue (FAVL) ou de moyenne et haute activité et à vie longue (MA-HAVL) selon des critères d'activité, de dimension et de dégagement thermique des sources ou des colis qui les contiennent.

L'ANDRA envisage également de définir un critère d'acceptation des sources dans un centre FAVL fondé sur le calcul d'une LAS étendue aux radionucléides de période supérieure à celle du  $^{137}\text{Cs}$  (environ 30 ans).

Enfin, l'ANDRA présente succinctement des filières alternatives à celles précitées pour la gestion des sources (entreposage de décroissance, destruction mécanique ou chimique, regroupement de sources compactées avec des déchets radioactifs) ainsi que divers objets et déchets susceptibles d'être stockés dans un centre FAVL. Il convient de rappeler que, pour le stockage FAVL, l'ANDRA distingue deux concepts différents : un concept dit « avec couverture remaniée » (SCR) situé à une profondeur de 15 à 20 m environ et un concept dit « avec couverture intacte » (SCI) situé à plus de 50 m de profondeur.

L'IRSN estime que l'inventaire des sources scellées usagées présenté par l'ANDRA est globalement pertinent. En particulier, les différents types de sources sont convenablement identifiés ce qui fournit les bases nécessaires pour orienter les sources considérées vers les différentes filières de stockage possibles. Le nombre de sources à éliminer doit toutefois être considéré comme un ordre de grandeur susceptible d'évoluer. Cette incertitude n'est cependant pas de nature à modifier significativement les volumes et l'activité totale des sources à stocker.

S'agissant de l'orientation des sources dans les différentes filières de stockage, l'IRSN ne relève pas d'obstacle au stockage au CSTFA des sources de très faible activité, ni à celui des sources à vie longue et d'activité élevée en stockage géologique profond ou dans un stockage FAVL situé à plus de 50 m de profondeur, selon les critères retenus par l'ANDRA. En revanche, l'IRSN estime que l'approche consistant à retenir une LAS comme critère essentiel d'acceptation d'une source au CSFMA ou dans un centre FAVL de subsurface (SCR) est fragile. Il est en effet difficile de déterminer l'ensemble des usages possibles de sources récupérées en cas d'intrusion dans un stockage, compte tenu notamment de leur petite taille et de leur aspect souvent attractif, et par conséquent de juger du caractère enveloppe de l'impact calculé pour ce type de situations.

L'IRSN estime donc que le stockage des sources scellées usagées dans des installations permettant de les protéger des intrusions humaines banales pendant le temps nécessaire à ce qu'elles ne présentent plus de risque radiologique significatif devrait être retenu comme principe directeur pour leur élimination. Ainsi, même si des marges ont été prises par l'ANDRA pour tenir compte des incertitudes qui affectent la détermination des LAS, l'IRSN estime que les centres de surface ou de subsurface, qui sont peu robustes face aux risques d'intrusion à long terme, ne devraient accueillir des sources dont l'activité résiduelle reste significative après quelques centaines d'années que lorsque cette solution procure un bénéfice certain pour la sûreté de leur gestion globale. En tout état de cause, compte tenu du faible volume que représentent les sources à stocker, le stockage de l'ensemble des sources scellées (hormis celles de très faible activité) dans un centre MA-HAVL ou FAVL à plus de 50 m de profondeur devrait être privilégié. L'IRSN estime qu'il n'existe pas de difficulté majeure, en l'attente de l'ouverture de ces filières, pour qu'un entreposage de ces sources dans des conditions sûres soit réalisé, notamment dans les installations nouvelles destinées à prendre le relai des entreposages anciens.

S'agissant des filières alternatives à la gestion des sources selon les conditions précitées, l'IRSN constate que les réflexions présentées dans le dossier de l'ANDRA sont très préliminaires. Celles-ci n'appellent à ce stade que quelques remarques ponctuelles formulées dans l'annexe 2 au présent avis.

S'agissant enfin des déchets susceptibles d'être stockés avec les déchets de graphite et radifères, l'ANDRA recense une grande diversité d'objets contenant du radium, du thorium ou

de l'uranium ainsi que des déchets bitumés. L'ANDRA envisage leur répartition au cas par cas dans un stockage FAVL en subsurface ou à plus de 50 m de profondeur, mais aussi, pour certains, dans un stockage géologique profond.

L'IRSN ne relève pas à ce stade d'élément s'opposant à l'accueil des déchets recensés par l'ANDRA dans les filières de stockage précitées, moyennant le respect du principe directeur énoncé plus haut pour les objets pouvant être aisément récupérés en cas d'intrusion, du fait notamment de leur attractivité (cf. cas des sources scellées). En tout état de cause, la possibilité de stocker ces déchets dans les centres de stockage envisagés, notamment pour ce qui concerne les déchets bitumés, ne pourra être définitivement prononcée que sur la base d'évaluations de sûreté tenant compte des caractéristiques de sites réels.

### **Etudes de la valorisation des substances radioactives sans emploi actuel (cf. Annexe 3)**

La note EDF-CEA-AREVA relative à la valorisation des substances radioactives sans emploi actuel recense les matières détenues par les principaux exploitants nucléaires français (EDF, AREVA et ses filiales et CEA) et examine les procédés de valorisation existants dans le but d'identifier les éventuelles matières pour lesquelles aucun procédé ne serait disponible et les besoins en études nouvelles. Cette note conclut que la totalité des matières radioactives examinées font ou ont déjà fait l'objet d'actions de valorisation, sur la base de procédés éprouvés, et indique qu'il n'est pas « pertinent » de mener des études complémentaires sur d'autres modes de valorisation.

Le rapport RHODIA dresse, quant à lui, un bilan des études de valorisation des matières radioactives entreposées sur le site de La Rochelle (hydroxyde brut de thorium (HBTh) et nitrate de thorium notamment) et des procédés de traitement mis au point, la valorisation de ces produits portant sur leur contenu en terre rares, l'uranium et le thorium.

Le retour d'expérience disponible apporte la démonstration indiscutable du caractère valorisable des matières produites par la filière « uranium » et la filière « plutonium », à la fois dans les conditions actuelles de production d'énergie et dans la perspective d'un déploiement futur d'un parc de réacteurs à neutrons rapides (RNR). De la même façon, l'IRSN estime que la faisabilité du traitement, à l'échelle industrielle, des combustibles des réacteurs de recherche et de propulsion navale et le caractère valorisable des matières récupérées sont effectivement démontrés. L'étude pourrait toutefois être complétée par une analyse du devenir de l'uranium à l'issue d'un deuxième recyclage éventuel (possibilité de nouvelle valorisation ou traitement en déchets). Des précisions devraient aussi être apportées sur le caractère, valorisable ou non, des combustibles usés issus des réacteurs à eau lourde EL1, EL2 et EL3 et du réacteur G1 de type UNGG.

S'agissant de la filière « thorium », l'IRSN estime que les procédés de traitement décrits par la société RHODIA, bien que complexes, ne font pas apparaître de sauts technologiques importants par rapport aux procédés existants. Toutefois, l'expérience industrielle associée à la mise en œuvre d'un cycle permettant de valoriser le thorium récupéré est limitée et faible. Si le retraitement de combustibles solides au thorium et la fabrication de combustibles à base d'<sup>233</sup>U, étapes indispensables au déploiement d'une telle filière, apparaissent envisageables, les problèmes technologiques délicats que soulèvent la mise au point des procédés et la conception des différents types de réacteurs utilisant le thorium nécessitent, pour être résolus, un effort de R&D important. En outre, l'économie des ressources en uranium que pourrait apporter cette filière reste à démontrer. Aussi, la valorisation du thorium apparaît possible, mais nécessite d'importants moyens pour en démontrer

**l'intérêt industriel par rapport aux filières dont la maîtrise technique est, à ce jour, beaucoup plus avancée.**

**En conclusion générale, l'IRSN considère que les études réalisées présentent des orientations globalement pertinentes pour la gestion des déchets tritiés et l'élimination des sources scellées usagées dont la mise en œuvre, moyennant la prise en compte des remarques formulées dans le présent avis, devrait constituer un progrès pour la gestion des déchets radioactifs.**

**L'IRSN retient également que les différentes études disponibles offrent une vision claire de la faisabilité de différentes filières de valorisation des substances radioactives sans emploi actuel. Toutefois, en dehors du bénéfice apporté par ces filières pour la gestion des substances concernées, l'apport de leur mise en œuvre n'a pas été abordé en tenant compte de l'ensemble des déchets radioactifs qui seront induits. L'évaluation de cet apport, qui nécessite d'être basé sur une connaissance consolidée des concepts de réacteurs futurs ainsi que des procédés et des installations nécessaires pour le recyclage des matières valorisables et la gestion des déchets, pourrait être, dans les années à venir, un objectif à inscrire dans le PNGMDR.**

**En corollaire, une analyse des procédés de traitement et de conditionnement des déchets qui pourraient être mis en œuvre à l'avenir en vue de fabriquer des colis contribuant au mieux à assurer la sûreté de leur entreposage, sur des périodes vraisemblablement longues, puis de leur stockage devrait être engagée.**

## ANNEXE 1

### Entreposage des déchets tritiés sans filière

#### Contexte

Dans le cadre de leurs activités, plusieurs installations nucléaires, militaires ou civiles, produisent et produiront des déchets contenant du tritium (déchets tritiés) dont certains sont actuellement sans exutoire, ceux-ci ne pouvant en effet être directement envoyés vers les centres actuels de stockage de surface de l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA), du fait principalement de leur activité ou du taux de dégazage trop élevé des colis les contenant. Ces déchets sont actuellement entreposés sur les établissements les produisant après avoir éventuellement été traités et conditionnés.

