« Mises à jour » de données scientifiques suite aux recommandations du groupe radioécologie Nord-Cotentin (GRNC) formulées en 1999

P. GERMAIN¹, J. HERBELET², A. MERLE-SZEREMETA³, E. THYBAUD⁴,
C. ROMMENS⁵, J.C. ZERBIB⁶, A. SUGIER³

(Manuscrit reçu le 7 avril 2003, accepté le 30 septembre 2003)

RÉSUMÉ

Dans son rapport remis aux ministres en 1999, le GRNC a indiqué la nécessité de mener des compléments d'études afin de combler certaines lacunes dans la connaissance de paramètres radiologiques. Le GRNC a également recommandé de prendre en compte des aspects autres que radiologiques. Suite à ces recommandations, les ministres de la Santé et de l'Environnement ont confié au GRNC une deuxième mission portant sur l'étude des incertitudes associées aux résultats de la première mission, et la prise en compte des rejets chimiques. De plus, à la faveur de diverses études publiées récemment par l'IRSN, des informations sur des concentrations de radionucléides peu étudiés jusqu'alors ont été obtenues et des paramètres ont été précisés. Des informations totalement nouvelles ont été acquises comme celles sur le chlore-36. Dans le présent texte les apports scientifiques obtenus depuis la publication du rapport GRNC sont résumés.

ABSTRACT

Updating of scientific data following the Nord-Cotentin Radioecology Group (GRNC) recommendations expressed in 1999.

In its report submitted to the ministers in 1999, the GRNC indicated the need to carry out further studies so that some gaps in the knowledge of radiological parameters are filled, and recommended to take into account aspects other than the radiological ones. Further to these recommendations, the ministers of State of Health and Environment assigned the GRNC the responsibility of a second mission (study of uncertainties on the first mission results, and consideration of chemical releases). Then, about the radiological data used, thanks to various studies recently published by the IRSN, information concerning radionuclide concentrations, not much studied until then, has been obtained and parameters have been specified. Completely new information has been acquired as chlorine-36 information. In the present text are summarized the scientific contributions obtained since the GRNC report publication.

¹ IRSN. B.P. 10, 50130 Cherbourg-Octeville, France.

² IRSN. Site du Vésinet, B.P. 35, 78116 Le Vésinet, France.

³ IRSN. B.P. 17, 92262 Fontenay-aux-Roses, France.

⁴ INERIS. Parc technologique ALATA, B.P. 2, 60550 Verneuil-en-Halatte, France.

⁵ IRSN. B.P. 1, 13108 St Paul-lez-Durance, France.

⁶ CSPI, rue Sirkine N° 14/8, 77512 Ashdod, Israel.

1. Introduction et contexte

Du fait de l'existence d'une incidence élevée de cas de leucémies au cours de la période 1978-92 chez les jeunes de 0 à 24 ans vivant dans le canton de Beaumont-Hague (4 cas observés pour environ 1,4 cas attendus) (Viel *et al.*, 1995), et d'un lien suggéré dans une étude épidémiologique publiée en 1997 avec les rejets des installations nucléaires du Nord-Cotentin (Pobel et Viel, 1997), les pouvoirs publics ont demandé la réalisation de deux types d'investigations dans le Nord-Cotentin. D'une part, la réalisation d'un approfondissement épidémiologique a été confiée au Pr. Spira⁷ (INSERM), et d'autre part, une analyse radioécologique, permettant d'estimer directement et au mieux les expositions radiologiques de la population et d'en déduire les effets attendus sur la santé, a été confiée au groupe radioécologie Nord-Cotentin (GRNC), présidé par Mme Sugier (IRSN).

Les missions du GRNC étaient les suivantes :

- dresser un inventaire des rejets radioactifs liquides et atmosphériques effectués par les installations nucléaires dans le Nord-Cotentin ;
- faire un bilan de la surveillance de la radioactivité des différents milieux de l'environnement et produits de la chaîne alimentaire ;
- faire un bilan des doses délivrées aux populations les plus exposées en y incluant les doses dues aux expositions naturelles et médicales ;
- estimer le risque de leucémie associé aux doses reçues.

Le groupe a remis son rapport aux ministres de l'Environnement et de la santé en juillet 1999.

Pour assurer ces missions des groupes spécialisés ont été constitués, au nombre de quatre, avec des experts provenant d'organismes d'origine variée. Ces groupes de travail ont traité :

- la revue critique des rejets déclarés par les exploitants des installations nucléaires du Nord-Cotentin, et si nécessaire la reconstitution des données manquantes ;
- la collecte et l'interprétation des mesures faites dans l'environnement par les différents intervenants (institutionnels et non institutionnels) depuis la mise en service des installations ;
- la comparaison des modèles entre eux et leur confrontation avec les mesures faites dans l'environnement ;
- l'identification des groupes de population du Nord-Cotentin pertinents du point de vue épidémiologique et l'estimation du risque de leucémie pour la cohorte

⁷ La dernière étude, publiée par le Pr. Spira et ses collaborateurs, conduit pour la même zone et pour la période 1978-98, à cinq cas de leucémies pour 2,3 attendus, soit un risque relatif de 2,2 (Guizard *et al.*, 2001).

considérée (6 556 individus). Cette étude a été complétée par une estimation des doses efficaces des groupes dont les habitudes de vie les conduisent à être plus exposés que la moyenne des habitants, afin d'évaluer les expositions auxquelles ils ont été ou sont soumis. L'évaluation des expositions reçues du fait des autres sources de rayonnement (radon dans l'habitat, sources artificielles, naturelles et médicales) et l'estimation du risque correspondant à l'ensemble des expositions considérées ont été menées.

Afin de répondre aux missions du groupe, il convenait d'une part de rassembler les données concernant les niveaux d'exposition de la population du Nord-Cotentin aux sources médicales et naturelles et au « bruit de fond » résultant d'autres sources artificielles (retombées de l'accident de Tchernobyl et des essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère), et d'autre part de reconstituer les doses dues aux rejets des installations nucléaires du Nord-Cotentin depuis leur mise en service (usines de retraitement de combustibles usés de COGEMA ; centrale de Flamanville d'EDF ; centre de stockage des déchets radioactifs de l'ANDRA ; arsenal de Cherbourg). C'est sur ce deuxième aspect que s'est centré l'effort principal du groupe radioécologie Nord-Cotentin.

Deux méthodologies complémentaires permettent d'évaluer le transfert de contaminants radioactifs d'une source vers l'homme. L'une consiste à mesurer les concentrations en radionucléides dans l'environnement et à estimer les conséquences radiologiques pour la population compte tenu de leur localisation géographique et de leur utilisation de cet environnement. L'autre consiste, connaissant les rejets, à s'appuyer sur des modèles traduisant les mécanismes de dispersion et de reconcentration des radionucléides dans l'environnement jusqu'à l'homme. La mise en œuvre de cette deuxième méthode nécessite la connaissance préalable de certains paramètres de transfert, acquise à partir des recherches.

Le groupe radioécologie Nord-Cotentin a mis en œuvre ces deux méthodologies complémentaires en validant les modèles par la comparaison de leurs prédictions avec les résultats des mesures faites dans l'environnement. Au total, pour l'usine COGEMA, près de 80 radionucléides ont été étudiés. Le nombre total de « déterminations de concentration en radionucléide ou d'activité globale », ainsi que la contribution de chaque organisme ont été évalués dans un inventaire. Ces déterminations se montent à environ 500 000.

Le GRNC, dans ses conclusions de 1999, a cependant noté la nécessité de mener des compléments d'études afin de combler quelques lacunes dans la connaissance des paramètres, et de réduire ainsi les incertitudes concernant les valeurs des facteurs utilisés (GRNC, 1999).

Dans la présente publication, un rappel est fait des compléments d'information évoqués par le GRNC. Puis les principaux résultats acquis depuis 1999 par le GRNC lui-même, et lors des études menées par l'IPSN/IRSN, sont précisés.

