

COMMISSION NATIONALE D'EVALUATION
DES RECHERCHES ET ETUDES RELATIVES A LA GESTION
DES MATIERES ET DES DECHETS RADIOACTIFS

Instituée par la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006

RAPPORT
D'EVALUATION N° 1

Sommaire

	Pages
LES GRANDES ORIENTATIONS	3
Chapitre 1 - Le nouveau cadre légal pour la gestion des matières et déchets radioactifs	5
Chapitre 2 - Évaluation des recherches et études coordonnées par l'Andra	10
Chapitre 3 - Évaluation des recherches et études coordonnées par le CEA	16
Chapitre 4 - Développements internationaux récents dans le domaine du stockage des déchets nucléaires	22
Annexe 1 - Composition de la Commission Nationale d'Evaluation au 30 juin 2007 ..	26

LES GRANDES ORIENTATIONS

Le Législateur a estimé souhaitable de poursuivre la démarche d'évaluation des recherches pour la gestion des déchets radioactifs réalisée jusqu'ici par la première Commission Nationale d'Evaluation (CNE) dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991. Il a en effet, dans la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, à nouveau institué une « Commission Nationale » chargée d'évaluer annuellement l'état d'avancement des recherches et des études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs. Le champ de compétence de la Commission est à la fois élargi et encadré par le Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR).

La Commission doit donc *a priori* considérer dans ses rapports l'ensemble des recherches et études mentionnées dans ce premier PNGMDR. Contrairement à la loi de 1991, qui ne concernait que les déchets à haute activité et à vie longue, la loi de 2006 s'applique donc à l'ensemble des matières et déchets radioactifs, quelle que soit leur activité ou leur durée de vie. Par voie de conséquence, la Commission peut être désormais concernée par l'évaluation de recherches portant sur un vaste secteur. Celui-ci irait des déchets à très haute activité aux déchets à faible, voire très faible activité, en passant par les différentes matières radioactives, les sources et les déchets miniers. Il est cependant souhaitable que le périmètre des recherches et études que la Commission doit évaluer soit précisé dans les prochains mois par décret, en accord avec l'Autorité de Sûreté Nucléaire.

La Commission dont les douze membres sont totalement bénévoles ne dispose pas des moyens nécessaires pour aborder l'intégralité des problèmes ainsi posés. Certains d'entre eux peuvent poser des questions scientifiques (déchets graphites, radifères ou tritiés). D'autres ne font pas

l'objet de recherches scientifiques, leur gestion relevant essentiellement de mesures d'ordre purement technique ou réglementaire (sources médicales et industrielles) et de localisation des installations. D'autres enfin représentent un vaste domaine moins bien délimité, tel que celui des résidus des mines d'uranium.

Les domaines scientifiques et techniques évalués par la première CNE couvraient principalement la physique, la chimie et les sciences de la Terre. Certains champs sont maintenant mentionnés ou sous-jacents dans les textes : modélisation et simulation, radiobiologie et radioécologie, recherches de type sociétal et économique. La modélisation-simulation est capitale, notamment pour la conception des ouvrages et la prévision du comportement à long terme du stockage. La recherche en radiobiologie-radioécologie est indispensable pour assurer « le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement ». Les recherches de type sociétal et économique permettent de mieux préparer le processus de décision et de nourrir les débats au sein de la société.

La Commission demande que lui soient présentés les travaux qui ont pu être réalisés dans ce domaine et elle recommande au Ministère de la Recherche l'affichage de bourses de thèse ou post-doctorales sur les sujets sociétaux et économiques.

La poursuite des recherches et leur orientation donnée par la loi de 2006 vont dans le sens de réalisations concrètes. Cette évolution est marquée par une définition légale et plus claire des familles de déchets, par un calendrier contraignant et par l'établissement d'un lien direct entre chaque réalisation et les étapes qui devront suivre. Les recherches pour le conditionnement primaire des déchets anciens ou divers relèvent maintenant des produc-

teurs de déchets mais l'Andra est en charge de prévoir les spécifications pour leur mise en stockage. La focalisation sur les déchets de retraitement réduit considérablement les recherches sur les conteneurs de stockage des assemblages du combustible usé. L'entreposage est maintenant clairement conçu comme une opération industrielle en attente du stockage des colis de déchets. Pour le stockage géologique, qui est maintenant l'option de référence pour les déchets de haute et moyenne activité à vie longue, l'Andra a lancé, sur la zone de transposition, un programme de reconnaissance détaillée pour aboutir, dans une zone restreinte, à la proposition d'une ou plusieurs zones favorables à l'implantation d'un stockage et des concepts associés. L'Andra a par ailleurs mission de proposer un concept et un site de stockage pour les déchets de faible activité à vie longue (graphites et radifères). Pour la séparation-transmutation, les objectifs sont l'évaluation du programme de transmutation en réacteurs à neutrons rapides, critiques ou sous-critiques, et la réalisation d'un prototype de réacteur à neutrons rapides et des installations associées.

La nouvelle Commission, dans le court laps de temps disponible (mai-juin 2007), a entendu les représentants de l'ANDRA, du CEA et du CNRS, qui lui ont fourni par ailleurs un ensemble de documents portant sur les programmes de ces organismes et leurs collaborations internationales. Le CEA a également informé la Commission des grandes lignes des recherches en radiobiologie et radiotoxicologie qui sont conduites en France et des perspectives de Gen IV. Le rapport n'aborde pas ce dernier point.

Ce rapport constitue une première approche globale des travaux que la Commission aura à évaluer et permet de dresser la liste des principaux thèmes qui seront analysés dans le prochain exercice (septembre 2007 – juin 2008). Dès maintenant, elle note que le calendrier prévisionnel de l'Andra paraît extrêmement tendu, tant pour le stockage des déchets radifères et graphites que pour celui des déchets HAVL. Il en est de même pour certaines parties du calendrier du CEA.

Chapitre 1

Le nouveau cadre légal pour la gestion des matières et déchets radioactifs

De l'ancienne à la nouvelle CNE

En janvier 2006, la Commission Nationale d'Évaluation des Recherches sur la gestion des déchets radioactifs (CNE), créée par la loi du 30 décembre 1991, a remis aux Pouvoirs publics et au Parlement son dernier rapport. Ce document présentait une évaluation globale des connaissances acquises dans la gestion des déchets à haute et moyenne activité à vie longue, jusqu'en 2006, date à laquelle devait être votée une nouvelle loi, comme le prévoyait la loi de 1991. Celle-ci, exemple presque unique dans les annales parlementaires, avait en effet elle-même prévu son remplacement par un nouveau texte législatif, à l'issue d'une période de quinze années. La CNE a cessé d'exister au terme de cette loi.

Après quatorze années de travaux et la publication de 11 rapports annuels suivis d'un rapport global de synthèse, la CNE a ainsi contribué aux évaluations scientifiques permettant au Parlement et aux Pouvoirs publics de prendre des décisions sur la gestion de l'aval du cycle nucléaire. Ces travaux ont été menés sans sortir du cadre précis de la mission qui lui avait été confiée par la loi : l'évaluation scientifique des recherches menées par les acteurs prévus par la loi, en tenant compte des résultats obtenus dans les autres pays et des avancées majeures réalisées dans les domaines scientifiques connexes.

Le législateur a estimé souhaitable de poursuivre cette démarche puisqu'il a, dans la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, à nouveau institué « une Commission Nationale » chargée d'évaluer annuellement l'état d'avancement des recherches et des études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs.

Un décret du 7 avril 2007 a mis en place la « nouvelle CNE » qui, même si elle ressemble beaucoup à la précédente, n'en est pas la copie conforme.

Le champ de compétence de la Commission a été élargi mais encadré par le Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR).

Si la nouvelle CNE entend bien rester, comme elle l'a été dans le passé, une Commission indépendante, libre de ses choix et de ses jugements scientifiques, son champ de compétence a néanmoins été plus strictement encadré par la loi de 2006 que par celle de 1991, puisque ses évaluations devront désormais être conduites « par référence aux orientations fixées par le plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs ».

Le PNGMDR, créé par la loi du 29 juin 2006, est un document de synthèse recensant, tous les trois ans, les besoins prévisibles dans le domaine de la gestion des matières et déchets radioactifs et déterminant les moyens à mettre en œuvre pour répondre à ces besoins.

Le texte du PNGMDR 2007-2009 qui a été fourni à la Commission fait état de très nombreuses recherches et études sur tous les déchets radioactifs recensés en France, les unes à des fins industrielles et les autres entreprises plus en amont. Le projet de décret dont dispose la Commission ne précise pas l'étendue des obligations de la CNE en matière d'évaluation, de sorte qu'*a priori* la Commission doit embrasser dans ses rapports l'ensemble des recherches et études mentionnées dans ce premier PNGMDR. S'il y a lieu, le périmètre des recherches et études que la Commission doit évaluer sera défini dans les prochaines éditions du PNGMDR.

Le PNGMDR ne traite pas explicitement de tous les aspects de la recherche et des études qu'appelle la loi, notamment sur les sujets transversaux, à l'interface des champs d'investigation qui sont sous les responsabilités de l'Andra et du CEA, organismes chargés par la loi de 2006 de coordonner les recherches et études. Ces sujets sont seulement mentionnés ou sous-jacents. Il en est ainsi de la recherche en « modélisation-

simulation », capitale dans tous les domaines, notamment celui de la conception des ouvrages, de la prévision du comportement à long terme du stockage, et de la recherche en « radiobiologie-radioécologie », indispensable pour assurer la protection de la santé des personnes et de l'environnement. Dans un autre registre, il en est ainsi des recherches de type « sociétal et économique », capitales pour préparer le processus de décision et pour nourrir les débats au sein de la société. Sur un plan plus technique, la définition des conteneurs destinés aux déchets anciens ou divers et leur mise en œuvre pose le même problème. Les programmes présentés par le CEA, le CNRS et l'Andra abordent toutefois certains de ces points et les corrigent en partie.

La loi de 2006 porte également sur la gestion des matières radioactives autres que celles considérées comme des déchets et il est dans la mission de la Commission d'évaluer les recherches et études conduites sur ces matières. Cependant, le PNGMDR ne précise pas de quelles matières il s'agit, hors combustibles usés, ni de quelles recherches il pourrait être question.

La Commission souhaite que les programmes de recherche sur les matières radioactives soient précisés et que soient explicitées les recherches et études sur les thématiques transversales que sous-tendent les orientations de la loi de 2006.

La Commission devra également tenir compte des nouvelles orientations de la recherche introduites par la loi de 2006.

Les orientations des recherches conduites dans le cadre de la loi de 1991 sont pour l'essentiel maintenues mais quelques changements importants méritent d'être soulignés.

• Déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HAVL et MAVL)

Le stockage réversible en couche géologique profonde devient la voie de référence pour les déchets ultimes ne pouvant aller en stockage de surface. La politique de la France en matière de gestion du combustible usé issu du parc électronucléaire actuel est le retraitement. En conséquence, les déchets ultimes de haute activité (HA) considérés par la loi pour aller en stockage géologique sont les déchets à vie longue issus du retraitement des

assemblages UOX et MOX par le procédé Purex mis en œuvre à la Hague. A ces déchets HA le PNGMDR ajoute des combustibles nucléaires militaires et expérimentaux (CU3). L'objectif donné à l'Andra, en charge de coordonner les recherches et études sur le stockage géologique, est de déposer un dossier d'autorisation de création (DAC) d'un tel stockage en 2015 pour le mettre en exploitation en 2025 si l'autorisation en est donnée. L'Andra doit également s'assurer que les capacités d'entreposage des colis de déchets en attente de stockage seront en place en 2015. Les recherches et les études impliquent donc le choix d'un site de stockage et la conception des installations de ce stockage. Cela nécessite des recherches de nature scientifique, technique et sociétale.

