

Avis sur la sûreté des silos de stockage de graphite de Saint Laurent des Eaux

Pièces communiquées à l'ANCLI :

- (1) EDF Branche Energies, *Courrier à CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux*, 05 avril 2004
- (2) EDF Branche Energies, *Préparation du Groupe Permanent Démantèlement - Description des silos d'entreposage de chemises graphite de Saint-Laurent*, 22/11/2002
- (3) EDF Branche Energies, *Evaluation des conséquences radiologiques de la perte d'étanchéité des silos d'entreposage des chemises graphite de Saint-Laurent-des-Eaux A*, 19/12/2001
- (4) EDF Pôle Industrie, *CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux-Centrale A - Campagne de Reconnaissance Géotechnique autour des Silos - Rapport de fin d'intervention*, 8 juin 2004
- (5) EDF - CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux, *Note technique 12884 - Consigne générale 18 : conduite à tenir en cas de crue, d'étiage, de colmatage de la station de pompage ou de perte de l'eau brute en amont du dégrilleur*, 15/03/04
- (6) Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires, *Courrier à Mr le chef du service démantèlement du Centre national de production d'électricité de Saint-Laurent-des-Eaux*, 15 février 2002

INTRODUCTION

Les domaines couverts par l'ensemble des pièces communiquées à l'ANCLI sont :

- la sûreté du fonctionnement et l'hypothèse accidentelle
- la surveillance de la contamination à l'intérieur et à l'extérieur du site en situation de routine
- l'étude des caractéristiques géotechniques de l'environnement du site
- l'inventaire isotopique et l'estimation des activités en situation de routine et en situation accidentelle
- l'estimation des doses engagées pour la population en cas de situation accidentelle
- le PUI

Sur le plan méthodologique, il ressort de ces documents le souci manifeste d'en étayer les dires par des références qui font autorité. De plus, elle prend en compte des scénarios souvent considérés comme enveloppes.

Cependant, elle s'appuie sur des postulats et des modèles de calcul qui sont souvent non justifiés voire contestables, et ce aux différentes étapes de la démarche d'évaluation de l'impact radiologique d'une perte d'étanchéité des silos. On note par ailleurs des confusions conceptuelles, ainsi que de nombreuses imprécisions.

OBSERVATIONS

1. Sur la description de l'installation (2) *

Les éléments disponibles ne permettent pas de comprendre la configuration des composants de ces silos, voire les fonctions qu'ils remplissent. C'est notamment le cas pour les puisards et les bouches d'extraction. Le schéma joint comporte la seule indication de « nappe phréatique », mais il est impossible d'en comprendre la désignation. Il est néanmoins possible, par recoupement des

* Les indications entre parenthèses renvoient aux pièces constitutives du dossier listées ci-dessus.

informations contenues dans les différents documents, de faire émerger des informations complémentaires (ainsi pour la configuration du cuvelage ou la fonction des puisards (1)).

De même les éléments disponibles peuvent apparaître discordants. Ainsi pour la question de la présence d'eau dans les silos et les puisards : l'absence d'eau dans les silos (hors puisards) est vérifiée périodiquement (3)(1), mais une lame d'eau de 1mm, équivalente à 576 litres, reste néanmoins au fond des silos (3). Cette eau proviendrait notamment de l'inétanchéité des silos lors des premières années de fonctionnement (3), alors que les trémies de remplissage interdisent l'introduction d'eau de pluie (2).

2. Sur la qualité du confinement et la sûreté

2.1. Le risque d'inondation des silos

Pour une crue d'un débit de 12 000m³/s, la plate-forme n'est plus aujourd'hui inondée, mais le site est toutefois isolé pendant une durée maximale de 15 jours. De plus, pour garantir la cote majorée de sécurité, des masques métalliques seront placés pour assurer l'étanchéité pour chacun des accès aux ouvrages concourant à la sûreté nucléaire. Le niveau de la nappe alluviale suivant (avec un certain retard) celui de la Loire et le site étant en cuvette, le risque dont il faut se prémunir est l'aléa nappe alluviale. La marge de sécurité étant insuffisante (inférieure à 20 cm), la bunkérisation du périmètre de protection et la pose de batardeaux est conservée (5).

La partie basse des silos peut être en contact avec la nappe des alluvions. La partie enterrée et en particulier le fond des silos étant inaccessibles, leur bon état de rétention ne peut être évalué directement et cela « peut poser question » (1).

Par ailleurs, les silos sont potentiellement inondables lors de fortes crues de la Loire. Cependant ils demeurent étanches compte tenu de la présence du cuvelage métallique noyé dans le béton armé. Toutefois, l'hypothèse d'un défaut d'étanchéité du cuvelage et donc d'une entrée d'eau dans les silos, ne sont pas exclus (2). En cas de remontée du niveau piézométrique de la nappe des alluvions et pour pallier une situation de ce type, la mesure du niveau d'eau dans les silos devient journalière dès que la surface de la nappe atteint la cote + 77,94 m NGF (1). Elle conduirait, en cas d'augmentation avérée, à pomper l'eau afin de garantir en permanence un sens de circulation de l'extérieur vers l'intérieur, et donc l'absence de transfert vers l'environnement. L'eau pompée serait ensuite traitée comme tout effluent (1).