2. Demandes de compléments d'information de la part du GRNC

Le GRNC a indiqué qu'un certain nombre de sujets méritaient d'être approfondis sur le plan scientifique bien que les niveaux de risque obtenus soient faibles.

Ainsi, dans la discussion des résultats, le groupe a souligné que le risque correspondait à une estimation moyenne dont les marges d'incertitude n'avaient pas été quantifiées. Aussi, en juillet 2000, la ministre de l'Aménagement du territoire et de l'environnement et le ministre délégué à la Santé ont adressé une lettre de mission au GRNC lui demandant de réaliser une étude de sensibilité et d'incertitude portant sur les paramètres principaux de l'estimation du risque de leucémie attribuable aux installations nucléaires du Nord-Cotentin. Dans cette même lettre, suite à une autre recommandation du GRNC, il est précisé que le groupe devra évaluer l'impact environnemental et sanitaire dû aux rejets chimiques des installations nucléaires.

D'autres recommandations, demandes de compléments d'information ont été formulées :

- évaluer de façon rétrospective les expositions dues aux sources naturelles et médicales ;
- définir des mesures plus spécifiques pour certains radionucléides dans le cadre de la surveillance ;
- préciser l'utilisation du milieu (modes de vie) ;
- envisager la modélisation du transfert des radionucléides par les embruns au Cap de La Hague ;
- accroître les mesures dans l'environnement de certains radionucléides (^{129}I , ^{14}C , ^3H lié, ^{85}Kr , ^{90}Sr , ^{241}Pu , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{36}Cl ...) et vérifier les concentrations en certains lieux (ex. : les Huquets) ;
- mieux définir les coefficients de transfert de certains radionucléides (facteurs de concentration, FC ; coefficients de distribution eau-sédiments, K_d ; transferts algues-sols-plantes) ;
- pour les modèles de transfert, prendre en compte les valeurs des paramètres propres au site (coefficients de transfert atmosphérique, CTA ; dispersion champ proche...) ;
- envisager l'homogénéisation des modes opératoires (prélèvements, traitements, mesures), ou tout au moins l'organisation d'intercomparaisons entre les laboratoires lorsqu'ils ne sont pas normalisés.

3. Thèmes dont la connaissance a évolué suite à la nouvelle mission du GRNC et aux travaux scientifiques menés depuis 1998

3.1. Nouvelle mission du GRNC

3.1.1. Les incertitudes sur le résultat du risque radiologique (GRNC, 2002a)

Le GRNC a mené de janvier 2000 à mai 2002 une étude des incertitudes associées au risque de leucémie radio-induite chez les jeunes de 0 à 24 ans du canton de Beaumont-Hague. L'analyse d'incertitude a concerné le risque collectif de leucémie *ex utero* associé aux rejets de routine (atmosphériques et liquides) des installations nucléaires du Nord-Cotentin (0,0009 cas de leucémie sur la période 1978-96), dénommé ci-après « le risque ». Elle a porté sur les paramètres principaux (au nombre de 214) entrant dans le calcul du risque, c'est-à-dire ceux dont la variation conduit aux plus fortes variations du risque. Parmi ces paramètres principaux figurent des activités rejetées, des activités dans le milieu marin, des coefficients de transfert, des paramètres de mode de vie, etc. Aucune incertitude n'a été associée aux coefficients de dose et de risque car le GRNC n'a pas remis en cause ces données qui font l'objet d'un consensus international et il n'existe pas actuellement de documents agréés au plan scientifique sur les incertitudes qui accompagnent ces coefficients. L'incertitude de chaque paramètre principal a été caractérisée par un intervalle de variation et une distribution de probabilité. L'incertitude sur le risque résulte de la combinaison de ces incertitudes. Pour la détermination des intervalles de variation et des distributions de probabilité des paramètres, trois cas se sont présentés en fonction du paramètre considéré :

- des données spécifiques du site ou de la zone étaient disponibles à partir des résultats d'études réalisées sur le site. Les distributions des valeurs possibles des paramètres sont alors spécifiques du site considéré,
- aucune donnée n'était disponible à partir des études réalisées sur le site mais des références bibliographiques fournissaient des indications sur des valeurs applicables,
- aucune donnée n'était disponible, que ce soit à partir des études réalisées sur le site ou à partir d'une étude bibliographique générale. Les distributions des valeurs ont été construites à partir d'hypothèses basées sur des analogies ou bien par jugement d'expert.

Le choix du GRNC a été de privilégier les données locales par rapport aux données nationales ou internationales, de privilégier les valeurs d'activités moyennes dans l'environnement plutôt que les valeurs extrêmes, les modes de vie moyens plutôt que les comportements particuliers. Ce choix vient du fait que le calcul

concerne une « cohorte » nombreuse (6 556) d'individus de divers âges ayant résidé dans le canton de Beaumont-Hague et non pas en un lieu précis, et qui ont pu être exposés aux rejets de l'usine de La Hague dès 1966, donc sur une longue période.

Des distributions du risque et des intervalles de variation ont été obtenus en appliquant deux méthodes complémentaires. L'une probabiliste (simulation de Monte Carlo) a conduit à un intervalle de valeurs comprises entre 1,1 et 2,7 fois la valeur estimée (0,0009) du risque, soit 0,001 à 0,0024 cas de leucémie. L'autre possibiliste (algèbre de possibilités) a conduit à un intervalle de valeurs comprises entre 0,4 et 5 fois la valeur estimée, soit 0,0004 à 0,0045 cas de leucémie. Parallèlement un calcul maximaliste, mais non réaliste car basé sur des comportements extrêmes envisageables pour un individu particulier mais pas pour une cohorte, a produit un intervalle de valeurs comprises entre 0,1 et 30 fois la valeur de référence, soit 0,00009 à 0,027 cas de leucémie. Toutes ces valeurs restent très inférieures au nombre de cas de leucémies observées pour la même population et la même période (4 cas observés pour 1,4 cas attendus) et au risque de leucémie radio-induite toutes sources d'exposition confondues (naturelles, médicales, industrielles), soit 0,84 cas. Il apparaît donc peu probable que les rejets de routine des installations nucléaires du Nord-Cotentin puissent expliquer la tendance à l'excès de leucémies observées.

Volontairement le risque lié aux incidents et accidents (inférieur à 0,0012 cas) et le risque associé à l'exposition *in utero* (0,0003 cas) ont été écartés. Le fait de les prendre en compte ne devrait pas modifier vraiment la largeur des intervalles de variation donnés ci-dessus.

Réaliser une analyse d'incertitude d'une telle ampleur dans le domaine de l'évaluation des impacts radiologiques est exemplaire à plusieurs titres : la diversité des modèles, le traitement de plusieurs centaines de paramètres, la mise en œuvre de plusieurs méthodes de quantification de l'incertitude (Rommens *et al.*, 2002). En termes de connaissances acquises, le travail effectué pour préciser les intervalles de variation et les distributions des paramètres a permis de constituer une base de données unique pour les futures études de sensibilité et d'incertitude. Enfin, dans une perspective de recherche, la réflexion sur la théorie des possibilités appliquée à ce type d'évaluation mériterait d'être poursuivie.

Il faut souligner que parmi les experts du GRNC, les experts associatifs, tout en approuvant la démarche suivie, n'ont pas souhaité s'associer aux conclusions du GRNC, en raison, notamment, de la non prise en compte des incertitudes associées aux coefficients de dose et de risque.

3.1.2. Impact des rejets chimiques des installations nucléaires (GRNC, 2002b)

L'étude des rejets chimiques a porté, d'une part, sur les impacts des rejets chimiques des installations nucléaires du Nord-Cotentin sur les populations et les écosystèmes et, d'autre part, sur la contribution éventuelle de ces rejets au développement des leucémies chez les jeunes du canton de Beaumont-Hague pour lesquels une incidence significative de leucémie a été observée.