Les thématiques des recherches qui concernaient stockage, entreposage et conditionnement des déchets MAVL et HAVL conduites dans le cadre de la loi de 1991 sont donc modifiées. Tout d'abord, compte tenu du contexte géologique de la France, les recherches pour un stockage dans un site granitique sont abandonnées. Les recherches pour un entreposage de longue durée sont arrêtées. L'entreposage est conçu comme une installation industrielle en attente du stockage des colis de déchets. Les recherches pour le conditionnement primaire des déchets relèvent maintenant des producteurs de déchets mais l'Andra est en charge de prévoir les spécifications pour leur mise en stockage. Enfin, la focalisation des recherches sur les déchets de retraitement réduit considérablement les recherches sur les conteneurs de stockage des assemblages du combustible usé UOX (CU1) et MOX (CU2) qui avaient démarré tardivement dans le cadre de la loi de 1991. Les recherches sur les conteneurs du combustible nucléaire devraient concerner d'autres assemblages (CU3), qu'il est désormais envisagé de stocker avec les colis de verre nucléaire.

En revanche, la loi et le PNGMDR ouvrent de nouvelles voies de recherches et d'études liées au stockage géologique profond, qui n'étaient pas formellement abordées dans la loi de 1991. Elles sont orientées d'une part vers la réversibilité du stockage, qui est clairement fixée par la loi, et d'autre part vers la prise en compte des problèmes sociétaux liés à l'implantation d'un stockage. Dans le premier registre, elles concernent l'optimisation du transport et de l'entreposage des colis primaires avant leur stockage et la surveillance, sur des

temps plus longs qu'il n'était initialement envisagé de le faire, des colis mis en stockage. Dans le second cas, elles concernent l'observation et la surveillance de l'environnement du site de stockage et l'ouverture du dialogue avec les habitants.

• Autres déchets

La loi de 1991 ne concernait que les déchets de moyenne et haute activité à vie longue. La loi de 2006 englobe tous les déchets radioactifs et le PNGMDR développe donc des considérations sur leur gestion et notamment celle des déchets de faible activité à vie longue (FAVL). Les déchets à vie courte (FMAVC) et les déchets de très faible activité (TFA) ne posent pas de problème, puisqu'ils ont des filières de gestion. Il s'agit de mettre en œuvre, à des dates fixées d'ici 2013 au plus tard pour les déchets FAVL, des solutions industrielles d'entreposage et de stockage, qui demandent elles aussi des recherches et des études, certes de moindre ampleur que pour les déchets HA mais néanmoins importantes.

Contrairement à la loi de 1991, la loi de 2006 s'applique donc à l'ensemble des déchets radioactifs, quelle que soit leur activité ou leur durée de vie. Par voie de conséquence, la Commission peut être désormais concernée par l'évaluation de recherches portant sur un vaste secteur qui va des déchets à très haute activité aux déchets à faible voire à très faible activité en passant par les sources radioactives et les résidus des mines d'uranium.

La CNE dont les douze membres sont totalement bénévoles ne dispose pas des moyens nécessaires pour aborder l'ensemble des problèmes posés par ces différents déchets, d'autant que certains d'entre eux ne font pas l'objet de véritables recherches scientifiques, leur gestion relevant essentiellement de mesures d'ordre purement technique ou réglementaire et de localisation des installations.

• Séparation-Transmutation (ST)

La loi de 2006 envisage désormais les recherches et études en ST de façon cohérente en assurant leur complémentarité, c'est-à-dire en tenant compte des exigences qu'impose la transmutation à la séparation. Les procédés de séparation et de préparation des composés d'actinides pour la fabrication des combustibles ou des cibles de transmutation doivent permettre la fabrication des assemblages des

réacteurs critiques à neutrons rapides (RNR) ou de systèmes pilotés par accélérateur (ADS) qui pourraient être utilisés pour la transmutation. Les recherches doivent amener à une faisabilité industrielle de la ST, reposant sur ses possibilités technologiques, les estimations de ses coûts, financiers et radiologiques, et les avantages qu'elle apporterait. Les recherches doivent être ponctuées de décisions.

Les scénarios de ST doivent prendre en compte les déchets mais aussi les matières radioactives valorisables associées. C'est d'ailleurs sur ce point que ces matières, explicitement considérées par le PNGMDR, interviennent pour comparer avantages et inconvénients de la ST, laissant moins d'actinides aux déchets mais plus dans le cycle du combustible.

Le premier rendez-vous important pour des choix décisifs vers une industrialisation est 2012. Le deuxième est la mise en exploitation d'un prototype de RNR (type génération 4) avant la fin de 2020, pour lequel les choix doivent aussi être faits en 2012. Ce réacteur a été voulu par le Président de la République en 2006. Le déploiement des nouveaux systèmes de génération 4 (RNR et cycle du combustible associé) se situe dans une perspective de plusieurs décennies, vers 2040 au plus tôt (un calendrier dans lequel il faut intégrer le renouvellement d'unités de retraitement de la Hague vers 2030).

Ces orientations ont conduit à abandonner les recherches sur la transmutation en réacteurs à neutrons thermiques. Elles ont en revanche ouvert deux grands chantiers sur les systèmes de transmutation fondés sur l'utilisation de RNR et de ADS qui présentent tous les deux un spectre de neutrons rapides ayant le potentiel de transmuter tous les actinides. Même si la ST n'aboutit pas telle que prévue, le besoin du retraitement du combustible des RNR subsistera pour assurer la croissance de l'électronucléaire. En effet, le recyclage massif des matières valorisables U et Pu, qui seront présentes dans le combustible usé sera alors nécessaire. Aussi les orientations des recherches du PNGMDR couvrent-elles la disposition de la loi qui prévoit qu'elles doivent être conduites dans une perspective énergétique. Par ailleurs, les recherches sur la transmutation des produits de fission comme Tc et I ont été abandonnées.

• Conditionnement des déchets et leur tenue à court et moyen termes

Le conditionnement en ligne des déchets de retraitement de l'usine de la Hague est industriel. Il existe des voies pour envisager le conditionnement primaire de tous les autres déchets, d'origines très diverses. Aussi la loi de 2006 n'encadre-t-elle plus de recherches et études dans le domaine du conditionnement primaire. Pour autant, les producteurs de déchets ont l'obligation d'avoir conditionné, en 2030, tous les déchets produits avant 2015 et, pour certains déchets, il faut encore poursuivre les recherches et études, surtout pour optimiser les procédés. Les producteurs ont défini leurs priorités et confié au CEA, qui a aussi ses propres déchets, les recherches correspondantes. La vitrification des déchets HA et la compaction des déchets MAVL de retraitement deviennent, pour ces déchets, les voies de référence du conditionnement. Les recherches sur les matrices spécifiques pour le conditionnement d'actinides et de produits de fission séparés sont abandonnées, sauf pour l'iode.

Le combustible utilisé doit, à terme, être retraité. Son entreposage est donc nécessaire. Le retraitement des assemblages de MOX utilisé pour en extraire le plutonium nécessaire aux RNR de génération 4 pourrait être différé jusqu'à leur lancement, ou peu avant, c'est-à-dire au mieux dans une trentaine d'années. La loi et le PNGMDR appellent ainsi à des recherches et études sur leur tenue en entreposage. Elles ont été engagées avant la loi dans le cadre plus général du comportement des assemblages UOX et MOX ; elles seront donc focalisées sur ce dernier.

Pour ce qui concerne la tenue à très long terme des colis en stockage, les recherches, confiées à l'Andra, doivent logiquement porter en majorité sur les colis de verre, puis sur d'autres colis comme ceux contenant une matrice bitume. Vers 2010, des modèles consolidés de comportement à long terme de tous les colis doivent être disponibles pour être intégrés dans les modélisations globales pour le stockage. Le stockage massif du combustible utilisé (CU1, CU2) n'est pas envisagé par la loi ; seuls les combustibles utilisés ou irradiés, militaires ou expérimentaux (CU3), seront stockés en 2025. Bien que le comportement à long terme du combustible utilisé ait déjà fait l'objet de beau-

coup d'études, celles-ci seront néanmoins poursuivies, à titre conservatoire, dans le cadre de la loi.

La composition de la Commission a été modifiée afin qu'elle puisse désormais mieux tenir compte des aspects socio-économiques des recherches.

La loi de 1991 ne prévoyait pas explicitement de traiter des aspects socio-économiques des recherches. La présence d'un économiste et d'un sociologue désignés sur proposition de l'Académie des Sciences morales et politiques devrait désormais permettre de s'intéresser aux recherches conduites dans le domaine des sciences humaines inscrites dans le PNGMDR.

Le PNGMDR n'évoque que brièvement les sciences humaines : « Le CNRS veillera à poursuivre, en coordination avec l'ensemble des acteurs concernés, les efforts de réflexion et d'études en matière de sociologie et sciences humaines. Ces efforts concerneront plus particulièrement les principaux sujets que les conclusions du débat public de 2005 ont fait ressortir (par exemple la réversibilité, la question du legs aux générations futures...) ».

À lire le document, il apparaît bien que la place des sciences humaines fait problème. Les questions d'acceptation et de réaction du public sont largement évoquées. Les « préoccupations du public » le sont dès l'avant-propos mais la manière de les prendre en compte paraît être plutôt la consultation des populations concernées que la réalisation de recherches et d'études. C'est sur « la consultation la plus large possible des citoyens et des parties prenantes » que l'on compte pour aboutir à « un plan qui soit efficace et utilisable ». Pour définir la direction que doivent privilégier les « efforts d'étude et de réflexion », il est fait mention des résultats du débat public mais les recherches déjà réalisées sur les préoccupations du public ne sont pas évoquées. Ce document semble privilégier, dans le processus de décision, les résultats du débat public par rapport aux résultats des recherches.

De son côté, le document « Stratégie des recherches de l'Andra dans le cadre du PNGMDR » évoque la mise en place d'« échanges au niveau local », un « dialogue » avec les publics concernés mais les sciences humaines et sociales (SHS) ne font pas partie des « champs disciplinaires »

concernés par la « stratégie scientifique de l'Andra ». L'Andra ne compte pas se lancer dans des « recherches fondamentales » en matière de sciences sociales. Des propositions concernant les sciences sociales pourraient toutefois être présentées par l'Andra à la fin de l'année dans le cadre de la formalisation de son programme de consultation.

La conjugaison de ces éléments et des difficultés du CNRS à orienter des chercheurs relevant des SHS vers le débat sur la gestion des déchets nucléaires fait que la place des sciences sociales dans l'ensemble des travaux concernant ce domaine paraît à ce jour quelque peu incertaine. La Commission approuve l'effort du CNRS, dans le cadre de son programme interdépartemental PACEN, pour lancer quelques actions qui devront être amplifiées et diversifiées pour répondre aux objectifs du PNGMDR. Elle souhaite que lui soient présentés les travaux qui ont été réalisés. Enfin, la Commission recommande au Ministère de la Recherche l'affichage de bourses de thèse ou de bourses post-doctorales sur ces sujets.

Les travaux de la Commission devront s'inscrire dans l'échéancier des recherches et des réalisations prévues par la loi de 2006.