La question est posée de savoir si l'étanchéité des accès au site de stockage est bien garantie et si le site est efficacement protégé contre l'aléa nappe alluviale. En tout état de cause, l'hypothèse d'une éventuelle entrée d'eau par la partie aérienne des silos en cas d'inondation n'est pas évoquée.

D'autre part, (2) indique que le terrain est à la cote moyenne de + 83,70 m NGF et que le cuvelage étanche en tôles d'acier noyé dans le béton armé du radier et des parois s'élève jusqu'à la cote + 83,12 m NGF. Cela signifie que la partie enterrée des silos n'est pas protégée par ce cuvelage sur ses 60 derniers centimètres alors que l'on se trouve en zone inondable.

Par ailleurs, le débit millénal majoré au niveau du site est de 12 000m³/s (réévaluation 2003) (5). Or la crue de référence prise en compte pour évaluer les conséquences radiologiques de la perte d'étanchéité des silos d'entreposage des chemises graphite est la crue historique de la Loire (située en 1846 dans (3) et en 1866 dans (5)). Cette crue est estimée dans (5) à 6400 (6 000 ?) m³/s. Le scénario pris en compte est donc très en deçà du débit millénal majoré calculé.

Le volume d'eau « maximal » dans les silos est estimé à 2 400 m³, et le volume « réaliste » à 1650 m³, compte tenu du volume occupé par les chemises de graphite (3). Or dans ce même document, le volume d'eau « maximal » est de 1650 m³ et le volume d'eau « réaliste » désigne la quantité d'eau (lame d'eau de 1mm et eau des puisards) présente en permanence dans les silos en situation de routine (960 litres). Ce point n'est donc pas clair.

Au demeurant, la description du dispositif de pompage n'étant pas communiquée et n'étant pas intégrée à (5), il n'est pas possible d'en apprécier l'efficacité.

Enfin, il est mentionné que le contrôle du génie civil a lieu tous les 3 ans (1). Or il est indiqué par ailleurs (2) que le dernier contrôle a eu lieu en 1996, soit il y a 8 ans (6 ans avant la date de l'étude).

2.2. La tenue au séisme

La tenue au séisme de l'ouvrage n'a pas été prise en compte lors de la conception de l'ouvrage (2). Cependant, une étude « a posteriori » de sa résistance au séisme (SMHV et SMS) démontre sa capacité de résistance à des séismes d'intensité VI et VII sur l'échelle MSK (2).

2.3. Le risque d'incendie

L'absence de source d'ignition est posée comme un postulat pour exclure le risque d'incendie (1). La possibilité de sources d'ignition aléatoires d'origine externe (malveillance par exemple) n'est pas envisagée. Cette question est également à envisager dans le cadre de la question du risque de criticité discutée plus loin.

2.4. Le risque d'agression externe

Plus généralement, et en dehors des risques évoqués ci-dessus, la résistance de l'installation à des phénomènes naturels (foudre, tempête, grand froid, ...) ou anthropogéniques (chutes d'avions commerciaux et militaires, notamment du fait de la présence de l'Ecole de Pilotes de Chasse de Tours-Avord, actes de malveillance ou de terrorisme) n'est pas évoquée.

2.5. Le risque de criticité

La représentativité des échantillons de graphite n'étant pas assurée, des incertitudes sont attachées aux estimations d'activité des chemises (6). De plus, la question peut être posée de la présence éventuelle de particules de combustible sur les chemises de graphite (point discuté plus loin). L'activité des silos en plutonium est donc susceptible d'être sous-estimée. Par ailleurs, il est fait l'hypothèse de l'homogénéité de la distribution des radioéléments dans l'eau contaminée des silos (3), hypothèse qui n'est pas justifiée. Enfin, la présence éventuelle de systèmes de ventilation intérieure des silos n'est pas mentionnée.

Il convient de parvenir à une estimation exacte de l'activité en plutonium des silos et de sa distribution. En effet, toute accumulation localisée de plutonium doit être inférieure à sa masse critique, au risque de voir se produire une réaction en chaîne qui conduirait à un accident de criticité (accident hors dimensionnement).

Il y a lieu d'ajouter qu'aucune indication n'est donnée concernant la température à l'intérieur des silos et un éventuel système de surveillance de celle-ci.

2.6. Le risque de fuite vers l'extérieur des silos

L'hypothèse de rejets atmosphériques n'est pas envisagée.

Par contre, l'hypothèse d'une fuite d'eau des silos vers l'environnement en cas de défaut d'étanchéité du cuvelage n'est pas, malgré les dispositions mentionnées ci-dessus, formellement exclue (1).