Les approches retenues ont consisté à réaliser en parallèle :

- une analyse visant à évaluer les risques pour la santé humaine et les écosystèmes qui résulteraient d'une exposition aux rejets actuels des installations nucléaires. Les rejets antérieurs ont été pris en compte de façon à intégrer l'accumulation d'éléments chimiques dans les compartiments de l'environnement attribuable au fonctionnement passé des installations nucléaires ;
- une analyse spécifique du risque leucémogène associé à certaines substances chimiques présentes dans les rejets des installations nucléaires locales. Cette analyse a pour objectif d'étudier la possibilité que ces substances puissent constituer des facteurs de risque pour les jeunes du Nord-Cotentin.

La méthodologie suivie pour évaluer les risques tant pour la santé que pour les écosystèmes liés aux rejets chimiques des installations nucléaires du Nord-Cotentin est la démarche classique d'évaluation quantitative des risques telle que décrite dans le règlement européen n° 1488/94 (CE, 1994).

En ce qui concerne l'évaluation des risques sanitaires, cette démarche est reprise au plan national dans les documents de l'INVS (2000) et de l'INERIS (2001). S'agissant de l'évaluation des risques pour les écosystèmes, la démarche s'appuie sur les guides techniques européens (CE, 1996) élaborés en support du règlement CE n° 1488/94.

L'évaluation des risques repose sur les étapes suivantes :

- inventaire des substances chimiques rejetées par les installations nucléaires du Nord-Cotentin : 63 substances pour lesquelles il existe des indications de rejet ont été recensées ;
- évaluation des dangers comportant la sélection des substances d'intérêt et la caractérisation de leur toxicité ainsi que de leur écotoxicité en vue d'identifier leur valeur toxicologique de référence (VTR) ou leur concentration prévisible sans effet pour les écosystèmes (PNEC). Parmi les substances retenues, certaines ont été sélectionnées sur la base de critères de toxicité et de disponibilité de l'information. Il a été retenu respectivement 30 substances pour mener une évaluation quantitative des risques pour la santé et 41 substances pour l'évaluation des risques pour les écosystèmes ;

- évaluation des expositions comportant successivement l'évaluation des concentrations dans l'environnement et la définition de scénarios d'exposition en vue de déterminer les concentrations d'exposition des populations et des écosystèmes ;
- caractérisation des risques correspondant à une confrontation des concentrations d'exposition aux valeurs toxicologiques de référence ou aux concentrations prévisibles sans effet pour les écosystèmes.

Le champ d'étude est celui des expositions chroniques associées aux rejets chimiques des installations nucléaires du Nord-Cotentin en fonctionnement normal. Les risques potentiels liés aux autres sources de rejet (activités industrielles du port de Cherbourg, rejets urbains de la communauté urbaine de Cherbourg, agriculture, fosse de stockage des Casquets, ...) n'ont pas été évalués dans cette étude.

En l'état actuel de nos connaissances scientifiques, les niveaux de risque calculés par le GRNC apparaissent en général faibles et non préoccupants pour la santé et les écosystèmes, mis à part le cas particulier des dioxines. Le GRNC a cependant souligné les limites de son analyse, notamment l'absence de connaissance sur la toxicité et l'écotoxicité de certains produits qui a pu conduire dans certains cas à une impossibilité de réaliser l'évaluation des risques.

Pour les dioxines issues de l'incinérateur de déchets banals de COGEMA, le risque sanitaire calculé en première approche sur la base d'un rejet constant pendant 30 ans a été considéré comme significatif. Cependant, la COGEMA a arrêté en juillet 2002 son incinérateur de déchets banals, et il a été décidé qu'un nouveau calcul de risque serait réalisé. La révision des estimations du risque sanitaire suite à cet arrêt a ainsi été effectuée (Duffa *et al.*, 2002), et globalement, l'arrêt de cet incinérateur ne modifie pas les conclusions de la 2^e mission du GRNC. Pour les dioxines, les risques sont alors réduits d'un facteur 10 mais les résultats restent contradictoires entre les deux approches d'évaluation des risques préconisées par la littérature internationale : les risques sont non préoccupants par l'approche de l'OMS⁸, mais restent significatifs, bien qu'à un moindre degré que dans la première évaluation, par l'approche de l'US-EPA⁹. En l'état actuel des connaissances, le GRNC ne peut se prononcer quant à la pertinence d'utiliser une méthode plutôt qu'une autre. Il souligne que l'obtention d'une valeur de risque plus élevée pour les dioxines que pour les autres substances chimiques est un

⁸ L'Organisation mondiale de la santé (OMS) considère les dioxines comme non génotoxiques et préconise donc un effet avec seuil.

⁹ L'Agence américaine de protection de l'environnement (US-EPA) considère que les dioxines présentent un risque cancérogène sans seuil.

problème à situer dans le contexte général du contrôle de l'ensemble des sources d'émission de dioxines aux niveaux français et international.

En ce qui concerne l'impact sur les écosystèmes, un certain nombre de points doivent être approfondis (risques pour l'environnement liés à l'hydrazine et aux nitrites en milieu marin ; risques potentiels associés aux dépôts dans les sédiments ; risques liés aux métaux dans le ruisseau de la Sainte-Hélène...).

Quant à l'analyse du risque leucémogène des substances chimiques approvisionnées ou utilisées dans les installations concernées, elle n'a pas permis de mettre en évidence de substances pour lesquelles un tel risque est reconnu mais il faut souligner le manque de connaissance concernant l'étiologie des leucémies.

3.2. Compléments sur les concentrations des radionucléides dans l'environnement et les valeurs des paramètres des modèles

3.2.1. Concentrations de radionucléides dans les milieux terrestre et marin : ^{129}I , ^{14}C , ^3H libre, ^3H lié à la matière organique, ^{90}Sr , ^{241}Pu ; distribution de radionucléides dans les sédiments marins ; comparaison Huquets-rivage

Les données de concentrations de certains radionucléides (^{129}I , ^{14}C , ^3H , ^{90}Sr , ^{241}Pu ...) ont été peu nombreuses jusqu'à ces dernières années en raison :

- de rejets en général faibles et donc de concentrations dans l'environnement faibles, impliquant parfois pour les obtenir des séparations physico-chimiques délicates ou des techniques très sophistiquées, difficiles à mettre en œuvre (activation neutronique, spectrométrie de masse par accélérateur-SMA...) et peu pratiques pour la routine ;
- d'un impact sanitaire considéré comme très faible (faible énergie, dilution isotopique) et donc l'effort était porté vers d'autres radionucléides ;
- de milieux qui ont été moins privilégiés pour la surveillance lors de la mise en action des installations car considérés comme moins importants du point de vue d'un éventuel impact (tel était le cas du milieu terrestre).

Cependant, les techniques de dosage se sont améliorées, les quantités rejetées par les effluents liquides et gazeux ont augmenté depuis une dizaine d'années pour quelques radionucléides (^{129}I , ^{14}C , ^3H). Aussi, dans cette partie, sont mentionnés des résultats nouvellement acquis, qui permettent de fixer l'ordre de grandeur des concentrations dans des matrices (domaine physique, bioindicateurs et chaîne alimentaire) (Tab. I). Il est noté un marquage industriel dans les matrices des écosystèmes du Nord-Cotentin. Pour les radionucléides qui sont également d'origine naturelle, cette conclusion est tirée de la comparaison avec le « bruit de

TABLEAU I
Activités massiques et volumiques de radionucléides dans des échantillons du Nord-Cotentin et des côtes de la Manche.
Activity concentrations per unit mass of some radionuclides in samples from Nord-Cotentin and along the coasts of the English Channel.