La loi du 29 juin 2006 a, de façon indirecte, inséré les travaux de la CNE dans un calendrier précis, puisque ce texte législatif a prévu que l'évaluation des perspectives industrielles de la transmutation devra être réalisée au plus tard en 2012, que la demande d'autorisation d'ouverture d'un centre de stockage souterrain devra être déposée avant 2015

et qu'à cette même date devront être créées de nouvelles installations d'entreposage.

En fixant ainsi des dates butoirs, la loi amène la Commission à calquer le rythme de ses travaux sur un échéancier que les différents acteurs concernés par la gestion de l'aval du cycle nucléaire devront respecter. Il en va d'ailleurs de même pour toutes les catégories de déchets autres que les déchets HA pour lesquelles des solutions devront être proposées à des dates précises.

Enfin, la loi demande à la Commission de remettre un premier rapport avant le 30 juin 2007. La Commission n'a disposé que de deux mois à partir de sa mise en place pour procéder à un examen de l'orientation des recherches. Dans ce court laps de temps, elle a entendu les représentants de l'Andra, du CEA et du CNRS, qui lui ont fourni par ailleurs un ensemble de documents portant sur les programmes de l'Andra, du CEA et du CNRS qui sont évalués aux chapitres 2 et 3. Le CEA a également informé la Commission des grandes lignes des recherches en radiobiologie et radiotoxicologie qui sont conduites en France et les perspectives de Gen IV. Le rapport n'aborde pas ces points. La Commission n'a pas eu connaissance du rapport que le Comité d'orientation et de suivi sur les recherches de l'aval du cycle (COSRAC) doit publier en 2007.

Dans le délai aussi court qui lui était imparti, la Commission n'a pas pu conduire une réflexion approfondie qui sera entamée dès l'automne 2007. Ce rapport constitue néanmoins une première approche globale des travaux qu'elle aura à évaluer.

Chapitre 2

Évaluation des recherches et études coordonnées par l'Andra

Programmes de recherches et d'études sur le stockage des déchets MAVL et HAVL

Ces programmes sont construits en tenant compte des échéances fixées par la loi et des contraintes administratives. Bien que l'on dispose de nombreuses données opérationnelles, il reste des résultats à confirmer et il convient d'acquérir de nouvelles données indispensables, qui ont été recensées. Caler l'acquisition des résultats sur les échéances conduit à demander à la recherche un effort considérable en des temps courts.

La Commission rappelle une fois encore que le calendrier est extrêmement serré et ne laisse la place à aucun aléa technique ou retard administratif majeur.

L'Andra a présenté à la Commission comment elle comptait conduire les recherches et études pour remplir la mission qui lui est fixée vis-à-vis du stockage géologique profond. Elle a bâti un projet dit HAVL (qui englobe en fait les déchets HAVL et MAVL) reposant sur le développement de 9 programmes thématiques. Ce projet vise clairement le choix d'un site de stockage et la conception d'un centre de stockage.

La Commission n'est pas encore en mesure d'évaluer chaque programme : ceux-ci feront l'objet d'examens approfondis ultérieurs. Toutefois, elle souhaite faire les commentaires ci-dessous sur les grandes orientations stratégiques qui lui ont été présentées.

Organisation du programme de recherche de l'Andra

Le programme scientifique de l'Andra pour la période 2007-2015 élargit les coopérations déjà existantes. Ces coopérations concernent le CNRS, d'autres grands organismes de recherche (CEA, BRGM, Ineris, IFP), des universités ou écoles (INPL et Université de Nancy, Ecole des Mines de

Paris, Université de Troyes) et neuf programmes thématiques rassemblant de nombreux laboratoires de recherche au sein de groupements de laboratoires (GL). Elles se concrétiseront notamment par de nombreuses thèses comme par le passé. Les relations internationales sont également développées sous forme bilatérale avec des agences homologues, au sein des organismes internationaux et dans le cadre des 6^{ème} et 7^{ème} PCRD Euratom. Dans ce contexte, l'Andra n'aurait-elle pas intérêt, lorsqu'elle répond aux appels d'offres de l'UE, à intégrer la communauté scientifique universitaire dès la genèse des projets, pour qu'elle aide à leur définition ?

Plusieurs colloques scientifiques ont été et seront organisés par l'Andra qui a acquis une reconnaissance internationale indiscutable. Il est projeté d'ouvrir progressivement le laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne à des projets de recherche scientifique de caractère général. Cette démarche concerne déjà le forage profond au Trias prévu avant 2009. Elle devrait trouver une expression particulière dans le futur avec le projet de transformer le laboratoire souterrain en TGI ISSUE (Très Grand Instrument pour les Infrastructures Souterraines et de Surface pour les Sciences de l'Univers et de l'Environnement).

La Commission apprécie très positivement les principes de qualité et de transparence qui inspirent ces coopérations. Elle souhaite que l'Andra continue à offrir des bourses de thèse sur des sujets importants pour ses travaux. Elle souligne que, pour que le projet de TGI soit un succès, il sera nécessaire que la communauté scientifique y trouve un intérêt majeur et soit incitée à y développer des projets de très haute qualité. Dans un premier temps, il faudra toutefois veiller à ce que l'arrivée d'une communauté nouvelle au laboratoire souterrain ne pénalise pas les expériences majeures lancées par l'Andra pour valider le site de Meuse/Haute Marne. Il y aura donc un difficile équilibre à trouver.

Concernant l'implication du CNRS dans le programme sur le stockage, la Commission a entendu un exposé des responsables des Groupements de Recherche (GdR) Forpro et Momas. Des résultats appréciables ont été obtenus. Ils concernent, pour le premier GdR, la mise en œuvre de moyens et techniques de mesure innovants dans le domaine de la datation des eaux souterraines, de l'observation et de la caractérisation de la zone endommagée. L'isolement et la caractérisation des microorganismes allochtones et autochtones constituent un apport original et pertinent. Le GdR Forpro a demandé au CNRS son renouvellement pour une période de quatre ans. Cette demande de prolongation a été l'occasion d'une redéfinition du programme scientifique que la Commission examinera au cours de l'année prochaine. Le GdR Momas a progressé sur des enjeux importants de la modélisation, tels que la problématique du changement d'échelle, la phénoménologie des mécanismes couplés et le calcul scientifique hautes performances en liaison avec le développement de la plate-forme Alliances. Plusieurs exercices d'intercomparaison de codes entre laboratoires ont été effectués. Le GdR Momas a également demandé son renouvellement pour quatre ans, qui sera examiné à l'automne 2007.

La Commission est convaincue de l'intérêt de telles collaborations avec la communauté scientifique et recommande que l'Andra veille à s'approprier au sein de ses propres programmes les résultats de cette recherche. La Commission a noté que les activités des GdR sont focalisées sur des recherches de plus en plus amont et que l'Andra a mis en place des groupements de laboratoires pour aborder des questions immédiates et des problèmes scientifiques finalisés. Comment sera réalisée la synthèse des travaux complémentaires effectués par des groupes qui n'auront pas vocation à se retrouver et à présenter - et confronter - leurs approches devant une communauté scientifique élargie ? N'y aurait-il pas intérêt à prévoir, sous l'autorité du Conseil Scientifique de l'Andra, des colloques d'évaluation des acquis scientifiques favorisant des échanges approfondis entre les membres des GL et des GdR ?

Le CEA conduit en support à l'Andra un ensemble de recherches sur la migration des radionucléides, les simulations en stockage (modèles et méthodes), les moyens de surveillance (auscultation physique et diagnostic) et l'entreposage (béton, thermohydraulique, conteneurs MAVL). Ces travaux donnent lieu à un nouvel accord de coopération pour

les cinq prochaines années. La Commission apprécie favorablement cet effort efficace de collaboration permettant de valoriser au mieux les compétences présentes dans ces deux organismes.

La Commission s'interroge sur la fin de l'accord tripartite Andra-CEA-EDF, qui ne lui a pas été expliquée. Le transfert des connaissances du CEA vers l'Andra devra certainement être décrit en détail dans les auditions à venir (comme la stratégie et les projets d'entreposage). De même, les accords avec l'IFP, l'Ineris et le BRGM n'ont été qu'évoqués. La Commission souhaite savoir comment se partageront les thèmes de recherche et les résultats.

Programme de reconnaissance de la formation

La reconnaissance est organisée en deux étapes. La première vise à identifier une zone restreinte de 30 km² au sein de la zone de transposition qui a une surface de 250 km² et est délimitée par les structures tectoniques régionales et les conditions aux limites hydrogéologiques. Cette étape devrait être achevée en 2009. Une seconde étape, de 2009 à 2012, doit conduire à choisir, au sein de la zone restreinte, une ou plusieurs zones favorables à l'implantation d'un stockage. Il faut garder à l'esprit que l'emprise du stockage nécessitera plusieurs km².

La reconnaissance d'une formation géologique peut utiliser diverses techniques déjà mises en œuvre lors du programme précédent :

- reconnaissance géophysique conduite depuis la surface ;
- forages verticaux et déviés ;
- creusement de puits et galeries.

Ces techniques fournissent des informations de nature et de qualité différentes. La géophysique de surface est non-intrusive ; elle fournit des informations globales sur la configuration des couches souterraines mais nécessite une interprétation parfois délicate des données brutes. Le forage vertical permet un accès direct à la formation, le prélèvement de carottes, la réalisation de mesures (diagraphies) et d'essais en puits mais ne donne d'information précise que suivant une ligne verticale particulière. L'Andra signale à ce propos que des méthodes d'interprétation originales des diagraphies, permettant des corrélations très fines des caractéristiques sédimentaires entre forages, sont

en cours de développement ; ces méthodes seront précieuses pour analyser la continuité du milieu au sein de la zone restreinte. Le forage dévié permet quant à lui de vérifier l'absence d'éventuelles fractures verticales ; en revanche, l'interprétation de certaines diagraphies y est plus délicate qu'en forage vertical. Le creusement de puits et de galeries souterraines fournit une quantité exceptionnelle d'informations et permet la conduite de mesures et d'essais en place dans des conditions très proches de celles de l'ouvrage réel.

L'ensemble de ces moyens a déjà été mis en œuvre dans la zone du laboratoire souterrain et certains d'entre eux (forages verticaux et géophysique) dans une zone plus étendue. Ces moyens ont été validés par intercomparaison. Les travaux effectués ont aussi permis d'éliminer des incertitudes que pouvait laisser l'utilisation d'un seul de ces moyens et, de façon générale, d'établir une image déjà précise de la formation géologique et de la roche hôte et de mettre au point une méthodologie d'étude adaptée au type de formation examinée.

Il est vraisemblable que la géométrie et les propriétés des couches qui constituent la formation géologique présentent globalement une grande continuité, de sorte que les reconnaissances à venir bénéficieront considérablement de l'expérience déjà acquise. Il faut toutefois rappeler qu'on ne dispose pas d'une longue expérience provenant de travaux souterrains dans des argiles indurées profondes. Celles-ci ne présentent, en effet, pas d'intérêt pétrolier, minier ou de production d'eau. On les rencontre dans les tunnels mais, le plus souvent, dans un contexte tectonique qui les a profondément affectées et rend difficile une analogie utile avec le Callovo-Oxfordien de la région de Bure. On dispose donc d'un catalogue beaucoup moins étendu que dans d'autres formations des incidents, anomalies, discontinuités et événements inattendus qu'on peut rencontrer dans les exploitations minières. Cette incertitude, au moins pour ce qui concerne l'échelle locale, doit être gardée à l'esprit.