Ce sont les conséquences d'une telle éventualité que l'étude s'attache à évaluer.

3. L'inventaire radiologique de l'installation et l'état radiologique de l'environnement

3.1. Les mesures d'activité dans les silos et dans leur environnement

Elles sont trimestrielles en ce qui concerne l'eau des silos (3), « périodiques » « autour » du site (2) et mensuelles dans la nappe (1) ; par ailleurs, un contrôle semestriel des débits de dose est réalisé (1). La contamination des parois internes des silos est estimée (2).

Une éventuelle recherche de contamination des autres ouvrages, notamment du hangar mobile, de l'operculaire et du château de transport des chemises n'est pas évoquée.

Par ailleurs, plusieurs questions restent posées : le contrôle semestriel des débits de dose est-il réalisé à l'intérieur ou à l'extérieur des silos ? Quelle est la nature des mesures réalisées « autour » du site ? S'agit-il de mesures du débit de dose, et dans l'affirmative, à quelle(s) distance(s) des silos ? Quel rapport avec le contrôle mensuel des débits de dose ? S'agit-il plutôt de mesures réalisées dans l'environnement terrestre ? Dans l'affirmative, sur quels types d'échantillons ces mesures sont-elles réalisées ?

Les caractéristiques des mesures réalisées autour du site et dans la nappe, et des contrôles de débit de dose, ainsi que la méthode d'évaluation de la contamination des parois ne sont pas explicitées.

3.2. L'inventaire radiologique des silos

Trois séries de données sont disponibles (1)(2)(3). Elles concernent les chemises de graphite et les fils de selle (1)(2), l'eau des silos (3) et l'eau des puisards (2).

La contamination de l'air à l'intérieur des silos est considérée comme « pas significative », affirmation qui n'est pas justifiée.

Par ailleurs, si l'activité de l'air à l'intérieur des silos est indiquée pour le tritium (2), la contribution du chlore 36 et du carbone 14, isotopes volatils présents dans les chemises et préoccupants en termes de santé publique, n'est pas mentionnée.

Enfin, une estimation est donnée du niveau de contamination surfacique des parois pour le tritium (66% de la contamination totale estimée). Les autres isotopes impliqués dans cette contamination ne sont pas précisés. De plus, la contamination alpha totale des parois internes des silos indiquée séparément est supérieure à la contamination totale estimée.

3.2.1. Aspect qualitatif

Un inventaire a été réalisé en janvier 2001 (2)(3). Une réévaluation qui tient compte de leur historique d'irradiation a été effectuée pour les chemises et les fils de selle en 2002 (1).

Les radioisotopes mentionnés sont des produits de fission (césium 137, strontium 90) et/ou d'activation (césium 134, tritium; cobalt 60, nickel 63, fer 55, carbone 14, chlore 36), ainsi que de l'uranium 238 et des transuraniens (isotopes 238, 239, 240 et 241 du plutonium, 242 et 244 du curium, americium 241).

L'activité α de l'eau des silos est donnée isotope par isotope dans (3). L'activité hors α de l'eau des puisards est donnée isotope par isotope dans (2), accompagnée d'une mesure d'activité α globale des chemises, de "l'eau" et de la surface des parois internes des silos. Signalons que l'activité α n'est pas mentionnée dans (1) (réévaluation 2002).

En outre, si l'activité de l'eau des silos (3) est donnée en émissions α et β , et isotope par isotope, l'activité γ et l'activité globale n'apparaissent pas.

Le fer 55 figure dans l'inventaire radiologique des chemises dans (2), mais il en est absent dans (1). Il est également absent de l'inventaire de l'activité de l'eau (2)(3).

Inversement, le strontium 90 figure dans l'inventaire de l'eau en (3) mais non en (2).

Enfin, les activités de l'eau des puisards (2) et des silos (3) sont données en activités totales pour les premières et en activités volumiques pour les secondes.

La cohérence de l'ensemble de ces données n'apparaît donc pas clairement. Il est en tout état de cause impossible de suivre les calculs qui conduisent aux activités « moyennes » de l'eau contaminée présentée en (3).

La question se pose également de l'**éventuelle contamination des chemises de graphite par des traces de combustible** (particules chaudes), consécutives notamment aux divers incidents survenus sur le combustible (tels la fusion de cinq éléments combustibles en octobre 1969 ou la rupture de gaines de combustible dans trois canaux de graphite en février 1980 sur le réacteur A1, ou encore la fusion de deux éléments combustibles sur le réacteur A2 en mars 1980). Cette éventualité

supposerait une reprise d'inventaire des radioéléments contenus dans les chemises, ainsi qu'une étude particulière du comportement des dites particules dans l'environnement.

3.2.2. Aspect quantitatif

Il est mentionné (3) que la décroissance radioactive n'est pas prise en compte pour l'évaluation de la contamination du terme-source. Ce propos mériterait d'être plus explicite.