Matrices	Lieux de prélèvement	Années	concentrations	S = sec F = frais	références
¹²⁹ I			Bq kg ⁻¹ , Bq m ⁻³ , Bq l ⁻¹ lait		
Herbes, ajoncs	La Hague	1997-2001	1-70	S	1, 2, 3, 4, 5
Lait	La Hague	1996-2001	0,010-0,26		7
Eau de mer	NO Cotentin	1997-1999	1-5	F	2, 3
Algues brunes	côtes de la Manche	1997-2001	0,3-325	S	2, 7, 8
Paeilles	NO Cotentin	1996-2001	0,25-2,3	F	7
³ H lié à la matière organique			Bq l ⁻¹ eau de combustion		
Herbes, ajoncs	La Hague	1997-2000	3-55		2, 3, 4, 5, 14
Légumes	La Hague	1997	1,4-7 (0,07-0,5 Bq kg ⁻¹ frais)		9, 10
Mollusques, crustacés, poissons marins	NO Cotentin	1997	8-16 (0,3-1 Bq kg ⁻¹ frais)		9, 10
³ H libre			Bq l ⁻¹ lait, Bq m ⁻³		
Lait	La Hague	1997-2001	en général < LD ; max : 73		7
Eau de mer	NO Cotentin	1997-2000	3000-41000		2, 4, 7
¹⁴ C			Bq kg ⁻¹ C		
Herbe, ajonc	La Hague	1997-1999	250-2000		1, 3, 5, 6, 13
Eau de mer	NO Cotentin	2000-2001	279-870		3, 4, 6, 11, 12
Algues, mollusques, poissons, crustacés	Nord Cotentin	2000-2001	300-600		4, 7, 12
⁹⁰ Sr			Bq kg ⁻¹ , Bq m ⁻³		
Herbe	La Hague	2001-2002	3,9-5,7	S	7
Sédiment marin	Anse des Moulinets	1997-2002	<1,5-1,50	S	7
Eau de mer	NO Cotentin	1996-2001	1,5-45		4, 7
Algues	Anse des Moulinets	1996-2001	1-18	S	7
Mollusques, poissons	Anse des Moulinets	1996-2001	0,05-3,6	F	7
²⁴¹ Pu			Bq kg ⁻¹		
Sédiment	Anse des Moulinets	2002	13-23	S	7
Algues	Anse des Moulinets	2002	2,5-6,5	S	7
Mollusques	Anse des Moulinets	2002	0,11-0,37	F	7

NO Cotentin : Nord Ouest Cotentin. Références : (1) IPSN, 1999 ; (2) IPSN, 2000 ; (3) IPSN, 2001 ; (4) IPSN, 2002 ; (5) Maro *et al.*, 2000a ; (6) Fontugne *et al.*, 2002 ; (7) OPR/IRSN ; (8) Maro *et al.*, 1999a ; (9) Maro *et al.*, 1998 ; (10) CSPI, 1998 ; (11) Douville et Rozet, 2001 ; (12) Douville *et al.*, 2002 ; (13) Robert, 2000 ; (14) IRSN, 2003.

fond » naturel, auquel s'ajoute celui dû aux retombées des essais nucléaires atmosphériques (pour le tritium, 1 Bq l^{-1} pour l'eau de combustion c'est-à-dire ^3H lié à la matière organique, $0,3 \text{ Bq l}^{-1}$ pour l'eau de mer en provenance de l'Atlantique et qui progresse vers l'est ; pour le carbone-14 près de 250 Bq kg^{-1} de carbone stable).

Des études de distribution de radionucléides ont été réalisées dans les sédiments marins du Nord-Ouest-Cotentin, le GRNC ayant noté l'hétérogénéité de la répartition des radionucléides selon la nature du matériel sédimentaire, et donc de différences de valeurs des K_d utilisées dans les modèles. Sur les plages, le faciès est sableux, les concentrations des radionucléides gamma souvent inférieures aux limites de détection et à $1 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ sec}$. Ces plages correspondent à la zone de fréquentation par les populations humaines. Au-delà de la zone de balancement des marées, le pourcentage de particules inférieures à $63 \mu\text{m}$ peut varier de 0 à 17,6 %. Pour cette fraction, qui fixe plus fortement les radionucléides, il est à noter que les concentrations en ^{60}Co peuvent atteindre $2000 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ sec}$, et pour la fraction supérieure à $63 \mu\text{m}$ les niveaux ne dépassent pas $300 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ sec}$ pour ce radionucléide (IPSN, 1999). De plus, lors de la cartographie demandée à l'OPRI par l'Autorité de sûreté nucléaire en septembre 2001, à propos de la répartition des radionucléides dans les sédiments autour du point de rejet de La Hague, des mesures sur les sédiments, à l'aplomb de la canalisation de rejet, ont mis en évidence des activités de l'ordre de : ^{60}Co : $5\,700 \text{ Bq kg}^{-1}$ frais, ^{106}Ru : $1\,100$, ^{125}Sb : $6\,200$, ^{137}Cs : $14\,000$, ^{241}Am : $3\,400$ sur les sédiments les plus contaminés (tamisés à 5 mm). Ces concentrations montrent une diminution par rapport à celles enregistrées dans les sédiments prélevés lors de la cartographie d'octobre 1997 après les travaux de détartrage (facteur 50 pour la somme des émetteurs gamma des sédiments les plus contaminés) (OPRI, 1997 ; Leprieur *et al.*, 2001).

Dans le cadre du GRNC, l'hypothèse de concentrations en radionucléides artificiels plus élevées dans la zone des Huquets de Jobourg par rapport à celles observées à Goury, station côtière de « référence » a été mentionnée. Les Huquets de Jobourg correspondent à un plateau rocheux s'étendant sur $2,4 \text{ km}$, et situé au sud-est du point de rejet de l'usine COGEMA, et dans la zone d'excursion de marée par rapport à ce point de rejet. Le suivi des radionucléides émetteurs gamma en 1999 dans l'eau de mer à cette station n'a permis de détecter que le ^{137}Cs à des concentrations de $2,9$ à $5,3 \text{ Bq m}^{-3}$, comparables à celles de l'eau de mer à Goury au même moment. Des algues laminaires ont été prélevées dans les deux sites pour effectuer des spectrométries gamma en février 2000. Aux niveaux de concentrations enregistrées pour ^{106}Ru -Rh, ^{137}Cs et ^{60}Co les différences entre les deux sites ne sont pas nettes (Tab. II) (IPSN, 2000, 2001).

TABLEAU II

Activités massiques du $^{106}\text{Ru-Rh}$, ^{137}Cs et ^{60}Co dans des algues brunes (laminaires) à Goury et aux Huquets de Jobourg en février 2000 ($\text{Bq kg}^{-1} \text{ sec}$).

Activity concentrations per unit mass of $^{106}\text{Ru-Rh}$, ^{137}Cs and ^{60}Co in brown algae (laminaria) from Goury and Huquets de Jobourg in February 2000 ($\text{Bq kg}^{-1} \text{ dw}$).

	Goury	Huquets de Jobourg
$^{106}\text{Ru-Rh}$	$5,6 \pm 2,3$	$7,7 \pm 3,3$
^{137}Cs	$< 0,7$	$1,2 \pm 0,4$
^{60}Co	$1,6 \pm 0,3$	$2,9 \pm 0,5$

3.2.2. Facteurs de concentration (FC) : ^{14}C dans diverses espèces marines ; coefficients de distribution (Kd) du ^{244}Cm et autres éléments transuraniens des sables de plage du Nord-Cotentin

3.2.2.1. Facteurs de concentration du ^{14}C dans diverses espèces marines

Parmi ses recommandations, le GRNC a souligné la nécessité d'améliorer les connaissances sur les concentrations en ^{14}C mesurées ainsi que sur la quantification des transferts dans les modèles. Une étude sur les facteurs de concentration (FC) chez quelques espèces marines (algues, mollusques, crustacés et poissons) a été récemment menée dans le Nord-Cotentin, en Manche et le long de la côte atlantique (IPSN, 2002 ; Douville *et al.*, 2002). Le calcul des FC implique de connaître les concentrations du ^{14}C dans l'eau de mer et les espèces. Les analyses d'activité spécifique du ^{14}C dans l'eau de mer ont porté essentiellement sur la forme minérale dissoute du carbone. Les résultats obtenus montrent que les estimations des concentrations dans l'eau de mer à partir des quantités de ^{14}C rejetées telles qu'elles sont calculées selon les travaux du GRNC sont bien corrélées avec l'activité en ^{14}C effectivement mesurée dans le carbone inorganique dissous de l'eau de mer. Par conséquent les valeurs de FC acquises lors de cette étude peuvent constituer la base de recommandations pour des travaux analogues à ceux du GRNC et il apparaît qu'une valeur de 5 000, valeur recommandée par le GRNC pour l'ensemble des espèces marines, est correcte.