L'Andra s'est interdit de conduire une reconnaissance étendue par galeries à partir du laboratoire souterrain existant. Ce choix est judicieux. Cette reconnaissance aurait eu un intérêt pratique évident mais aurait mis le laboratoire souterrain en communication avec le stockage futur. On sait que les puits d'accès à un stockage constituent un risque de court-circuit pour le confinement à très long terme

des radionucléides. Leur conception, leur construction et leur scellement au moment de la fermeture doivent faire l'objet d'une attention exceptionnelle et bénéficier des enseignements des analyses successives de sûreté. Même si leur réalisation a fait l'objet d'un grand soin, les puits du laboratoire n'ont pas été optimisés dans la perspective de la réalisation d'un stockage mis en communication avec le laboratoire.

Un forage constitue une communication possible entre les niveaux peu profonds et la couche hôte. L'objectif de reconnaissance, qui appelle des forages suffisamment nombreux, doit composer avec l'objectif de sûreté à long terme, qui incite à ne pas les multiplier. Cette préoccupation prend une acuité croissante au moment où il s'agit de choisir une zone de stockage.

Le programme de reconnaissance envisagé pour la première étape de délimitation de la zone restreinte comprend au total 14 forages (y compris les forages ayant pour objectif les encaissants) et un maillage de la zone de transposition par des lignes de sismique 2D espacées de quelques kilomètres, ainsi qu'une réinterprétation de sismiques anciennes. Ce programme paraît à même de fournir les éléments nécessaires à un choix à l'issue de la première phase, qui s'achèvera en 2009. Les critères de choix comprendront l'analyse des éventuelles discontinuités verticales ou hétérogénéités, l'épaisseur de la couche et la variabilité de ses propriétés, notamment dans la perspective du creusement d'excavations. La seconde phase, qui comportera une sismique 3D haute résolution, destinée à localiser les zones potentielles de stockage, devra être définie au vu des éléments recueillis et des questions éventuelles qu'ils auraient fait apparaître.

La Commission souligne que le processus progressif proposé par l'Andra pour choisir un site est conforme aux acquis scientifiques du programme 2005. Cependant, la Commission remarque que la reconnaissance de la zone favorable pour le stockage ne sera complète que lorsqu'une liaison vers le fond permettra un accès direct par galeries à la zone pressentie.

Programme relatif aux transferts au sein du Callovo-Oxfordien et dans les encaissants

Au cours de la présentation de son programme général, l'Andra a exprimé la nécessité de « sortir

du site du laboratoire souterrain » ; ce point est particulièrement important lorsqu'il s'agit d'évaluer les potentialités de transfert à distance, utiles à l'analyse de sûreté. A l'heure actuelle, les propriétés de transfert par diffusion dans l'argilite semblent assez bien maîtrisées et montrent une cohérence depuis l'échelle de l'échantillon en laboratoire de surface jusqu'à celle de l'expérience de diffusion in situ de longue durée dans le laboratoire souterrain. Des améliorations restent à apporter à l'échelle de la formation argileuse toute entière où des observations à présent bien établies, telles que les profils géochimiques ou les profils de pression interstitielle, doivent encore être mieux comprises du point de vue de leur origine.

L'Andra a exprimé la volonté de préciser le contexte hydrogéologique régional des aquifères encaissants. Les nouvelles plates-formes de forage placées en limite de la zone de transposition, ainsi que le forage profond au Trias, devraient permettre de progresser en ce sens. La Commission souligne l'intérêt que présente l'utilisation des indicateurs naturels tels que la salinité et la composition isotopique des eaux pour contraindre les modèles d'écoulement.

Optimisation des solutions techniques

La période 2007-2015 est aussi consacrée à l'optimisation des solutions techniques, du point de vue de la sûreté, de la réversibilité et de l'ingénierie minière. Elle concerne par exemple les liaisons fond-surface, les dimensions des galeries d'accès et des alvéoles, le choix d'alvéoles borgnes, les méthodes de construction. En 2009 devraient être présentées les options de conception découlant des options de base en matière de réversibilité et de sûreté, à long terme et en exploitation. La période 2009-2014 serait consacrée à l'élaboration de l'Avant-Projet Sommaire, adapté progressivement au choix du (ou des) site(s) favorable(s). Pendant cette période, des opérations de démonstration sont envisagées dans le laboratoire souterrain. Elles concernent la construction et la fermeture des galeries de service, des alvéoles de colis de déchets HA et des alvéoles de colis de déchets MAVL. Elles concernent aussi les moyens d'observation et de surveillance.

La précédente CNE avait souligné à diverses reprises que les solutions techniques ne devaient pas être figées prématurément et, dans ce prolongement, la Commission apprécie favorablement cet

effort d'optimisation. Elle note toutefois que des solutions techniques optimisées ne peuvent résulter que de connaissances scientifiques bien établies, notamment pour ce qui concerne le comportement à long terme de l'ouvrage. Or l'état des connaissances scientifiques n'a pas encore atteint le degré de maturité nécessaire à un choix assuré de solutions techniques. Cette remarque concerne, par exemple, le comportement thermo-hydro-mécanique différé de la roche, essentiel du point de vue du dimensionnement du soutènement ou de l'évolution de la zone endommagée, ou encore la nature et le volume des matériaux exogènes introduits dans le stockage, qui détermineront la quantité de gaz formé par corrosion. L'état des connaissances fait l'objet d'un programme scientifique vigoureux mais il ne sera pas facile, dans un court laps de temps, de conduire simultanément et en cohérence ces efforts considérables de recherche et de développement.

Programme d'acquisition des connaissances de base

La Commission n'a pu dans le court laps de temps disponible analyser le programme d'acquisition des connaissances de base. Ce programme distingue deux phases. La première, jusqu'en 2009, met l'accent sur la compréhension des phénomènes élémentaires. La seconde concerne le comportement d'ouvrages représentatifs d'un stockage réel et la poursuite sur une longue durée des observations et expérimentations qui concernent les phénomènes de diffusion, la géochimie, les déformations des ouvrages, l'interruption de la zone endommagée, les comportements aux interfaces, la génération et le transfert des gaz. La Commission évaluera ce programme au cours de l'année prochaine. Elle souligne que le temps disponible pour conduire ce programme est court. Le laboratoire souterrain n'est disponible que depuis deux ans. Des phénomènes inattendus (formations de fractures en chevron lors de l'avancement des galeries) ou plus amples que prévus (déformations différées) y ont été observés. Certaines particularités de l'état de contrainte naturel ou des distributions des pressions interstitielles ont été bien établies mais pas complètement comprises. Diverses techniques de mesure ont permis une caractérisation de la zone endommagée mais on ne dispose pas encore d'une synthèse suffisamment complète pour asseoir une description et une modélisation à vocation prédictive. D'autres problèmes, comme ceux liés aux gaz engendrés par la corrosion, n'ont été pris à bras-le-

corps par l'Andra que depuis quelques années. Il paraît difficile que ces questions soient complètement maîtrisées avant la première échéance de 2009.

Le problème des très grandes échelles de temps

La Commission est préoccupée par le problème de l'extrapolation des données acquises aux très grandes échelles de temps, domaine dans lequel on dispose de peu d'expérience. C'est une source d'inquiétude pour le public, souvent sceptique sur ce qui peut être fait dans ce domaine. Les essais de caractérisation des propriétés de l'argilite du Callovo-Oxfordien sont conduits en laboratoire de surface ou en laboratoire souterrain, sur des durées de quelques mois ou, au mieux, de quelques années. On disposera ainsi, en 2015, d'un recul d'une dizaine d'années. Les ouvrages souterrains usuels sont conçus pour une durée inférieure au siècle. L'extrapolation des propriétés des matériaux à des durées bien plus longues pose un problème de méthode scientifique. La Géologie est plus familière de périodes de temps très longues, pour des rétro-analyses plutôt que pour des prévisions, et on observe que la prédiction de nombreux phénomènes naturels reste encore incertaine. Cela ne signifie pas qu'on soit désarmé. Des progrès importants peuvent être attendus de l'amélioration de la qualité des essais expérimentaux, de la confrontation avec les analogues historiques et géologiques, et de l'identification des mécanismes intimes en œuvre et des lois qui les régissent plutôt que de la simple description phénoménologique. Il faut aussi garder à l'esprit que le besoin de connaissance des phénomènes doit être proportionné à leur importance dans le fonctionnement d'ensemble du système, telle que permet de l'apprécier l'analyse de sûreté.

Cette préoccupation était déjà présente dans de nombreuses études conduites par l'Andra, le CEA et leurs partenaires. La Commission souhaite connaître les réflexions des acteurs de la loi sur cette thématique.

La dimension socio-économique

La réalisation d'un site de stockage pour les déchets va donner lieu à débat public et à enquête publique. La Commission Nationale du Débat Public (CNDP) mettra probablement en place une Commission Particulière du Débat Public (CPDP) qui devra organiser des rencontres entre les populations

concernées et un certain nombre d'experts. La dimension socio-économique ne doit pas être sous-estimée. L'expérience montre que, dans ce genre de débats, les arguments scientifiques échangés ne constituent qu'un des éléments par lesquels les populations se forment leurs convictions. Il est nécessaire de répondre à des craintes et interrogations sur les conséquences que l'implantation d'un stockage aura à long terme sur le bien-être des populations. Les préoccupations liées à la santé sont généralement prioritaires et il faut pouvoir répondre de façon argumentée aux questions soulevées. Le rôle de la Commission est de s'assurer que toutes les études relatives à l'impact ont bien été menées.

La Commission recommande de porter attention aux points suivants :

- pour pouvoir identifier d'éventuels impacts en matière de santé des personnes, disposer d'un état des lieux initial de la situation sanitaire et sociale dans la région de Meuse/Haute Marne ;
- intégrer l'observatoire de l'environnement prévu par l'Andra dans la région de Bure au réseau national des Observatoires de Recherche en Environnement (ORE). Au-delà de cette intégration, il sera nécessaire de s'assurer qu'il existe, parmi les observatoires nationaux, un autre observatoire, dans un environnement comparable à celui de Meuse/Haute Marne, qui puisse jouer le rôle de témoin. Une telle référence est en effet nécessaire dans le contexte actuel, caractérisé par une évolution significative du climat global et des environnements régionaux qui affecte directement la société ;
- s'assurer que tous les coûts du projet ont été pris en compte (coûts d'investissement et coûts de fonctionnement à long terme), y compris les coûts indirects liés à l'environnement. Des études de scénarios devront inclure certains paramètres exogènes (changement politique, économique et social, évolution du taux d'actualisation, modification des prix relatifs de certains matériaux, coûts intercalaires liés à des retards dans le projet, etc.).