En application du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008 fixant les prescriptions relatives au Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR) pris en application de la loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, le CEA a transmis une étude concernant des solutions d'entreposage pour les déchets tritiés sans filière (Dossier d'orientation : « entreposage des déchets sans filières »). L'ASN a demandé l'avis de l'IRSN sur ce dossier d'orientation, par lettre ASN/DRD/n° 0139/2009 du 17 février 2009, plus particulièrement sur la pertinence de l'inventaire des déchets et des options de sûreté retenues pour leur entreposage.

#### Inventaire des déchets tritiés présenté dans l'étude

Le projet d'entreposage des déchets tritiés sans filière concerne, selon le CEA, l'ensemble des déchets tritiés solides déjà produits et à produire jusqu'à l'horizon 2060. Le CEA précise que l'objectif de l'étude est de définir un entreposage permettant la décroissance du tritium contenu dans les déchets jusqu'à un niveau d'activité permettant leur évacuation vers les centres de stockage de l'ANDRA. Les déchets traités dans ce dossier sont pour l'essentiel des déchets solides d'exploitation et de démantèlement provenant des activités de la direction des applications militaires du CEA et de l'installation ITER et des déchets produits par le nucléaire diffus, à savoir les « petits producteurs » et la défense nationale. Les déchets tritiés qui ne sont pas concernés par l'étude sont :

- les déchets solides et liquides susceptibles d'être traités dans l'installation CENTRACO ;
- les déchets dont la filière d'élimination est disponible, c'est-à-dire des déchets qui peuvent être évacués directement vers les sites de stockage actuels de l'ANDRA (CSFTA : centre de stockage de déchets de très faible activité, situé à Morvilliers, et CSFMA : centre de stockage de déchets de faible et moyenne activité et à vie courte, situé à Soulaines) ;
- les déchets devant être évacués vers les futurs centres de stockage de déchets de faible activité et à vie longue (FA-VL) ou de déchets de moyenne et haute activité et à vie longue (MA-HA/VL).

Concernant les déchets tritiés en provenance des installations du CEA, l'IRSN note que :

- les déchets provenant de l'exploitation du LMJ (Laser MegaJoule) ne sont pas évoqués. Bien qu'a priori, le LMJ ne doit pas être un des principaux contributeurs à la production de déchets

tritiés, il conviendrait que le CEA confirme qu'il n'y a pas lieu d'inclure dans l'inventaire des déchets sans filière ceux qui proviendront de cette installation,

- le document d'orientation ne fournit aucune indication sur les évolutions possibles du site de Valduc sur plusieurs décennies,
- le démantèlement des réacteurs ORPHEE et OSIRIS n'est pas pris en compte,
- les déchets produits par le démantèlement des réacteurs tritigènes de Marcoule et des installations du site de Bruyères-le-Châtel ne sont pas comptabilisés car ils devraient être compatibles avec les critères d'acceptation de la filière TFA. Or, il n'est pas acquis qu'il existe une capacité de stockage suffisante pour l'accueil des déchets tritiés produits et à produire dans les centres actuels de stockage de l'ANDRA.

Concernant l'inventaire associé à l'installation ITER, des incertitudes importantes demeurent dans la mesure où le dossier d'orientation présente des options générales de conception des systèmes et équipements qui ne sont pas définitivement arrêtées. Certaines d'entre elles (notamment le choix des matériaux de protection radiologique) sont de nature à influencer de manière significative la quantité de déchets tritiés produits. Il est donc difficile d'apprécier à ce stade la pertinence de l'inventaire associé.

Les déchets tritiés provenant des producteurs du nucléaire diffus sont pris en charge par l'ANDRA et regroupés transitoirement sur le site de Valduc. L'IRSN note qu'il existe de larges incertitudes sur la quantité de déchets susceptibles d'être produits dans ce secteur d'activité et estime nécessaire que l'inventaire présenté par le CEA soit consolidé sur ce point.

En conclusion, le CEA présente un ordre de grandeur des déchets tritiés produits et à produire dans les 50 ans à venir qui permet une première estimation des besoins futurs en matière d'entreposage de ce type de déchets. L'IRSN souligne toutefois qu'il ne peut pas être écarté, à ce stade, que ces besoins soient sous-estimés compte tenu des incertitudes associées notamment aux déchets qui seront effectivement générés par l'installation ITER et les programmes de démantèlement à venir, en particulier pour ce qui concerne les installations du CEA. Il conviendra donc de réévaluer la capacité d'entreposage nécessaire pour les déchets tritiés sur la base de données consolidées relatives au fonctionnement et au devenir des installations productrices.

Enfin, il convient de relever que l'étude du CEA ne tient pas compte des déchets tritiés sous forme liquide et sous forme gazeuse. L'IRSN estime que les déchets liquides et gazeux produits par les exploitants nucléaires et par les producteurs du nucléaire diffus nécessiteront la mise en place de traitements spécifiques pour leur élimination. Il conviendrait que l'étude soit complétée sur ce point.

### Solutions d'entreposage

A partir de l'inventaire présenté, le CEA a retenu de regrouper l'ensemble des déchets tritiés en 6 catégories de déchets :

- déchets TFA (déchets tritiés purs ou mixtes),

- déchets tritiés purs peu dégazants<sup>1</sup>,
- déchets tritiés purs dégazants,
- déchets uraniés tritiés,
- déchets irradiants tritiés contenant des radionucléides à vie courte,
- déchets irradiants tritiés contenant des radionucléides à vie longue.

A chaque famille de déchets tritiés, est associé un concept d'entreposage dont les caractéristiques générales figurent dans le tableau annexé. Il est en outre précisé que les installations futures d'entreposage devraient être construites au plus près des principaux lieux de production ou de traitement, ceci afin de limiter le transport de grandes quantités de déchets.

Le dossier d'orientation précise également que les entreposages doivent notamment être conçus et exploités pour permettre :

- la réception et le déchargement des emballages de transport et des colis pleins,
- l'entreposage des colis pour une durée de 50 ans,
- la surveillance de l'installation et de l'ensemble du site,
- le contrôle des colis et des emballages.

L'IRSN estime que la solution retenue, consistant en la création de nouveaux entreposages à proximité des sites de production, permet de répondre, au moins dans un premier temps, au constat de saturation des installations d'entreposage actuelles, qui sont par ailleurs de conception ancienne. L'échéancier de mise en œuvre de ces entreposages (échelonnement entre 2012 et 2050) apparaît cohérent avec les scénarios de production de déchets tritiés présentés par le CEA. Pour les déchets tritiés entreposés dans les installations du site de Valduc, il est envisagé la construction de trois modules à l'horizon de 2012-2013, dédiés aux déchets TFA, aux déchets tritiés purs peu dégazants et aux déchets uraniés tritiés.

Toutefois, l'IRSN estime que l'hypothèse retenue par le CEA d'une évacuation vers les centres de stockage de surface, dans les cinquante ans à venir, des déchets tritiés entreposés (hypothèse qui fonde le dimensionnement de la capacité d'entreposage nécessaire) repose sur des bases fragiles. Il apparaît en effet que la capacité radiologique du CSFMA (4000 TBq), ou d'un centre futur de capacité similaire, risque d'être insuffisante pour accueillir l'ensemble des déchets entreposés (l'inventaire en tritium des déchets tritiés déjà produits est de 4500 TBq et les projections de production s'élèvent à plus de 20 000 TBq en 2060). Par ailleurs, l'expérience récente montre que la présence de tritium en quantité décelable dans l'environnement des stockages est mal perçue par le public. A ce stade, il est donc très incertain qu'un centre de stockage de surface, existant ou futur, puisse recevoir des colis de déchets tritiés à la hauteur de ce qui était prévu lors, par exemple, de la définition de la capacité radiologique du CSFMA de Soulaïnes. Aussi, l'IRSN suggère que le CEA adopte une approche prudente pour définir les besoins en capacité d'entreposage de déchets tritiés, en examinant les solutions de repli possibles si les stockages devant recevoir après 50 ans les déchets tritiés entreposés s'avéraient insuffisants. L'institut recommande en particulier que le CEA évalue la capacité supplémentaire nécessaire pour entreposer ces déchets sur une durée de l'ordre du siècle et

---

<sup>1</sup> Un déchet tritié est considéré comme peu dégazant si la mesure unitaire de dégazage de chaque colis est inférieure à 1 GBq/an/colis.