La réévaluation de 2002 a conduit à une réduction de l'activité d'un facteur 2,2 pour les chemises et 18 pour les fils de selle. Une réévaluation confiée au CEA serait en cours, dont l'exploitant attend une réduction supplémentaire de cette activité d'un facteur 2 à 10. On suppose qu'elle concerne l'activité hors α mais ce point n'est pas précisé. La raison de ces réductions n'est pas indiquée.

Les activités « moyennes » de l'eau contaminée sont présentées en (3). Il semblerait qu'il s'agisse d'une estimation de l'activité totale. Mais si tel est le cas, que désigne l'expression activité « moyenne » ?

L'Autorité de Sûreté Nucléaire pour sa part, soulignant les incertitudes attachées aux estimations d'activité des chemises de graphite à partir d'échantillons dont la représentativité n'est pas assurée, demandait en 2004 à l'exploitant de retenir une valeur majorante de leur activité pour le dimensionnement des équipements de reprise des chemises ainsi que pour définir leur devenir. Elle lui demandait également de procéder lors de leur reprise à leur caractérisation radiologique (6). Au vu des pièces susvisées, il ne semble pas que la première de ces demandes ait été satisfaite.

3.3. L'inventaire radiologique estimé en situation accidentelle

Hormis le volume d'eau contenu dans les silos suite à une intrusion d'eau de la nappe des alluvions à l'intérieur des silos, les paramètres et les modèles utilisés pour l'estimation de cet inventaire ne sont pas indiqués. Il semblerait que les valeurs indiquées reposent sur les activités volumiques de l'eau des silos (émission β) déterminées en janvier 2001. Les transuraniens émetteurs α ont disparu du tableau des activités « moyennes » de l'eau contaminée et il n'est pas fait mention d'activité γ (3).

4. Sur l'impact d'une fuite d'eau vers l'extérieur des silos

4.1. La situation accidentelle retenue

Au motif que l'objectif de l'étude est de mener une étude enveloppe, le scénario retenu est celui d'une perte totale d'intégrité du confinement du silo avec rejet ponctuel (3). Ce choix exclut le scénario de rejets continus à faible débit dans les périodes où la partie basse des silos est en contact avec la nappe phréatique (évaluées à 56 jours par an en moyenne (3)). Or si la rétention d'eau dans la partie enterrée et notamment au fond des silos ne peut être garantie, il en est nécessairement de même pour les entrées d'eau lorsque le niveau de la nappe alluviale devient supérieur à celui du fond des silos.

En raison de cette situation, la surveillance journalière du niveau piézométrique devrait être assurée dès que celui-ci atteint la cote + 77 m NGF et non + 77,94 m NGF comme prévu afin de déceler d'éventuels transferts nappe → silos → nappe.

En tout état de cause, une lame d'eau de 1mm ne peut être pompée et reste au fond des silos (3). Cette situation peut masquer d'éventuels transferts nappe → silos → nappe.

La question se pose de savoir quelle activité pourrait ainsi être libérée dans l'environnement, et quel en serait l'impact sanitaire.

En tout état de cause, ce choix influe sur les modèles et les paramètres utilisés pour évaluer le transfert des effluents contaminés dans l'environnement.

4.2. Les voies de transfert des rejets radioactifs de la source à l'Homme (3)

La seule voie de transfert retenue est la voie hydrologique. La non prise en compte d'une contamination par voie atmosphérique n'est pas justifiée, tant au niveau de l'installation elle-même (hypothèse d'une fuite au-dessus du niveau du sol), qu'au niveau de l'exposition de l'Homme.

Deux scénarios sont retenus : (a) le transfert direct à la Loire en négligeant la présence du sol (b) un transfert à la nappe en prenant en compte la présence du sol.

Dans le premier cas, on considère le pompage d'eau contaminée aux points de captage d'eau dans la Loire à des fins d'irrigation les plus proches du site (2km), et au point de prélèvement à des fins d'alimentation en eau potable (Blois) situé à 23 km.

4.3. Les transferts vers l'eau (3)

4.3.1. Transfert direct à la Loire

Pour la modélisation, on suppose que le régime d'écoulement est permanent et uniforme, donc que les caractéristiques du cours d'eau sont invariables dans le temps et dans l'espace (largeur, hauteur, vitesse moyenne d'écoulement, débit moyen), ce qui ne correspond pas à la réalité.

Parmi les paramètres hydrauliques, on a déterminé « empiriquement » un coefficient de dispersion longitudinal global alors qu'il aurait fallu réaliser une expérience de dispersion *in situ* (colorants) pour l'évaluer.

Les résultats présentés sont donc sujets à caution.