3.2.2.2. Coefficients de distribution du ^{244}Cm et autres éléments transuraniens des sables de plage du Nord-Cotentin

Les données concernant les transuraniens, notamment le ^{244}Cm , dans les sédiments du Nord-Cotentin et plus particulièrement dans les sables de plage, sont peu nombreuses, et les Kd obtenus localement sont en nombre réduit. De plus, les Kd utilisés par le GRNC pour l'américium (3×10^4) et le curium (2×10^6) étaient très différents, alors qu'il est classiquement admis que ces deux radionucléides présentent un comportement dans l'environnement quasiment identique.

Des sédiments ont été récoltés manuellement à marée basse sur les plages sableuses de La Hague en septembre 1998 et en janvier 2001. La tranche 0–5 cm a été échantillonnée. Les activités sont de l'ordre de 0,3 à 1 Bq kg⁻¹ pour les ^{239,240}Pu, de 0,1 à 0,5 Bq kg⁻¹ pour le ²³⁸Pu, de 0,5 à 1,9 Bq kg⁻¹ pour l'²⁴¹Am et de 0,08 à 0,36 Bq kg⁻¹ pour le ²⁴⁴Cm. Les calculs de Kd ont montré que les Kd du plutonium et de l'américium dans les sédiments étudiés sont dans un rapport de 1 à 3 ; cela est en parfait accord avec les valeurs recommandées par le GRNC (1 × 10⁴ et 3 × 10⁴ pour le plutonium et l'américium respectivement) ; les Kd de l'américium et du curium sont du même ordre de grandeur (environ 2 × 10⁴, dans les sédiments étudiés). Cette constatation n'est pas surprenante au vu de l'analogie des propriétés chimiques de ces éléments. Elle conduit donc à une valeur de Kd pour le curium sensiblement différente de celle adoptée par le GRNC (2 × 10⁴ au lieu de 2 × 10⁶) (IPSN, 2002). C'est cette valeur qui est retenue pour réexaminer l'impact radiologique et sanitaire de la cohorte dans le cas des rejets de routine et des situations incidentelles.

3.3. Nouvelles études

3.3.1. Dispersion atmosphérique autour du site COGEMA-La Hague, détermination de CTA (Coefficients de Transfert Atmosphérique)

Le GRNC a indiqué dans sa synthèse que les modèles de diffusion atmosphérique utilisables pour le champ proche devaient être améliorés, et a recommandé « que des campagnes de mesure du ⁸⁵Kr plus complètes et en fonction de différentes conditions météorologiques devraient être réalisées pour valider une méthode alternative, hors du domaine de validité du modèle de Doury ». En effet, les modèles gaussiens de dispersion atmosphérique d'un panache (principalement de Doury et de Pasquill) sont utilisables pour évaluer la dispersion des rejets atmosphériques effectués au niveau du sol ou dans le cas de rejets à grande hauteur pour des distances suffisamment éloignées de la source pour que le panache soit proche du sol. Des campagnes de mesures de ⁸⁵Kr au sol et en altitude, autour du site de COGEMA-La Hague, liées à des mesures météorologiques, ont ainsi été réalisées, afin de décrire la dispersion atmosphérique en champ proche pour des rejets pratiqués à 100 mètres du sol, et étendre le domaine d'application des modèles gaussiens. Pour l'ensemble des campagnes, au nombre de quatorze, les coefficients de transfert atmosphérique (CTA) maximaux au centre du panache varient entre 8,1 × 10⁻⁷ et 7,8 × 10⁻⁶ s m⁻³ (IPSN, 1999, 2000, 2002 ; Maro *et al.*, 1999b, 2000b, 2002a). La comparaison des valeurs de CTA obtenues lors des campagnes expérimentales avec celles calculées en appliquant la méthode retenue par le GRNC montre que les rapports « mesures/calculs » s'échelonnent entre 0,7 et 6 (moyenne d'environ 2,41). Ces données confirment la sous estimation,

en moyenne, des résultats d'activités volumiques obtenues par les calculs (Calmet *et al.*, 2001).

3.3.2. Données sur le chlore-36 dans les rejets et l'environnement terrestre du Centre de retraitement de La Hague

Le GRNC ne disposant initialement d'aucun résultat de mesure du chlore-36 (radionucléide émetteur bêta pur, produit par activation d'impuretés de chlore stable présentes dans le combustible), ni dans les effluents gazeux et liquides rejetés par le centre de retraitement de La Hague, ni dans l'environnement proche de ce site, a estimé les activités annuelles en ^{36}Cl rejetées. Les estimations reposaient sur des hypothèses concernant, d'une part, les activités au sein des combustibles usés avant retraitement (déduites d'une concentration moyenne théorique en chlore stable égale à 50 % de la valeur maximale fixée dans les spécifications techniques relatives à l'uranium des combustibles) et, d'autre part, le comportement de cet élément au cours du procédé de retraitement considéré identique à celui de l'iode. Le GRNC a ainsi mis en évidence l'importance théorique de la contribution du chlore-36 dans le calcul des doses associées aux rejets éventuels de cet élément dans les effluents faiblement radioactifs autorisés du Centre de retraitement de La Hague. Afin de confirmer ou d'infirmer la présence de ^{36}Cl dans l'environnement, le GRNC a demandé à la COGEMA, à l'IPSN et à l'OPRI d'engager une étude sur cet élément. Des échantillons terrestres ont ainsi été prélevés en février et mars 1999 dans l'environnement proche du Centre de La Hague, aux stations sous l'influence directe des rejets gazeux ainsi que dans un site témoin situé en Bretagne Nord, servant de site de référence non soumis à des rejets industriels (Bouisset *et al.*, 2002). L'OPRI s'est attaché à la mesure d'effluents gazeux et liquides, d'échantillons d'environnement sous le vent (eau, herbes, mousses aquatiques et sols), d'air piégé sur barboteurs à la soude en limite de site, ainsi que sur l'urine d'un habitant de Pont Durand (Linden *et al.*, 2000). Une campagne complémentaire a été réalisée au début de l'année 2001 (IPSN, 2002). Trois techniques de mesure du ^{36}Cl , après radiochimie préparatoire, ont été mises en œuvre : la scintillation liquide, le comptage proportionnel et la spectrométrie de masse par accélérateur (SMA) ; le chlore total a également été dosé. Après élimination des radionucléides interférents, aucune activité due au ^{36}Cl n'a été mise en évidence sur les effluents ni sur les échantillons d'environnement ou d'urine analysés par l'OPRI en février-mars 1999. Les échantillons collectés par l'IPSN étaient des composants des chaînes alimentaires locales conduisant soit à l'homme, soit aux animaux d'élevage (viandes, lait, œuf, légumes, herbes, avoine, orge) et des sols. Les mesures par scintillation liquide et par compteur proportionnel ont fourni des résultats inférieurs aux limites de détection. La SMA a permis l'obtention de résultats plus précis (rapports

isotopiques $^{36}\text{Cl}/^{35,37}\text{Cl}$, qui permettent d'établir les valeurs massiques en utilisant les résultats du chlore total). Les résultats de cette étude montrent un marquage industriel, mais les rejets de ^{36}Cl dans les effluents gazeux doivent être inférieurs au moins d'un facteur 300 aux valeurs estimées lors de l'étude du GRNC. Les concentrations dans les échantillons biologiques se situent entre 0,016 et 1,201 mBq kg⁻¹ frais dans la région de La Hague, et 0,005 et 0,807 mBq kg⁻¹ frais dans les sites de référence.