Programmes de recherches et d'études sur le stockage des autres déchets

L'Andra a présenté à la Commission le planning des recherches et études visant à ouvrir, fin 2013, un stockage de sub-surface pour les déchets répertoriés sous la rubrique déchets « graphites et radi-

fères» (FAVL), dont la caractéristique essentielle est de contenir des radionucléides à vie longue, ^{14}C et ^{36}Cl et des radioéléments naturels, surtout du radium et ses descendants. Les teneurs en radionucléides de ces déchets n'autorisent pas leur gestion par l'une des voies offertes par les filières opérationnelles disponibles. Le concept de stockage de référence étudié par l'Andra est la dépose des colis de déchets au sein d'une couche d'argile d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur, protégée de l'érosion par une couverture (avec des variantes). Le calendrier prévisionnel est extrêmement tendu pour différentes raisons, notamment en raison d'un choix de site qui ne pourrait intervenir qu'en 2009. Au-delà de ces difficultés, sous réserve d'un examen plus approfondi sur la base de documents bien renseignés, la Commission doute de la possibilité de réaliser un tel projet, qui puisse être fondé, dès 2009, sur des bases scientifiques solides. En effet, plusieurs ensembles de données doivent être soit acquises, soit confirmées, pour asseoir un calcul de l'impact radiologique à long terme. Il s'agit de l'inventaire précis en radionucléides, notamment en ^{36}Cl , ^{14}C (organique et minéral) et

^{226}Ra , de la localisation des radionucléides dans les déchets, de la caractérisation de la fraction labile, des paramètres associés à la migration en milieu oxydant et des espèces susceptibles d'être relâchées dans l'argile. Le dossier Argile 2005 de l'Andra a montré que le ^{36}Cl était, pour un stockage géologique dans l'argile, un fort contributeur à l'impact radiologique à un exutoire. Toutes ces données sont longues à acquérir, surtout si on veut leur attribuer une barre d'erreur raisonnable, notamment à celles dépendant du site d'implantation du stockage. La Commission pense en outre que le dossier de l'Andra qui servira de support à un débat public sur ce projet vers 2009 doit être d'une qualité comparable à celle du dossier que l'Andra a présenté en 2005 sur l'argile du Callovo-Oxfordien. Elle attire l'attention sur le cas du stockage en sub-surface des déchets graphites, qui fait l'objet de considérations divergentes au plan international (Grande-Bretagne et Espagne). Par ailleurs, un programme du 7^{ème} PCRD, « Carbowaste », regroupant une trentaine de partenaires, va être lancé, dont il serait intéressant d'avoir les résultats.

Chapitre 3

Évaluation des recherches et études coordonnées par le CEA

Programmes de recherches sur la Séparation-Transmutation

La stratégie Séparation-Transmutation (ST) a pour objectif de réduire la nocivité des déchets nucléaires à vie longue en diminuant l'« inventaire de radiotoxicité » du combustible utilisé. Cet objectif ne porte pas sur les déchets qui seront inscrits au MID (Modèle d'Inventaire Définitif) que l'Andra établira pour le stockage géologique envisagé en 2025.

Dans le cadre de la loi de 1991, les recherches en ST ont plutôt été conduites de façon disjointe, d'une part sur la séparation isolée des actinides (et de trois produits de fission à vie longue, Tc, Cs et I) et d'autre part sur la transmutation, incluant deux thèmes, irradiation de matériaux et réacteurs. Les études de scénarios portaient sur les bilans de transmutation avec une modeste évaluation économique. De nombreuses pistes ont été explorées, certaines avec succès, qui sont largement discutées dans le PNGMDR.

Le CEA a présenté à la Commission les recherches et études qu'il compte coordonner. Comme il est expliqué ci-dessous, l'étape de 2012 est importante et c'est surtout par rapport à cette échéance que la Commission a examiné les programmes de recherches. Au-delà, les informations fournies à la Commission ne constituent pas, à proprement parler, des programmes. La Commission estime qu'il est prématuré de porter une évaluation sur l'après 2012 ; elle se limite à mettre en perspective les recherches envisagées après 2012 par rapport aux résultats attendus à cette date.

La répartition des moyens d'ici 2012 dans les différents domaines de recherche liés à la séparation d'une part et à la transmutation d'autre part n'est pas connue de la Commission. Elle ne peut pas évaluer la répartition des efforts, ni les choix de priorités. Son évaluation porte seulement sur l'adéquation des recherches aux orientations de la loi.

Une caractéristique des recherches sur la ST est qu'elles seront conduites dans le cadre de larges collaborations au niveau national, européen et international, comme le veut la loi. Ces collaborations sont évaluées à la fin de ce chapitre.

Transmutation

Le CEA a présenté à la Commission l'état des travaux qu'il compte conduire sur les RNR de génération 4, en particulier sur les deux filières qu'il étudie en parallèle.

Le réacteur rapide refroidi au sodium, RNR-Na, constitue le système de référence du prototype 2020 et sans doute aussi celui des premiers RNR de génération 4. Des choix restent à faire sur la puissance (entre 250 et 600 MWe), sur l'architecture, avec pour contrainte d'atteindre l'isogénération, sur le système de conversion thermique-électrique et enfin sur les possibilités de conduire l'inspection en service et la maintenance du prototype. Il n'est pas exclu que des difficultés apparaissent, par exemple sur les matériaux de structure, même pour une élévation modérée de la température de fonctionnement du réacteur par rapport à celle des RNR actuels. L'amélioration de la sûreté, au niveau désormais requis, est un enjeu supplémentaire. La proximité du rendez-vous de 2012 paraît exclure aujourd'hui une vision harmonisée avec des partenaires étrangers. Les prévisions de coût d'un tel réacteur seront certainement déterminantes pour l'avenir et paraissent appeler que le schéma général soit plus simple que celui du projet EFR (European Fast Reactor) élaboré dans les années 90. Il est prévu que ce prototype participe, dès que possible, aux démonstrations de transmutation des actinides mineurs (voir ci-dessous).

Le CEA prévoit de consolider les options de choix technologiques de ce prototype en 2009, les choix définitifs et la décision de lancer la construction intervenant en 2012, sans pour autant figer dès

cette date le « design » d'un système qui ne sera déployé industriellement qu'après 2040. Ce calendrier apparaît d'autant plus tendu que ce programme entre en compétition avec ceux du Japon et des Etats-Unis, qui prévoient aussi de mettre en service un prototype de RNR-Na aux mêmes dates que la France. Les défis commerciaux sont lancés.

La mise en service vers 2030 d'un démonstrateur de RNR refroidi à l'hélium (RNR-He), de faible puissance (50 MWth), vise à valider la faisabilité d'un tel système. Ce réacteur expérimental pourrait être construit en Europe. Le CEA souhaite cependant accompagner l'industriel AREVA sur une technologie qui se veut polyvalente (production de chaleur industrielle, d'hydrogène et de carburants de synthèse) pour partie commune aux réacteurs à haute température (RHT) et aux RNR-He. Les difficultés, et peut-être les avancées technologiques les plus spectaculaires, concerneront la sûreté (accident de dépressurisation) et le comportement (à environ 800°C pour He) du combustible et des matériaux de structure. Le concept de référence pour le RNR-He est un nouveau combustible à plaques (nids d'abeille de SiC dans lesquels se trouveraient rangées des pastilles de carbure d'actinides). Le recyclage des actinides sera étudié.

La Commission prend note que le CEA veut accroître son investissement en R&D sur la filière sodium et veut le maintenir constant sur la filière gaz.

Le CEA n'a pas donné d'informations nouvelles sur les ADS. Leur statut paraît aujourd'hui moins clair que celui des RNR critiques. Les tests de composants se sont brillamment conclus avec l'irradiation MEGAPIE. Après l'annulation de l'expérience TRADE, le CEA, le CNRS et CEN•SCK-Mol (Belgique) se sont associés pour l'expérience « Guinevere », de type MUSE, à Mol. Le CEA fournit le combustible du réacteur (de puissance nulle), uranium à 30 % en ^{235}U , et le CNRS un accélérateur de deutons fonctionnant aussi bien en mode pulsé que continu. L'objectif de l'expérience est de réaliser le contrôle continu de la réactivité d'un massif sous-critique rapide modéré au plomb, d'obtenir en ligne la relation entre puissance du cœur et courant du faisceau de l'accélérateur et de préparer les procédures de sûreté. Le calendrier de cette expérience est le suivant : installation du nouveau cœur en décembre

2008, de l'accélérateur en mai 2009 et début des expériences en septembre 2009.

La Commission regrette que ce calendrier ne laisse pas de temps pour incorporer les résultats de Guinevere dans le dossier EUROTRANS (6^{ème} PCRD Euratom) d'évaluation des réacteurs sous-critiques, attendu en 2009.

En physique des cœurs de réacteurs, les scénarios jouent un rôle fondamental, puisqu'ils se prêtent à des études de conception (et de sûreté), permettant de tester à faible coût des solutions innovantes, jusqu'à la modélisation du fonctionnement d'un parc nucléaire entier.

Par exemple, une utilisation extensive des scénarios est faite (en particulier sur le réacteur RNR-Na) pour tester la sensibilité des performances du réacteur à différentes grandeurs physiques. Le CEA les utilise aux fins de dimensionnement (niveau de puissance, nature du combustible, géométrie ...) et pour des études de sûreté (réponses à diverses insertions de réactivité et recherche de l'ajustement) et pour des bilans de transmutation. Ainsi, des données récentes font apparaître l'intérêt, pour le prototype, des combustibles nitrure ou surtout carbure. Des données essentielles pour l'avenir sont évidemment les capacités de régénération de Pu (et du temps de doublement), la production de déchets à vie longue, la comparaison du comportement du cœur avec ou sans actinides mineurs. On a ainsi un moyen de comparer l'efficacité des modes homogène ou hétérogène, d'évaluer en termes d'efficacité de transmutation des systèmes à une ou deux strates ou d'apprécier le rôle du curium.

Plus en aval, les coûts globaux des filières et de la transmutation peuvent être évalués. Pour 2012, les aspects technico-économiques devraient être soigneusement étudiés selon les scénarios. L'évaluation approfondie des aspects économiques répond aux préoccupations de la loi.

Au CNRS, les réacteurs à sels fondus constituent un domaine maintenant bien exploré. Les filières à sels fondus à cycle thorium ont été approfondies, avec la proposition d'un réacteur à neutrons rapides. D'autres travaux apparaissent sur l'intérêt d'une filière thorium à combustible solide, avec en particulier une description d'une éventuelle transition de REP partiellement chargés en Pu/Th vers

des réacteurs à sels fondus Th/ ^{233}U , donnant lieu à une incinération efficace du plutonium et des actinides mineurs.

L'examen des programmes du CEA en transmutation conduit la Commission aux commentaires suivants :

- L'adoption de la stratégie ST passera par l'évaluation des gains apportés par les différentes options, en particulier pour l'emprise du stockage souterrain. La Commission attend donc qu'un certain nombre de scénarios lui soient présentés, décrivant les inventaires, opposant avantages et détriments et renseignant la question de coûts. Elle attend également qu'une appréciation comparée des potentialités de transmutation dans les ADS et dans des réacteurs de génération 4 soit aussi documentée et approfondie que possible ;
- On disposera en 2012 d'informations sur le comportement de matériaux candidats pour constituer cibles et combustibles mais elles seront probablement partielles (voir ci-dessous) et la poursuite des expériences va se heurter à la disponibilité insuffisante des moyens d'irradiation pendant une dizaine d'années. Les examens post-irradiation qui suivront les irradiations dans Phénix seront cruciaux pour qualifier les matériaux. Peu de résultats sont acquis à ce jour ni même attendus sur des combustibles autres que les oxydes. Les propriétés physiques des carbures qui sont évoqués comme candidats soulèvent de difficiles problèmes. L'incorporation de l'américium dans des cibles ou des combustibles s'est également révélée difficile : quelques pastilles seulement ont été irradiées dans une aiguille et complètement examinées (expérience Superfact). L'analyse du contenu en radionucléides des échantillons dans les expériences post-irradiation doit être réalisée et comprise (et des termes comme taux de combustion, de transmutation, définis sans ambiguïté). Le retour d'expérience pourrait manquer ou n'être que modeste ou ambigu au moment de prendre des décisions. La conduite d'expériences d'irradiation en neutrons rapides pour qualifier le combustible des RNR après l'arrêt de Phénix (mai 2009) est un point préoccupant. De telles irradiations ne pourront avoir lieu après cette date qu'au Japon ou en Russie. D'ailleurs, pour l'instant, on ne parle que de préparation d'irradiations avec des actinides mineurs, dans JOYO.