La question de la dispersion de la veine de rejet est pourtant une question majeure et récurrente dans l'évaluation de l'impact d'une installation. Ainsi une étude conduite par le CEA sur la Garonne au niveau du site de Golfech en 1988, a fait apparaître que le devenir de la veine de rejet variait avec le débit du fleuve (4 scénarios étudiés) et le point de rejet des effluents (partie droite ou gauche des clarinettes de rejet). En situation de quasi-étiage ($64 \text{ m}^3/\text{s}$), le mélange était effectif à 5,2 km. Il n'était pas réalisé à 17 km (limite de l'étude) dans les trois autres scénarios (260, 728 et $1583 \text{ m}^3/\text{s}$), et le devenir de la veine de rejet y était clairement différent sur la portion de rivière étudiée [7]*.

4.3.2. Transfert à la nappe

La nappe concernée est la nappe des alluvions de la Loire pour laquelle l'étude réalisée suppose un écoulement permanent et laminaire. Les valeurs retenues pour les paramètres hydrauliques sont des valeurs moyennes alors que l'on souligne, à juste titre, l'hétérogénéité du réservoir aquifère. Il est du reste signalé (3) que l'« on ne dispose pas aujourd'hui des caractéristiques hydrauliques exactes de la nappe des alluvions au voisinage des silos d'entreposage ».

Là aussi, les résultats présentés doivent être considérés avec circonspection car les transferts peuvent être beaucoup plus rapides si, comme cela est signalé, des niveaux de graves sont interstratifiés dans les alluvions.

4.4. Les transferts dans la chaîne alimentaire (3)

L'hypothèse retenue est celle d'une contamination d'une durée de deux mois, au motif que cette période correspond au temps d'exploitation moyen d'une surface agricole. Non seulement la situation particulière du site n'est pas prise en compte, mais cette hypothèse n'est pas justifiée. Au demeurant, elle ignore d'une part la contamination des sols qui résulte de l'aspersion, et d'autre part les phénomènes de contamination secondaire (ci-dessous). Ces omissions sont d'autant moins justifiées que la période physique des radioéléments identifiés est longue à très longue (2ans pour le césium 134 à $4,47.10^9$ ans pour l'uranium 238) et qu'ils sont de ce fait extrêmement rémanents.

L'évaluation de ces transferts suppose le choix de menus (pour l'homme) et de rations alimentaires (pour l'animal). Le menu journalier considéré est le menu simplifié (légumes, lait de vache, viande de bœuf) qui serait pris en compte pour l'évaluation des conséquences radiologiques des

* Les indications entre crochets renvoient à la bibliographie.

accidents de dimensionnement par [9], auquel a été rajoutée l'eau de boisson, pour le cas où le captage est destiné à l'alimentation en eau potable. La ration alimentaire de l'animal impliqué dans ce menu consiste exclusivement en herbe [16], le calendrier d'affouragement est au 1^o juillet, date retenue pour les accidents de dimensionnement par [6]. La quantité journalière d'eau de breuvage (non prise en compte dans [16]) est issue de [19].

Tout d'abord, le menu simplifié retenu n'est pas issu de la directive européenne du 16 mai 1996 citée en référence [9]. Son origine et par conséquent sa légitimité, restent donc à préciser.

Ensuite, il est discutable à plusieurs titres. Il est "simplifié" et ne correspond pas à la réalité locale de l'alimentation des adultes. De plus, ce menu est inadapté aux populations les plus sensibles à savoir les enfants. Plus généralement, le menu (homme) et la ration alimentaire (bœuf) retenus comme cela est signalé auraient été conçus pour évaluer les conséquences radiologiques des accidents de dimensionnement : la légitimité de leur utilisation n'est pas établie ici. Ce point sera discuté plus loin.

La contamination initiale retenue est la contamination par aspersion, les légumes retenus étant les légumes feuilles, récoltés chaque jour et consommés immédiatement, au motif que le transfert foliaire serait plus pénalisant que le transfert racinaire (3). Outre que cette affirmation n'est pas justifiée, la question du transfert racinaire consécutif à la contamination des sols résultant de l'aspersion n'est pas évoquée, pas plus que les phénomènes bien connus de contamination secondaire (lixiviation ou enfouissement dans les sols des végétaux en décomposition, des déjections animales et des engrais verts, remise en suspension dans l'air et redépôts, retour au fleuve par migration secondaire dans la nappe ou par l'expansion des crues).

La question d'une inondation des prairies par une eau contaminée n'est pas non plus envisagée, alors même que la situation de contamination des silos qui est retenue est une situation de montée des eaux.

Il n'est pas indiqué si l'herbe de pâture est considérée comme un légume-feuille. Il n'est pas donné d'indication sur les modèles, paramètres et valeurs qui conduisent au calcul de sa contamination.

Par ailleurs, les paramètres retenus pour évaluer la contamination des légumes sont discutables sous plusieurs rapports.