**examine l'incidence de l'augmentation de la durée d'entreposage sur la conception des installations (dimensionnement aux agressions externes, conception des barrières de confinement en vue de minimiser les besoins de reconditionnement des colis et de rénovation des installations...).**

**L'IRSN rappelle également que la possibilité de reprendre dans des conditions de sûreté satisfaisantes, à tout moment, les colis de déchets entreposés (à des fins d'examen, de reconditionnement ou d'évacuation) doit être un des fondements de la conception des installations d'entreposage. Compte tenu de la durée de vie envisagée pour ces installations par le CEA, l'IRSN estime que cet aspect n'est pas suffisamment traité dans le dossier d'orientation. Par ailleurs, la reprise de colis dans de bonnes conditions implique de pouvoir les désentreposer sans devoir mettre en œuvre des mesures complémentaires. Le dossier d'orientation, qui ne présente aucune disposition en matière de reprise des déchets, devrait être complété sur ces points.**

**Concernant la sûreté des entreposages, le document d'orientation présente les dispositions retenues en matière d'organisation des locaux, de zonage « déchets », de conception des modules, de surveillance (modules et colis) ainsi que de protection et de surveillance du personnel. Pour chacun des concepts, 3 scénarios représentatifs des risques principaux qui seront à traiter dans l'évaluation de la sûreté des installations d'entreposages sont présentés (incendie, séisme, manutention) et, en fonction de l'impact radiologique de ces scénarios, des critères de dimensionnement sont appliqués.**

**A ce stade amont des études, l'IRSN estime que les dispositions générales de sûreté retenues pour les différents concepts d'entreposages sont globalement pertinentes. Ces dispositions s'appuient en effet sur celles qui sont déjà en place dans les installations existantes en incluant le retour d'expérience d'exploitation de ces installations, ce qui est satisfaisant. Toutefois,**

**- s'agissant de la surveillance du vieillissement des installations ainsi que de la surveillance de l'environnement, l'IRSN estime que, compte tenu de la durée d'exploitation visée, le CEA aurait pu préciser les dispositions retenues. En tout état de cause, ces dispositions devront faire l'objet d'une attention particulière dans la suite du projet ;**

**- s'agissant de la démarche de dimensionnement des installations aux risques énoncés ci-avant, l'IRSN rappelle que l'estimation de l'impact radiologique n'intervient qu'au titre de la vérification que les conséquences radiologiques des différents événements susceptibles d'affecter la sûreté des entreposages demeurent acceptables. Les résultats des évaluations d'impact ne peuvent justifier à eux seuls l'absence de mise en œuvre de dispositions permettant de prévenir et de limiter au mieux les effets de ces événements sur les fonctions de sûreté à assurer. L'IRSN estime également que les agressions externes d'origines climatiques, tels le vent, la neige ou les inondations, ou humaines, telles les explosions liées aux activités industrielles ou aux transports de matières dangereuses, doivent être retenues pour le dimensionnement des installations présentées dans le document d'orientation. De tels événements pourraient être dimensionnants, notamment pour ce qui concerne les entreposages en charpente métallique. Par ailleurs, des dispositions doivent être prises pour que le vieillissement des colis de déchets et de l'installation ne remette pas en cause les exigences de sûreté retenues à l'égard des risques liés aux agressions externes ;**

**- s'agissant de la maîtrise de la concentration de tritium dans l'air ambiant des différents locaux des entreposages, les valeurs des taux de dégazage des colis entreposés devront être justifiées en tenant compte notamment du vieillissement des colis et des effets de la radiolyse sur l'altération du confinement des déchets (emballage en vinyle et conteneur).**

Les valeurs présentées sont en effet faibles par rapport à celles qui peuvent être déduites du retour d'expérience des entreposages existants ;

- s'agissant des risques de chute de colis, l'IRSN note que certains concepts présentent des entreposages de colis gerbés sur des hauteurs supérieures à leur hauteur de qualification à la chute (hauteur en dessous de laquelle la chute d'un colis n'entraîne pas de perte significative de ses propriétés de confinement). Aussi, l'IRSN estime que le CEA devra, dès la conception des installations, retenir des dispositions de confinement statique et dynamique adaptées aux risques de chute et prendre des dispositions permettant de rendre improbables ces risques ;
- s'agissant de l'entreposage des déchets tritiés irradiants à vie courte, un concept d'entreposage dans un local d'un seul tenant est présenté qui, compte tenu du niveau d'irradiation des colis de déchets, nécessite la mise en œuvre d'une manutention à distance. L'IRSN rappelle que la conception de l'installation doit également permettre la protection du personnel lors d'interventions pour des opérations de surveillance et de maintenance ou éventuellement pour remédier aux conséquences d'incidents. L'IRSN recommande que, pour l'entreposage de ce type de déchets, le CEA montre que de telles interventions peuvent être conduites dans des conditions de radioprotection satisfaisantes. A défaut, le concept d'entreposage retenu devrait être modifié (concept modulaire par exemple) ;
- pour tous les concepts retenus pour entreposer les différents types de déchets tritiés sans exutoire, la démarche de conception des installations devra être complétée afin d'intégrer, outre les critères de surveillance (cf. ci-dessus), les critères liés à la maintenance (reconditionnement de colis, maintien en état des barrières de confinement...).

### Impacts des entreposages sur l'environnement

La construction de modules d'entreposage de déchets tritiés sera réalisée sur 3 sites (IFER/Cadarache, Valduc et Marcoule). Dans le dossier d'orientation, le CEA présente une estimation des rejets annuels de tritium pour l'ensemble des déchets tritiés retenus dans l'inventaire. Le rejet annuel cumulé pour l'ensemble des installations serait, en fonctionnement normal, de l'ordre de 140 TBq par an<sup>2</sup>.

Les nouveaux entreposages vont donc contribuer à accroître les rejets de tritium, parfois significativement comme par exemple dans l'environnement du site de Cadarache. Sur ce point, l'IRSN recommande que le CEA examine la faisabilité de réduire autant que possible les rejets de tritium pour les entreposages dont les rejets seront les plus importants. Dans cette perspective, l'IRSN suggère que le CEA :

- évalue le bénéfice d'un traitement amont permettant de réduire le dégazage des déchets entreposés (par exemple, la fusion pour les déchets métalliques),
- étudie la faisabilité et l'opportunité de mettre en œuvre des unités de détritiation, en particulier pour l'entreposage des déchets tritiés purs dégazants, comme prévu par exemple pour l'installation IFER.

L'IRSN souligne toutefois que la réduction des rejets par détritiation génère des risques d'exposition potentielle des travailleurs et produit des déchets tritiés secondaires, notamment de l'eau tritiée concentrée dont l'élimination pourrait poser des difficultés si des quantités

---

<sup>2</sup> Valeur estimée compte tenu du fait que les entreposages n'atteindront pas leur capacité maximale simultanément.

Le rejet maximal estimé par type d'entreposage est présenté dans le tableau 1.

**importantes d'eau devaient être produites. Il importe que ces aspects soient examinés en vue d'évaluer les avantages et les inconvénients de la mise en œuvre éventuelle de solutions techniques permettant de réduire les rejets.**

**Annexe : Caractéristiques générales des entreposages envisagés**

	Statut réglementaire	Structure	Principe d'entreposage	Ventilation	Capacité	Nombre envisagé	Rejets annuels	Impact tritium / scénario			
								Incendie interne	sismique	Manutention (dose travailleur)	
Déchets TFA	ICPE autorisée	Module en bardage métallique	Gerbage des caisses sur 3 niveaux	Ventilation naturelle	1000 caisses (1 pBq)	3	< 1 TBq	Pas de dimensionnement au séisme	< 5 µSv à 500 m	< 2 µSv à 500 m	< 40 µSv
Déchets triés purs peu dégageants	INB	Module en bardage métallique	Gerbage de palettes (4 fûts) sur 5 niveaux	Ventilation naturelle	15 000 fûts (10 pBq)	3 (Valduc)	20 TBq	Pas de dimensionnement au séisme	< 3 µSv à 500 m	< 15 µSv à 500 m	< 40 µSv
Déchets triés purs dégageants	INB	Module en bardage métallique	Gerbage de palettes (4 fûts) sur 5 niveaux	Ventilation par extraction avec cheminée	7 000 fûts (70 pBq)	2 (1 Valduc 1 ITER)	140 TBq	Dimensionné au séisme	30 µSv à 500 m	20 µSv à 500 m	0,8 mSv
Déchets uraniés triés	INB	Voiles béton confinant	Gerbage	Ventilation par extraction avec cheminée	1 000 fûts (10 pBq)	1 (Valduc)	20 TBq	Dimensionné au séisme	30 µSv à 500 m	1 µSv à 500 m	0,8 mSv
Déchets irradiants à vie courte	INB	Structure béton (protection radiologique)	Gerbage (manutention à distance)	Ventilation par soufflage/extraction avec cheminée	Equivalent 26 900 fûts de 223 l (12 pBq)	3 (1 Marcoule 2 ITER)	100 TBq	Dimensionné au séisme	Exclu (colis béton)	20 µSv à 500 m	Exclu (manutention à distance)
Déchets irradiants à vie longue	INB	Puits ventilés	Puits (7 colis par puits)	Ventilation nucléaire (puits) associée à unité de détritiation	1 232 colis	3 (ITER)	35 TBq	Dimensionnement au séisme des ponts et puits	70 µSv à 500 m		

## ANNEXE 2

### **Gestion durable des sources radioactives scellées usagées et possibilité de stocker d'autres types de déchets de faible activité à vie longue avec les déchets de graphite et radifères**

En application du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008 fixant les prescriptions relatives au Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR) pris en application de la loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, l'ANDRA a transmis une étude concernant la gestion durable des sources scellées usagées ainsi que la possibilité de stocker d'autres types de déchets de faible activité à vie longue avec les déchets de graphite et radifères. L'ASN a demandé l'avis de l'IRSN sur ces dossiers, par lettre ASN/DRD/n° 0139/2009 du 17 février 2009, plus particulièrement sur « la pertinence des inventaires de sources et de déchets présentés ainsi que celle des options et des critères de sûreté retenus aux différentes étapes de leur élimination et plus particulièrement la pertinence des filières de stockage retenues (filière de référence ou filière alternative) ».