La Commission pense qu'il est important de tirer le maximum d'enseignements d'expériences d'irradiation, longues, coûteuses et moins nombreuses qu'il n'avait été prévu dans un cadre optimal. Elle souhaite connaître les plannings d'irradiation post Phénix.

Cycles du combustible

Recherches à réaliser pour 2012

Les RNR de génération 4 produiront de l'énergie avec un combustible avancé de type MOX. Pour des raisons liées à la prolifération, il deviendra sans doute nécessaire de séparer ensemble U et Pu pour fabriquer le combustible (procédé COEX), laissant aux déchets les actinides mineurs (AM) et les produits de fission. Ensuite, dans ces RNR ou dans des ADS en double strate, la transmutation des AM sera envisagée. Il y a deux options pour la transmutation en réacteurs à neutrons rapides des AM : les recycler en mode hétérogène (AM en forte concentration dans des cibles ou les couvertures du cœur) ou en mode homogène (U, Pu et AM en faible concentration dans le combustible). Pour des raisons de fabrication de combustible, entre autres, la première option nécessite de disposer des actinides mineurs séparés (Np, Am, Cm ou Np, Am et Cm) et la seconde des actinides groupés (U, Np, Pu, Am, Cm). Enfin, les ADS permettraient de brûler des combustibles beaucoup plus chargés en AM, au prix d'un inventaire total en actinides dans le cycle beaucoup plus élevé.

Le programme de recherches du CEA est axé sur ces séparations séquentielles ou groupées. Il repose respectivement sur trois procédés hydrochimiques de complexité croissante, COEX, SEPOU et GANEX. COEX (dans lequel U et Pu sont extraits ensemble du combustible utilisé) ne demande qu'une industrialisation de variantes du procédé PUREX, tandis que les deux autres demandent des recherches importantes. D'ici 2009, des tests sont prévus en cellules blindées pour SEPOU (dans lequel Np, Am et Cm sont séparés des produits de fission et les uns des autres) et en laboratoire pour GANEX (dans lequel U en partie, Np, Pu, Am et Cm sont séparés des produits de fission mais ne sont pas séparés les uns des autres). SEPOU, qui s'enchaîne avec PUREX voire avec COEX, repose sur des recherches déjà bien avancées. GANEX est un procédé nouveau qui débute dès la dissolution du combustible utilisé et qui ne bénéficie que modé-

rément des acquis de PUREX. D'ici 2012, la faisabilité technique des deux procédés devrait être acquise. Enfin, la transmutation passera par un multirecyclage des actinides, ce qui pourrait nécessiter l'utilisation de procédés pyrochimiques pour recycler les éléments à partir d'une matière de plus en plus radioactive. Le CEA a un programme pour tester dans Atalante un premier procédé de ce type. Pour tous ces procédés, le problème des déchets secondaires devra être particulièrement étudié.

Les actinides une fois séparés et obtenus en solution doivent être transformés en composés compatibles avec les procédés de fabrication des céramiques (pastilles ou sphérules) par des traitements à haute température. On voit qu'il s'agit, pour chaque procédé, de co-conversion mettant en jeu plusieurs actinides. Sans être nouveaux, ces procédés ont encore été peu étudiés. Pour 2012, le CEA vise des tests significatifs, allant jusqu'à la fabrication de pastilles avec des AM (dizaines de grammes). En parallèle, le CEA examine, pour l'échelle industrielle, la transposition des procédés de co-conversion-calcination les moins contaminants possibles : au lieu de boîtes à gants (comme dans Mélox), le niveau de radioactivité des composés impose alors l'utilisation de cellules blindées. Une étape d'entreposage des actinides est aussi étudiée. Une décision en ce qui concerne le devenir du curium devra être prise.

Enfin, le dernier stade à franchir pour prendre des décisions en 2012 serait d'examiner des échantillons de céramiques ayant subi des tests d'irradiation en réacteurs. Dans les six ans qui viennent, peu de nouvelles expériences d'irradiation pourront être réalisées ; tout au plus des aiguilles expérimentales avec des AM, y compris avec Cm, seront préparées. Les résultats sur la tenue des céramiques ne viendront que de l'examen des échantillons déjà irradiés et préparés depuis longtemps, plus ou moins représentatifs des nouveaux composés qui seront issus de la co-conversion-calcination.

Si les résultats attendus sur les nouveaux cycles du combustible sont obtenus en 2012, des décisions pourront être prises pour aller vers des ateliers pilotes pré-industriels. Le CEA dispose des équipements pour travailler sur des quantités représentatives d'actinides (Atalante en particulier). Ces équipements sont maintenant opérationnels. Six ans de recherche sur la séparation paraissent rai-

sonnables dans la continuité de l'expérience acquise par le CEA depuis 2000. Toutefois, les tests en cellules blindées ne sont pas sans aléas. Le CEA est engagé dans de nombreuses collaborations pour appuyer ses recherches, par exemple dans le projet ACSEPT du 7ème PCRD Euratom, dont il bénéficiera au plan de la connaissance des phénomènes, mais l'essentiel de la démonstration de la faisabilité technique est entre ses mains.

La Commission recommande donc en toute première priorité que les travaux de séparation et de co-conversion-calcination convergent vers le succès des tests de faisabilité technique dans Atalante.

La Commission constate qu'une place restreinte est donnée aux recherches en pyrochimie. Elle souhaite que leur apport soit approfondi, notamment dans le scénario de double strate.

Développements prévus après 2012

Le rendez-vous de 2012 est important pour plusieurs raisons. Dans le calendrier du prototype de RNR 2020, les caractéristiques et la décision de construire sont attendues pour 2012. A cette même date devrait être prise la décision de continuer ou non les recherches sur la transmutation. Pour alimenter le réacteur, il faudra un atelier pilote de fabrication des assemblages combustibles MOX (quelques dizaines de tonnes à 20 % de Pu), soit à partir du procédé de cocalcination (mélange d'oxydes de U et Pu), soit à partir d'un procédé nouveau (oxyde mixte U, Pu, issu de la séparation COEX).

Si la transmutation ne s'avèrait pas possible pour des raisons qui apparaîtraient au cours des recherches dans les six ans qui viennent, le prototype servira à développer les recherches pour les RNR électrogènes industriels de 2040. Si, au contraire, les recherches sur la transmutation continuent après 2012, il faudra aussi construire un atelier « micropilote » (quelques dizaines de kilogrammes par an) pour la fabrication d'assemblages destinés au prototype de RNR incluant soit des cibles (mode hétérogène), soit du combustible de transmutation (mode homogène). Les cibles seront différentes selon la voie empruntée, soit RNR (pouvant comporter U), soit ADS (sans U). Le prototype de RNR servira alors, en plus de sa vocation première, à préparer la transmutation

industrielle. Les actinides seraient, quel que soit le cas, séparés par adaptation des installations de l'usine de la Hague, sans avoir besoin d'un atelier pilote de séparation. Les pilotes de fabrication seraient évidemment installés à la Hague. L'industrialisation des RNR de génération 4 est lointaine, les recherches seront longues.

La Commission recommande que tout soit fait pour tenir les promesses du rendez-vous de 2012. Il faut en particulier éviter tout retard, éviter de céder à la tentation de solutions de remplacement, éviter de rester dans l'attente de standards internationaux sans décider.

La Commission comprend parfaitement que la mise au point de combustibles faiblement enrichis en actinides mineurs, convenant à la transmutation en réacteur critique, soit une étape incontournable. Elle s'interroge cependant sur la réflexion menée concernant la fabrication de combustibles pour ADS, qu'elle craint de voir négligée (ce thème avait déjà été considérablement allégé lors de la mise en place d'EUROTRANS). A cet égard, la Commission se félicite que le CEA ait pu redémarrer mi-2005, à Cadarache, une ligne de fabrication en laboratoire (GAIA) de combustible haute température.

La Commission souligne la progressivité de l'approche suivie par le CEA. Elle est convaincue que seule cette approche est compatible avec les investissements en installations de retraitement et de fabrication de cibles et de combustible. Elle sera particulièrement intéressée par l'optimisation technico-économique qui résultera des choix de 2012.

Programmes de recherches sur le conditionnement et le comportement à long terme des déchets

Les programmes sur le conditionnement sont plutôt de nature technologique. Etablis en commun par le CEA, Areva et/ou EDF, ils visent, d'une part, à des optimisations (scientifiques et technico-économiques) de procédés existants et de caractérisation des colis et, d'autre part, des recherches sur de nouveaux déchets (graphites, déchets triés). Des échéances pour ces recherches sont le stockage des déchets FAVL (2013) et l'inscription des colis au MID de l'Andra (2014). La Commission encourage la poursuite des recherches développées dans les projets PRECCI et VESTALE

avec les inflexions nécessaires pour tenir compte d'un entreposage séculaire sous eau des assemblages du combustible usé (MOX en particulier) et de la vitrification des déchets du retraitement de combustibles UOX à haut taux de combustion ou de combustibles spéciaux. L'extension de la voie de la vitrification à d'autres déchets comme les déchets organiques ou certains effluents paraît particulièrement intéressante dans l'optique de la politique française de conditionnement. Ces travaux ne sont pas déconnectés des recherches plus fondamentales que l'Andra a confiées au CEA ou à ses groupements de laboratoires sur l'amélioration des modèles d'altération et de dégradation des colis en situation de stockage en milieu argileux. Les programmes dans ce domaine prolongent les recherches conduites durant les dernières années et encore nécessaires pour mieux comprendre le relâchement des radionucléides des colis stockés.

La Commission considère que le conditionnement allant jusqu'à l'éventuelle mise en conteneur de stockage (voire d'entreposage) des colis industriels doit bénéficier d'une attention soutenue. En effet, le colis de déchet, quel qu'il soit, est un élément important, sinon central, de la gestion des déchets. En attente de stockage, il est la seule protection des travailleurs et des populations. Il est clair que les spécifications et les agréments des colis pour le stockage géologique, profond ou de sub-surface, délivrés par l'Andra nécessitent de bien connaître, outre leurs caractéristiques, leur comportement en toute situation. Le CEA apparaît en première ligne pour conduire ces recherches ; il a l'essentiel des moyens, les autres scientifiques contribuant très en amont aux connaissances. Mais il n'est ici que prestataire de service et la Commission recommande qu'il puisse, le cas échéant, étendre ou réorienter les recherches.

Les recherches conduites par le CNRS (et les Universités)

Le programme interdépartemental PACEN du CNRS contribue aux programmes de recherche amont coordonnés par le CEA, via les travaux menés dans ses GdR : Gedepeon (pour les réacteurs), PARIS (pour la physico-chimie). L'arrêt des travaux sur les matrices de conditionnement d'actinides séparés a conduit à transformer Nomade (Nouveaux Matériaux pour Déchets) en Matinex (MATériaux Innovants en conditions EXtrêmes). Les thématiques de recherche recoupent quasiment

tous les programmes du CEA dont il est question, l'apport de la communauté académique se situant au niveau de la connaissance des phénomènes. En faisant nommément appel au CNRS, le PNGMDR reconnaît l'implication du monde académique dans le problème de la gestion des déchets radioactifs.