Tout d'abord, les calculs de contamination prennent en compte la décroissance radioactive de l'élément et sa "décroissance biomécanique", cette dernière correspondant "au lessivage des feuilles par l'eau de pluie et l'eau d'irrigation non contaminée, l'abrasion par le vent et la sénescence des tissus". Elle "ne dépend pas de la nature du radonucléide". On saisit mal à quel phénomène renvoie le terme "sénescence des tissus". Au demeurant, des études ont montré que les tissus les plus âgés voire les tissus morts de certains végétaux tels que les mousses terrestres présentaient des contaminations plus élevées que les tissus plus jeunes, tout au moins pour certains éléments [15]. Plus généralement, la notion de « période biologique », qui repose sur le métabolisme spécifique du végétal à l'égard d'un élément particulier et définit avec la période physique de celui-ci la période effective du végétal (le temps au bout duquel il contient encore la moitié de l'activité initiale) n'est pas évoquée.

De surcroît, et faute de modèles permettant de considérer des rejets accidentels d'eau contenant ces deux radioéléments, l'évaluation dosimétrique présentée ne prend pas en compte les contributions du carbone 14 et du tritium (3). Or ces deux isotopes sont susceptibles de jouer un rôle important dans l'irradiation des organismes vivants. En effet le tritium, lorsqu'il est intégré à certaines molécules organiques (molécules biochimiques précurseurs des protéines, de l'ARN ou de l'ADN, hormones sexuelles, corticostéroïdes, ...), y séjournera beaucoup plus longtemps que lorsqu'il reste sous sa forme d'eau tritiée (période effective de l'ordre de un à deux ans pour la thymidine par exemple) [5], et sa toxicité sera considérablement augmentée [10], alors même qu'une part significative de l'eau tritiée absorbée par un végétal est intégrée par sa matière organique (jusqu'à plus de 60% selon l'espèce et le tissu considérés) [4], et que l'activité intégrée dans les tissus est plus importante après ingestion de nourriture tritiée qu'après ingestion d'eau tritiée [13][11]. On peut considérer que le carbone organique a sensiblement le même métabolisme que le tritium des mêmes molécules marquées [12]. Or on estime généralement que le carbone 14 contribue pour 75% à la dose efficace totale due aux rejets liquides et gazeux d'une centrale nucléaire [23].

4.5. L'évaluation des conséquences radiologiques de la perte d'étanchéité des silos

Par-delà l'ensemble des remarques qui précèdent, l'évaluation des conséquences radiologiques pour l'Homme de la perte d'étanchéité des silos pose plusieurs problèmes majeurs.

Tout d'abord, le calcul des doses engagées repose sur les coefficients de dose engagée par unité d'exposition donnés par [9] pour le sujet adulte. Aucune évaluation n'est réalisée pour les populations les plus sensibles aux rayonnements ionisants, notamment les enfants de moins de 1 an, pour lesquels la dose engagée pour les radioéléments dont la présence est attestée dans les silos est supérieure d'un facteur 2,4 (carbone 14) à 49 (curium 244) à ce qu'elle est pour l'adulte [9]. Notons au passage la confusion entre « dose totale ingérée et cumulée sur deux mois » (notion d'ordre physique) et « dose engagée » (notion d'ordre biologique) (3).

La question se pose par ailleurs de la légitimité de l'utilisation de normes (les niveaux maximaux admissibles de contamination des aliments [21]), comme de menus journaliers (pour l'Homme) et de rations alimentaires (pour l'animal) retenus pour les situations d'accident nucléaire (3). En effet, si dans le cas du second scénario étudié (transfert à la nappe) la perte totale de confinement des silos de stockage est considérée comme un accident selon les critères de l'Echelle Internationale des Evénements Nucléaires (dose engagée à l'homme de l'ordre des limites générales d'exposition du public en fonctionnement normal [8][9]), elle n'est considérée que comme un incident dans le cas d'un transfert au cours d'eau (dose engagée à l'homme de l'ordre du dixième de ces mêmes limites)[1]. De ce fait, les normes et modèles relatifs aux situations accidentelles ne s'appliqueraient pas au premier scénario étudié. D'ailleurs [1] précise qu'à la suite d'un rejet de niveau 3, des mesures de protection hors du site ne sont pas nécessaires, et que cela est en général peu probable dans le cas de l'événement de niveau 4, sauf peut-être des contrôles locaux sur les aliments. Dans ces conditions, les doses susceptibles d'être reçues par les individus hors du site dans le cas du premier scénario étudié devraient être mises en perspective avec les limites maximales d'exposition générales définies par [8][9] pour les personnes du public en situation normale, voire avec des contraintes de dose (plus restrictives) [9]. Par ailleurs, les calculs de doses engagées pour le public suite à une perte de confinement des silos ayant eux-mêmes été réalisés sur la base des seuls menus et rations définis pour les situations accidentelles, il conviendrait de procéder à de nouveaux calculs reposant sur des menus et des rations réalistes caractéristiques de la situation normale. Enfin, il conviendrait de mettre en perspective les contaminations calculées des aliments, non avec les niveaux maximaux admissibles de contamination des aliments après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique [21], mais avec des limites dérivées établies, à l'instar des limites dérivées définies par le NRPB, pour les situations normales [17].