3.3.3. Données sur l'argent-110^m dans l'eau de mer

Les récents travaux menés par le groupe radioécologie Nord-Cotentin ont montré un manque de connaissance sur la présence et le comportement de l'argent-110^m dans l'environnement marin. Le GRNC a mis en évidence, lors d'une confrontation des modèles avec les mesures d' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ dans des espèces biologiques que la seule prise en compte des rejets industriels en $^{110\text{m}}\text{Ag}$ dans le Nord-Cotentin aboutissait à sous-estimer les concentrations en moyenne d'un facteur 46. Le GRNC a donc recommandé que des mesures d' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ dans l'environnement soient effectuées. Un travail a été mené afin de définir un mode opératoire permettant la mesure de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ dissous dans l'eau de mer et présent à l'état de traces en obtenant une limite de détection la plus basse possible, avec l'espoir, en particulier, de préciser les facteurs de concentration et les facteurs de dilution à partir des diverses sources (Douville, 2001).

Une méthode d'extraction et de préconcentration de l' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ a été mise au point. Les concentrations en $^{110\text{m}}\text{Ag}$ actuelles dans l'eau de mer autour de l'usine de retraitement des combustibles nucléaires de La Hague sont si faibles qu'il faudrait prélever au moins 2 000 à 3 000 litres d'eau de mer par échantillon pour avoir une chance raisonnable de mesurer l' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ avec le mode opératoire utilisé dans cette étude.

3.3.4. Transferts entre algues et végétaux terrestres

Le GRNC a souhaité étudier les voies d'exposition potentielles associées à la pratique industrielle locale d'extraction d'agents gélifiants et épaississants (hydrocolloïdes) à partir d'algues (*Chondrus crispus* et *Laminaria digitata*) en partie récoltées sur des littoraux sous l'influence des rejets en mer des usines de retraitement de COGEMA. Une étude a ainsi été lancée par l'IPSN en collaboration avec l'industriel DEGUSSA exploitant l'usine de Carentan à près de 50 km de La Hague (Maro *et al.*, 2002b). L'objectif précis de ce travail était de déterminer le comportement des radionucléides accumulés par les algues lors du processus industriel, et en particulier d'établir si les opérations de transformation des algues tendent à éliminer ou à concentrer les radionucléides dans les produits commercialisés.

Une première étude, traitant du même sujet, publiée en 1989 (Masson *et al.*, 1989) a montré que l'extraction des agents gélifiants des algues se traduisait par une réduction importante des concentrations de radionucléides dans le produit final par rapport à la matière première (^{137}Cs , ^{125}Sb , $^{106}\text{Ru-Rh}$, ^{60}Co , ^{99}Tc , $^{110\text{m}}\text{Ag}$), à l'exception du ^{90}Sr . L'étude récente, menée en 1999, avec des prélèvements d'algues le long des côtes du Cotentin, a complété cette première étude de 1989, avec en particulier la prise en compte d'autres radionucléides, ^{129}I , $^{238,239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm .

En conclusion de ces deux études, pour l'ensemble des radionucléides mesurés, à l'exception du ^{90}Sr , il existe une épuration importante de la concentration de la radioactivité artificielle entre le produit initial (*Laminaria digitata* ou *Chondrus crispus*) et les produits finaux (alginates ou carraghénanes).

3.4. Questions posées au GRNC depuis juillet 1999

Enfin, des demandes d'expertises complémentaires, des demandes de clarification, ont été formulées après la publication des rapports du GRNC, par différents organismes, associations ou spécialistes, et ont donné lieu à des réflexions de la part du groupe, à des réexamens, et des groupes de travail restreints ont été constitués. Les principales actions sont résumées ci-dessous.

3.4.1. Questions posées par l'Autorité de sûreté nucléaire

Dans le cadre des demandes de COGEMA relatives à la modification des conditions de fonctionnement des usines de La Hague (modification des décrets d'autorisation de création des INB116 (UP3), 117 (UP2-800) et 118 (STE-3)) l'autorité de sûreté a mis en place en 1999 un groupe de travail constitué principalement d'experts du GRNC. La saisine de ce groupe portait sur la « recevabilité » du dossier fourni par COGEMA à l'appui de sa demande. Les conclusions du groupe ont été d'abord négatives puis, après modification du dossier par l'exploitant, positives mais assorties de certaines réserves, en particulier sur l'incomplétude de l'étude d'impact des rejets chimiques. L'avis du groupe a été mis à la disposition du public lors de l'enquête publique en même temps que le dossier de l'exploitant.

Fin 2001 suite à des incidents dus à des rejets atmosphériques de ruthénium-106 par COGEMA, l'autorité de sûreté a saisi le GRNC d'une demande concernant l'influence sur l'impact radiologique d'une précision insuffisante de la mesure de ce radionucléide. Un groupe spécifique a été constitué afin de répondre à cette question. L'analyse détaillée effectuée par le GRNC a montré que les écarts de mesure étaient dus au fait que, dans le cas d'une surpression incidentelle, survenant

au niveau des ateliers de vitrification des deux usines, les composés gazeux présents dans le calcinateur passent dans la cellule où est implantée la ligne de vitrification. Du ruthénium est émis sous forme d'aérosols (RuO_2) mais aussi sous forme de gaz (RuO_4). Comme cette cellule ne dispose que d'une épuration des aérosols par filtres THE, l'épuration des gaz n'est alors plus assurée. Cette forme gazeuse est instable dans l'air à température ambiante. Le groupe a présenté dans son rapport des données relatives au comportement de cette phase gazeuse (qui se décompose en aérosols ultra-fins, lesquels ont un comportement aérodynamique particulier) émise dans l'environnement qui expliquent pourquoi la mesure de la contamination dans le champ proche était élevée après les incidents (GRNC, 2002c).

3.4.2. Questions posées par les associations

Une révision des risques associés aux rejets radioactifs de l'usine COGEMA-La Hague lors de l'incident du percement de la conduite (1979-80) de rejet en mer a été réalisée, suite à un courrier de l'ACRO¹⁰ faisant état de mesures de strontium-90 dans l'environnement marin qui n'avaient pas été analysées par le GRNC (GRNC, 2000). Cette révision a conduit à revoir l'estimation du nombre de cas de leucémie radio-induits du fait des rejets radioactifs des installations nucléaires du Nord-Cotentin. Le nombre de cas qui était de l'ordre de 0,0014 cas entre 1978 et 1996 est passé à 0,002.

L'ACRO a formulé des demandes d'explications, présentées par la CSPI¹¹, sur une possible sous-estimation des rejets de carbone-14 et de strontium-90 ainsi que sur l'impact du démantèlement de la première conduite de rejet. En ce qui concerne le strontium-90, un nouvel examen n'a pas mis en évidence d'élément d'information susceptible de remettre en cause les valeurs utilisées par le GRNC et notamment l'absence de rejets significatifs dans les rejets gazeux de COGEMA. Pour le carbone-14, les rejets pendant la période de retraitement des combustibles *uranium naturel graphite gaz* (1966-87) ont pu être sous-estimés d'un facteur environ 3, mais l'impact sur les calculs de risques du GRNC est très faible car les rejets relatifs aux combustibles UNGG sont de l'ordre de 100 fois inférieurs à ceux des combustibles des réacteurs à eau pressurisée. Enfin, pour le démontage de la première conduite de rejet, il n'a pas été procédé à une réévaluation du risque car l'augmentation des niveaux de contamination mise en évidence (*fucus* et *patelles*), décelée mais non expliquée, figurait dans les données prises en considération par le GRNC pour les calculs de dose.