Collaborations nationales et internationales

Dans le domaine de la physico-chimie, l'ICSM (Institut de Chimie Séparative de Marcoule), qui regroupe le CEA, le CNRS, l'INSTN, l'Université de Montpellier-II et l'Ecole nationale supérieure de chimie de Montpellier constituera un centre important de recherches, alimenté en particulier par les thématiques de Marcoule mais pouvant trouver aussi des synergies importantes avec un laboratoire comme Atalante. Des grands instruments viennent aussi fournir des moyens de caractérisation nouveaux : la ligne chaude MARS de Soleil pour les actinides en solution ou aux interfaces, de nouveaux instruments de Résonance Magnétique Nucléaire pour l'étude des actinides en solution ou dans les sels fondus (RMN-haute température), ELYSE à Orsay pour l'analyse élémentaire de la radiolyse, les accélérateurs du CERI (Orléans), du Ganil (Caen) et de Jannus (Orsay) pour l'étude des matériaux sous irradiation.

Dans le cadre d'Euratom, le projet intégré EUROTRANS se conclura en 2009 par une évaluation technico-économique européenne des systèmes ADS. A cet égard, le CEN•SCK souhaite installer un tel système à Mol (Belgique). Le CEA et le CNRS ont conclu avec cet organisme des accords de collaboration qui se traduisent par leur investissement dans l'expérience Guinnevere. Le réseau d'excellence ACTINET, qui a fourni, par un soutien à la collaboration, des connaissances capitales aux équipes françaises de physico-chimie des acti-

nides, pourrait être prolongé. Enfin, un modeste projet (ALISIA) coordonne les travaux sur les sels fondus. Dans le 7^{ème} PCRD, les projets intégrés EUROPART et PYROPEP seront fondus dans ACSEPT, qui est piloté par le CEA et doit conduire à des procédés pour le recyclage des actinides. L'appel d'offres mentionne clairement qu'il doit préparer l'industrialisation à travers un pilote de séparation. Des projets répondent aussi aux appels d'offres du 7^{ème} PCRD sur les matériaux des réacteurs de 3^{ème} génération et de génération 4.

Enfin, le CEA participe activement à un projet ambitieux de plate-forme technologique, SNE-TP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform). Ce projet vise à établir des priorités dans la préparation et le lancement de programmes de R&D pour le nucléaire de fission en Europe et à partager les infrastructures disponibles. Trois objectifs sont visés : économie des REP, processus industriels permis par les réacteurs à haute température, développement et durabilité des RNR. Le projet regroupe pour le moment 25 organismes ou agences ; son lancement est prévu pour septembre 2007.

En ce qui concerne le Forum international Gen IV, des Conventions Systèmes ont été signées en 2006 sur les réacteurs rapides (Sodium Fast Reactor et Gaz Cooled Fast Reactor) et thermiques (Very High Temperature Reactor, dont un démonstrateur doit être mis en service en 2021 aux USA, et Super-Critical Water Reactor). La négociation sur des Conventions Projets a abouti (combustible du SFR, matériaux et production d'hydrogène du VHTR, design, sûreté et intégration). La Russie et la Chine sont entrées, en novembre 2006, dans le forum.

La Commission se réjouit du rôle important que tiennent la France et le CEA dans une collaboration de cette taille.

Chapitre 4

Développements internationaux récents dans le domaine du stockage des déchets nucléaires

Au cours des dernières années, des progrès substantiels ont été réalisés. Comme en France, le stockage en formation géologique profonde a été retenu comme la solution de référence en Grande-Bretagne et au Canada. Cette option a également été préférée depuis plusieurs années dans les pays nordiques. En Suède et en Finlande, les développements techniques et les choix de site pour le stockage en profondeur dans les granites approchent maintenant du stade de la demande d'autorisation pour une mise en œuvre industrielle. Dans ces deux pays, il est prévu que les centres de stockage souterrain soient opérationnels vers 2020.

• Suède

L'entreprise SKB a commencé, il y a environ trente ans, ses travaux de mise au point d'une méthode, dite KBS-3, de stockage géologique du combustible suédois irradié. Son principe est fondé sur l'emploi de plusieurs barrières protectrices pour isoler le combustible usé. Tout d'abord, celui-ci est placé dans des conteneurs en cuivre. Ensuite, les conteneurs entourés de bentonite sont stockés dans le granite à 500 m de profondeur. Depuis les années 1970, la méthode KBS-3 a été constamment approfondie et améliorée. Une démonstration, sur matériel inactif et à l'échelle 1, du processus de fermeture des conteneurs et de l'ensemble de la technologie de stockage est maintenant en cours au Laboratoire des Conteneurs de SKB d'Oskarshamm et au laboratoire souterrain d'Äspö.

La méthode KBS-3 a été développée en parallèle avec la recherche d'un site favorable pour le stockage définitif. Au début des années 1990, une prospection a été menée sur l'ensemble du pays. Les études ont montré l'existence de sites potentiellement satisfaisants dans de nombreuses communes suédoises. S'appuyant sur ces études, des évaluations de faisabilité ont été menées dans huit communes. Le rapport sur ce travail a été présenté en 2000 par SKB, qui a proposé de poursuivre les investigations sur quelques sites. Ce rapport a été très largement diffusé pour expertise externe et

commentaires. Le gouvernement a donné l'autorisation de poursuivre les investigations en 2001.

En 2002, après avoir reçu les autorisations des conseils municipaux, SKB a commencé les investigations sur les communes d'Oskarshamm et d'Östhammar. Les propriétés de la roche y sont étudiées à partir de mesures effectuées depuis la surface ainsi que par des sondages profonds de 1000 mètres. Une analyse de sûreté sera effectuée à partir de ces données. SKB effectue aussi un inventaire des ressources naturelles et culturelles de la zone et analyse comment un stockage affectera l'environnement et les communautés qui y vivent.

Les études de site sont maintenant menées depuis cinq ans et on prévoit que les sondages soient terminés en 2007. Enfin, tous les résultats seront analysés, évalués et éventuellement rassemblés dans la demande de permis d'installation du stockage sur le site qui aura été choisi. Le travail comprend également une analyse de sûreté sur le long terme, incluant par exemple des scénarios de glaciation, pour montrer que le projet satisfait à un niveau de risque extrêmement faible sur le long terme.

SKB prévoit de déposer la demande de permis de construction du stockage dans quelques années. Si celui-ci est accordé, la construction pourrait démarrer en 2012 et le premier conteneur être déposé vers 2020.

Dans le même temps, SKB a déposé en novembre 2006 la demande de permis de construire d'une installation de fermeture des conteneurs, à côté de l'installation actuelle d'entrepôt Clab d'Oskarshamm. Cette nouvelle installation utilisera une technologie de soudure par friction (stir welding) pour fixer les couvercles aux conteneurs de cuivre contenant le combustible usé. Il est prévu que la construction de cette installation commence également en 2012.

• **Finlande**

Le programme finlandais repose sur la méthode suédoise KBS-3 et, en 2000, la décision de principe a été prise par le parlement finlandais de construire un centre de stockage profond à Olkiluoto suivant cette méthode.

Après ces décisions politiques favorables, POSIVA, l'entreprise maître d'œuvre du projet, a lancé de nouvelles études à Olkiluoto et commencé les préparatifs de construction d'un laboratoire souterrain de qualification, ONKALO. Il doit être creusé d'ici 2011 et la phase de caractérisation est provisoirement prévue pour la période 2007-2011. L'objectif est d'obtenir des informations détaillées sur la roche présente dans le site de stockage pour établir le projet industriel, conduire l'analyse de sûreté et tester l'ensemble des technologies de stockage à utiliser en conditions profondes réelles. Une fois le laboratoire ONKALO construit et le travail de caractérisation du site mené à bien, des demandes séparées seront soumises au gouvernement pour les autorisations de construire puis de mettre en œuvre le stockage sur le même site. Aujourd'hui, POSIVA prévoit de déposer la demande de construction au début de la prochaine décennie et la demande d'exploitation du stockage vers 2020. Cette dernière nécessite aussi une analyse de sûreté par l'autorité de sûreté STUK.

• **Royaume-Uni**

La plupart des déchets radioactifs du Royaume-Uni résultent des premiers développements de l'énergie nucléaire, même si une quantité significative de déchets provient du fonctionnement des centrales électrogènes. Les déchets solides de faible activité vont dans un centre de stockage de surface à Drigg (Cumbria), près de Sellafield. Les déchets de haute et moyenne activité sont entreposés à Sellafield et dans d'autres sites de production, en attente d'un stockage. Les récents développements au Royaume-Uni portent, pour une large part, sur l'organisation de l'aval du cycle, avec pour objectif d'établir une nouvelle stratégie de gestion des déchets et de leur stockage.

En 2004, le gouvernement a mis en place le Comité de Gestion des Déchets Radioactifs (Committee on Radioactive Waste Management, CoRWM), chargé d'analyser les différentes options d'entreposage et stockage à long terme des déchets nucléaires. En 2006, après trois ans de travail, CoRWM a présenté un rapport. Celui-ci

recommande le stockage géologique profond pour les déchets de haute et moyenne activité à vie longue, avec fermeture rapide du stockage, mais, dans l'attente de celui-ci, un entreposage intermédiaire est nécessaire. Les études ont porté sur 470 000 m³ de déchets MAVL et HAVL, ainsi que sur ce qu'impliquerait de considérer le plutonium et l'uranium appauvri comme des déchets, au cas où tout retraitement du combustible usé serait abandonné.

Le rapport final de CoRWM de juillet 2006 aborde la question de la réversibilité mais seulement dans son principe. CoRWM a suggéré au gouvernement de mettre rapidement en œuvre ses recommandations, bien qu'il reconnaisse que la réalisation d'un projet de stockage puisse prendre plusieurs décennies. Le gouvernement a accepté les principales recommandations de CoRWM et décidé qu'un nouveau comité, portant le même nom, serait mis en place pour le conseiller en permanence sur la mise en œuvre de ces recommandations.

Dans le cadre de la loi sur l'énergie de 2004, la Nuclear Decommissioning Authority (NDA) a été créée et a reçu un budget. Elle est chargée de la gestion des déchets et de la réhabilitation de vingt sites, dont 39 réacteurs, 5 usines de retraitement du combustible usé et quelques autres installations du cycle du combustible ou de recherche. L'entreprise NIREX avait été créée en 1982 pour réaliser une installation intérimaire, capable de recevoir des déchets de moyenne activité. Elle s'est vue refuser l'autorisation de construire un laboratoire souterrain pour qualifier le site de Sellafield comme site de stockage géologique profond. En octobre 2006, le gouvernement a annoncé que NDA reprendrait le mandat de NIREX de créer un stockage géologique profond pour les déchets de haute activité.

En avril 2007, NDA a établi une Direction de la Gestion des Déchets Radioactifs (Radioactive Waste Management Directorate, RWMD). Cette Direction va mettre sur pied une filiale chargée d'élaborer « une solution sûre, respectant l'environnement et acceptable par le public, de stockage géologique » des déchets anglais, civils et militaires, de haute activité. Lorsqu'un site paraissant convenable aura été choisi avec la participation du public, une compagnie chargée d'établir la demande de création, puis la construction d'un centre de stockage, pourra être éventuellement

créée. NDA a entièrement repris les fonctions de NIREX et intégré son expertise et son savoir-faire.