#### **Inventaire des sources scellées usagées**

Dans le document évalué, l'ANDRA estime qu'environ deux millions de sources scellées usagées, actuellement entreposées, devront faire l'objet d'une élimination dans des filières de stockage appropriées. Ces sources proviennent principalement d'activités industrielles, médicales, d'enseignement et de recherche, ou encore domestiques ou militaires. Leurs formes sont diverses (cylindre, pièce de monnaie, aiguille, baguette, plaque, flacon...), leur dimension généralement centimétrique (exceptionnellement métrique) et leur masse communément de quelques grammes. Elles contiennent des radionucléides de vie très courte à très longue, à des niveaux de l'ordre du Bq jusqu'à  $10^{15}$  Bq.

L'ANDRA identifie, dans son étude, les principaux détenteurs de sources scellées usagées et le type (« modèle ») de sources concernées. Il s'agit en premier lieu des entreprises du groupement français des industries électroniques de sécurité incendie (GESI) qui détient, selon les estimations de l'ANDRA, environ 65 % en nombre des sources scellées usagées, puis la défense nationale pour près de 22 % (tubes électroniques essentiellement). Les sources industrielles et médicales sont détenues principalement par le CEA et Cis-Bio (respectivement 10 % et 0,3 %), principaux producteurs. La société CERCA a depuis pris le relais de ces deux organismes pour la fabrication de ce type de sources. L'ANDRA, qui a notamment pour mission de collecter les sources en déshérence, détient aujourd'hui environ 1,3 % en nombre des sources. En outre, de nombreuses entreprises (EdF, Thales, Schneider, France Telecom, entreprises des secteurs électronique, informatique ou aéronautique) ont utilisé des sources diverses qui ont été répertoriées dans l'inventaire de l'ANDRA. Enfin, l'ANDRA indique les principales incertitudes pesant sur l'inventaire réalisé et précise que la cohérence de ce dernier avec l'inventaire national des sources scellées tenu par l'IRSN a été vérifiée.

**L'IRSN estime que l'inventaire des sources scellées usagées présenté par l'ANDRA est globalement pertinent. En particulier, les différents types de sources sont convenablement identifiées ce qui fournit les bases nécessaires pour orienter les sources considérées vers les différentes filières de stockage possibles. Le nombre de sources à éliminer est cependant à considérer comme un ordre de grandeur susceptible d'évoluer. A cet égard, l'IRSN souligne en particulier les points suivants :**

**- la plupart des sources des clients français du CEA et de Cis Bio sont déjà retournées à leurs fabricants. Toutefois, le taux et le délai de retour des sources exportées à des utilisateurs étrangers sont difficilement déterminables. En effet, si l'entreposage de ces sources chez les utilisateurs est souvent toléré et leur stockage parfois envisagé par certains pays, il ne reste pas moins qu'un fabricant français est susceptible de devoir reprendre des sources vendues à des clients étrangers, parfois plusieurs dizaines d'années auparavant ;**

**- il est difficile de définir combien de sources sont susceptibles d'être reprises par CERCA à l'avenir. Par ailleurs, cet organisme pourrait être amené à fabriquer de nouveaux modèles de sources. Dans cette éventualité, il est souhaitable que CERCA signale son intention à l'ANDRA afin que, le cas échéant, une filière de stockage appropriée puisse être déterminée pour ces nouveaux modèles de sources ;**

**- l'inventaire des sources scellées industrielles et médicales est relativement précis, du fait notamment de la création, en 1990, du système de reprise à dix ans et de garantie financière visant à limiter l'occurrence d'accidents radiologiques imputables à une mauvaise gestion de ces sources. Les sources d'une autre nature, notamment les sources de faible activité et les petits étalons, n'ont toutefois pas été soumis à ce nouveau régime. Avec les sources très anciennes ou « naturelles »(contenant du radium, du thorium ou de l'uranium) qui n'ont pas été enregistrées, ces sources en « détention libre » représentent la quasi-totalité en nombre des sources à reprendre. Le rapport entre le nombre de ces sources et celui des sources répertoriées est probablement de plusieurs centaines, variable selon que l'on dénombre les sources unitaires ou les objets les contenant, mais aussi selon que l'on considère ou non comme devoir être comptabilisées les seules sources d'activité supérieure aux seuils d'exemption. Il faut toutefois préciser que les volumes que représentent ces sources sont modérés. A titre d'exemple, une boîte pour la reprise de détecteurs de fumées contient de 2000 à 3600 sources, conditionnées en sachets plastiques par lots de mille.**

**Il conviendra donc que l'inventaire des sources à stocker soit périodiquement réévalué, en fonction des ventes effectuées, des retours aux fabricants et de nouvelles estimations des quantités détenues par divers organismes. Il est toutefois peu probable que les incertitudes qui pèsent aujourd'hui sur l'inventaire réalisé remettent en cause la capacité d'accueil des sources dans les différentes filières de stockage envisagées.**

**L'IRSN souligne enfin que la valorisation de certaines sources constitue une autre possibilité de gestion. C'est en particulier le cas pour les sources gazeuses dont le gaz pourrait être récupéré, pour les sources de radionucléides coûteux à fabriquer et éventuellement pour celles permettant de réutiliser les propriétés de certains radionucléides contenus dont la décroissance est lente, notamment l'Am241 ou le Cs137.**

### **Filières de stockage des sources scellées usagées**

**L'ANDRA a établi en 2001 des limites d'acceptabilité de colis de sources scellées au CSA avec, d'une part un critère d'activité portant sur les colis et les ouvrages appelé « limite d'activité massique » (LMA), d'autre part un critère sur l'activité par radionucléide de chaque source nommé « limite**

d'activité des sources » (LAS). Cette LAS est estimée de manière à limiter l'exposition en cas notamment de scénario de chute de colis pendant la période d'exploitation ou d'intrusion humaine avec récupération d'une source au-delà de la période de surveillance.

L'ASN a autorisé en 2005 l'ANDRA à stocker des sources scellées ne contenant qu'un seul radionucléide (hormis les impuretés indissociables de la source) de période inférieure ou égale à celle du  $^{137}\text{Cs}$  (30 ans) dans des colis constitués uniquement de sources scellées ; l'activité totale du colis doit être limitée à 270 TBq, son activité moyenne inférieure au  $1/10^{\text{ème}}$  de la LMA pour chaque radionucléide considéré et l'activité de chaque source du colis doit être inférieure à la LAS.

Pour la gestion future de ces sources scellées usagées, les filières de référence retenues par l'ANDRA sont le centre de stockage de très faible activité de Morvilliers (CSTFA), le centre de stockage de surface pour les déchets de faible et moyenne activité (CSA), le futur centre de stockage pour les déchets de faible activité massique à vie longue (FAVL) et le futur centre de stockage géologique profond pour les déchets de moyenne et haute activité massique à vie longue (MA-HAVL). L'ANDRA envisage que l'orientation des sources vers ces différents stockages soit déterminée à partir d'un certain nombre de critères, portant sur l'état physique, la période du radionucléide, l'activité de la source et sa dimension, l'activité du colis de stockage et enfin la puissance thermique du colis.

L'IRSN rappelle en premier lieu que chaque installation de stockage doit être conçue prioritairement pour répondre à un besoin industriel d'élimination de catégories de déchets bien identifiées, afin d'adapter les moyens mis en œuvre pour assurer la sûreté de l'installation aux risques inhérents aux déchets stockés. Elle doit permettre la décroissance de l'activité contenue dans les déchets reçus en prévenant les risques de dissémination des substances radioactives jusqu'à atteindre un niveau résiduel qui n'est pas susceptible d'occasionner des expositions inacceptables de l'homme et de l'environnement, même en cas de perte significative des propriétés de confinement de l'installation.

Ainsi, l'IRSN considère que la gestion des sources scellées usagées doit tenir compte en particulier de leur activité et de leur volume et être telle qu'elle préserve, pour chaque type de stockage, la capacité radiologique qui permet l'élimination des déchets pour lesquels ces stockages sont plus spécifiquement conçus. Or, l'étude de l'ANDRA ne présente pas d'estimation globale des activités et volumes des sources scellées qui seraient orientées vers chacun des stockages envisagés. Il conviendrait que l'ANDRA complète son inventaire par ces valeurs. L'IRSN a néanmoins analysé la pertinence globale des filières retenues par l'ANDRA sur la base de la compatibilité de chacun des types de sources avec l'installation de stockage envisagée pour son élimination. Pour ce qui concerne les critères retenus par l'ANDRA, l'IRSN souligne le bien-fondé de celui relatif à l'état physique des sources, selon lequel les sources liquides et gazeuses ne peuvent pas être stockées en l'état ; des procédés de traitement devront effectivement être définis pour que les résidus solidifiés puissent être gérés comme des déchets. La pertinence des autres critères définis par l'ANDRA est analysée ci-après pour chacune des filières de stockage.