Au demeurant, on ne peut qu'être étonné par la conclusion selon laquelle les résultats de l'étude permettent de conclure à des doses totales ingérées faibles (3) et à un impact sanitaire non significatif (3) ou négligeable (1), dans la mesure où d'une part les doses calculées ne sont pas mises en perspective avec quelque limite maximale admissible que ce soit, et où d'autre part aucune évaluation de l'impact sanitaire des expositions calculées n'a été réalisée.

La justification de cette affirmation est le non dépassement des niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires en situation accidentelle [21]. Cet argument contredit les commentaires faits par ailleurs sur le dépassement de ces niveaux pour le césium 137 et (moyennant une incohérence) pour le cobalt 60 (3). **Il dénote surtout une confusion entre les notions de niveau d'acceptabilité (niveau en dessous duquel les effets sanitaires sont acceptés) et de seuil d'innocuité (niveau en dessous duquel on n'observe aucun effet). Cette confusion témoigne d'une non prise en compte de la distinction, fondamentale en radiobiologie, entre effets aléatoires (considérés comme sans seuil par la communauté internationale) et effets déterministes (effets à seuil).**

Concernant plus généralement l'impact sanitaire des rayonnements ionisants, un certain nombre de données, qui en elles-mêmes interpellent, ont fait l'objet de discussions au sein du Comité Scientifique. Il s'agit d'une démarche tout à fait logique au sein d'un Comité Scientifique pluridisciplinaire.

Ces discussions ont notamment porté sur des travaux récents évoquant, suggérant ou mettant en évidence l'apparition de pathologies non cancéreuses chez des sujets exposés à des irradiations internes chroniques [2][3], à des expositions ponctuelles à des irradiations externes [18][24][26] ou à une irradiation externe répétée [22] ou chronique [25] à faible débit de dose, le nombre de sujets atteints augmentant de façon significative avec la charge corporelle ou la dose reçue. On peut également remarquer des travaux récents faisant apparaître l'existence de deux types d'effets toxiques consécutifs à une exposition chronique à de faibles débits de dose : l'instabilité génomique transmissible (apparition d'aberrations chromosomiques, de mutations génétiques et de transformations malignes à la descendance « à distance », c'est-à-dire en « sautant » plusieurs générations de cellules) et l'effet de voisinage (induction d'une lésion sur une cellule non irradiée voisine de la cellule irradiée) [14].

Au demeurant, tous les membres du Comité pensent que des données récentes émanant de travaux disponibles ou en cours sont susceptibles de modifier à terme les fondements de la radioprotection. Ils sont en accord avec les conclusions du Rapport Vroussos qui affirme [20]:

*« Il semble prioritaire qu'un **dispositif de veille scientifique** de qualité soit rapidement mis en place en France. Ce dispositif devrait rassembler toutes les parties prenantes de la recherche et de l'expertise dans un souci de pluralisme et de transparence. La mise en place d'un tel dispositif paraît d'autant plus importante que l'on assiste depuis très peu de temps à une accélération des avancées dans le domaine de la radiobiologie et de l'épidémiologie, qui pourrait à terme modifier la compréhension des mécanismes d'induction des effets des rayonnements et impliquerait donc de revoir certains principes d'action ».*

5 . Le PUI

Le document (5) ne concerne pas la situation accidentelle qui fait l'objet de l'étude (3).

CONCLUSION

Le Comité Scientifique de l'ANCLI considérant :

- les nombreuses approximations et les choix non justifiés, voire discutables, aux différentes étapes des démarches proposées dans les pièces du dossier communiqué au Comité,
- la limitation de l'étude d'impact sanitaire à la seule évaluation des doses, en cas de perte de confinement des silos de stockage des chemises de graphite,

estime qu'une nouvelle évaluation globale des risques, intégrant les données les plus récentes en matière d'exposition aux rayonnements ionisants, doit être réalisée .

Références bibliographiques

- [1] AIEA, Echelle Internationale des Evènements Nucléaires - Manuel de l'Utilisateur, AIEA, Vienne, 1993
- [2] Bandajevsky Y., Cardiopathies au césium 137, *Cardinale XV (8)*, 2003
- [3] Bandajevsky Y., Radioactive cesium and Heart, Minsk, 2001
- [4] Bovard P., Delmas J., Belot Y., Camus H., Grauby A., Kirchman R., Van den Hoeck J., Transfert à la ration alimentaire du tritium émis par les installations nucléaires. CEA-IPSN/CEEN de Mol. Belgique - Université Agronomique de Wageningen, Pays-Bas, 1979
- [5] Carsten A.L., « « Tritox » - A multiparameter evaluation of tritium toxicity », Eulep Symposium. CCE, Luxembourg, 1984
- [6] Celse S. Méthodologie pour l'évaluation des conséquences radiologiques des accidents de dimensionnement, Note E-N-SN/97-00039-B/SC, 1997