¹⁰ ACRO = Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest.

¹¹ CSPI = Commission spéciale et permanente d'information auprès de l'établissement de La Hague.

3.4.3. Questions posées par les exploitants

À la demande de la COGEMA les doses et les risques associés au ^{244}Cm et à l'ingestion de sable par les enfants ont été réexaminés du fait de la modification des valeurs de certains paramètres intervenant dans le calcul de ces risques. La réduction importante de la valeur du coefficient de distribution, K_d , du curium-244 dans les sédiments (facteur 100) et celle de la quantité de sable ingérée par l'enfant de 0 à 2 ans (facteur 3,3) se traduisent par une réduction de 12 % de la valeur du risque total de leucémie dû aux rejets de routine. La modification des deux paramètres entraîne également, dans le cas de l'incident de percement de la conduite de rejet en mer, une réduction d'environ 9 % de l'impact sanitaire.

3.4.4. Questions posées par d'autres intervenants

L'activité de l'iode-129 dans les rejets liquides et gazeux a été réexaminée suite à l'étude de Wise-Paris (2001), et à la saisie du GRNC par le ministère de l'Environnement.

Le retour d'expérience des mesures de contrôle d'activité en iode-129 sur les effluents gazeux et liquides depuis 1988 a permis de confirmer la validité du code de calcul retenu par le GRNC (code qui a fait l'objet d'une vérification expérimentale pour l'iode-129) et d'attribuer les écarts de bilan suggérés par l'étude de Wise à un défaut de la méthode de préparation de l'échantillon représentatif des rejets liquides, en vue de la mesure de son activité. Ce défaut s'est traduit par une sous-évaluation de l'activité de l'iode-129 présent dans les rejets liquides de 1988 à 1993. La prise en compte des nouvelles valeurs de rejets de l'iode-129 modifie très peu les calculs de risque du GRNC (moins de 1 %) (GRNC, 2002d)

4. Conclusions

Dans son rapport remis aux ministres en 1999, le GRNC a indiqué la nécessité de mener des compléments d'études afin, d'une part, de combler certaines lacunes dans la connaissance de paramètres radiologiques ou de réduire les incertitudes concernant les valeurs utilisées, et, d'autre part, de prendre en compte l'impact des rejets chimiques.

Certains de ces travaux ont été réalisés suite à la décision par les ministres de confier au GRNC une deuxième mission portant sur l'étude des incertitudes relative aux résultats de la première mission, et la prise en compte de l'impact des rejets chimiques. Des études complémentaires ont aussi été menées afin d'obtenir des informations sur des concentrations de radionucléides peu étudiés jusqu'alors

(^{14}C , ^{129}I , tritium...), sur des paramètres de transfert (facteurs de concentration pour le ^{14}C , le ^{244}Cm , coefficients de transfert atmosphérique...), et des informations totalement nouvelles ont été acquises comme celles sur le chlore-36.

Le GRNC, par son approche aussi exhaustive et critique que possible de l'impact d'une installation nucléaire, constitue une référence pour l'application concrète des évaluations réalistes, telles que préconisées dans le guide européen correspondant (CE, 2002). Pour aller plus loin dans la recherche du réalisme, des études dans l'environnement seraient à développer ou à poursuivre, comme la modélisation des transferts de radionucléides par les embruns, la modélisation de la dispersion dans le champ proche dans les domaines atmosphérique et marin, les aérosols, les dosages de radionucléides et de produits chimiques...

Il faut souligner que les travaux du GRNC ont accéléré l'installation de la division régionale IRSN du Cotentin à Beaumont-Hague en mars 1998 équipée d'un système de mesure en continu du ^{85}Kr atmosphérique, d'une balise mesurant en continu l'activité alpha, bêta, gamma des aérosols, d'une sonde de mesure du rayonnement gamma ambiant. Ils ont eu une influence sur le renforcement et l'orientation des programmes de surveillance annuels tant au niveau de l'exploitant COGEMA, que du site du Vésinet en charge de la surveillance réglementaire : multiplication des prélèvements COGEMA des milieux terrestre et marin en vue notamment de la mesure du carbone-14 et de l'iode-129, intensification de la mesure atmosphérique du krypton-85 en continu (5 balises COGEMA dans l'environnement).

Il faut également rappeler la réalisation d'un exercice appelé Nord-Cotentin-2000, consistant à mener une campagne d'intercomparaison de mesures de radionucléides dans l'environnement de La Hague en rassemblant une dizaine de laboratoires européens. Cet exercice international a apporté des informations supplémentaires sur les concentrations de radionucléides dans le Nord-Cotentin (Nord-Cotentin-2000, 2001). Il est dû à l'initiative d'une association locale, le Collectif des Mères en colère et a été réalisé dans le cadre d'un comité d'organisation de la CSPI. Cette initiative a été favorisée par la structure de rencontre que représente le GRNC, et certains de ses experts ont activement participé à cette action.

RÉFÉRENCES

- Bouisset P., Germain P., Barker E., Goutelard F., Drombry C., Maro D., Calmet D., Fournier M. (2002) Mesure du chlore-36 dans l'environnement terrestre du Centre de retraitement de La Hague, Rapport IRSN/DPRE/SERNAT 2002-17.
- Calmet C., Crabot B., Bailly du Bois P., Boust D., Fiévet B., Germain P., Vray F., Renaud P., Louvat D., Rommens C., Druésne C. (2001) Identification et estimation des incertitudes associées aux

- évaluations de doses obtenues par le modèle mathématique du Groupe Radioécologie Nord-Cotentin, Rapport IPSN/DPRE/SERNAT 2001-13.
- CE (1994) Commission Regulation (EC) N° 1488/94 on risk assessment for existing substances, JOCE N° L161 du 29/06/94.
- CE (1996) European Commission, Technical Guidance Document in support of Commission Directive 93/67/EEC on risk assessment for new notified substances and Commission Regulation (EC) N° 1488/94 on risk assessment for existing substances.
- CE (2002) European Commission, Guidance on the realistic assessment of radiation doses to members of the public due to the operation of nuclear facilities under normal conditions, Radiation Protection n° 129.
- CSPI (1998) District de La Hague, Commission Spéciale et Permanente d'Information auprès de l'établissement de La Hague, Campagne de mesures de la radioactivité réalisée en 1997 par le District de La Hague, Synthèse des résultats.
- Douville E. (2001) Extraction de l' ^{110m}Ag dissous dans l'eau de mer pour la mesure par spectrométrie gamma, Rapport IPSN/DPRE/SERNAT 2001-21.
- Douville E., Rozet M. (2001) Extraction des carbonates afin de déterminer la concentration en ^{14}C dans la fraction carbone inorganique dissous (DIC) de l'eau de mer, Rapport IPSN/DPRE/SERNAT 2001-22.
- Douville E., Fievet B., Germain P., Fournier M. (2002) Comportement du carbone-14 dans le milieu marin à proximité de l'usine de COGEMA-La Hague (Goury)-France, Journée carbone-14 de la Société française de radioprotection, section Environnement.
- Duffa C., Ringeard C., Rommens C., Delery L. (2002) Révision des estimations du risque sanitaire par le GRNC-Volet chimique. Prise en compte de l'arrêt de l'incinérateur de COGEMA-La Hague, Rapport IRSN/DPRE/SERNAT/2002-27.
- Fontugne M., Maro D., Baron Y., Hatte C., Hébert D., Douville E. (2002) Identification of sources and distribution of radiocarbon in the vicinity of La Hague reprocessing plant. In: *The radioecology-ecotoxicology of continental and estuarine environments, ECORAD 2001*, September 3-7, 2001, Aix-en-Provence (Bréchinag F., Ed.), *Radioprotection* **37**, C1-1271-C1-1276. EDP Sciences, Les Ulis.
- GRNC (1999) groupe radioécologie Nord-Cotentin, Volumes 1-4 et synthèse : Estimation des doses et des risques de leucémies associés, IRSN, Fontenay-aux-Roses.
- GRNC (2000) groupe radioécologie Nord-Cotentin, Rapport concernant le percement de la conduite de rejet en mer de l'usine de retraitement de La Hague (1979-80), IRSN, Fontenay-aux-Roses.
- GRNC (2002a) groupe radioécologie Nord-Cotentin, Analyse de sensibilité et d'incertitude sur le risque radiologique, IRSN, Fontenay-aux-Roses.
- GRNC (2002b) groupe radioécologie Nord-Cotentin, Impact des rejets chimiques, IRSN, Fontenay-aux-Roses.
- GRNC (2002c) groupe radioécologie Nord-Cotentin, Rapport du groupe de travail « ruthénium », IRSN, Fontenay-aux-Roses.
- GRNC (2002d) groupe radioécologie Nord-Cotentin, Rejets d'iode-129 dans les effluents radioactifs liquides et gazeux des usines COGEMA-La Hague, IRSN, Fontenay-aux-Roses.
- Guizard A.V., Boutou O., Pottier D., Troussard X., Pheby D., Launoy G., Slama R., Spira A., ARKM (2001) The incidence of childhood leukaemia around the La Hague nuclear waste reprocessing (France) : a survey for the years 1978-1998, *J. Epidemiol. Comm. Health* **55**, 469-474.
- INVS (2000) Institut national de veille sanitaire, guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact, Saint-Maurice, France, mai 2000.
- INERIS (2001) Institut national de l'environnement industriel et des risques, guide méthodologique : évaluation des risques sanitaires liés aux substances chimiques dans l'étude d'impact des

Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, Version projet 3.0 du site Web de l'INERIS, novembre 2001.

- IPSN (1999) Impact radioécologique des effluents radioactifs de l'usine de La Hague, Compte rendu d'activité année 1998, Rapport SERNAT 99-8, IRSN, Fontenay-aux-Roses.
- IPSN (2000) Impact radioécologique des effluents radioactifs de l'usine de La Hague, Compte rendu d'activité année 1999, Rapport DPRE/SERNAT 00-04, IRSN, Fontenay-aux-Roses.
- IPSN (2001) Étude du comportement des radionucléides rejetés dans l'environnement par l'usine de La Hague, Compte rendu d'activité année 2000, Rapport DPRE/SERNAT 2001-03, IRSN, Fontenay-aux-Roses.
- IPSN (2002) Étude du comportement des radionucléides rejetés dans l'environnement par l'usine de La Hague, Compte rendu d'activité année 2001, Rapport DPRE/SERNAT 2002-02, IRSN, Fontenay-aux-Roses.
- IRSN (2003) Étude du comportement des radionucléides rejetés dans l'environnement par l'usine de La Hague, Compte rendu d'activité année 2002, Rapport DPRE/SERNAT 2003, IRSN, Fontenay-aux-Roses.
- Linden G., Pasquier J.-L., Herbelet J. (2000) Impact dosimétrique du chlore-36 dans l'environnement de l'usine COGEMA-La Hague, Publication OPRI.
- Leprieur F., Linden G., Pasquier J.-L., Fouquet G. (2001) Cartographie de la contamination radioactive à l'extrémité de la canalisation de rejets en mer (M4) de l'usine COGEMA-La Hague, Publication OPRI.
- Maro D., Germain P., Calmet D., Fournier M. (1998) Le tritium dans l'environnement proche du site de l'usine de retraitement de La Hague, Rapport IPSN/SERE 98/029.
- Maro D., Hébert D., Gandon R., Solier L. (1999a) Dosage par spectrométrie gamma de l'iode 129 dans les échantillons biologiques marins et terrestres. Application à des algues prélevées le long des côtes de la Manche : *Fucus serratus* et *Laminaria digitata*, *Radioprotection* **34**(1), 13-24.
- Maro D., Baron Y., Germain P., Crabol B., Hébert D., Solier L. (1999b) Utilisation du krypton-85 rejeté dans l'environnement par l'usine de retraitement de La Hague comme outil d'étude de la dispersion atmosphérique, Rapport IPSN/DPRE/SERNAT 99-14.
- Maro D., Baron Y., Fontugne M., Hadji K., Hatte C., Germain P., Hébert D., Solier L. (2000a) Evolution de la radioactivité artificielle dans un bioindicateur, l'ajonc d'europe, autour de l'usine de retraitement des combustibles irradiés de La Hague, Rapport IPSN/DPRE/SERNAT 00-37.
- Maro D., Baron Y., Crabol B., Germain P., Clotilde V., Hébert D., Solier L. (2000b) Comparaison des modèles gaussiens de dispersion atmosphérique de Doury, de Pasquill et Caire avec les résultats des mesures du krypton-85 réalisées autour de l'usine de retraitement des combustibles irradiés de La Hague, Rapport IPSN/DPRE/SERNAT 00-21.
- Maro D., Crabol B., Germain P., Baron Y., Hébert D., Bouisset P. (2002a) A study of the near field atmospheric dispersion of emissions at height : comparison of Gaussian plume models (Doury, Pasquill-Briggs, Caire) with krypton 85 measurements taken around La Hague nuclear reprocessing plant. In: *The radioecology-ecotoxicology of continental and estuarine environments, ECORAD 2001*, September 3-7, 2001, Aix-en-Provence (Bréchnignac F., Ed.) *Radioprotection* **37**, C1-1277-C1-1281. EDP Sciences, Les Ulis.
- Maro D., Rommens C., Hébert D., Masson M., Bouisset P., Germain P., Loiseau J. (2002b) The transfer of artificial radioelements contained in seaweed to food transformation products (alginates and carrageenans). Dans : *The radioecology-ecotoxicology of continental and estuarine environments, ECORAD 2001*, September 3-7, 2001, Aix-en-Provence (Bréchnignac F., Ed.) *Radioprotection* **37**, C1-1323-C1-1328. EDP Sciences, Les Ulis.

- Masson M., Germain P., Eyssaultier B., Grauby A. (1989) Evolution de la radioactivité de produits marins des côtes de la Manche au cours de la transformation agro-alimentaire (algues) ou au cours de la préparation culinaire (moules). In: *Radioactivity transfer during food processing and culinary preparation*, September, 18-21, 1989, Cadarache, Proceedings IPSN/CEC, pp. 457-468.
- Nord-Cotentin-2000 (2001) Résultats et conclusions.
- OPRI (1997) Rapport d'activité, partie 7, le Nord-Cotentin.
- OPRI/IRSN Tableaux mensuels des mesures (site du Vésinet).
- Pobel D., Viel J.F. (1997) Case-control study of leukaemia among young people near La Hague nuclear reprocessing plant: the environmental hypothesis revisited, *Brit. Med. J.* **314**, 101-106.
- Robert F. (2000) Mise au point d'un dosage du carbone-14 dans les échantillons de l'environnement, Rapport de stage OPRI.
- Rommens C., Chojnacki E., Merle-Szeremeta A., Brenot J., Sugier A. (2002) La nécessaire prise en compte des incertitudes dans les évaluations de risque : l'exemple du groupe radioécologie Nord-Cotentin (GRNC), *Environn. Risques Santé* **1**(5-6).
- Viel J.F., Pobel D., Carre A. (1995) Incidence of leukaemia in young people around the La Hague nuclear waste reprocessing plant: a sensitivity analysis, *Stat. Med.* **14**, 2459-2472.
- Wise-Paris (2001) Possible toxic effects from the nuclear reprocessing plants at Sellafield (UK) and Cap de La Hague (France). Interim report for the STOA study project on, Commissioned by European Parliament, Directory General for Research.