Pour ce qui concerne le stockage de sources scellées au CSTFA, l'ANDRA indique que les spécifications générales actuelles d'acceptation des déchets TFA ne traitent pas des sources scellées, mais que certaines sources sont compatibles avec l'arrêté n° 03-2176A autorisant l'ANDRA à exploiter ce centre. L'ANDRA envisage ainsi le stockage au CSTFA des sources dont l'activité est inférieure à 1 Bq, ce qui nécessitera de formaliser des critères d'acceptation ad hoc. Il s'agit selon l'ANDRA de sources à vie courte ayant suffisamment décru ou de sources à vie plus longue, mais de très faible activité initiale. Par ailleurs, l'ANDRA rappelle que les sources scellées contenant un

**radionucléide de période inférieure à 100 jours peuvent être gérées par décroissance radioactive puis déclassé (en déchets), en application du PNGMDR. L'ANDRA mentionne l'opportunité de stocker ces sources déclassées au CSTFA, afin de s'affranchir des éventuelles difficultés liées à la « dispersion » de sources déclassées dont le symbole indicateur de rayonnement ionisant n'aurait pas été effacé.**

**L'IRSN n'a pas d'objection de principe à l'acceptation au CSTFA de sources scellées de moins de 1 Bq et considère que cette filière de gestion permet d'éviter les risques de remise par erreur dans le domaine public de sources radioactives.**

**Pour ce qui concerne le stockage de sources scellées au CSA, les critères considérés par l'ANDRA sont la période du radionucléide, l'activité de la source et l'activité totale du colis. L'ANDRA est autorisée à stocker au CSA les sources respectant les prescriptions techniques actuelles du centre mentionnées ci-avant. Cependant, l'ANDRA envisage de modifier ces prescriptions techniques afin de permettre le stockage d'autres sources, dont l'activité dépasse la LAS actuelle ou contenant plusieurs radionucléides ou encore dans un colis dont l'activité dépasserait 270 TBq.**

**L'ANDRA envisage d'affiner le critère des LAS en tenant compte de la dimension de la source, ce qui rendrait caduques certains scénarios de récupération (par exemple le scénario d'ingestion pour une source de grande dimension). L'IRSN, d'une part constate que cette modification ne permettrait le stockage que d'une centaine de sources supplémentaires au CSA (en plus de celles qui répondent aux prescriptions actuelles), d'autre part estime que la méthode de détermination des LAS est sujette à caution car cette méthode « inverse » (calculs partant d'un critère de dose fixé au préalable pour dériver les niveaux d'activité acceptables des sources pour leur stockage) est fragile puisque les valeurs de dose obtenues sont susceptibles d'être remises en question dès lors qu'un des paramètres du calcul est modifié. De plus, la modification du critère des LAS présentée par l'ANDRA rend complexe l'application de ce critère (pour le scénario d'ingestion retenu pour une source de petite dimension, il faudrait théoriquement tenir compte de sa forme, de son éventuel support...). Enfin, l'IRSN rappelle que, pour la réception de sources scellées au CSA, les critères retenus par l'ANDRA devront être complétés afin que le nombre de sources pouvant être reprises lors d'une intrusion soit réduit, d'une part en limitant le nombre de sources par colis, d'autre part en éloignant les colis de sources au sein d'une même alvéole.**

**L'ANDRA retient également le stockage au CSA des étalons multi-radionucléides de périodes très courtes. L'ANDRA envisage en outre de réviser les restrictions dans les spécifications d'acceptation des déchets au CSA concernant l'aluminium métallique qui constitue l'enveloppe de certaines sources (risque de radiolyse au contact d'un matériau cimentaire) en considérant, parmi diverses possibilités, la limitation du nombre de sources dans chaque colis et le mélange avec d'autres sources ou déchets. L'IRSN relève que mélanger différents types de sources dans un même colis peut être à l'origine d'incertitudes dans l'estimation du contenu radioactif des colis (augmentation du risque de mise en colis par erreur de sources indésirables associé à une plus grande complexité des critères à appliquer). Il en est de même pour le mélange de sources avec d'autres déchets radioactifs. En outre, un tel mélange n'apparaît pas opportun notamment s'il s'agit de sources produites en quantités suffisamment grandes pour réaliser sans difficultés des colis ne contenant qu'un radionucléide. Toutefois, dans le cas où elle permettrait d'améliorer significativement la sûreté de gestion de certaines sources en amont, cette option pourrait être examinée au cas par cas.**

**Enfin, l'ANDRA examine la possibilité de stocker au CSA des colis de sources de <sup>60</sup>Co dont l'activité dépasse actuellement 270 TBq (sources entreposées ou en cours de transfert dans l'INB 72 et**



regroupées dans des conteneurs de transport SV34 et SV69), soit en concevant un nouveau colis pour la manipulation de ces sources, présentant un faible risque de dispersion en cas de chute (en s'assurant que le dégagement thermique est compatible avec un stockage de ces colis au CSA), soit en reconditionnant ces sources en les mélangeant à des sources moins actives. A cet égard, l'IRSN rappelle que les conteneurs SV34 et SV69 ne sont pas homologués pour le transport sur la voie publique et que la présence d'uranium appauvri dans la protection radiologique de certains d'entre eux pourrait nécessiter un reconditionnement. En outre, le stockage au CSA de colis de plus de 270 TBq nécessite de porter une attention particulière à leur répartition dans les ouvrages pour éviter de créer des « points chauds » en surface du stockage. L'IRSN convient cependant qu'un stockage au CSA des sources de cobalt entreposées dans l'INB 72 peut contribuer à améliorer la sûreté de leur gestion. L'acceptabilité au CSA de ces sources ne pourra en tout état de cause être prononcée que sur la base d'une analyse de sûreté spécifique.

Pour ce qui concerne le stockage des sources scellées dans un centre FAVL ou MA-HAVL, l'ANDRA envisage de répartir les sources de période supérieure à celle du  $^{137}\text{Cs}$  selon des critères d'activité, de dimension et de thermicité des sources ou des colis. Pour le stockage FAVL, situé, soit à une profondeur « de 15 à 20 m environ (30 mètres au plus) » avec couverture remaniée (SCR), soit à une profondeur « de plus de 50 mètres (jusqu'à 150 à 200 mètres) » avec couverture intacte (SCI), l'ANDRA envisage de baser l'acceptabilité des sources sur un critère d'activité identique aux LAS du CSA, étendu aux radionucléides de période supérieure à celle du  $^{137}\text{Cs}$ .

Une augmentation ultérieure de ces LAS de « un à trois ordres de grandeur » pour tenir compte de la profondeur du stockage est évoquée. L'ANDRA envisage un stockage en subsurface pour « les moins actives » des sources de radionucléides de période supérieure à celle du  $^{60}\text{Co}$  (5,27 ans), en SCR pour une activité inférieure aux LAS ou en SCI pour une activité supérieure, et le stockage profond (MAVL ou HAVL) si les activités ou la thermicité des sources sont trop importantes.

L'IRSN estime que les possibilités de récupération de sources ne sont pas sensiblement différentes dans le cas d'un stockage de subsurface qui se trouverait à 15-20 m de profondeur et dans le cas du CSA. Une profondeur de garde de plusieurs dizaines de mètres est a minima nécessaire pour s'affranchir du risque d'intrusion liée aux activités humaines banales. De ce fait, pour les raisons évoquées dans le cas du stockage au CSA, il n'apparaît pas judicieux d'orienter les sources scellées mentionnées vers un stockage à 15-20 m de profondeur. L'IRSN souligne en outre que la période du radionucléide devrait être retenue comme critère de répartition des sources entre un stockage FAVL et un stockage profond, l'objectif étant de confiner les déchets efficacement pendant le temps nécessaire à leur décroissance jusqu'à un niveau résiduel d'activité qui ne puisse pas être à l'origine d'expositions inacceptables. Pour le stockage de déchets FAVL, la durée visée est de quelques dizaines de milliers d'années alors qu'elle est au moins dix fois plus importante pour le stockage des déchets MA-HAVL. De ce fait, l'IRSN considère que les sources qui ne présenteraient pas un potentiel de décroissance significatif en quelques dizaines de milliers d'années devraient préférentiellement être dirigées vers un stockage profond.

En conclusion sur les filières de référence retenues par l'ANDRA pour le stockage des sources scellées, l'IRSN considère que le stockage au CSTFA des sources déclassées ou de moins de 1 Bq n'appelle pas de remarque. L'IRSN estime en revanche que les centres de surface ou un centre FAVL de faible profondeur (entre 15 et 20 m) sont peu adaptés au stockage de sources dont l'activité résiduelle resterait significative au-delà de quelques centaines d'années. Une telle orientation ne devrait être motivée que si elle contribue à améliorer la sûreté globale de la gestion d'un nombre significatif de sources. En tout état de cause, l'IRSN recommande une gestion en entreposage de ces sources jusqu'à l'ouverture d'un centre de stockage MA-HAVL ou

**FAVL situé à une profondeur suffisante pour s'affranchir des risques liés à l'intrusion humaine banale et à l'érosion, en orientant les sources dans ces deux stockages en fonction de leur période.**

**S'agissant des filières alternatives à la gestion des sources scellées usagées, l'ANDRA présente très brièvement quelques pistes, qui sont l'entreposage, la destruction mécanique ou chimique des sources ou encore le regroupement de sources compactées avec des déchets radioactifs, suivi dans chacun des cas par un stockage dans une installation autre que celle envisagée par l'ANDRA en référence. L'IRSN constate que les éléments présentés sont très préliminaires et ne permettent que des remarques de principe.**

**L'ANDRA indique que l'entreposage de décroissance ne constitue une réelle opportunité de changement de filière de stockage que pour des sources de  $^{137}\text{Cs}$  et de  $^{90}\text{Sr}$ , respectivement d'activité unitaire actuelle inférieure à 200 MBq et 20 MBq, en vue d'un stockage au CSA. Comme indiqué précédemment, l'IRSN estime que le CSA n'est pas prioritairement conçu pour recevoir des sources de ce type et recommande l'entreposage de telle sources jusqu'à l'ouverture d'une filière de stockage plus appropriée.**