• **Canada**

Les développements récents ont, ici aussi, porté sur l'organisation de l'aval du cycle et visent à démarrer un nouveau et large programme de gestion des déchets nucléaires. L'Organisation de Gestion des Déchets Nucléaires (Nuclear Waste Management Organisation, NWMO) a été mise en place par trois producteurs d'électricité nucléaire, dans le cadre la loi de 2002 portant sur les combustibles usés. Son mandat est d'explorer les voies d'entreposage et de stockage des déchets nucléaires, de faire des propositions au gouvernement et de mettre en oeuvre ce qui aura été décidé.

Concernant les déchets de haute activité, NWMO a présenté trois projets de concepts, basés sur des technologies éprouvées, pour les options retenues par la loi. NWMO, avec AECL-EACL, doit aussi provisionner des fonds pour la gestion du combustible usé et un stockage probable. Le 14 juin 2007, le Gouvernement canadien a annoncé son choix d'une « Gestion Adaptative Progressive » comme approche canadienne à la gestion à long terme de son combustible usé. Ceci est cohérent avec la proposition de NWMO et l'option préférée, avec une réversibilité possible, est celle d'un stockage géologique profond.

Les opérateurs et AECL-EACL restent responsables des déchets de faible et moyenne activité. Ceux-ci sont stockés en surface et un opérateur à plus long terme est envisagé vers 2015 en Ontario. Après une réponse très nettement positive des résidents locaux à une enquête, le producteur d'électricité en Ontario (OPG) a poursuivi son projet de construction d'un centre de stockage géologique en profondeur pour ses déchets de moyenne et faible activité, près du réacteur de Bruce. Une évaluation environnementale et une autorisation devraient prendre de 6 à 8 ans, tandis que l'entreposage de surface progresse pour prendre en charge des matériaux venant de la remise en état des réacteurs de OPG et de Bruce.

En juin 2006, le Gouvernement canadien a annoncé un programme de 5 ans pour prendre en charge les déchets de R&D de l'énergie nucléaire, les isotopes médicaux et les déchets des activités militaires, produits jusqu'aux années 50. Ce programme couvre la réhabilitation de terres contami-

nées, la déconstruction d'infrastructures anciennes et la gestion des déchets radioactifs dont le gouvernement est responsable.

• **États-Unis**

Aux États-Unis, les déchets de moyenne activité à vie longue d'origine militaire sont d'ores et déjà stockés au WIPP (Carlsbad, NM) dans une formation salifère.

Concernant les déchets civils, la responsabilité des opérateurs est d'entreposer leur combustible usé sur site, en attendant qu'il soit pris en charge par le Département de l'Énergie (DOE) et stocké, de manière définitive, dans un centre souterrain. Un tel centre n'est pas encore disponible.

Un centre de stockage souterrain pour déchets de haute activité, d'une capacité de 70 000 tonnes, est envisagé à Yucca Mountain (Nevada). Il était prévu qu'il soit opérationnel vers 2010. Après plus de 20 ans d'études par le DOE, le Congrès a approuvé en juillet 2002 la recommandation présidentielle de développer le site de Yucca Mountain pour y créer un centre de stockage du combustible usé et des déchets radioactifs de haute activité. Une demande d'autorisation est prévue pour 2008 mais de nombreux points restent obscurs, en particulier sur la démarche à suivre et la date à laquelle le projet pourra continuer à traiter les aspects techniques, législatifs et politiques, particulièrement complexes, de ce projet.

• **Belgique**

Le 23 juin 2006, le gouvernement fédéral a opté pour le dépôt final en surface des déchets conditionnés de faible activité et de courte durée de vie (déchets de catégorie A) sur le territoire de la commune de Dessel (au nord-est de la Belgique). C'est sur cette commune que se situe Belgoprocess, la filiale industrielle de l'Organisme National des Déchets Radioactifs et Matières Fissiles (ONDRAF), où l'ensemble des déchets conditionnés d'origine belge (toutes catégories confondues) est entreposé. Par cette décision, le gouvernement a autorisé l'ONDRAF à poursuivre le développement du projet de stockage en partenariat avec les autorités et les parties prenantes locales. L'ONDRAF est également chargé de garantir le financement du projet sur le long terme (aspects techniques et socio-économiques).

Selon le planning actuel, fin 2008, le projet devra être décrit et chiffré en détail et les engagements liant les différentes parties prenantes devront être établis. À l'horizon 2010-2011, les différentes autorisations requises devront être obtenues et le financement du projet global devra être assuré. La construction même des installations de stockage est prévue à partir de 2012, leur mise en exploitation étant prévue pour 2016.

Le rapport SAFIR 2 (Safety and Feasibility Interim Report 2) avait conclu à l'absence d'obstacle scientifique et technique majeur à une mise en stockage des déchets de moyenne et haute activité et/ou à longue vie au sein de l'Argile de Boom (déchets B et C) mais aussi à l'absence de support formel et sociétal à une politique de stockage géologique. C'est la raison pour laquelle l'ONDRAF souhaite engager un large dialogue de société sur la gestion à long terme des déchets.

L'ONDRAF peut s'appuyer, à cette fin, sur son cadre législatif propre qui prévoit l'établissement d'un Plan Déchets. L'ONDRAF a démarré la réalisation de ce dernier qui devrait être remis aux autorités à l'horizon 2010. La loi du 13 février 2006 transpose les Directives européennes 2001/42/CE et 2003/35/CE relatives à, respectivement, l'évaluation des incidences de certains plans et programmes sur l'environnement et la participation du public dans l'élaboration des plans et des programmes relatifs à l'environnement. Conformément à cette loi, le Plan Déchets établira, en concertation avec les parties prenantes, les différentes pistes de gestion à long terme pour tous les déchets radioactifs sur le territoire belge et analysera leurs incidences environnementales. Il fournira ainsi les informations permettant aux autorités de prendre les décisions requises en la matière, notamment la décision de principe quant à la gestion à long terme des déchets des catégories B et C.

Annexe 1

COMPOSITION DE LA COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION AU 30 JUIN 2007

Bernard TISSOT - Directeur Général honoraire de l'Institut Français du Pétrole - Membre de l'Académie des Sciences - Membre de l'Académie des Technologies - Président de la Commission Nationale d'Evaluation.

Pierre BEREST - Directeur de recherche à l'École Polytechnique.

Frank DECONINCK - Professeur à Vrije Universiteit Brussel - Président du Centre d'études de l'énergie nucléaire de Mol, Belgique.

Hubert DOUBRE - Professeur émérite à l'Université Paris-XI-Orsay.

Jean-Claude DUPLESSY - Directeur de Recherche au CNRS.

Robert GUILLAUMONT - Professeur honoraire à l'Université Paris XI-Orsay - Membre de l'Académie des Sciences - Membre de l'Académie des Technologies.

Philippe D'IRIBARNE - Directeur de recherche au CNRS.

Maurice LAURENT - Directeur honoraire de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques.

Emmanuel LEDOUX - Directeur de recherche à l'Ecole des Mines de Paris.

Jacques PERCEBOIS - Professeur à l'Université Montpellier I, Directeur du CREDEN (Centre de Recherche en économie et droit de l'énergie).

Claes THEGERSTRÖM - Président de SKB (Compagnie suédoise chargée de la gestion des combustibles et des déchets nucléaires).

André ZAOUI - Directeur de recherche au CNRS - Membre correspondant de l'Académie des Sciences - Membre de l'Académie des Technologies.

Commission Nationale d'Evaluation

Président : Bernard TISSOT
Vices-Présidents : Jean-Claude DUPLESSY & Robert GUILLAUMONT
Secrétaire Général : Maurice LAURENT

*Tour Mirabeau
39-43 Quai André Citroën
75015 PARIS*

*☎ 01.40.58.89.05
Fax : 01.40.58.89.38*

~ Juin 2007~

MAIN ORIENTATIONS

The legislator thought it desirable to continue the research assessment approach for radioactive waste management conducted until now by the first National Assessment Committee (CNE) within the scope of the 1991 law. As a matter of fact, in the 28th June 2006 law relative to the sustainable management of radioactive waste and materials, it has again set up a "National Committee" which was given the responsibility to yearly assess the progress of research and studies relative to the management of radioactive waste and materials. The Committee's area of competence is both widened and supervised by the National Management Plan for Radioactive Waste and Materials (French acronym PNGMDR).

Therefore the Committee must *a priori* consider in its reports the entire research and studies mentioned in this first PNGMDR. Unlike the 1991 law which only concerned long-lived high activity waste, the 2006 law applies to all radioactive waste and materials, whatever their activity or life span may be. Consequently, the Committee may now be concerned by the assessment of research focusing on a wide sector. This might be from very high to low, even very low, activity waste, including the various radioactive materials, mining sources and waste. However, it is desirable that the area of research and studies that the Commission must assess, should be defined by decree in the next few months, in agreement with the Nuclear Safety Authorities.

The Committee and its twelve totally voluntary members, does not have the necessary means at its disposal to tackle all the problems thus formulated. Some of them may raise scientific issues (graphite, radiferous or tritiated waste). Others are not the subject of scientific research, their management depending essentially from purely technical or statutory measures (medical or industrial sources) and from where the facilities are located. Finally others represent a vast area that is less precisely defined, such as residues from uranium mines.

The scientific and technical areas assessed by the first CNE covered mainly physics, chemistry and sciences of the Earth. Some areas are now mentioned or underlying in the texts: modelling and simulation, radiobiology and radioecology, societal and economical type of research. The modelling – simulation approach is vital, particularly for the development of structures and forecasting long term storage behaviour. Research in radiobiology and radioecology is indispensable to ensure “the respect for the protection of people’s health, security and the environment”. Societal and economical-type research enables to better prepare the decision-making process and to fuel debates within society.

The committee is asking for the works that may have been carried out in this area, to be presented to its members and it recommends to the Ministry of Research to organize grants for doctoral and post-doctoral theses on societal and economic subjects.

The pursuit of the research and its orientation given by the 2006 law, goes along the lines of practical achievements. This evolution appears through a clearer legal definition of the waste families, a restrictive calendar and a direct link between each achievement and the stages that will have to follow. Research for the primary conditioning of old or varied waste now depends on the waste producers, but Andra is responsible for planning the specifications concerning their disposal. Focusing on waste reprocessing considerably reduces the research on the containers to dispose of spent fuel assemblies. Storage is now clearly designed as an industrial operation while waiting for the disposal of waste packages. As for geological disposal, which is now the reference option for long-lived high and medium activity waste, Andra has launched, in the transposition zone, a detailed scouting programme to reach a proposition, in a restricted area, of one or several favourable areas for setting up a repository and its associated concepts. Besides, Andra has the mission to propose a concept and a disposal site for long-lived low activity waste (graphite and radiferous). For separation-transmutation, the objectives are assessing the

transmutation programme in critical or sub critical fast neutron reactors, and developing a fast neutron reactor prototype, and associated facilities.

The new Committee, in the short time available (May-June 2007), has heard the representatives of Andra, CEA and CNRS, who also provided all the documents concerning these organizations' programmes and their international collaboration. CEA also informed the Committee on the main lines of research in radiobiology and radiotoxicology that are being conducted in France, and the prospects of the 4th Gen. The report does not look into this last point.

This report is the first global approach of the works that the Commission will have to assess and enables to draw the list of the main themes that will be examined during the next annual period (September 2007 – June 2008). Here and now, it is aware that the provisional calendar of Andra seems to be extremely tight, for the disposal of radiferous and graphite waste, as well as the HLW disposal. It is the same for some parts of CEA calendar.