- [7] Commissariat à l'Energie Atomique, IPSN/DERS/SERE, Section de Radioécologie Physique, Traçage des rejets de la centrale de Golfech - Etude faite à la demande d'EDF, 07/1988
- [8] Décret n° 2002-460 du 4 Avril 2002 relatif à la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants, *Journal Officiel de la République Française*, 06/04/04 : 6393-6103
- [9] Directive 96/29 EURATOM, *Journal Officiel des Communautés Européennes*, n°L159, 29/06/96
- [10] Gazal S., La contamination de l'environnement par le tritium et toxicité pour l'homme, *Les Réalités de l'Ecologie* **15** (1990) 23-25
- [11] Jeanmaire L., Vernois Y., « Métabolisme de molécules tritiées chez le rat. Etude sous l'angle de la radioprotection », Behaviour of tritium in the environment, San Francisco, 16-20 Octobre 1978, (Ed.) AIEA, Vienne, 1979 pp. 567-574
- [12] Jeanmaire L. « Métabolisme et toxicité du carbone 14 », dans Galle P., *Toxiques Nucléaires*, Masson, 1982 pp. 145-148
- [13] Kirchman R., Charles P., Van Bruwaene, Remy J. Koch G., Van den Hoeck J., Distribution of tritium in different organs of calves and pigs after ingestion of various tritiated feeds, *Current Topics on Radiation Research* **12** (1977) 291-312
- [14] Little J.B., Radiation-induced genomic instability and bystander effects : implications for radiation protection, *Radioprotection* **37** (3) (2003) 261-282
- [15] Malmer N., *Oikos*, **53** (1988) 105-120
- [16] Mourlhon C., Description des fonctions et des paramètres du module de calcul ASTRAL version 1.1., Rapport IPSN/DPRE/SERE/LMODE, 05/01/99
- [17] NRPB Revised generalised derived limits for radioisotopes of strontium, iodine, caesium, plutonium, americium and curium. *GS* 1987 (8)
- [18] Preston D.L., Shimizu Y., Pierce DA, Suyama A, Mabuchi K., Studies of mortality of atomic bomb survivors, Report 13: Solid cancer and Noncancer disease mortality - 1950-1997 *Radiat. Res.* **160** (2003) 381-407
- [19] Quinault J.M. Cartier Y, Bourdeau F., Guide d'évaluation de l'impact de rejets radioactifs atmosphériques, Note CEA/EDF EE-SI-SE/3861, 1989
- [20] Rapport de la Commission Vrousos, Priorités en radioprotection - Propositions pour une meilleure protection des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants, 02/03/04, asn.gouv.fr
- [21] Règlement EURATOM n°2218/89 du Conseil du 18 Juillet 1989 fixant les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour le bétail après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique, *Journal Officiel des Communautés Européennes* n°L211, 22/07/89
- [22] Ron E., Modan B., Preston D., Alfandary E., Stovall M., Boice J.D., Thyroid Neoplasia following Low-Dose Radiation in Childhood, *Radiation Research* **120** (1989) 516-531
- [23] Samson T., Siclet F., « EDF et le carbone 14 », Journée Carbone 14, SFRP, 18 Avril 2002
- [24] Shimizu Y., Pierce D. A. *et al.*, Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 12, Part II- Non cancer Mortality –1950-1990, *Radiation Research* **152** (1999) 374-389
- [25] Wei-Li C. *et al.*, Lenticular Opacities in Populations Exposed to Chronic Low-Dose-Rate Gamma Radiations from Radiocontaminated Buildings in Taiwan, *Radiation Research* **156** (2001) 71-77
- [26] Yamada M., Wong F. L., Fujiwara S., Akahoshi M., Suzuki G, Noncancer disease incidence in atomic bomb survivors -1958-1998, *Radiat. Res.* **161** (2004) 622-32

**Avis sur
la sûreté des silos de stockage de graphite
de Saint Laurent des Eaux**

Complément

Le chapitre 2 de l'Avis sur la Sûreté des Silos de Stockage de Graphite de Saint Laurent des Eaux est modifié de la manière suivante :

2. Sur la qualité du confinement et la sûreté

(...)

2.2. bis. La stabilité de l'ouvrage à l'inondation

En cas de très grande crue de la Loire, on ne peut exclure que les silos puissent être déstabilisés par affouillement, car ils sont implantés en bordure de la plateforme créée artificiellement par remblai pour supporter l'ensemble du CNPE. Dans un tel cas de figure, le bord de la plateforme serait en effet au contact du bras de décharge de la Loire dans le val situé entre le CNPE et le coteau de Saint Laurent. Il conviendrait d'apporter sur ce point une réponse argumentée.