**Une destruction chimique ou mécanique permettrait, selon l'ANDRA, de gérer les sources comme des déchets, en s'affranchissant notamment de la IAS, et de diriger au CSA et dans un centre FAVL des sources destinées en référence respectivement au stockage FAVL et au stockage MA-HAVL. L'ANDRA indique cependant que la destruction mécanique dans un objectif de changement de filière n'apparaît a priori pas opportune.**

**L'IRSN approuve cette position et estime en effet que la destruction mécanique de sources scellées n'apporte pas de gain en termes de sûreté globale de la gestion des sources en induisant des risques potentiels pour la sûreté et la radioprotection pendant les opérations de transformation. Une destruction chimique est cependant évoquée par l'ANDRA pour les sources de  $^{137}\text{Cs}$  sous forme de chlorure de césium présentant généralement une activité de plusieurs centaines de GBq et destinées en référence au stockage profond (MAVL), qui pourraient être insolubilisées afin de les rediriger vers le CSA. L'IRSN estime qu'une insolubilisation de ces sources peut constituer une amélioration pour la sûreté de leur gestion, mais attire l'attention sur la nécessité d'apporter la démonstration que cette insolubilisation est durable et que les produits issus de leur destruction chimique sont compatibles avec les critères d'acceptation des déchets au CSA.**

**Enfin, l'ANDRA envisage le compactage de certaines sources de périodes courte, moyenne ou longue, qui pourra entraîner une perte de tout ou partie du confinement des sources, mais générera un gain de volume, pour les regrouper et les mélanger avec des déchets MAVL en vue d'un stockage en formation géologique profonde. L'IRSN estime que cette filière alternative pourrait présenter un intérêt si elle permettait de stocker en profondeur la quasi-totalité des sources scellées. Le risque associé au procédé de compactage doit néanmoins être évalué et mis en regard du gain en volume réellement obtenu.**

### **Les déchets de faible activité à vie longue autres que sources scellées, déchets de graphite et radifères**

**L'inventaire présenté par l'ANDRA montre une grande diversité des déchets de faible activité à vie longue autres que les déchets de graphite et radifères : il s'agit d'objets contenant du radium, du thorium ou de l'uranium et de déchets bitumés. L'ANDRA envisage leur répartition au cas par cas dans un centre FAVL (à des profondeurs allant de 15 à 200 m) dans la même installation que celle**

**envisagée pour les déchets de graphite ou radifères, ou en stockage géologique profond (à plus de 200 m de profondeur).**

**L'IRSN estime que le stockage à faible profondeur de certains objets « attrayants » (minéraux, horlogerie...) s'apparentant à des sources est peu approprié pour les mêmes raisons qu'évoquées plus haut. Un stockage dans un centre FAVL plus profond apparaît en revanche possible, selon l'activité et la période de ces objets.**

**Pour ce qui concerne les déchets bitumés, l'ANDRA indique qu'« afin de statuer sur la possibilité d'un stockage à faible profondeur », diverses études (phénoménologie, migration de radionucléides, adaptation de l'architecture du stockage et des moyens d'exploitation...) sont programmées, dont les résultats seront disponibles en 2010.**

**En tout état de cause, la possibilité de stocker ces déchets dans un centre de stockage FAVL, notamment pour ce qui concerne les déchets bitumés, ne pourra être définitivement prononcée que sur la base d'évaluations de sûreté tenant compte des caractéristiques de sites réels.**

## **ANNEXE 3**

### **Etude de la valorisation des substances radioactives sans emploi actuel**

En application du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008 fixant les prescriptions relatives au Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR) pris en application de la loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, EDF, AREVA et le CEA ont transmis conjointement une étude concernant les procédés de valorisation des matières radioactives sans emploi actuelles présentes en France et la société RHODIA a transmis une étude sur les procédés de valorisation des matières radioactives présentes sur son site de La Rochelle. L'ASN a demandé l'avis de l'IRSN sur ces dossiers, par lettre ASN/DRD/n° 0139/2009 du 17 février 2009, plus particulièrement sur la faisabilité technique des différents procédés de valorisation des matières présentés ainsi que sur les conditions de déploiement d'un cycle nucléaire basé sur l'usage du thorium.

La note EDF-CEA-AREVA passe en revue les matières détenues par les principaux exploitants nucléaires français (EDF, AREVA et ses filiales et CEA), en cohérence avec l'arrêté du 9 octobre 2008 relatif à l'Inventaire national des déchets radioactifs et des matières valorisables établi par l'ANDRA, et examine les procédés de valorisation déjà mis en œuvre dans le but d'identifier les éventuelles matières pour lesquelles aucun procédé ne serait disponible et les besoins en études nouvelles de valorisation. Cette note conclut que la totalité des matières radioactives examinées font ou ont déjà fait l'objet d'actions de valorisation, sur la base de procédés éprouvés et indique qu'il n'est pas « pertinent » de mener des études complémentaires sur d'autres modes de valorisation.

Le rapport RHODIA dresse, quant à lui, un bilan des études de valorisation des matières radioactives entreposées sur le site de La Rochelle (hydroxyde brut de thorium (HBTh) et nitrate de thorium notamment) et des procédés de traitement mis au point, la valorisation de ces produits portant sur leur contenu en terres rares, uranium et thorium.

#### **Revue des procédés de valorisation des matières radioactives présentes sur le sol français et détenues par EDF, AREVA et le CEA**

##### **Filière uranium**

En France, le nucléaire fournit près de 80 % de l'énergie électrique (près de 430 TWh ces dernières années), ce qui correspond à une consommation annuelle de l'ordre de 8 000 tonnes d'uranium naturel (Unat). Les réacteurs nucléaires utilisant la filière uranium consomment essentiellement de l'uranium naturel enrichi en  $^{235}\text{U}$  (UNE).

L'uranium naturel appauvri (Uap) est produit lors des opérations d'enrichissement de l'Unat. Sa teneur résiduelle en  $^{235}\text{U}$  est de 0,25 à 0,30 %. Cet Uap peut être, soit ré-enrichi, soit utilisé en mélange avec du plutonium dans les assemblages combustibles MOX destinés à être irradiés dans les réacteurs à eau légère (REL) et les réacteurs à neutrons rapides (RNR).

La quantité actuelle d'Uap « naturel » entreposée en France est de l'ordre de 250 000 tonnes. Un parc de réacteurs à neutrons rapides (RNR) isogénérateurs de 4<sup>ème</sup> génération nécessite le

chargement de 100 tonnes par an et par GWe installé. Sur 60 ans, il pourrait donc être chargé environ 360 000 tonnes d'Uap dans un parc de RNR représentant 60 GWe, ce qui représente à peu près la valeur du stock estimé (350 000 tonnes) à l'horizon 2020<sup>3</sup> (cf. Inventaire national 2006 de l'ANDRA).

Par ailleurs, la faisabilité technique du ré-enrichissement en <sup>235</sup>U de l'Uap par centrifugation a été démontrée. La valorisation de cette matière dépend néanmoins du cours de l'uranium naturel et éventuellement du développement de nouvelles techniques d'enrichissement (procédé LASER).

L'uranium de retraitement (URT) provient du mono-recyclage des combustibles UNE usés. Les particularités liées au recyclage de l'URT sont un sur-enrichissement nécessaire pour compenser la présence de l'<sup>236</sup>U neutrophage ainsi que la présence de <sup>232</sup>U et de ses descendants émetteurs de rayonnements gamma d'énergie élevée (<sup>212</sup>Bi et <sup>208</sup>Tl) conduisant à des risques d'exposition aux rayonnements ionisants principalement lors des opérations de fabrication des combustibles à base d'URT enrichi (URE). Actuellement, le recyclage de l'URE est réalisé sur deux tranches du site EDF de Cruas.

L'IRSN considère, comme l'indique l'étude EDF-AREVA-CEA, que le retour d'expérience actuel apporte la démonstration indiscutable du caractère valorisable des matières consommées et produites par la filière Uranium. L'étude pourrait toutefois être complétée par une analyse du devenir de l'uranium à l'issue d'un deuxième recyclage éventuel (possibilité de nouvelle valorisation ou traitement en déchets).

Pour ce qui concerne les réacteurs de recherche et la propulsion navale, la note EDF-AREVA-CEA indique qu'il est envisagé de traiter les différents types de combustibles suivants :

- les assemblages « aluminure » (UAI), constitués de plaques formées d'un noyau à base d'alliage d'uranium hautement enrichi et d'aluminium entouré d'une gaine en aluminium ;
- les assemblages « Caramel », constitués d'un sandwich d'alliage d'uranium hautement enrichi entre deux plaques métalliques, chargés dans les réacteurs OSIRIS, ISIS et ORPHEE ;
- les assemblages de propulsion navale usés (dits « PN ») dont les caractéristiques d'enrichissement, géométriques et d'irradiation sont proches de celles des combustibles « Caramel » ;
- les assemblages expérimentaux des réacteurs CABRI et PHEBUS.

Pour ce qui concerne les combustibles de type UAI, de géométries très diverses, il est précisé que l'atelier de tête (cisailage-dissolution) de l'usine UP3 de La Hague a été modifié afin de pouvoir traiter, selon les critères de sûreté requis, ces différents types de combustible en discontinu et en dilution dans des solutions de dissolution de combustible UOX (pour tenir compte des activités massiques élevées des combustibles UAI). Le traitement de combustibles australiens, belges et français a été autorisé en 2005. Les premières campagnes de dissolution portant sur ces combustibles n'ont pas fait apparaître de difficulté notable. Pour ce qui concerne le traitement des combustibles de type « Caramel », la note EDF-AREVA-CEA indique que 2,3 tonnes de combustibles de ce type, issus du réacteur OSIRIS, ont été traités par le CEA/Marcoule en 1996 et 1997. Selon cette note, la démonstration de la faisabilité du traitement de ce combustible a donc été apportée. De la même façon, le CEA et AREVA considèrent que la faisabilité technique du traitement et du recyclage des combustibles PN usés, s'apparentant aux combustibles « Caramel », est acquise. Pour

---

<sup>3</sup> Il faut noter que la disparition du stock d'Uap ne serait effective que sur une durée beaucoup plus longue que 60 ans, compte tenu du fait que seule une fraction de l'Uap irradié se transforme avant le déchargement du combustible du réacteur.

ce qui concerne les combustibles des cœurs « nourriciers » des réacteurs CABRI et PHEBUS à base d' $UO_2$  enrichi et faiblement irradiés, l'IRSN estime que ces combustibles ont des caractéristiques similaires à ceux des REP et sont par conséquent retraitables.

Enfin, la note indique que de faibles quantités de combustibles usés, d'autre nature (combustibles OSIRIS oxyde, crayons et échantillons expérimentaux), ont été déclarés comme déchets par leur propriétaire (catégorie de combustibles dits « CU3 » recensés dans l'inventaire ANDRA destiné au stockage HAVL).

Les éléments présentés dans la note AREVA-EDF-CEA concernant les combustibles des réacteurs de recherche et les combustibles de propulsion navale n'appellent pas de commentaire de la part de l'IRSN. Hormis le cas des combustibles dits « CU3 » destinés au stockage géologique, l'IRSN considère que la faisabilité du traitement à l'échelle industrielle de ces combustibles et le caractère valorisable des matières récupérées à l'issue du traitement sont effectivement démontrés.

**Des précisions pourraient toutefois être apportées sur les points suivants :**

- s'agissant des combustibles de type « siliciure » (assemblages constitués de plaques formées d'un noyau à base d'aluminium et d'un alliage d'uranium enrichi et de silicium ( $U_3Si_2$ ) entouré d'une gaine en aluminium), il n'est pas fait état spécifiquement du traitement de ce type de combustible. L'IRSN rappelle que de tels combustibles irradiés dans les réacteurs SILOE et OSIRIS sont entreposés, depuis 2003, dans les piscines de La Hague. Cet entreposage a été autorisé notamment sur la base de la démonstration de la faisabilité technique de leur traitement dans des conditions proches de celles retenues pour les combustibles UAl. L'IRSN estime que le traitement de tels combustibles, et par conséquent la valorisation des matières recyclables contenues, ne devraient pas présenter de caractère rédhibitoire, moyennant des conditions opératoires appropriées pour les dissoudre. Compte tenu de l'importance de la R&D menée actuellement sur le sujet, il conviendrait néanmoins que ces aspects soient précisés dans l'étude ;

- il conviendrait que les installations envisagées pour le traitement des assemblages de type « Caramel » ainsi que des combustibles usés des réacteurs expérimentaux PHEBUS et CABRI soient indiquées.

Pour ce qui concerne la valorisation des combustibles issus des réacteurs à eau lourde et UNGG, la note EDF-AREVA-CEA indique que les combustibles usés issus du réacteur EL4 de Brennilis de type « eau lourde » (de l'ordre d'une centaine de tonnes au total) sont actuellement considérés comme des déchets radioactifs, même si des évolutions restent possibles. Or, l'inventaire national de l'ANDRA (édition 2006) mentionnait ces combustibles comme étant valorisables. Par ailleurs, aucune information n'est fournie sur le devenir des combustibles provenant des réacteurs à eau lourde EL1, EL2 et EL3 et du réacteur G1 (de type UNGG), identifiés comme valorisables dans l'inventaire national précité. L'IRSN estime que le caractère valorisable ou non de ces combustibles est à expliciter.

### **Filière plutonium**

Actuellement, en France, le plutonium contribue à environ 40 % de l'énergie électrique nucléaire produite :

- près de 30 % de l'énergie est produite par le plutonium fissile (produit par capture neutronique sur l' $^{238}U$ ) généré au sein des assemblages UNE (par les fissions du  $^{239}Pu$  et  $^{241}Pu$ ),

- de l'ordre de 8 à 10 % de l'énergie est produite par le recyclage dans des combustibles MOX (100 t sont recyclées annuellement dans les 20 réacteurs 900 MW d'EDF actuellement autorisés).

La note EDF-AREVA-CEA indique que le plutonium issu du traitement des combustibles UNE usés sur le site de La Hague (soit 850 tonnes/an) est recyclé dans des assemblages MOX destinés à être irradiés dans les REP. La quantité de plutonium ainsi recyclée (soit un peu moins de 10 tonnes) représente la totalité du flux issu du traitement. Elle conclut que le plutonium est une matière dont le recyclage est industriellement démontré. Ceci n'appelle pas de commentaire de la part de l'IRSN.

Par ailleurs, dans le contexte du développement de l'énergie nucléaire dans le monde, des tensions durables sur l'accès aux ressources naturelles d'uranium peuvent survenir à moyen terme, compte tenu des réserves mondiales estimées (15 millions de tonnes selon le Red Book AIEA-OCDE). Dans ce contexte, pour maintenir une industrie nucléaire durable, la note EDF-AREVA-CEA indique que la gestion industrielle de référence des combustibles MOX usés est, comme pour les combustibles URE usés, leur recyclage dans les futurs réacteurs à spectre rapide de la 4<sup>ème</sup> génération (prévue à l'horizon 2040), le concept retenu en France étant celui d'un RNR refroidi au sodium avec le cycle de combustible associé. Dans cette perspective, les combustibles MOX usés, constituant la majeure partie de l'inventaire en plutonium qui sera nécessaire au démarrage de la future filière RNR, sont actuellement entreposés dans les piscines de La Hague sans traitement prévu à court ou moyen terme.

L'IRSN estime, comme le souligne la note EDF-AREVA-CEA, que la faisabilité du traitement des combustibles MOX usés actuels peut être considérée comme acquise, sur la base notamment des résultats satisfaisants des campagnes de traitement réalisées de 1992 à 2008 sur le site de La Hague dans les usines UP2-400 et UP2-800.

Pour ce qui concerne le traitement des combustibles MOX à plus fortes teneurs en Pu+Am (couvrant les gestions de combustibles MOX futures envisagées par EDF pour les prochaines décennies), l'IRSN estime que celui-ci devrait être également possible, sous réserve que des conditions d'exploitation adaptées soient mises en œuvre, notamment pour limiter la production d'insolubles de dissolution riches en plutonium. Il est enfin à noter que le traitement des combustibles MOX RNR apparaît réalisable, au vu de l'expérience acquise lors du traitement, de 1975 à 1987, de plus de 20 tonnes de combustibles issus des réacteurs PHENIX et RAPSODIE (cœurs et couvertures), contenant jusqu'à 30 % de PuO<sub>2</sub>, une partie du plutonium issu du traitement des combustibles PHENIX ayant été en particulier recyclée dans ce même réacteur. De plus, le plutonium sur « étagères » peut être également recyclé après désamériciation sous forme de combustible MOX-REP.

En conclusion, l'IRSN estime que l'expérience acquise permet de démontrer le caractère valorisable du plutonium à la fois dans les conditions actuelles de production d'énergie et dans la perspective d'un déploiement futur d'un parc de RNR.

### Filière thorium

EDF, AREVA et le CEA possèdent de l'ordre de 2 300 tonnes de thorium sous forme de nitrate, entreposées sur le site de Cadarache. Par ailleurs, la société RHODIA possède sur son site de La Rochelle de l'ordre de 32 000 tonnes de produits qui contiennent l'essentiel du thorium potentiellement valorisable. Ces produits se présentent sous diverses formes de nitrates ou d'hydroxydes provenant du traitement des minerais de terres rares. La note EDF-AREVA-CEA et le rapport RHODIA indiquent que le mode principal de valorisation de ce radioélément est son usage

**dans un cycle du combustible basé sur le thorium. En effet, un tel cycle constitue pour l'entité EDF-AREVA-CEA « le principal usage attendu du thorium », la société RHODIA estimant « extrêmement probable l'utilisation à terme [de cet élément] dans la filière nucléaire ».**

**L'avis de l'IRSN présenté ci-après prend en compte les arguments présentés dans ces deux documents, toutefois assez peu développés. Cet avis s'appuie également sur les principaux articles ou études publiés à ce jour et ne porte que sur l'intérêt et la possibilité d'utiliser, à terme, des cycles nucléaires basés sur l'usage du thorium.**

**L'IRSN rappelle tout d'abord que le thorium à l'état naturel n'est constitué que d'un seul isotope, le  $^{232}\text{Th}$ , qui n'est pas fissile. Le thorium ne peut donc servir que de matière fertile produisant, par capture d'un neutron, une suite de réactions aboutissant à l' $^{233}\text{U}$ . Les propriétés fissiles de l' $^{233}\text{U}$  sont meilleures que celles des noyaux fissiles actuellement utilisés dans les réacteurs de la filière uranium - plutonium ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ).**

**Ainsi, l'utilisation d'un combustible à base de  $^{232}\text{Th}$  et d' $^{233}\text{U}$  dans un réacteur aurait pour effet d'augmenter son facteur de conversion (rapport entre la quantité de matière fissile créée et la quantité de matière fissile qui disparaît). Une surgénération est également théoriquement possible pour un spectre thermique (caractéristique des REL). Cette possibilité a été démontrée, il y a plus de 20 ans, dans le réacteur à eau expérimental de Shippingport aux USA, moyennant la mise en place de dispositions techniques complexes visant à limiter les pertes neutroniques.**

**Toutefois, l'irradiation d'un combustible au thorium dans un réacteur thermique conduit à produire du  $^{233}\text{Pa}$ , « poison neutronique » pouvant réduire significativement la réactivité du réacteur. De plus, par rapport à une surgénération avec un spectre rapide, l'empoisonnement par les produits de fission est plus important. L'IRSN estime que ceci peut constituer un facteur limitant de l'utilisation de combustibles au thorium dans des réacteurs thermiques.**

**Une utilisation efficace d'un combustible à base de thorium nécessite par conséquent de pouvoir réduire drastiquement les poisons neutroniques. Le concept de réacteur, qui semble le mieux répondre à cette exigence, est le réacteur à sels fondus (RSF), cité notamment dans le rapport RHODIA. Un tel réacteur met en effet en œuvre un combustible liquide dont les poisons neutroniques sont éliminés par un traitement en ligne du combustible. Un tel concept conduit également à un inventaire réduit en matière fissile et supprime les risques d'irradiation liés à la fabrication des combustibles solides à base de  $^{232}\text{Th}$  et d' $^{233}\text{U}$  (cf. ci-après). Néanmoins, ce concept implique d'associer à chaque réacteur de la filière une unité de traitement en ligne. A ce jour, seuls deux réacteurs à sels fondus expérimentaux (Aircraft Reactor Experiment et Molten Salt Reactor Experiment d'Oak Ridge), de puissance thermique limitée (2,5 et 8 MW), ont été conçus, réalisés et exploités aux États-Unis, mais n'ont cependant fonctionné que quelques milliers d'heures. En effet, le développement de cette filière a mis en évidence des difficultés particulières, notamment liées à la maîtrise des risques de corrosion, à la mise en œuvre de procédés chimiques (gestion du combustible liquide, présence de fluorures, complexité du traitement en ligne...) ou bien encore au pilotage des réacteurs. Les RSF n'ont de fait pas dépassé le stade de réacteurs expérimentaux, aucun prototype électrogène n'ayant été en particulier construit dans le passé. Le développement d'un parc de RSF nécessite, par conséquent, un effort de R&D important. A cet égard, il est à noter que, dans le cadre des réacteurs de 4<sup>ème</sup> génération, l'étude des RSF est envisagée, mais la réalisation d'un « démonstrateur » n'est pas, pour l'instant, programmée à court ou moyen terme.**

**Pour ce qui concerne le traitement des combustibles solides usés à base de thorium, le retour d'expérience disponible montre que leur dissolution est plus difficile que celle des combustibles à**



base d'uranium (métal ou oxyde) et nécessite en pratique l'emploi d'acide fluorhydrique qui pose des problèmes technologiques délicats liés au caractère très corrosif des ions fluorures (expérience liée à la mise en œuvre du procédé Thorex à Oak Ridge, Hanford, Savannah River et West Valley dans les années 1950-1960 et plus récemment en Inde...). D'autres procédés peuvent être envisagés, certains étant déjà en cours de développement (procédés pyrochimiques par exemple). L'IRSN estime que le traitement de ce type de combustibles est envisageable, mais nécessite toutefois un effort de R&D important, notamment pour démontrer le caractère sûr des procédés employés.

Pour ce qui concerne la fabrication de combustibles solides à base de thorium, l'expérience acquise semble suffisante pour pouvoir affirmer qu'il n'y aura pas de problème rédhibitoire. En effet, de tels combustibles ont déjà été fabriqués et utilisés dans différents réacteurs. Toutefois, l'IRSN note que la production d' $^{233}\text{U}$  s'accompagne de celle d' $^{232}\text{U}^4$  et de ses descendants, en particulier le  $^{212}\text{Bi}$  et le  $^{208}\text{Tl}$ , radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'énergie élevée.

Aussi, la fabrication de combustible solide à partir d' $^{233}\text{U}$  issu du retraitement induira des risques d'irradiation importants et nécessitera des protections radiologiques particulières. De plus, le retour d'expérience disponible est insuffisant et ne concerne que quelques installations pilotes de très faibles capacités (Oak Ridge). L'IRSN estime qu'il s'agit d'un des inconvénients majeurs du cycle fermé au thorium.

Par ailleurs, le CNRS et l'Institut de Physique Nucléaire (IPN) d'Orsay ont effectué des études de scénarios<sup>5</sup> de déploiement d'un parc de réacteurs mettant en œuvre du thorium, en retenant comme unique critère de comparaison l'économie des ressources en uranium naturel. Ces scénarios sont plus complexes que ceux qui mettent en jeu les filières uranium et plutonium. En effet, l'absence initiale d' $^{233}\text{U}$ , qu'il faut créer à partir du thorium en lui adjoignant de la matière fissile, impose au moins au départ la cohabitation de deux cycles du combustible différents.

Il ressort de ces études que les scénarios, mettant en œuvre des réacteurs RSF, incinérant de  $^{233}\text{U}$  produits préalablement dans des réacteurs CANDU, consomment moins d'uranium naturel que le scénario français de référence (parc REP remplacé progressivement par des RNR à partir de 2035). En revanche, ce dernier est celui qui conduit le plus rapidement à économiser les ressources naturelles d'uranium. En outre, dans le cas des scénarios impliquant des parcs symbiotiques (cohabitation des cycles UNE, Th/Pu et Th/ $^{233}\text{U}$ , ces combustibles étant uniquement irradiés dans des réacteurs REP ou CANDU), il apparaît que la consommation d'uranium naturel est plus importante que dans les scénarios avec des réacteurs de 4<sup>ème</sup> génération (RNR et RSF). Enfin, dans le cas où les besoins en  $^{233}\text{U}$  sont pourvus par irradiation de combustibles Pu-Th dans des REP (cas le plus probable en France compte tenu du parc actuel), le faible facteur de conversion de ces réacteurs (en comparaison des réacteurs à eau lourde) conduit à une période de transition plus longue avant le déploiement de RSF et a pour conséquence une consommation plus importante d'uranium naturel. Au final, le gain du déploiement d'une filière thorium en matière d'économie des ressources en uranium est incertain. L'IRSN souligne de surcroît que ces études de scénarios ne prennent pas en compte les besoins de qualification des données nucléaires inhérents au cycle du thorium qui restent largement à consolider. Les performances réelles de la filière thorium restent donc à confirmer.

En conclusion, l'IRSN retient que l'expérience industrielle associée à la mise en œuvre d'un cycle thorium est limitée et faible. Si le traitement des combustibles solides au thorium et la

<sup>4</sup> L' $^{232}\text{U}$  est produit par réaction (n, 2n) sur  $^{233}\text{U}$ , mais également par d'autres réactions à partir du thorium. Il est fabriqué en quantités bien plus importantes dans la filière Th-U que dans la filière à uranium enrichi.

<sup>5</sup> Neutronic Study of Slightly Modified Water Reactors and Application to transition Scenarios Proceedings of Global 2007, Boise, Idaho, September 2007

**fabrication des combustibles à base d'<sup>233</sup>U, étapes indispensables au déploiement d'une telle filière, apparaissent envisageables, les problèmes technologiques délicats que soulèvent la mise au point des procédés et la conception des différents types de réacteurs incinérant du thorium nécessitent, pour être résolus, un effort de R&D important. En outre, l'économie des ressources en uranium que pourrait apporter cette filière reste à démontrer. Aussi, l'IRSN estime que la valorisation du thorium est possible, mais nécessite d'importants moyens pour en démontrer l'intérêt industriel par rapport aux filières dont la maîtrise technique est, à ce jour, beaucoup plus avancée.**

### **Bilan des études de valorisation des matières dites « valorisables » entreposées sur le site RHODIA de La Rochelle**

**La société RHODIA possède sur son site de La Rochelle des substances radioactives issues de son activité de traitement de minerais de terres rares et déclarées à l'ANDRA en tant que matières valorisables. Il s'agit principalement d'hydroxyde brut de thorium « HBTh » (produit intermédiaire) et de nitrate de thorium, représentant respectivement de l'ordre de 2 200 et 5 000 tonnes en équivalent ThO<sub>2</sub>, actuellement entreposés sur le site.**

**Pour ce qui concerne les études de valorisation des hydroxydes bruts de thorium, la société RHODIA a développé un nouveau procédé de traitement, basé sur une première expérience de traitement industriel datant des années 1979-1983, les objectifs de ce projet étant la valorisation de la totalité de l'uranium et des terres rares présents dans ces composés et la séparation et la purification du thorium sous forme de nitrate de thorium. Ce procédé comprend notamment un prétraitement, une séparation des hydroxydes par filtration, une attaque des résidus par l'acide nitrique puis des étapes successives de séparation-purification, par extraction liquide-liquide, du thorium, de l'uranium et des terres rares présents sous forme de nitrates.**

**L'IRSN note que la société RHODIA a une forte expérience dans la mise en œuvre de ce type de procédés hydro-métallurgiques, rendus complexes du fait du mélange du thorium à des terres rares dans les minerais de monazite, et que les procédés de valorisation proposés, en première approche, ne font pas apparaître de sauts technologiques importants par rapport aux procédés existants.**